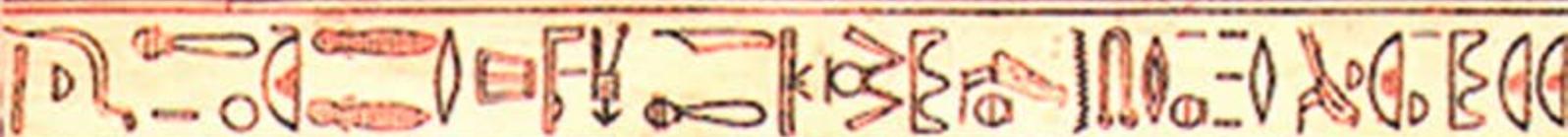
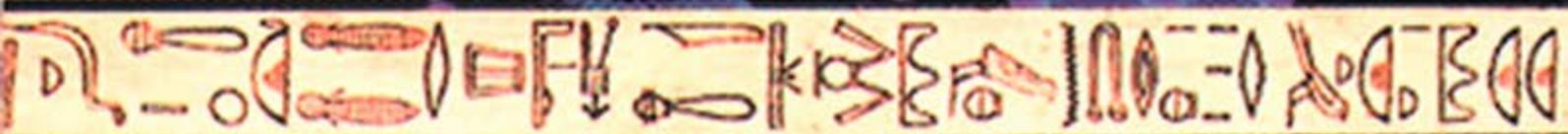


REVISED EDITION

The  
**Language**  
of the  
**genes**

Winner of the Rhône-Poulenc Science Books Prize



**STEVE JONES**

'Superb and stimulating...an exhilarating trip around the double spiral of DNA, a rush of gravity-defying concepts and wild swerves of the scientific imagination.'

J.G. BALLARD, Daily Telegraph

**Стив Джонс**

**Язык генов**

2014

Переведено <http://notabenoid.com/>



Переводчики:

**cosinus**, Irina73, Milo\_slava, zalya, alexkorf, tim888, KillKick, atarkos

Редактирование, вёрстка, оформление и релиз:

**alex78pro**

v1.0



Irina73 & alex78pro

free release

**ДЛЯ НЕКОММЕРЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ!**

## Оглавление

Предисловие. АПОЛОГИЯ МАЛАКОЛОГА .....	4
Введение. ОТПЕЧАТКИ ПАЛЬЦЕВ ИСТОРИИ .....	10
Глава первая. ПОСЛАНИЕ ОТ НАШИХ ПРЕДКОВ.....	23
Глава вторая. ПРАВИЛА ИГРЫ.....	36
Глава третья. ПЕРЕСМАТРИВАЯ ГЕРОДОТА.....	47
Глава четвертая. ИЗМЕНЕНИЕ ИЛИ УПАДОК .....	67
Глава пятая. МЕСТЬ КАЛИБАНА .....	77
Глава шестая. ОБРАТНАЯ СТОРОНА СКРИНИНГА .....	92
Глава седьмая. БИТВА ПОЛОВ .....	110
Глава восьмая. ЧАСЫ, ОКАМЕНЕЛОСТИ И ОБЕЗЬЯНЫ.....	124
Глава девятая. ВРЕМЯ И СЛУЧАЙНОСТЬ .....	136
Глава десятая. ЭКОНОМИКА ЭДЕМА.....	148
Глава одиннадцатая. ЦАРСТВО КАИНА .....	160
Глава двенадцатая. СТРАТЕГ ДАРВИНА.....	171
Глава тринадцатая. СМЕРТЕЛЬНАЯ ЛИХОРАДКА .....	181
Глава четырнадцатая. РОДСТВЕННИКИ ПОД КОЖЕЙ .....	192
Глава пятнадцатая. ПРИКЛАДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ.....	202
Глава шестнадцатая. СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЕТЕЙ .....	215
Глава семнадцатая. ЭВОЛЮЦИЯ УТОПИИ .....	225

## Предисловие.

### АПОЛОГИЯ МАЛАКОЛОГА

Я потратил — некоторые могут сказать, даром — часть своей научной карьеры, работая с улитками. Может показаться, что малаколог — малообещающий автор книги о генетике человека. Тем не менее, мое исследование, когда я еще мог его проводить, не было продиктовано глубоким интересом к моллюскам. Более того, один из немногих случаев, когда я думал отказаться от карьеры биолога, произошел, когда я должен был впервые их препарировать. Тридцать лет назад улитки были одними из немногих существ, чьи гены могли быть использованы для изучения эволюции. На своих раковинах они несут сообщение предков в виде наследственных узоров из цветных полос. Подсчитывая гены в разных местах и пытаясь связать их с окружающей средой, можно было получить представление о том, как и почему популяции улиток отклонились друг от друга: о том, почему и как они эволюционировали.

В то время идея, что когда-либо будет возможно сделать то же самое с людьми, казалась абсурдной. Учебники по генетике 1960-х годов были скучными. В них рассматривалось наследование формы гороха, половая жизнь грибов и новые открытия в молекулярной биологии вирусов и их бактериальных хозяев. О нас самих почти не упоминалось — обычно была добавлена лишь короткая глава, в которой постоянно пережевывались родословные аномалии, такие как гемофилия или дальтонизм.

Частично такая сдержанность была вызвана незнанием, но частично происходила от мрачной истории этой дисциплины. Поначалу изучение человеческой наследственности было прибежищем шарлатанов, большинство которых преследовали политически корыстные цели. Абсурдные родословные, якобы показывающие семейные линии преступников или гениев, были нормой. Невежество и самоуверенность шли вместе. Многие биологи утверждали, что можно было улучшить человеческий род путем селекции или устранения непригодных. Фальсификация науки достигла своего губительного апогея в нацистских экспериментах, и в течение многих лет, казалось, в лучшем случае, было немодно обсуждать природу врожденных различий между людьми.

После Второй мировой войны Организация Объединенных Наций опубликовала книгу "Statement of Race" американского антрополога Эшли Монтегю, которая попыталась развеять некоторые генетические мифы. Я прочитал ее, будучи школьником, и нашел ее неубедительной и трудной для понимания, хотя ее либеральная идея была достаточно ясной. Перечитывая ее несколько лет назад, я понял, почему: Эшли Монтегю пытался самоотверженно работать без нужного ма-

териала. Информация, необходимая для понимания самих себя, была просто недоступна, и казалось, нет надежды, что она когда-нибудь у него будет. Человеческие генетики перешли из разряда злых в аналогичный разряд добродетельных.

Теперь все изменилось. *Homo sapiens* больше не является великим неизвестным генетического мира, однако стал его рабочей лошадкой. Больше известно о географических характеристиках генов людей, чем о генах любого другого животного (улитки, кстати, до сих пор занимают второе место). Три миллиарда букв в алфавите ДНК, наконец, были прочитаны от начала до конца, так что, похоже, век генетики, который начался с переоткрытия законов Менделя, закончился новым и революционным пониманием самих себя.

Завершение карты ДНК знаменует триумф генетики как науки. Её успех как технологии — или, по крайней мере, как медицинской технологии — до сих пор не доказан. Все, в конце концов, умирают, и гены почти всегда участвуют в этом неприятном процессе. Никто не может избежать судьбы, закодированной в двойной спирали. Большая часть повреждений возникает вновь либо в клетках тела, либо в результате ошибок в родительских сперматозоидах и яйцеклетках. Действительно, большинство беременностей прерываются из-за таких ошибок. Наука дала надежду найти тех, кто подвержен риску наследственных заболеваний, и, возможно, вылечить их. Наконец, мы понимаем, какое значение на самом деле имеет секс, почему мы стареем и умираем, и как природа и воспитание объединяются, чтобы сделать нас такими, какие мы есть.

Больше всего биология изменила наш взгляд на наше место в живом мире. Впервые стало ясно, в каком родстве люди состоят с животными, и когда они впервые появились. Идея, что Человек не эволюционировал, открыта для научного рассмотрения: и хотя креационизм поддерживают миллионы, исследования доказывают, что он ошибочен. Большинство людей считают, что они происходят от более примитивных предков, но было бы трудно заставить их сказать, почему. Как сказал об идее эволюции Томас Генри Гексли, большой поборник Дарвина: "Это обычная судьба новых истин: начаться, как ересь, и закончиться, как суеверие". Генетика спасла дарвинизм от этой участи. Она уничтожила множество старых и сомнительных суеверий. Наконец появилось реальное понимание расы, и древняя идея, что народы мира разделены на четкие единицы, ушла навсегда. Сепаратизм приобрел новую популярность среди групп, стремящихся утвердить свою самобытность, но они не могут призвать гены в поддержку своих взглядов.

Тем не менее, суть научных теорий в том, что они не все могут объяснить. Наука не может ответить на вопросы, которые задают философы (или дети): зачем мы живем, почему мы живем, как мы должны себя вести? Генетика ничего не может сказать о том, что делает людей не просто биологическими машинами, о том, что делает человека человеком. Эти вопросы могут быть интересны, но ученый не более компетентен, чтобы их комментировать, чем кто-либо другой. Генетика че-

ловека страдает от высокого самомнения. На протяжении большей части своей истории она не смогла понять свои собственные границы. Знания принесли в генетику смирение, но ее новые познания поднимают социальные и этические проблемы, которые до сих пор почти не решены.

Эта книга о том, что генетика может (или не может) сказать нам о нас самих. Ее название, "Язык генов", указывает на аналогию, вокруг которой она вращается, на параллели между биологической эволюцией и историей языка.

Наследственность является языковым сообщением во времени, набором инструкций, передаваемых из поколения в поколение. Она имеет словарь — сами гены — грамматику, способ, которым информация организована, и литературу, тысячи инструкции, необходимых для создания человека. Она основана на молекуле ДНК, знаменитой двойной спирали, символе XX века. Иоганн Мишер, швейцарский первооткрыватель этой чудесной субстанции, сам написал в 1892 году, что ее смысл можно передать "так же, как слова и понятия на всех языках можно выразить алфавитом, в котором от двадцати четырех до тридцати букв". Век науки показал, насколько он был прав.

Языки, как и гены, эволюционируют. Каждое поколение делает ошибки в передаче и, рано или поздно, накапливается достаточно различий, чтобы произвести новый диалект — или новую форму жизни. Так же, как живые языки мира и их литературные реликвии проливают свет на своих исчезнувших предков, гены и окаменелости дают представление о биологическом прошлом. Мы научились читать на языке генов, и они говорят замечательные вещи о нашей истории, наших нынешних условиях и даже нашем будущем.

Первое издание этой книги возникло из моих "лекций Райта", прочитанных на радио BBC в начале 1990-х годов. Первым эти лекции стал читать философ Бертран Рассел в 1948 году (и некоторые говорят, что с тех пор их качество снизилось). Я даже не мечтаю сравнить себя с моими прославленными предшественниками, но надеюсь, что та серия лекций — и эта книга — могут быть достойны своих тем, самых увлекательных в современной науке. Возможно, мои лекции хоть немного помогли показать, что BBC все еще может выполнять свои обязательства, изложенные ее основателем, лордом Райтом, учить, информировать и развлекать. Последнее может показаться неожиданным применительно к науке, но оно объясняется большим количеством эксцентричных дураков, украсивших собой историю генетики человека и опозоривших ее. Время от времени они появляются на этих страницах, чтобы как-то оживить бесцветное повествование.

Со времени того первого издания, семь лет назад, генетика (и общественный интерес) бурно росли. То, что тогда было труднодоступно, сегодня с нами. Несмотря на недовольство принца Чарльза, были посажены миллионы акров генетически модифицированных сельскохозяйственных культур, и к клонированной овце Долли, с ее склонностью стоять над кормушкой и третировать подчиненных

овец, присоединились многие другие домашние животные, родившиеся без помощи секса. Некоторые из них содержат гены, создающие белки человека, как утверждение новых, свободных обменных операций в ДНК, позволяющих перемещать гены из любой части живого мира в любую другую. За исключением нескольких примечаний, мы прочли книгу человеческой наследственности. В 2000 году было объявлено, что последовательность оснований ДНК для каждого из генов, необходимых для создания человека, была установлена. Остальное (небольшие обрывки "мусора", как их оптимистично называли) будет прочитано примерно в течение года.

Никто не должен недооценивать эту работу. Невозможное стало обыденностью. Расшифровка ДНК была грандиозной задачей. Короче говоря, она была привилегией профессора (или его техников). Затем наступило время аспирантов, которые, диссертация за диссертацией, добавляли по маленькому кусочку к генетической головоломке. Вскоре машины стали получать яйцеклетки более дешевыми, менее подверженными эмоциональным расстройствам, и гораздо быстрее, чем это делали даже самые преданные студенты. Грубая сила (при содействии изобретательности) восторжествовала, и темпы открытий ускорились в стиле, больше ассоциируемом с компьютерами, чем с биологией. Частично прорыв возник из-за стимулов науки, вооруженной целью и технологией, чтобы их достичь, но частично — из-за попытки заработать миллионы на патентах и конкурентной борьбе за сохранение информации в открытых источниках.

Потребность в денежных средствах и счастливые перспективы породили эпоху преувеличенных надежд и опасений по поводу наследуемости. Гены завладели умами общественности. Отчасти это произошло потому, что они приблизились к ответам на вопросы, которые лежат вне сферы науки в целом; вопросам пола, отличительных черт и судьбы, которые занимали мудрецов со времен Ветхого Завета, самого первого генетического текста. Генетика все более и более активно участвует в общественно-политических вопросах, таких как аборт, клонирование и права человека. Она остро, а иногда и неудобно, фокусирует внимание на медицинских вопросах, с большим интересом к проблемам частной жизни, греховности и природы заболеваний. Многие наследственные заболевания дорогостоящи и трудноизлечимы. Они поднимают неприятные вопросы баланса ответственности между индивидами и популяциями.

Много было потрачено в прошлом десятилетии. Те, кто заплатил за карту генов, стремились получить какую-то отдачу. Воплощение теории на практике может быть трудным. Везалий разобрался в анатомии сердца в 1543 году, но первой операции по пересадке сердца не было до 1967 года. Хотя появление генного трансплантата не займет так много времени, оно дальше, чем большинство людей себе представляет, и одной из важных задач, перед которой стоит генетика (и од-

ной из целей этой книги) является привести общественные запросы в соответствии с реальностью.

Новая генетика кажется (и есть) обманчивой и тревожной. Некоторые из тех, кто к ней причастен, были настолько проворны, что воспользовались наивностью общества и выдали поток обещаний того, что они в скором времени достигнут. Лишь немногие из них были выполнены, а некоторые и не будут. Бизнес молекулярной биологии продвигает ее продукцию, также как любую другую, и четыре буквы генетического кода в настоящее время также можно переформулировать как H, Y, P и E <ОБМАН>. Несмотря на это, в генетике, больше, чем в любой другой науке, фантастика имеет обыкновение превращаться в реальность непредсказуемым образом, хотя давно обещанные прорывы не появляются. На момент моего первого издания, идея, что наследственное заболевание будет вылечено генной терапией, была совсем близкой, какой она и остается. В то время, однако, идея, что животных — возможно, даже людей — можно будет регулярно клонировать, или что длину ДНК можно изменять по своему желанию, казалась невыполнимой. Теперь генная инженерия является бизнесом с миллиардным годовым оборотом.

Самое большое изменение за последние семь лет произошло в отношении к ней. В общественном сознании генетика уже не наука, а вера; проклятие или спасение. Она обещает или угрожает, в зависимости от вкуса. На самом деле, биология немного рассказала нам о людях такого, чего мы не знали раньше. И генетика, и биология были достаточно разрекламированы. Десятки работ теперь предлагают спасение в молекулярном раю или (в зависимости от церкви) вечное проклятие тем, кто спускается по широкой двойной спирали в ад. Некоторые из них описывают последние достижения, но слишком многие описывают тот скучный полумрак науки, населенный социологами, блуждающими, как дети в магазине игрушек, и играющими с механизмами, которые они вряд ли понимают. Биохимия стала ветвью социальных наук и, как говорят некоторые, жизнь будет объяснена в генетических терминах. Многие приветствуют эту идею, некоторые в ужасе, но мало кто останавливается, чтобы обдумать, что она означает, если вообще что-то означает.

Общественности нужна честная информация о том, что наука может, а что не может сделать. Реальность продать сложнее, чем надежды или страхи, но ДНК заслуживает большего, чем Франкенштейны и дети на заказ, которыми полна пресса. Проблемой, на всех уровнях, являются необоснованные ожидания, как позитивные, так и негативные. В этой обновленной версии "Языка генов" я постараюсь охватить большинство успехов, достигнутых со времени выхода первой версии; в картировании ДНК человека, в генетических манипуляциях с растениями и животными, и в наших новых возможностях выявления врожденных заболе-

ваний. Я пытался придерживаться размера книги и выкинул несколько разделов, чтобы дать место для событий последних десяти лет.

С тех пор, как эта работа впервые появилась, моя карьера малаколога уступила место журналистике. Возможно, со временем, генетика человека поможет разобраться в мире улиток, так что этот эпизод отчетов, а не действий, не будет потрачен впустую.

Дж. С. Дж, июнь 2000.

## Введение.

### ОТПЕЧАТКИ ПАЛЬЦЕВ ИСТОРИИ

В 1902 году, в Париже, ужасный убийца был разоблачен выдающимся французским детективом Альфонсом Бертильоном. Он использовал абсолютно новую технологию, которая вселяла ужас во все преступное сообщество. Восемь десятилетий спустя две молодые девушки были убиты в окрестностях Лейстершира. И снова, убийца был найден благодаря техническому прогрессу, хотя механизм, который помог это сделать, был, вероятно, за пределами понимания Бертильона. Эти события связывают рождение и совершеннолетие генетики человека.

Парижский убийца был пойман из-за того, что оставил отпечатки пальцев на месте преступления. Впервые они были использованы как доказательство причастности. Идея пришла из древней Японии, где мастер "подписывал" созданный им глиняный горшок, вдавливая в глину палец. Лейстерширский убийца был обнаружен тем же образом. Новый тест выискивал индивидуальные различия в генетическом материале разных людей. Этот "фингерпринт ДНК" был таким же подтверждением персональной уникальности, как улика Бертильона или отпечаток на горшке. Как это всегда бывает, жизнь оказалась более сложной, чем наука. Убийца, пекарь по имени Колин Питчфорк, был пойман только после того, как фингерпринт ДНК исключил из подозреваемых молодого человека, который сделал ложное признание, и после того, как Питчфорк уговорил друга сдать фальшивый образец крови от его имени.

Идея, что отпечатки пальцев можно использовать для обнаружения преступников, исходит от Фрэнсиса Гальтона, кузена Чарльза Дарвина. Он основал лабораторию, в которой я сейчас работаю, в Университетском колледже Лондона — первый в мире институт человеческой генетики. Каждый день я прохожу мимо коллекции реликвий, связанных с его жизнью. Она включает в себя семена, объясняющие сходства между родителями и потомством, старые выпуски "The Times" и латунное счетное устройство, которое можно спрятать в ладони. Каждая из реликвий напоминает о Гальтоне. В дополнение к его революции в детективной работе, Гальтон был первым человеком, опубликовавшим карту погоды, и единственным, кто сделал карту красавиц Британии на основании таинственной градации местных женщин от одного до пяти (самую низкую оценку, кстати, получили женщины в Абердине).

Его биография указывает на заядлую эксцентричность, которую хорошо иллюстрируют названия десятка из трехсот его научных работ: "Об очках для ныряльщиков"; "Статистическое исследование эффективности молитв", "Орехи и

мужчина", "Обычный приступ волнения"; "Видения здоровых людей" ; "Родословная моли"; "Обонятельная арифметика"; "Три поколения безумных кошек", "Клубничное лекарство от подагры"; "Научные принципы разрезания лепешек"; "Хорошее и плохое настроение в английских семьях", и "Относительная чувствительность мужчин и женщин в задней части шеи". Гальтон много путешествовал по Африке, рассматривая коренное население с некоторым презрением, и измерял ягодицы женщин, используя секстант и принципы топографической съемки.

Работа Гальтона привела, косвенно, к нынешнему бурному росту генетики человека. Он питал особый интерес к наследственности гениев (разряд, к которому он причислял себя). В своей книге 1869 года "Наследственный гений" он исследовал родословную выдающихся людей и обнаружил, что талант имеет тенденцию возникать снова и снова в одной и той же семье. Это, как он полагал, показывает, что способность была врожденной, а не приобретенной. Книга "Наследственный гений" стала первой попыткой установить картину человеческой наследственности с помощью четко определенных свойств — таких как склонность становиться (или не становиться) судьей — а не простыми спекуляциями о неопределенных качествах, таких как безответственность.

Гальтон и его последователи были бы поражены тем, что теперь может сделать биология. Она по-прежнему не понимает таких качеств, как гениальность (и авторитетных ученых вряд ли это заботит), но ДНК активно фигурирует в психических и физических болезнях. С тех пор, как этот тест был изобретен, полмиллиона образцов ДНК были взяты полицией в Великобритании, и у правительства есть план в течение двух десятилетий исследовать гены — и болезни — такого же числа своих граждан в надежде найти биологические ошибки, ответственные за таких убийц, как рак и заболевания сердца. Новые тесты предполагают, что родители иногда могут выбрать, следует ли рисковать рождением ребенка с врожденными дефектами. Известны десятки тысяч таких болезней, и пока мы охватываем, как должны, все болезни с наследственной компонентой, большинство людей умирают из-за генов, которые они несут.

Генетика не просто выявляет судьбу. Люди разделяют большую часть своих наследуемых признаков с другими существами. Как наглядно продемонстрировал сам Гальтон, поставив рядом с соответствующим оттиском отпечаток, сделанный Гладстоуном, премьер-министром, у шимпанзе есть отпечатки пальцев. Теперь мы знаем, что большая часть их ДНК идентична нашей собственной (как, впрочем, и ДНК бананов). Все это говорит о том, что люди и обезьяны — близкие родственники.

Генетика служит ключом к прошлому. Поскольку у каждого гена должен быть предок, наследственное разнообразие можно использовать, чтобы собрать воедино картину истории, более полную, чем из любого другого источника. Каждый сегмент ДНК — это послание от наших предков, и вместе они содержат всю

историю человеческой эволюции. Все живое сегодня является живым ископаемым и несет в себе записи, вновь обращающиеся к рождению человечества. В "Происхождении видов" выражена надежда на то, что "будет пролит свет на происхождение человека и его историю". Намек Дарвина, что люди разделяют общую родословную со всеми другими существами, в настоящее время признан всеми учеными благодаря свидетельству генов.

Эволюция, появление новых форм в результате изменения уже имеющихся — не более, чем наследование с модификацией. То же самое верно для языка. Будучи мальчиком, я был в восторге от рассказа о приказе, переданном командованием солдатам в окопах. "Send reinforcements, we're going to advance" (вести подкрепление, мы собираемся наступать) изменилось на "Send three and four-ence, we're going to a dance" (выслать трех- и четырехпенсовик, мы собираемся на танцы), когда передавалось от человека к человеку. Эта простая история иллюстрирует, как случайность при копировании наследственного сообщения может привести к изменению. Благодаря мутациям жизнь также искажается во время передачи.

Эта книга о наследственности: о ключах к разгадке нашего прошлого, настоящего и будущего, которые в нас содержатся. В языке генов есть простой алфавит, не из двадцати шести букв, а из четырех; оснований ДНК аргинин, гуанин, цитозин и тимин (сокращенно A, G, C и T). Они организованы в трехбуквенные слова, например, CGA или TGG. Большинство кодирует разные аминокислоты, которые сами объединяются, создавая белки, строительные блоки тела.

Экономику языка жизни можно проиллюстрировать необычной цитатой из книги "Гедсби", написанной в 1939 году неким Эрнестом Райтом: "I am going to show you how a bunch of bright young folks did find a champion, a man with boys and girls of his own, a man of so dominating and happy individuality that youth was drawn to him as is a fly to a sugar bowl." (Я собираюсь показать вам, как группа ярких молодых людей действительно нашла чемпиона, человека, имевшего собственных детей, мальчиков и девочек, человека настолько доминирующего и счастливого, что молодежь тянуло к нему как муху к сахарнице.) Это звучит несколько странно, так же, как и остальные пятьдесят тысяч слов книги, и так и есть. В цитате, как и во всем произведении, не хватает буквы "e". Английское предложение может быть записано двадцатью пятью буквами вместо двадцати шести, но с большим трудом. Биология справляется всего четырьмя.

Хотя ее лексика проста, генетическое сообщение очень длинное. В каждой клетке организма содержится около двух метров ДНК. Клеток так много, что можно протянуть всю ДНК из одного человеческого тела до Луны и обратно восемь тысяч раз.

Двадцать лет назад проект "Геном человека" задался целью прочитать все его три миллиарда букв, а также опубликовать, пожалуй, самую скучную книгу из

тех, что когда-либо были написаны, равную приблизительно дюжине копий "Британской энциклопедии". Сейчас эта задача более или менее выполнена. Секвенаторы следовали великим научным традициям: адмиралтейство, в конце концов, послало в Южную Америку "Бигль" с Дарвином на борту не потому, что его интересовала эволюция, а потому, что там знали, что если они должны были понимать (и, если повезет, контролировать) мир, первым шагом надо было нанести его на карту. Создать карту генов, как и карту Америки, было дорого, но — как и сама теория эволюции — она может изменить наше самосознание.

Мощные идеи, такие как наследственность и эволюция, вскоре притягивают мифы. Под впечатлением своего исследования гениев, Гальтон основал науку (если это правильное слово) евгенику. Её основной целью было "контролировать частоту рождений неприспособленных и улучшить расу, содействуя продуктивности приспособленных, с помощью ранних браков наилучших особей". Он завел новую область генетики человека в тупик, из которого она не выходила в течение полувека. К моменту своей смерти, он оставил 45 000£ на основание Национальной лаборатории Евгеники в Университетском колледже Лондона и, в прекрасной викторианской традиции, 200£ своему слуге, который служил ему в течение сорока лет. Его научно-исследовательский институт вскоре сменил свое название на Лабораторию Гальтона, чтобы избавиться от евгенической заразы. Что стало с его слугой, не отмечается.

Социальные идеи Гальтона и эволюционные идеи Дарвина оказали глубокое влияние на интеллектуальную историю XX века. Они влияли на левых и правых, либералов и реакционеров, и продолжают — в явной или иной форме — это делать. Идеи многих личностей восходят к "Происхождению видов" и "Наследственному гению". Всех их объединяет одна вера: в биологию, как судьбу, и во власть генов над теми, кто их несет. Самый известный памятник на кладбище Хайгейт в Лондоне, в нескольких милях к северу от нынешней лаборатории Гальтона — памятник Карлу Марксу. Надпись на нем хорошо известна: "Философы лишь объяснили мир. Однако дело заключается в том, чтобы его изменить". Дарвинизм вскоре был использован в попытке оправдать эти притязания. Философ Герберт Спенсер, похороненный сразу через дорожку от Маркса, основал то, что он назвал социальным дарвинизмом; представление, что бедность и богатство неизбежны, поскольку они отражают биологические правила, которые управляют обществом. В свое время Спенсер был знаменит. В его некрологе в "Таймс" утверждалось, что "Англия потеряла наиболее широко известного и влиятельного из своих сыновей". Теперь его вспоминают только за его круговую фразу, "выживание наиболее приспособленных" и за изобретение слова "эволюция".

Он писал с ясностью истинного философа: "Эволюция есть интеграция материи и сопутствующее ей рассеяние движения, причем материя переходит из состояния неопределенной, некогерентной однородности к определенной, связанной

разнородности, посредством постоянной дифференциации и интеграции". Эти ясные строки пародировали современные математики: "Переход от беспредельно-желаемой, обсуждению неподлежащей всеобщеподобности к почему-то и в целом обсуждению подлежащей всеобщеподобности благодаря непрерывной чемни-будущести и друг друга поддерживаемости".

Спенсер использовал "Происхождение видов" для логического обоснования перегибов капитализма. Стальной магнат Эндрю Карнеги был одним из многих, кого поразила идея, что эволюция оправдывает несправедливость. Он пригласил Герберта Спенсера в Питтсбург. К сожалению, ответом философа на поездку, где он увидел свою теорию, воплощенную в стали и бетоне, было, что "шестимесячное пребывание здесь могло бы довести до самоубийства".

Гальтон тоже поддержал идею разведения от лучших и стерилизации тех, чья наследственность не получила его одобрение. Евгеническое движение приобщило к нежной заботе о нерожденных, жестко отказывая в правах живущим (сочетание, довольно известное сегодня). Основным интересом Гальтона в генетике было средство предотвращения неминуемого вырождения человеческой расы. Он утверждал, что в семьях "гениев" было меньше детей, чем в большинстве других, и был обеспокоен тем, что это означает для будущего. Долгом человека было вмешаться в свою собственную эволюцию. Как он сказал: "То, что природа делает слепо и безжалостно, человек может сделать предусмотрительно, быстро и доброжелательно". Возможно, его беспокойство объясняется его собственным бездетным состоянием.

Многие евгеники обладали хорошо наследуемыми качествами: богатством, образованием и социальным положением. Фрэнсис Гальтон получил свое богатство от своей семьи квакеров-оружейников. Большую часть его интересов составляло выживание самых богатых. Другие евгеники были левыми. Они считали, что, если экономика могла быть плановой, то могли и гены. Джордж Бернанд Шоу, на встрече, где присутствовал Гальтон в свои последние годы, утверждал, что "Мужчины и женщины выбирают жен и мужей гораздо менее тщательно, чем они выбирают своих кассиров и поваров". Позднее он писал, что "искоренение должно быть поставлено на научную основу, если оно когда-либо будет реализовано, гуманно, с извинениями, но тщательно". Шоу, без сомнения, играл свою роль "плохого мальчика" при аристократии, но последующие события сделали его дурачество, похоже, еще менее забавным, чем это было в то время.

Иногда такие взгляды воплощались в жизнь. В Парагвае есть изолированная деревня с необычным названием: Nueva Germania, Новая Германия. У многих из ее жителей светлые волосы и голубые глаза. Их имена не испанские, но, чаще всего, Шуттэ или Нейман. Они являются потомками эксперимента; попытки улучшить человечество. Их предков выбрала из народа Саксонии в 1886 году Элизабет Ницше (сестра философа, который сам произнес бессмертную фразу: "Что в мире

причиняло больше страдания, чем безумства сострадательных?"), как особенно замечательных представителей, отобранных для чистоты крови. Эта идея была предложена Р. Вагнером (который когда-то планировал посетить это место). В Новой Германии ожидалось найти сообщества, столь отличные в своем генофонде, что они были бы семенами новой расы сверхлюдей. Элизабет Ницше умерла в 1935 году, и сам Гитлер плакал на ее похоронах. Сегодня люди в Новой Германии бедны, имеют признаки вырождения и больны. Их Утопия потерпела неудачу.

Движение евгеники имеет влияние и в других странах Нового Света. В 1898 году Чарльз Давенпорт, в ту пору профессор эволюционной биологии в Гарварде, был назначен директором Лаборатории в Колд-Спринг-Харбор на Лонг-Айленде. Первоначально лаборатория сосредоточилась на изучении нормальных вариаций животных в гавани, озерах и лесах, и появлении аномалий. Она проводила важные работы по биологии в начале двадцатого века.

Вскоре миссис Гарриман, вдова железнодорожного миллионера, решила отдать часть своего состояния на изучение улучшения человека. Рядом с первоначальной лабораторией был построен Государственный архив евгеники. Двести сотрудников архива были разосланы, чтобы собирать родословные. В его 750 000 генетических документах содержались исследования наследственных заболеваний и дальтонизма, но также регистрировалось наследование застенчивости, нищеты, кочевого образа жизни и морального контроля.

Работа Давенпорта оказала важное влияние на американское общество. Первые годы XX века выдали евгенические клубы с призами для наиболее приспособленных семей, и впервые медицина обеспокоилась, перевешивает ли ее долг перед будущим интересы тех, кто живет сегодня. В стиле Гальтона, Давенпорт заявил, что: "Общество должно защищать себя; как оно утверждает свое право лишить жизни убийцу, так же оно может уничтожить отвратительного змея безнадежно плохой протоплазмы". Двадцать пять тысяч американцев были стерилизованы, потому что они могли передать слабоумие или преступность будущим поколениям. Один судья сравнил стерилизацию с вакцинацией. Общее благо, сказал он, перевешивает права личности.

У другого политического лидера были похожие взгляды. "Неестественный и все более быстрый рост слабоумных и душевнобольных классов, в сочетании, фактически, с постоянными ограничениями среди всей хозяйственной, энергичной элиты, является национальной и расовой опасностью, которую невозможно преувеличить. Я чувствую, что источник, питающий поток этого безумия, должен быть перекрыт и удален в ближайший год". Таковы были слова Уинстона Черчилля, когда он был министром внутренних дел в 1910 году. Считалось, что его убеждения настолько взбудоражили более поздние британские правительства, что они никогда не публиковались до 1992 года.

Одним из последователей Гальтона был немецкий эмбриолог Эрнст Геккель. Геккель был страстным сторонником эволюции. Он предложил идею (которая позже оказала влияние на Фрейда), что каждое животное повторяет свое эволюционное прошлое в ходе эмбрионального развития. Его интерес к Гальтону и Дарвину, и его вера в наследственность как судьбу, побудила его основать Лигу монистов, которая перед Первой мировой войной насчитывала тысячи членов. Он выступал за применение биологических правил к обществу и за выживание некоторых рас — с лучшей наследственностью — за счет других. Геккель утверждал, что социальные правила были естественными законами наследственности и адаптации. Эволюционной судьбой немцев было победить неполноценные народы: "Немцы отошли дальше всего от распространенной формы обезьяноподобного человека. Низшие расы психологически ближе к животным, чем к цивилизованным европейцам. Следовательно, мы должны определить совершенно другую ценность для их жизней."

В 1900 году производитель оружия Крупп предложил большую премию за лучшее эссе о том, "что может теория эволюции сказать нам о внутривидовом развитии и законодательстве государства?" Было шестьдесят претендентов. Несмотря на интересы капитала, первая немецкая евгеническая стерилизация проводилась врачом-социалистом (хотя и таким, который утверждал, что профсоюзные лидеры с большей вероятностью были блондинами, чем их последователи).

Находясь в заключении после Пивного путча, Гитлер читал стандартный немецкий текст о генетике человека "Принципы человеческой наследственности и расовая гигиена" Евгения Фишера. Фишер был директором Берлинского института антропологии, наследственности человека и евгеники. Один из его ассистентов, Йозеф Менгеле, позже достиг определенной известности за свои попытки применить идеи Гальтона на практике. Книга Фишера содержала леденящую душу фразу: "Вопрос качества нашего наследуемого генофонда" — сказал он — "в сто раз более важен, чем спор о капитализме или социализме".

Его мысли были отражены в "Mein Kampf": "Кто в физическом и моральном отношении недостаточно здоров, тот не смеет увековечивать свою болезнь в организме своего ребенка". Гитлер утвердился в этом своем ужасном заключении, с убийством тех, кого он считал менее подходящими для воспроизводства от лучших. К задаче отнеслись серьезно, стерилизовав четыреста тысяч из тех, кого считали недостойными передавать свои гены, иногда тайно используя рентгеновские лучи, когда жертвы заполняли анкеты. Те, кто был ответственен за программу в Гамбурге, подсчитали, что одна пятая часть его населения заслуживает быть обработанной таким образом.

К 1936 году в "Немецком обществе расовой гигиены" было более шестидесяти филиалов, и докторантуры по расовой науке были в нескольких немецких университетах. Некоторые народы, утверждали они, были отсталыми из-за их

наследственности. Половина из присутствовавших на конференции в Ванзее (кто вынес окончательное решение по еврейскому вопросу) имели докторские степени, и многие оправдывали свои преступления с точки зрения науки. Евгеническое движение в Германии выступало против аборт (за исключением неприспособленных), и ввело суровые наказания — до десяти лет лишения свободы — любому врачу, достаточно опрометчивому, чтобы их проводить. Количество детей, рожденных женщинами из проверенного поголовья, увеличилось на 1/5. Гитлеровское сочетание крайне правых взглядов с одержимостью чистотой расы и ненавистью к аборт имеет свои отголоски и сегодня.

Забота о чистоте немецкой крови достигла абсурда. Одному неудачливому члену национал-социалистической партии перелили кровь от еврея, после того как он попал в аварию. Он предстал перед дисциплинарным судом для рассмотрения, должен ли он быть исключен из Партии. К счастью, донор воевал в последней мировой войне, поэтому его еврейские эритроциты были (почти) пригодными.

Катастрофа нацистского эксперимента положила конец движению евгеники, по крайней мере, в его примитивной форме. Его позорное прошлое означает, что генетика человека отмечена отпечатками пальцев своей собственной истории. Иногда кажется, их трудно стереть. Их нельзя забывать сейчас, когда человек впервые стал способен контролировать биологическое будущее.

Гальтон и его последователи считали, что свободны изобрести науку, которая согласуется с их собственными предрассудками. Они верили, что долг перед генами перевешивает долг перед теми, кто их несет. Их переполняла необычайная самоуверенность, и их взглядам придавался большой вес, хотя, оглядываясь назад, очевидно, что они почти ничего не знали.

Сегодня новые знания столь же противоречивы, какими были старые заблуждения. Тем не менее, современные биологи спорят не о расплывчатых общих вопросах, которыми были одержимы их предшественники. Вместо этого их заботит судьба людей, а не всего человечества. Генетика стала наукой и, как наука, сузила свои горизонты.

Тем не менее, она поднимает этические вопросы, которые остаются. Газеты полны дебатами о моральной стороне генной терапии или клонирования человека, не выявивших никаких признаков воплотиться в реальность. Тем не менее, внутриутробная диагностика дефектных генов уже сместила баланс между родами и абортами, и количество больных детей сократилось. Это разжигает страсти, от тех, кто чувствует — несмотря на высокие естественные потери оплодотворенных яйцеклеток — что все зародыши священны, до тех, кто считает, что передавать дефектный ген — все равно, что жестоко обращаться с детьми. Генетика преподносит более универсальные трудности — проблемы познания. Вскоре она скажет многим из нас, как и когда мы умрем. Уже, можно диагностировать при рождении

гены, которые убьют человека в детстве, молодости или среднем возрасте. Многие скоро будут обнаружены. Захотят ли люди знать, что они подвергаются опасности заболевания, которое нельзя излечить? Многие гены проявляют свое действие в тех, кто наследует поврежденную ДНК от каждого из родителей. Поскольку каждый может передать одну копию хотя бы одного такого гена, поможет ли это выбрать партнера или принять решение, иметь ли детей? Отношение к врожденным заболеваниям разное. В Гане дети иногда рождаются с дополнительными пальцами на руках или ногах. Некоторые племенные группы не обращают на них внимание, другие радуются, поскольку это означает, что новый член семьи станет богатым, а третьи, всего в нескольких километрах, рассматривают таких детей с ужасом и топят их при рождении. Даже христианство рассматривало генетических неудачников как не совсем людей. Сам Мартин Лютер заявлял, что сямские близнецы были монстрами без души. Отношение к генетике всегда будет находиться под влиянием отношения к абортам, которое меняется в зависимости от времени и места. Святой Августин рассматривал утробный плод как часть его матери, не заслуживающую защиты, и, несмотря на свои нынешние взгляды, католическая церковь не осуждала аборты до тринадцатого века. В Ирландии есть конституционная статья, которая устанавливает право на жизнь нерожденного ребенка, в то время как по другую сторону Ирландского моря при необходимости до третьего месяца можно сделать аборт. Исследования эмбрионов (которые стали важными, когда было открыто, что эмбриональные клетки могут быть использованы для лечения заболеваний взрослых) запрещены в Германии, но лишь слегка контролируются в Великобритании. Все это показывает, как трудно определить этические рамки для новой биологии.

Проблему можно проиллюстрировать, установив некоторым старомодным способом биологическое различие. Всегда было предубеждение против некоторых генов, расположенных на хромосомах, которые определяют пол. У женщин есть две хромосомы "X", у мужчин одна X-хромосома и гораздо меньшая "Y". Во всех яйцеклетках есть X, но сперматозоиды бывают двух видов, X или Y. При оплодотворении и мужские XY, и женские XX производятся в равном количестве. Пол в такой же степени является продуктом генов, как и группа крови.

То, какую ценность присуждают этим генам, показывает, как биологический отбор может зависеть от обстоятельств. Иногда Y-хромосомы, похоже, стоят меньше, чем X. Когда дело доходит до войны, убийств и казней, мужчины всегда были более приемлемыми жертвами, чем женщины. Но баланс может изменяться. Многие родители отдают предпочтение сыновьям, особенно первенцам. Некоторые даже пытаются этого достигнуть. Рецепты разнятся от героев до одаренных. В Древней Греции советовали перевязывать левое яичко, чтобы достичь необходимого эффекта, в то время как средневековые мужья пили вино и львиную кровь перед совокуплением под полной луной. Менее радикальные методы включали

секс при северном ветре и вывешивание чьих-то трусов на правой стороне кровати.

Продажа пола — легкий способ заработать деньги. Она, как-никак, гарантирует пятьдесят процентов успеха. Сегодняшние методы варьируются от использования пищевой соды или уксуса в подходящий момент (чтобы воспользоваться предполагаемой разницей в сопротивлении X- и Y-несущих сперматозоидов к кислотности и щелочам) до секса в определенное время женского цикла. Диета с высоким или низким содержанием соли также, говорят, помогает. Такие рецепты бесполезны, и против некоторых из тех, кто их продает, было возбуждено уголовное дело за мошенничество. Теперь мошенничество вышло из употребления. Пол можно выбрать многими способами. Один заключается в разделении X и Y сперматозоидов и оплодотворении женщины соответствующим типом. Эти методы не являются стопроцентными, но смещают соотношение примерно два к одному для мужчин и четыре к одному для женщин. Со времен Луизы Браун в 1978 году тысячи детей были рождены путем искусственного оплодотворения, с помощью добавления сперматозоида к яйцеклетке в пробирке. Можно взять из эмбриона одну клетку и определить его пол (и действительно, поскольку молодые мужские эмбрионы растут быстрее, просто нужно выбрать наибольший эмбрион, чтобы сместить процент мужчин). Только эмбрионы нужного пола имплантируются матери. Этот метод привел к рождению сотен детей.

Прерывание беременности является способом с большей гибелью, но не менее эффективным для выбора пола ребенка. Сам Аристотель считал, что мужской плод должен быть защищен от аборта после сорока дней, но женский только после девяти. Недавний опрос самих генетиков показал, что в Голландии никто не пойдет на прерывание беременности, только чтобы выбрать пол будущего ребенка, в Великобритании это сделал бы каждый шестой, а в России девять из десяти. Индийское правительство было вынуждено закрыть клиники, которые выбирали пол ребенка, проверяя хромосомы плода и убивая тех, у кого две X-хромосомы. Только в Бомбее по этой причине прерывались более двух тысяч беременностей в год. Главной причиной была необходимость большого приданого дочери, когда ее выдавали замуж. В рекламе говорится: "Потрать шестьсот рупий сейчас, сэкономишь пятьдесят тысяч потом". Таким предпочтением было и раньше. Посетившие в девятнадцатом веке Варанаси писали, что "любого младенца женского пола, рожденного в семье раджи от законной жены, или Рани, топят сразу при рождении в яме, наполненной молоком. Более века правила предписывали многим женам правителей не иметь взрослых дочерей. Правительство в настоящее время платит премию за младенцев женского пола, но в некоторых штатах в настоящее время приходится по четыре женщины на пять мужчин, и в стране в целом есть дефицит девочек и женщин, равный всему женскому населению Британии.

Все эти методы затрагивают гены. Их приемлемость варьируется от умеренно нерезонансного выбора сперматозоидов до преступлений, связанных с убийством девочек. Где провести черту — зависит от собственной социальной, политической или религиозной принадлежности каждого; от того, насколько приемлемыми могут быть взгляды на то, что судьба должна зависеть от биологических достоинств. Все читатели этой книги, я думаю, ненавидят детоубийство, и большинство может чувствовать, что прервать беременность только потому, что эмбрион не того пола, тоже неправильно. Их может меньше беспокоить крохотный отбор X или Y сперматозоидов.

Выбор пола ребенка, однако, может предполагать не только потворство желаниям родителей. Иногда это вопрос жизни и смерти. Многие наследственные заболевания переносятся на X-хромосоме. У большинства девочек ненормальная X-хромосома маскируется нормальной копией. У мальчиков такой вариант отсутствует, так как у них лишь одна X-хромосома. По этой причине, сцепленные с полом аномалии, как их называют, гораздо чаще встречается у мальчиков, чем у девочек. Они могут быть огорчительными. Мышечная дистрофия Дюшенна — это разрушительное заболевание мускулов. Симптомы могут появиться даже у трехлетних, страдающие ею дети должны носить скобы в ногах в возрасте семи лет, часто быть прикованными к инвалидной коляске в одиннадцать, и могут умереть в возрасте до двадцати пяти лет. Родители, которые видели одного из своих сыновей умирающим от мышечной дистрофии, находятся в мучительном положении, зная, что у любого более позднего сына есть один шанс из двух это унаследовать. Пары, у которых был сын с этой болезнью, вряд ли можно обвинять в желании убедиться, что никто из более поздних детей ею не затронут. Они надеются контролировать качество своего потомства, и мало кто их будет за это критиковать. Генетика изменила их этический баланс.

Если у пары есть сын с мышечной дистрофией, они сразу знают, что этот ген несет мать. Вероятность, что у второго сына будет эта болезнь, следовательно, гораздо больше, чем раньше. Она все еще равна один к двум, так что прервать беременность мальчиком означает реальную возможность потерять нормального мальчика. Даже те, кому не нравится идея выбора пола ребенка с помощью X-несущих сперматозоидов, в этих обстоятельствах могут изменить свое мнение. Другие пошли бы дальше и приняли вариант внешне оплодотворенных эмбрионов или прекращение всех беременностей, которые производили бы сына.

Теперь такие варианты стали более точными. Ген мышечной дистрофии был обнаружен, и изменения в ДНК могут показать, несет ли его плод. В сотнях центров используют этот тест. Но метод далек от совершенства. Ген может испортиться многими способами, и не все из них обнаруживаются. Плод, который появляется нормальным, может, следовательно, в некоторых случаях, нести этот ген. Это усложняет решение родителей о том, следует ли продолжать беремен-

ность. Пробы зародышевых тканей также несут в себе определенную опасность. Их стало меньше по мере улучшения технологий, с проверкой зародышевых клеток в крови матери, но риск этого теста сам по себе должен быть взвешен на весах морали.

Поскольку мы все больше узнаем о генах, которые вызывают смерть не при рождении или в подростковом возрасте, а в среднем возрасте или старости, дилемма усугубляется. Учитывая эту возможность, некоторые могут избежать рождения ребенка, обреченного на слабоумие из-за болезни Альцгеймера на пятом десятке. Другие утверждают, что сорок лет жизни нельзя списывать со счетов, и что за четыре десятилетия науки лечение может быть найдено.

Решение о будущем еще не родившегося ребенка будет, как следствие, все больше и больше зависеть от оценки рисков и качества: от того, зависят ли права плода от его генов. Такие оценки представляют собой не только решения ученых, но зависят от общества и людей, которые их выносят. Фиаско движения евгеники привело к понятному нежеланию даже рассматривать идею о правах, основанных на унаследованных достоинствах, но новые знания говорят о том, что это неизбежно.

Сам Гальтон был бы в восторге от идеи предотвращения рождения дефективных людей. Новая евгеника может носить скрытый характер. Газета "Жэньминь Жибао" откровенна в своих взглядах. Она сообщала о планах запретить браки лицам, страдающим психическими болезнями, если они не были стерилизованы, с грубым, упрощенным представлением о менделизме: "Идиоты рожают идиотов!" — евгенический тезис, часто оправдываемый финансовыми соображениями. На Полуторавековой выставке в Филадельфии в 1926 году Американское евгеническое общество выставило стенд, отсчитывающий по 100 долларов в секунду, которые, как предполагалось, тратятся на людей с "плохой наследственностью". Шестьдесят лет спустя, один сторонник плана секвенирования генома человека утверждал, что проект будет окупаться, "вылечивая" шизофрению — он имел в виду прерывание беременностей, несущих пока еще гипотетический и неоткрытый ген заболевания. 1930-е годы были периодом финансовых трудностей для здравоохранения. Прошло уже семьдесят лет, государство по-прежнему стремится ограничить суммы, расходуемые на медицину, перед лицом неумолимого роста затрат, причем врожденные заболевания — одни из самых дорогих. Есть новая опасность, что генетика будет использоваться в качестве предлога для дискриминации в отношении инвалидов с целью экономии средств.

Генетика — и наука в целом — обязана своим успехом тому, что она упрощаема: что для того, чтобы разобраться в проблеме, она помогает разбить ее на составные части. Проект генома человека знаменует собой крайнее воплощение такого взгляда. Этот подход хорошо работал в биологии, пока он действовал, но

он действовал только до настоящего времени. Его границы прослеживаются в печально известной среди Британских политиков фразе бывшего премьер-министра Маргарет Тэтчер: "Нет такого понятия, как общество, есть только личности". Неудачи ее философии повсюду вокруг нас. Сказав вслед за Гальтоном и его последователями "нет людей, есть только гены", можно попасть в ту же ловушку.

Несмотря на уроки прошлого, наблюдается возрождение опасного и античного мифа, что биология может объяснить все. Некоторые опять начали утверждать, что нас контролирует наша наследственность. Они продвигают своего рода биологический фатализм. Человечеством, говорят они, движет его наследственность. В неловком положении оказываются те, кто не признают это из собственных слабостей. Такой новый гальтонизм предполагает, что человеческое существование запрограммировано, и что, кроме немногих выборочных прерываний беременности, нет никакого смысла в любой попытке его изменить — что удобно для тех, кто любит вещи такими, какие они есть.

После Второй мировой войны генетика, похоже, наконец-то начала признавать свои собственные пределы и вырываться из своих границ как пристанища одержимых. Большинство из тех, кто работает в этой области сегодня, осторожно утверждает, что сущность человечества заключается в ДНК. Хотя она может рассказать о себе удивительные вещи, генетика является одной из немногих наук, которая умерила свои ожидания.

В средневековой Японии наука дактиломантия — определение личности по отпечаткам пальцев — считала, что люди со сложными узорами были хорошими мастерами, у людей со множеством петель не хватало настойчивости, а те, чьи пальцы имели дуговой узор, были грубыми, безжалостными личностями. Генетика человека покинула свои дактиломантные корни. Похоже, чем больше мы узнаем о наследовании, тем больше в нем такого, что мы должны узнать. Тень евгеники еще не исчезла, но слабее, чем была. Теперь, когда генетика созрела как предмет, она начинает показывать необычный портрет того, кто мы есть, какими мы были и какими можем стать. Эта книга о том, что содержится в этой картине.

## Глава первая.

### ПОСЛАНИЕ ОТ НАШИХ ПРЕДКОВ

Богатые были первыми "генетиками". Для них расплывчатого документа об их унаследованной важности было не достаточно. Им были нужны — и они наделили себя — твердыми символами богатства и влиятельности, которые могли сохраняться, когда те, кто их придумал, были давно мертвы. Лев еврейского колена Иуды был, до недавнего времени, символом императора Эфиопии, тогда как английская символика происходит от львов, полученных Жоффруа Плантагенетом в дар в 1177 году. Фетиш происхождения означает, что королевские семьи играют важную роль в генетике (принц Чарльз, например, имеет 262 142 предка, записанных в его родословной). Эта одержимость сохраняется, несмотря на все попытки это отрицать. Гербовика была прервана американской революцией, но сам Джордж Вашингтон пытался установить связь с Вашингтонами Нортгемптонширскими и использовал, незаконно, их пятиконечные звезды в качестве экслибриса.

Гербовические символы были изобретены потому, что только тогда, когда прошлое сохраняется, оно имеет смысл. Большую часть истории богатства растрачивались на погребальные украшения, чтобы напоминать нерожденным, откуда они возникли. В Университетском колледже Лондона содержится причудливый объект; чучело философа Джереми Бентама (который был тесно связан с колледжем при его основании). Бентам надеялся ввести моду на такие "само-иконы" в надежде на снижение стоимости памятников умершим. Мода не прижилась, хотя популярность его трупа у посетителей предполагает, что должна была. Такая гордость за свой род теперь встречается, в основном, с насмешкой. Гарольд Уилсон, премьер-министр Великобритании в 1960-х, делал именно это, когда издевался над своим предшественником, лордом Хьюмом, за то, что тот был Семнадцатым графом своей фамилии. Лорд Хьюм парировал шутку, отметив, что его критик, должно быть, семнадцатый мистер Уилсон. Его претензии были обоснованы: несмотря на то, что лишь немногие сохранили свою родословную демонстративным образом, каждая семья, аристократическая или нет, сохраняет записи о своих предках. Любой человек, несмотря на неполноту истории, может расшифровать свое прошлое, изложенное в ДНК.

Некоторые могут использовать унаследованные аномалии. Форма юношеской слепоты, называемая наследственной глаукомой, встречается во Франции. Записи церковного прихода показывают, что большинство случаев происходят от пары, которая жила в деревне Wiert-Effroy неподалеку от Кале в пятнадцатом веке. Даже сегодня паломники молятся в деревенской церкви святой Годелины, где содержится цистерна воды, которая, как полагают, вылечивает слепоту. Были

прослежены тридцать тысяч потомков, и для многих диагнозов этого заболевания был первой подсказкой о том, откуда пришли их предки, и кем могли быть их родственники. Ген переехал с французскими эмигрантами в Новый Свет.

Генетика человека до недавнего времени ограничивалась изучением родословных, которые выделялись среди других, поскольку они содержат врожденные заболевания. Её способность прослеживать родословную ограничивалась теми немногими родственниками, которые, казалось, отклонялись от некоторой совершенной формы. Биология в настоящее время показывает, что совершенство — это мираж, и что вместо этого миром правят вариации. Тысячи особенностей — нормальных различий, а не болезней — отличают каждую нацию, каждую семью и каждого человека. Все, живущие сегодня, отличаются от всех, кто когда-либо жил или когда-либо будет жить. Такие вариации можно использовать, чтобы посмотреть на общую родословную в любой линии, здоровой или больной, аристократической или плебейской. Каждый современный ген протягивает нить от родителей, бабушек и дедушек, от самых древних людей, живших сто тысяч и более лет назад, и от происхождения жизни четыре миллиарда лет назад.

Большая часть генетики — всего-навсего поиск различий. Некоторые различия можно увидеть невооруженным глазом. Другие нуждаются в самых изощренных методах молекулярной биологии. В качестве примера, насколько различны все люди, мы можем глубже взглянуть на особенности нашей внешности, чтобы поинтересоваться различиями в том, как мы воспринимаем мир и как мир воспринимает нас.

Очевидно, что люди не очень похожи друг на друга. Унаследовать внешность не просто. Цвет глаз зависит в первую очередь от того, присутствует ли какой-либо пигмент. Если ни один не вырабатывается, глаза будут светло-голубыми. Другие различаются по количеству пигмента, создаваемого несколькими различными генами, так что цвет не является надежным способом определить, кто был отцом конкретного ребенка. Наследование типа волос также довольно сложное. Кроме очень светлых или очень рыжих волос, генетика остальной части диапазона сбивает с толку и осложняется еще и эффектом возраста и воздействия солнца.

Даже обычный тест показывает, что люди различаются и в других отношениях. Высуньте язык. Вы можете свернуть его в трубочку? Около половины людей европейского происхождения могут, а половина не может. Сцепите руки. Какой палец сверху? Опять же, около половины населения загибают большой палец левой руки над пальцем правой и около половины делают это по-другому. Эти особенности работают в семьях, но их наследование, как и внешность, непредсказуемо.

Люди различаются не только тем, как мир видит их, но как они видят мир. Некоторые из них дальтоники. У них отсутствуют рецепторы красного, зеленого

или синего света. Все три необходимы, чтобы воспринимать весь спектр цветов. Отсутствие (или повреждение) одного (обычно, зеленого, реже красного, синего почти никогда) приводит к умеренным нарушениям, которые могли иметь значение при сборе пищи в древние времена. Сейчас отслежены три гена, задействованные в этом. Гены красного и зеленого схожи и разошлись не так давно, тогда как синий рецептор самобытен. Джон Дальтон, более известный своей атомистической теорией, сам был таким дальтоником, что равнял красный сургуч с листьями (что должно было создавать трудности для химика). Он считал, что его собственные глаза содержат синий светофильтр, и попросил, чтобы их исследовали после его смерти. Их исследовали и никакого фильтра не нашли, но полтора века спустя проверка ДНК его заспиртованных глазных яблок показала, что у него не хватало зеленого светочувствительного пигмента.

Цветовая слепота характеризует крайность в системе нормальной вариации восприятия. Если попросить смешать красный и зеленый свет, пока они не перешли в стандартный оранжевый, люди делятся на две группы, отличающиеся по тону выбранного ими красного света. Есть два различных рецептора красного, которые отличаются одним изменением в ДНК. Около шестидесяти процентов европейцев имеют одну форму, сорок процентов другую. Обе группы нормальны (в том смысле, что не испытывают физических недостатков), но одни смотрят на мир через гораздо более розовые очки, чем другие. Отличие небольшое, но заметное. Если бы два человека с различными красными рецепторами должны были выбрать куртку и брюки для Деда Мороза, было бы заметное несоответствие между верхней и нижней половиной.

В 1930-х годах производитель формочек для льда был удивлен, получив жалобу, что его формочки делают лед с горьким вкусом. Это озадачило предпринимателя, поскольку, по его мнению, лед был как лед, но был намек на наследственные различия в способности различать вкус. Для некоторых следы вещества, используемого в производственном процессе, невыносимы, а для других в тысячу раз большие концентрации не имеют вкуса вообще. В основном разница зависит только от одного гена, который существует в двух формах. Этот результат наблюдений, способность или неспособность воспринимать вещества, теперь называемая PROP, была ключом к новому миру вкуса. Генетические "супердегустаторы" очень чувствительны к хмелю в пиве, к острым овощам, таким как брокколи, к сахару и специям, в то время как не-дегустаторы едва их замечают. Половина населения Индии не может вообще опознать на вкус эти химические вещества, но их не может различить только один из тридцати африканцев. Студенты в мое время считали остроумным сделать чай, содержащий PROP, чтобы увидеть недоумение тех, кто мог его выпить, и тех, кто не мог. Сегодняшние студенты более здравомыслящи.

Как знают охотники за трюфелями, аромат и вкус связаны между собой. Существуют генетические вариации в способности чувствовать, среди прочего, запах пота, мускуса, цианистого водорода и запах фрезии. Многие животные общаются друг с другом с помощью носа. Самка мыши может по запаху не только распознать самца, но и насколько в близком родстве он может состоять. У людей также есть пахучие отличительные особенности, поскольку полицейским собакам труднее отделить следы идентичных близнецов (у которых все гены общие), чем следы неродственных людей. У человека больше ароматических желез, чем у любого другого примата, что, вероятно, является пережитком некоторой уникальности в запахе, которая утратила свое значение в мире, наполненном зрением. Связь между полем и ароматом создает у нас редкое врожденное заболевание, которое предотвращает рост половых органов и уничтожает обоняние, предполагая, что эти две системы имеют общий путь развития в раннем эмбрионе.

Вариации в том, как мы выглядим, видим, ощущаем запах и вкус - это лишь крошечная часть мира различий. Гены, позволяющие мышам узнавать друг друга по запаху, являются частью более крупной системы выявления посторонних. Угроза заражения означает, что каждое существо всегда находится в конфликте с внешним миром. Иммунная система определяет, чего нужно избегать. Она отличает "себя" от "не себя" и создает защитные антитела, которые взаимодействуют с антигенами (химическими ключами от родной или чужой молекулы), чтобы определить, допускать то или иное вещество или нет. Из миллионов антител каждое распознает один антиген. Клетки несут собственные антигены, что с большой точностью отделяет каждого от его товарищей. Антигены — намек на множество уникальных особенностей под нежной поверхностью человеческого рода.

Если кровь двух людей смешать, она может превратиться в липкую массу. Этот процесс контролируется системой антигенов, называемой группой крови. Только определенные комбинации могут быть смешаны успешно. Некоторые группы, АВО и резус, например, хорошо знакомы, в то время как другие, такие как Даффи и Келл, несколько меньше. Из-за их роли в переливании крови были протестированы миллионы людей. Десятки систем проверяются на регулярной основе, и каждая выступает в ряде форм. Эта небольшая выборка генов порождает большое разнообразие. Шансы двух англичанин иметь одну и ту же комбинацию из двенадцати групп крови составляют лишь около одного к трем тысячам. Шансы англичанина и валлийца еще меньше; а англичанина и африканца еще меньше.

С открытием групп крови и других сигналов на поверхности клеток произошла техническая революция. Как и революция каменного века миллионы лет назад, она обусловлена простыми инструментами, которые могут быть использованы во многих отношениях. ДНК разных людей теперь можно сопоставить по буквам, чтобы проверить, насколько мы уникальны. Проект "Разнообразие генома человека" — это дочерний проект основной работы по картированию, в котором

были протестированы тысячи людей. В среднем, и в зависимости от того, какой фрагмент ДНК проверяется, два человека отличаются примерно одной или двумя буквами ДНК на тысячу, то есть примерно тремя-шестью миллионами мест во всем унаследованном послании. Некоторые различия связаны с изменениями в одном основании (однонуклеотидные полиморфизмы, или "снипы", как их называют), некоторые с многочисленными короткими рекомбинациями (это особые последовательности "микросателлиты" и "минисателлиты"), а некоторые зависят от наличия или отсутствия участков мобильной ДНК, которая давным-давно перепрыгнула на специфическое место в геноме. Группы крови показывают, насколько невероятно, что две из них будут одинаковыми, когда используются система из всего лишь двенадцати переменных. Вероятность того, что обе они имеют одну и ту же последовательность букв в целом генетическом алфавите — один к сотням миллиардов. Генетика сделала нас всех индивидуумами. Она опровергает миф Платона об абсолюте, что существует одна идеальная форма человека, с редкими дефектами, которые приводят к врожденным заболеваниям.

Вариации помогают нам понять, как мы вписываемся в нашу собственную родословную, в родословную человечества и в мир жизни. Родственники чаще имеют одинаковые гены, поскольку они разделяют общего предка. Поскольку все гены происходят от давно умершего носителя, они могут быть использованы для проверки родства, каким бы далеким оно ни было. Чем больше общих вариаций у двух людей, тем более близким родством они связаны. Эта логика может быть использована, чтобы разобраться с любой формой родства.

Эта детективная работа становится легче, когда участвуют близкие родственники — или идентичные близнецы. Армия США проверяет соответствие мертвых тел с прежними владельцами, сохраняя образцы ДНК солдат, в надежде идентифицировать их трупы после смерти. ДНК также может многое сказать о ближайших родственниках. Одно время сотрудники иммиграционной службы, сталкиваясь с претендентами на въезд, часто отказывались верить, что ребенок был потомком женщины, заявляющей об этом. Сравнение генов матери и ребенка почти всегда показывало, что мать говорила правду. В нашем сложившемся обществе эти тесты в настоящее время используются меньше, чем раньше. Однако не все семьи такие, какими кажутся. Попытки сопоставить гены родителей и потомства в Великобритании или в США показали довольно высокую частоту ложного отцовства. Многие дети имеют комбинацию генов, которая не может быть получена от их предполагаемых родителей. Часто они показывают, что биологический отец — не тот мужчина, который состоит в браке с биологической матерью. В среднем классе английского общества такая ситуация встречается примерно с каждым двадцатым ребенком.

Такая работа детектива может перепрыгивать через поколения. Во времена аргентинской военной диктатуры 1970-х и 1980-х годов тысячи людей исчезли.

Большинство были убиты. Некоторыми из жертв были беременные женщины, которые были убиты после родов. Их дети были украдены семьями военнослужащих. Когда гражданское правление было восстановлено, группа матерей убитых женщин стала искать своих внуков, чьи ДНК сравнивалась с ДНК тех, кто утверждали, что они их родители. Послание, передаваемое в генах, позволило более чем пятидесяти детям воссоединиться со своими биологическими семьями спустя два поколения.

Другие семьи не имеют никакой надежды на восстановление. Предполагалось, что кости, выкопанные в подвале в Екатеринбурге в 1991 году, принадлежали последнему царю и его семье, расстрелянным в 1918 году. Сравнение их ДНК с ДНК современных родственников доказывает, что скелеты действительно являются останками Романовых. Довольно интересно, что скелета одной молодой девушки, заключенной в тюрьму с группой, не было. Женщина, известная как Анна Андерсон (умершая в Вирджинии в 1984 г.) утверждала в течение многих лет, что была отсутствующим ребенком, Анастасией, дочерью царя. Ее утверждение отверг немецкий суд, но признали тысячи русских эмигрантов. Проверка генов, содержащихся в образце ее ткани, найденной после ее смерти, показала, что она не была родственницей Романовых, но вместо этого (как многие подозревали) была полькой, Франциской Шанцковской, которую спасли от попытки самоубийства в берлинском канале, и которая с тех пор считала себя благородных кровей.

Претензии Анны Андерсон на российского орла были фальшивыми, но любому человеку был дарован генетический гербовый щит, чтобы демократизировать поиски родословной. Как в родословной Романовых, на нем записано, кем были предки и откуда они пришли. Когда люди переезжают, они берут не только свои геральдические щиты. ДНК переезжает также, поэтому карты генов не просто записывают родословную. Они воссоздают историю.

Сама история может предложить, с чего начать. Алекс Хейли в своей книге "Корни" использовал документы о работорговле, пытаясь найти своих африканских предков. Он нашел только одного, Кунта Кинте, который был взят в качестве раба из Гамбии в 1767 году, а позже возникли сомнения в историях, рассказанных ему местным рассказчиком, на которых частично основана книга "Корни". Гены нынешних чернокожих американцев могли бы решить его проблемы.

Торговля африканскими рабами началась во времена Римской империи. К 800 г. н.э. арабские торговцы распространили ее на Европу, Ближний Восток и Китай. В пятнадцатом веке Испания и Португалия начали то, что стало массовой миграцией, сначала с побережья Гвинеи и современной Мавритании. В средневековой Венеции были черные гондольеры, а в шестнадцатом веке один человек из десяти в Лиссабоне был африканского происхождения. Вскоре папа Николай V в булле поручил своим последователям "атаковать, покорить и обратить в вечное

рабство сарацинов, язычников и других врагов Христа к югу от мыса Буждур, включая все побережье Гвинеи".

Основная торговля велась с Новым Светом. Около пятнадцати миллионов африканцев были отправлены через Атлантический океан. Они приезжали со всей Западной Африки и были разбросаны по большей части Северной и Южной Америки. Соединенные Штаты импортировали меньше одной двадцатой от общего их числа, но к 1950 году в США было около трети всех людей африканского происхождения в Новом Свете, что предполагает, что с рабами здесь обращались менее жестоко, чем в Карибском море или Бразилии. У рабовладельцев были свои предпочтения. В Южной Каролине рабов из Гамбии предпочитали командам из Биафры, поскольку последних, считалось, трудно контролировать. В Вирджинии были противоположные предпочтения.

Многие африканцы имеют патологическую форму красного пигмента крови, гемоглобина. Одна из аминокислот претерпела генетическое повреждение, мутацию. Эта форма "серповидно-клеточности" защищает от малярии. Ее защитная роль исчезла с взятием этой болезни под контроль в Соединенных Штатах, но многие тысячи черных американцев по-прежнему несут этот ген как нежелательную запись их прошлого. У любого, у кого есть серповидно-клеточная вариация, независимо от того, насколько светлая у него кожа, должен был быть по крайней мере один африканский предок. Заболевание впервые стало общеизвестным в 1910 году и сразу же стало использоваться в качестве показателя расовой принадлежности: у кого была эта болезнь (независимо от их цвета), по определению были неграми. Более того, само ее наличие рассматривалось как доказательство вырожденной природы чернокожих американцев. Сходные болезни в Южной Европе также показали, по словам одного расового теоретика, что такие люди были "не чисто белыми", и что их иммиграция в США "произвела бы гибридную расу людей, столь же никчемную, как бездельники-метисы Центральной Америки".

Тот факт, что у многих черных американцев была копия гена серповидно-клеточного гемоглобина, говорил не намного больше, чем то, что они родом из Западной Африки, что мы уже знали. Молекулярные технологии рассказывает историю о том, кем являются "метисы". Они раскрывают массу вариаций вокруг генов гемоглобина и дают представление о родословной многих американцев, черных или нет, в том числе подавляющего большинства, кто не несет копию серповидно-клеточности вообще.

ДНК этой части генома варьирует от места к месту в Африке. Сама серповидно-клеточная мутация тесно связана с различными наборами букв ДНК в Сьерра-Леоне, Нигерии и Заире, вероятно, потому что она возникала несколько раз. ДНК нормальной версии гена также изменяется, и это тоже может быть использовано для обнаружения места, откуда пришли африканские предки сегодняшних американцев.

На этом континенте больше разнообразия, чем где-либо еще. Мало того, что его народы больше отдалены друг от друга, но в разных деревнях, племенах и народностях больше индивидуальных особенностей, потому что люди в Африке жили дольше, чем где-либо еще. В результате гены могут с некоторой точностью отследить происхождение африканцев.

Чернокожие американцы с севера США имеют другой набор вариаций, чем чернокожие с юга страны. Большинство северян имеют общее происхождение с сегодняшними нигерийцами, тогда как их южные родственники имеют больше сходства с народами дальше на запад. Различия в невольничьих рынках двести лет назад оставили свидетельства сегодня. Алекс Хейли, сравнивая свои гены с генами из Африки, узнал бы гораздо больше о своих прадедах, чем он мог надеяться обнаружить. Как и любому черному американцу, ДНК-тест может рассказать ему о том, где искать своих предков-рабов — и это всего лишь за 250\$. Тесты уже поступили в продажу (несмотря на ограниченность информации, хотя и доступной для генов Западной Африки, а это означает, что любые надежды найти свою родную деревню — или даже племя — в большинстве случаев напрасны).

Многие из предков Алекса Хейли, вероятно, были не черными вообще. Одна особая вариация в системе групп крови Даффи встречается только в Западной Африке. Европейцы имеют другую версию этого гена. Изучение негров США показывает, что до четверти их генов группы крови Даффи имеют белое происхождение, во многих случаях благодаря межрасовым спариваниям во времена рабства. Такие связи были скрытыми, но широко распространенными. Даже Президент Томас Джефферсон, как говорят, имел несколько детей от рабыни Салли Хемингс. Эта гипотеза была доказана благодаря открытию, что один из ее потомков несет ДНК, сходную с ДНК семьи президента (доказательства столь надежны, что их признала, с неохотой, Ассоциация потомков Джефферсона).

Более детальное изучение набора ДНК показало специфичность Африки или людей европейского происхождения и говорит больше об истории рабства. На Ямайке (где белые составляют незначительное меньшинство), только один черный ген из шестнадцати происходит из Европы. В большинстве же американских городов эта цифра один к шести, а в Новом Орлеане она выше — где-то между одним к пяти и одним к четырем. До 1803 года Луизиана находилась под французским, а не англо-саксонским контролем. Расовая устойчивость галлов продолжает жить в нынешних генах. Из-за разницы в количестве черных и белых и малой доли белых семей, которые скрещивались с черными, американскому населению, считающему себя белыми, передалось намного меньше черных генов, в общей пропорции примерно один ген на сто.

Расовая принадлежность подразумевает намного больше, чем просто набор ДНК. Как результат, доля черных в Соединенных Штатах растет. В 1997 году около тринадцати процентов американцев считали себя чернокожими. За два по-

следних десятилетия черное население страны увеличилось, и растет оно в два раза быстрее, чем европейское. В основном это не имеет никакого отношения к генам, а связано с восприятием расовой принадлежности. Тридцать лет назад человек со смешанными корнями сделал бы все возможное, чтобы его считали европейцем. Сейчас, с ростом самоуважения черных, многие ощущают больше свободы, относя себя к чернокожему населению. Таким образом, любая генетическая оценка смешения периодически дает разные результаты, как напоминание, что общество участвует в создании рас не меньше, чем ДНК.

В Англии в семнадцатом и восемнадцатом веках также было значительное количество черного населения. Оно исчезло не потому, что погибло, а вследствие ассимиляции. Несомненно, часть их наследников все еще вокруг, на улицах современной Британии. У самого доктора Джонсона был темнокожий слуга, Франсис Барбер, которому он оставил достаточно денег, чтобы тот мог заняться торговлей. Многие люди поблизости Личфилда гордятся, что ведут от него свою родословную. При этом их кожа не менее светлая, чем кожа их соседей. Кроме того, белые британцы являются носителями еще нескольких экзотических генов. Как ни как, первые рабы, пересекшие Атлантический океан, были карибскими индейцами, посланными Колумбом в Испанию в 1495 году. В 16 веке было модно привозить рабов из вновь открытых народов в Европу. Английский исследователь Мартин Фробишер в 1577 году привез в Европу нескольких эскимосов и более тысячи американских индейцев, в том числе и бразильского короля. Многие из мигрантов-невольников погибли, но некоторые создали семьи. Несомненно, их наследие продолжает и сейчас существовать. Но их настолько полно поглотило местное население, что лишь генетические тесты или надежные генеалогические схемы могут определить носителей этих генов.

Гены вернули нас на сотни лет назад, где-то на пятнадцать поколений, когда дело касалось черных американцев. Но они несут послания из более древней истории. Иногда есть прямые доказательства, чаще — косвенные, но в любом случае они связывают настоящее с прошлым.

По понятным историческим причинам о наследственности Хиросимы и Нагасаки известно очень много. Американцы долгие годы исследовали, вызвала ли атомная бомба увеличение количества мутаций. Никакого влияния обнаружено не было, зато была собрана масса информации о генах в этих городах. Каждый из городов имеет группу редких вариаций, которых нет в другом городе. Они являются реликтами древней истории. И Хиросиму, и Нагасаки основали восемь тысяч лет назад объединившиеся воинственные семейно-родовые общины. Как и у современных туземцев, у них были различия в ДНК. Это небольшое отличие племен продолжает существовать в городах и сейчас. Нагасаки был одним из нескольких портов, открытым для внешнего мира во время добровольной изоляции Японии. Но в нем не больше следов вкрапления чужой наследственности, чем в

Хиросиме. Голоса самых давних предков в обоих городах звучат громче, чем голоса тех, кто вторгался сюда намного позже.

Так как гены копируются, нет необходимости возвращаться к первоисточнику, чтобы найти предка, но иногда такой первоисточник сохраняется. Египетский фараон Тутанхамон был погребен почти в то же время, что и другая мумия, Сменхкары. Все еще можно определить их группу крови, и она доказывает, что они братья. Самый первый фрагмент ископаемой ДНК человека был найден в высохшем трупе египетского ребенка, похороненного в пустыне. Он дошел до нас через две с половиной тысячи лет. С тех пор обнаружены многие части древней ДНК (хотя их анализ осложняется тенденцией к загрязнению современными материалами).

Тем не менее, стало возможным читать гены предков напрямую. Некоторые древние ДНК, такие как ДНК с острова Пасхи, цивилизация которого была разрушена постоянными войнами и экологическим вандализмом, не имеют аналогов в современном мире, и остаются, как и их загадочные статуи, единственными свидетельствами о людях, не оставивших потомства. Иногда к ДНК добавляются подсказки современности. Сельское хозяйство началось в Японии с появлением народа Дзёмон, около десяти тысяч лет назад, но они также проводили большую часть своего времени как охотники. Сельское хозяйство не воспринималось как образ жизни, с рисом в качестве основной диеты, до появления племен Яёй, которые следовали ей тысячи лет спустя. Рис завезли китайцы, и японцы спорят о том, как много их генов въехало в их страну вместе с урожаем. Многие верят, что иммигранты вытеснили большую часть аборигенов, что перемещаются скорее люди, а не идеи. Тем не менее, ДНК, выделенная из двухтысячелетнего китайского захоронения, связывает тех, кто в нем похоронен, с современными китайцами, а не с ископаемой ДНК вымерших японцев. Это доказывает, что путешествие совершили не многие материковые жители. Вместо этого, местные жители два тысячелетия назад, как и их современные потомки, подхватили и использовали новые технологии, изобретенные в чужой стране. Современная Япония, с другой стороны, действительно имеет биологические связи с китайцами, так что значительно позже движение с материка оказало свое влияние.

Некоторые голоса предков, рассказывая историю прошлого, особенно многословны. Митохондрии — небольшие, производящие энергию структуры в клетке. Каждая из них несет свой собственный отрезок ДНК, около шестнадцати тысяч оснований, замкнутых в круг, очень отличный от ДНК в клеточном ядре. В яйцеклетках полно митохондрий, но в сперматозоидах они уничтожаются, когда те проникают в яйцеклетку. В результате такие гены наследуются почти исключительно по женской линии. Подобно еврейству, они переходят от матерей к дочерям и сыновьям, и только дочери передают их следующему поколению.

Любая семья, любой народ с любого континента может проследить свое происхождение от митохондриальной Евы, женщины (само собой разумеется, одной из многих живших в то время), на которой сходятся все их женские линии. В ряде случаев, она жила не так давно: в Новой Зеландии все маори разделяют одну и ту же митохондриальную особенность, свидетельствующую, что всего несколько женщин основали свой народ тысячу лет назад. Мировое генеалогическое древо, основанное на митохондриях, уходит своими корнями в Африку, учитывая большее их разнообразие на этом континенте, чем где-либо еще. Отслеживание самых последних миграционных путей показало, что митохондрии представляют собой точные исторические записи: так, в Новом Свете местные митохондрии связаны с митохондриями из Сибири, что подтверждает картину древних миграций.

Общие гены связывают Новую Зеландию, Сибирь и остальной мир с африканскими предками. Первый современный человек появился в Африке более ста тысяч лет назад, на континенте, который породил большинство наших родственников среди первобытных людей и обезьян, претендующих на родство с нами. Некоторые из этих африканских родственников с более глубоко укорененных ветвей родословного дерева живы и сегодня. Один из них, шимпанзе, всегда казался близким соседом, и Коко (обитатель национального парка Гомбе-Стрим) был первым животным, о котором был написан некролог в "The Times".

Как знает любой грамотный подросток, Тарзан — приемный обезьян оказался сыном лорда Грейстока, что доказывали чернильные отпечатки пальцев в детской тетради. Гальтон продемонстрировал, что отпечатки пальцев шимпанзе очень похожи на отпечатки пальцев человека. Это доказывает, что шимпанзе и человек имеют общие гены. Общее наследие не ограничивается отпечатками пальцев. Выдающийся генетик 1940-х годов однажды проверил, действительно ли шимпанзе разделяют наши вариации в способности различать на вкус горькое химическое вещество пропилтиоурацил (PROP), дав его трем обитателям Лондонского зоопарка. Двое проглотили напиток со всяческими проявлениями восторга, но третий полностью оплевал жидкостью известного профессора, что стало еще одним свидетельством общего происхождения.

Биологическое сходство заходит гораздо дальше. Обезьяны имеют группы крови, похожие на наши, наши хромосомы почти идентичны, и проверка общего подобия ДНК показала, что люди разделяют девятью восемь процентов генетического материала с шимпанзе. Мы также прослеживаем родство с остальным животным миром, около четверти наших генов похожи на гены в его дальних уголках, среди насекомых или медуз. Мышь и человек имеют гораздо больше общего, в том числе десятки наследственных заболеваний. Мы разделяем еще больше генов с кроликами и много с дальними ветвями жизни, от бактерий и дрожжей до бананов. Все живые существа, похоже, нуждаются в наборе "служебно-

хозяйственных генов", которые выполняют в клетке основную работу, и многие из семи сотен таких структур являются общими. Большинство мало изменилось со времени их возникновения. Суровый эксперимент, в котором большинство из пяти сотен генов простой бактерии были уничтожены, показал, что ей необходимы как минимум около трехсот, почти все из которых имеют параллели в нашей собственной ДНК. Этот общий костяк показывает, что самые неожиданные существа говорят с нами на одном генетическом языке.

Фараон Псамметих I, живший в седьмом веке до нашей эры, искал первое слово из всех. Он оставлял ребенка на попечение немой няни и отмечал, какие звуки тот издавал. Одно слово было (или казалось, что было) "becos", по-фригийски хлеб, подсказав Псамметиху, что фригийцы (которые жили на территории современной Турции) были первыми людьми из всех. Компьютерный поиск среди миллионов букв ДНК, ныне секвенированных из десятков организмов, также намекает на общую структуру от бактерий до человека, отца (или мать) всех генов, которая, возможно, сохранилась со времен начала жизни. Ученый, опубликовавший эту древнюю последовательность, нашел для этой информации полезное применение. Назначив музыкальные ноты каждой букве ДНК, он использовал их в качестве темы "Симфонии жизни".

Общие гены, от бактерий до человека, доказывают единство бытия. Они также определяют границы того, что может нам сказать биология. Шимпанзе могут разделять девяносто восемь процентов ДНК с нами, но они не люди на девяносто восемь процентов: они вообще не люди — они шимпанзе. И разве тот факт, что у нас есть общие гены с мышью или бананом, что-нибудь говорит о человеческой природе? Некоторые утверждают, что гены скажут нам, кто мы есть на самом деле. Эта идея абсурдна.

Один ген найден в определенной форме у людей, а в другой у всех других обезьян. Он кодирует молекулы на клеточной поверхности, активно участвующие в передаче информации между клетками, больше между клетками мозга, чем остальными. Возможно, это ген — или один из генов — который делает человека человеком. Его послание, записанное четырьмя буквами ДНК, А, G, C и T, начинается примерно так: AACCGGCAGACAT ... В общей сложности в нем три тысячи букв. Вместе они содержат важную часть длительной биологической истории существования в виде мужчины или женщины, а не шимпанзе или гориллы. Излишне говорить, что эти родовые записи ничего не говорят нам — или обезьянам — о том, что значит быть частью человечества. Для этого требуется гораздо больше, чем последовательность оснований ДНК, и это лежит вне сферы науки вообще.

У святого Беда — чьи произведения являются лучшим источником информации об Англии до восьмого века — была яркая метафора для бытия. Для него человеческое бытие было "как если зимней ночью вы пируете с вашими прибли-

женными и советниками, одинокий воробей быстро залетает в зал, влетев через одну дверь и мгновенно вылетев через другую. Пока он внутри, зимняя стужа не властна над ним; но тут же он исчезает с наших глаз, уносясь из стужи в стужу. Такова и жизнь людская, и неведомо нам, что будет и что было прежде." Его аллегория была религиозной, но имеет биологические параллели. У генов есть собственная память. Ее прочтение дает новую надежду заглянуть за пределы зала, которым ограничивается наше собственное краткое существование. Это позволяет нам узнать, что было раньше в жизни нашего собственного вида; догадаться, что происходило гораздо раньше, и даже размышлять о том, что может готовить судьба будущим поколениям.

## Глава вторая.

### ПРАВИЛА ИГРЫ

Всегда тяжело наблюдать за незнакомой игрой и пытаться разобраться, что происходит. Хотя я жил в Соединенных Штатах в течение нескольких лет, и, хотя этот вид спорта теперь показывают на британском телевидении, я почти не имею представления, как играют в американский футбол. Существует ясное общее желание забить, но как игра останавливается и начинается и почему зрители время от времени аплодируют, остается для меня тайной за семью печатями. Глубокое отсутствие интереса к играм с мячом — это мой случай, равно как болельщикам из других стран скучно смотреть крикет. Они просто не понимают правила.

Правила игры, известной как половое размножение, не очевидны из ее результатов. Как следствие, то, как работает наследование, до недавнего времени было непонятно. Частично проблема заключается в том, что способ, которым работает секс, настолько сильно отличается от того, что, казалось бы, должно быть. Кажется очевидным, что особенности, приобретенные родителем, должны быть переданы следующему поколению. В конце концов, дети кузнецов, как правило, мускулисты, а дети преступников не особо честны. В Библии Иаков, когда ему позволили выбрать полосатых козлят из стада коз Лавана, клал полосатые ветки рядом с родителями во время случки, надеясь, что число полосатых увеличится. Позже беременные женщины смотрели на изображения святых и избегали людей с уродствами. Потребовался ряд болезненных исследований, в которых поколения мышей лишали хвостов, чтобы показать, что приобретенные признаки на самом деле не наследовались. Конечно, евреи проводили те же эксперименты в течение тысяч лет.

В другом убедительном мифе о наследовании признаки матери и отца переходят в их кровь, которая смешивается в их потомстве. Дети, в результате, являлись смесью качеств своих родителей. Эта идея — своего рода генетика усреднения — достаточно хорошо справляется с индивидуальными особенностями, такими как рост или вес, но не в состоянии объяснить, почему ребенок может быть похож на дальнего родственника, а не на отца или мать. Эта идея была разрушена всего несколько лет назад. Племенные книги — это записи, хранимые заводчиками скаковых лошадей. Кобылу, у которой был жеребенок в результате скрещивания с беспородным жеребцом, вычеркивали, так как ее кровь считалась загрязненной. Действительно, опрос пожилых женщин в Бристоле показал, что половина верит в шансы женщины иметь черного ребенка, если она занималась сексом с чернокожим мужчиной много лет назад. Фермерам в Западных странах, напри-

мер, заводчикам лошадей, никогда не удавалось выработать инструкции для репродуктивной игры.

Единственный раздел "Происхождения видов", который не читают с интересом сегодня — это Глава пятая, "Законы вариации". Дарвин ошибся, и после долгих мучений предположил, что органы родителей передают вещества в кровь, а затем в сперматозоиды и яйцеклетки. Он думал, что дети были промежуточной формой между теми, кто их произвел на свет. Такой тип наследования был бы фатальным для идеи эволюции. На проблему обратил внимание Флеминг Дженкин, первый профессор инженерных наук в Университете Эдинбурга. В своей статье в 1867 году — и жестоко пренебрегая сегодняшними приличиями — Дженкин представил белого человека, потерпевшего крушение на острове, населенном неграми. Предположим, он обладает физической силой, энергией и способностями доминирующей белой расы. Из этого не следует вывод, что после ... множества поколений жители острова будут белыми. Наш герой кораблекрушения, вероятно, станет королем; ... он заведёт очень много жён и детей ... чей ум будет в среднем превосходить негритянский, но сможет ли поверить кто-то, что население всего острова постепенно станет белым, или пусть даже жёлтым? Весьма привилегированный белый не может отбелить нацию негров."

Дженкин понимал, что свойства далекого предка, которые могли быть весьма ценными, мало помогают в последующих поколениях, если кровь смешивается. Характерные черты с годами будут смешиваться, пока их эффекты не исчезнут. Какой бы эффективной ни была капля чернил в галлоне воды, в какой-то момент в будущем невозможно получить ее обратно из смешанной капли. Генетика смешивания означает, что любое преимущество или качество будет размыто в следующем поколении. К счастью, миф о крови ошибочен.

Его развеял сам Гальтон. Он переливал кровь от черного кролика белому, чтобы увидеть, будет ли у того черное потомство. Оно не было черным. Наследование с разбавлением было опровергнуто, но Гальтону нечего было поставить на его место.

Неизвестные ни Дарвину, ни его двоюродному брату, правила генетики уже были разработаны другим гением биологии. Грегор Мендель жил в Богемии и публиковался в довольно скромном научном журнале, "Бюллетене общества естествознания Брно". Его открытие было замечено через тридцать пять лет после того, как было опубликовано в 1866 году. Мендель, августинский монах, претендовал на ученую степень, но не довел это до конца. Как и Дарвин с Гальтоном, он страдал от приступов депрессии, которая мешала ему работать в течение нескольких месяцев подряд. Тем не менее, он продолжал свои эксперименты. Он обнаружил, что наследственное сообщение передается в соответствии с простым набором правил — грамматикой генов. Позже в своей карьере (и создавая прецедент

для нынешнего столетия) он не смог продолжать исследовательские работы из-за давления администрации. Изучение наследования остановилось почти на полвека.

Грамматика всегда более скучна, чем словарный запас, но ее нельзя избежать. Далее в этой главе рассматриваются основные правила генетики. Те, кто преподает этот предмет, все еще одержимы Менделем и его горохом, и я не оправдываюсь за то, что использую их в качестве вводного курса.

Мендель совершил концептуальный прорыв. Вместо того, чтобы (как и его предшественники) работать над такими характеристиками, как рост или вес (которые только и могли быть измерены) Мендель был почти первым биологом, который считал все, что угодно. Это направило его на путь к его великому открытию.

Горох, как и многие садовые растения, существует в настоящих гомозиготных линиях, в которых все растения выглядят одинаково. Различные линии легко различимы по характеристикам, таким как форма горошин (которая может быть круглой или морщинистой) и их цвет, который может быть желтым или зеленым. Горох также имеет то преимущество, что каждое растение несет как мужские, так и женские органы. С помощью небольшой кисточки можно опылить любой женский цветок пылью от любого мужского. Можно даже использовать мужской цветок того же растения. Этот процесс, своего рода ботанический инцест, называют самоопылением.

Мендель добавил пыльцу (мужские половые клетки) от линии желтого гороха в женскую часть цветка из линии зеленого гороха. В следующем поколении он получил неожиданный результат. Вместо того, чтобы все потомство было промежуточным, все растения в новом поколении были похожи на одного из родителей, а на другого нет. У всех у них горох был желтым. Этого нельзя было бы ожидать, если бы "кровь" двух линий смешивалась в желто-зеленую смесь.

Следующим шагом было самоопыление первого поколения желтых растений, другими словами, подвергнуть их яйцеклетки действию пыли с того же растения. Это принесло еще один непредвиденный результат. Оба первоначальных цвета, желтый и зеленый, вновь появились в следующем поколении. Что бы это ни было, то, что создавало зеленый, все еще могло делать это, хотя оно какое-то время находилось в растении с желтым горохом. Это совсем не согласовывалось с идеей, что различные свойства каждого родителя смешиваются. Его эксперимент показал, что наследственность основывается на частицах, а не на жидкости.

Мендель пошел дальше. Он подсчитал количество желтого и зеленого гороха в каждом поколении. В первом поколении (потомство от скрещивания чистых линий) у всех растений горох был желтым. Во втором, полученном в результате самоопыления желтых растений из первого поколения, всегда были в среднем три

желтых к одному зеленому. Из этого простого результата Мендель вывел основное правило генетики.

Цвет гороха, считал он, контролируется парами факторов (или генов, как их стали называть). Хотя у взрослого растения было два фактора цвета гороха, но пыльцу или яйцеклетку получало только одно. При опылении — когда пыльца встречалась с яйцеклеткой — возрождалось новое растение с двумя факторами (или генами). Цвет гороха определялся тем, что унаследовало растение. В первоначальных чистых линиях все растения несли либо две "желтых", либо две "зеленых" версии гена цвета семян. В результате, скрещивание в чистой линии давало новое семейство растений, идентичных своим родителям.

Когда пыльцой с одной чистой линии опыляли яйцеклетку из другой линии, вырастали новые растения с двумя различными факторами, по одному от каждого родителя. В эксперименте Менделя эти растения выглядели желтыми, хотя каждое несло скрытый набор инструкций для создания зеленого гороха. Другими словами, действие желтой версии скрывает эффект зеленой. Фактор для желтого цвета, говорим мы, является **доминантным** по отношению к зеленому, который является **рецессивным**.

Растения с обоими вариантами создают два вида пыльцы и яйцеклеток. Половина несет инструкции для создания зеленого гороха, а половина — для желтого. Следовательно, есть четыре способа, как могут объединиться пыльца и яйцеклетка, когда два растения этой разновидности скрещиваются или одно самоопыляется. Четверть опылений включает желтые с желтыми, четверть — зеленые с зелеными, и две четверти (т.е. половина) — желтые с зелеными.

Мендель уже показал, что желтый с зеленым создает растение с желтым горохом. Желтый с желтым, само собой разумеется, производит растения с желтым горохом, а у растения с двумя зелеными факторами горох зеленый. Соотношение цветов в этом втором поколении поэтому — три желтых к одному зеленому. Мендель работал в обратном направлении от этого соотношения, чтобы определить свое основное правило наследования.

Мендель скрещивал растения, используя различные признаки — цвет цветка, высоту растения и форму гороха — и обнаружил, что те же соотношения касаются каждого. Он также исследовал наследование пары признаков, рассматриваемых вместе. Например, растения с желтым и гладким горохом скрещивались с другим типом — с зеленым и морщинистым горохом. Его закон снова был применен. Закономерности наследования цвета не влияли на закономерности наследования формы. Из этого он сделал вывод, что отдельные гены (а не альтернативные формы одного и того же гена) должны быть предусмотрены для каждого атрибута. И для разных форм одного и того же признака (желтого или зеленого цвета, например), и совершенно разных (например, для цвета и формы) наследование было основано на разделении физических единиц. Мендель был первым, кто до-

казал, что потомство — не усредненная форма своих родителей, и что генетика основана на различиях, а не на сходствах.

Биологи с того времени восхищаются, пользуясь его результатами (и обвиняя его в мошенничестве, потому что те могут соответствовать его теорий слишком хорошо). Они спорят о том, чем, по его мнению, были его факторы, и спекулируют о том, почему его работа была проигнорирована. Что бы ни стояло за его длительной безвестностью, результат Менделя был вновь открыт селекционерами в первый год XX века, и вскоре был обнаружен в отношении сотен признаков у животных и растений. Менделю повезло, или у него был талант, который требовался там, где все его предшественники ошибались. Ни одна наука не ведет свое происхождение от одного человека более прямо, чем генетика, и работы Менделя по-прежнему являются основой всей огромной дисциплины, которой она стала.

Мендель спас Дарвина от его дилеммы. Ген цвета зеленого гороха или белой кожи, хотя и может быть редким, не разбавляется наличием множества копий генов других цветов. Вместо этого он может сохраняться неизменным на протяжении многих поколений и станет более распространенным, если получит преимущество.

Вскоре после того, как были заново открыты эти ключевые правила, они были использованы для интерпретации модели человеческого наследования. Невозможно проводить эксперименты по разведению наших сограждан. С одной стороны, они заняли бы слишком много времени. Вместо этого биологи должны полагаться на эксперименты, которые происходят, когда люди занимаются своими сексуальными делами. Они используют родовые деревья или родословные (англ. *pedigrees*) — от французского *piéd de grue*, ноги журавля, за предполагаемое сходство ранних аристократических родословных (которые были расположены концентрическими кругами) с пальцами ног птицы. Некоторые из них причудливые, восходят к самому Адаму, но генетики обычно рассматривают меньше поколений, хотя одна или две родословные прослеживаются на сотни лет назад.

Первая была опубликована в 1903 году. Она демонстрировала наследование укороченных рук и пальцев в норвежской деревне. Такие пальцы просматривались в семьях и показывали четкую закономерность. Эта особенность никогда не перескакивала через поколение. У любого человека с короткими пальцами были родители, бабушки и дедушки и так далее с такими же пальцами. Если страдающий этим человек вступал в брак с человеком без аномалий (как поступало большинство), около половины их детей были поражены болезнью. Если любой из их нормальных детей вступал в брак с другим человеком с нормальными руками, эта особенность исчезала из этой семейной ветви.

Этот пример — именно то, что мы ожидаем от доминантного признака. Необходима только одна копия поврежденной ДНК (как в случае желтого цвета гороха), чтобы продемонстрировать ее эффект. Большинство страдающих этим

нарушением людей, появившихся на свет от брака между нормальным и пораженным родителем, имеют одну копию нормальной и одну копию аномальной формы, по одной от каждого родителя. В результате, их собственные сперматозоиды — или яйцеклетки — бывают двух типов, половина несет нормальный, а половина аномальный вариант. Когда они вступают в брак, половина их детей несет копию поврежденного гена. Следовательно, шанс, что ребенок нормального и пораженного болезнью человека будет иметь короткие пальцы, равен один к двум. У не пораженной болезнью пары никогда не бывает ребенка с аномалией, поскольку ни один из родителей не имеет поврежденной инструкции, которая ее создает.

Другие наследственные признаки ведут себя не так просто. Они рецессивны. Чтобы выявить эффект, необходимы две копии унаследованного фактора, по одной от каждого из родителей. Сами родители обычно имеют одну копию и выглядят вполне нормально. Большинство из них даже не знают, что рискуют иметь больного ребенка. Иногда, правда, их потомство больше похоже на дальнего родственника или предка, чем любой из родителей. До Менделя эта картина была необъяснима. Таких детей иногда называют "возврат к предкам". Теперь мы знаем, что они подчиняются законам Менделя. Они случайно унаследовали две копии рецессивных аномалий, тогда как их мать и отец имеют только по одной.

В Великобритании один ребенок из нескольких тысяч является альбиносом, лишенным пигмента глаз, волос и кожи. В других местах эта аномалия распространена шире. У некоторых североамериканских индейцев примерно один человек из ста пятидесяти является альбиносом. Согласно Книге Еноха (одной из апокрифических книг Библии), сам Ной страдал от этого заболевания. Если так, то его потомки имеют не много признаков этого гена.

Подавляющее большинство детей-альбиносов рождаются у родителей с нормальным цветом кожи. Каждый из них должен иметь одну копию этого альбинозного фактора, сочетающуюся с еще одной копией фактора с полной пигментацией. Половина сперматозоидов отца несет измененный ген. Если один из них оплодотворит одну из половины яйцеклеток своего партнера, которые несут то же самое, то ребенок будет иметь две копии рецессивной формы, а у него также будет отсутствовать пигмент. В таком браке шансы любого ребенка быть альбиносом — половина, умноженная на половину. Эта одна из четырех возможностей одинакова для всех детей. Неверно, как считают некоторые родители, что рождение одного ребенка-альбиноса означает, что следующие три должны быть нормальными.

Закономерности наследования у человека могут поэтому подчиняться тем же правилам, что и закономерности наследования, обнаруженные у гороха. Однако биология редко бывает чистой и никогда не бывает простой. Большая часть истории человеческой генетики была историей исключений из законов Менделя.

Например, вариации не обязаны быть доминантными или рецессивными. В некоторых группах крови те и другие проявляют свои эффекты. Некоторые люди с факторами групп А и В имеют кровь АВ, которая обладает свойствами обеих. На уровне ДНК вся концепция доминантности и рецессивности сходит на нет. Изменения в порядке оснований можно определить без труда, независимо от того, присутствует ли одна или две копии. Молекулярная биология позволяет увидеть гены напрямую, вместо того, чтобы предполагать, что происходит, глядя на их эффекты, как это делал Мендель.

Еще один результат, который удивил бы Менделя — что один ген может контролировать множество особенностей. Так, например, серповидно-клеточный гемоглобин имеет самые разные побочные эффекты. Люди с двумя копиями могут страдать от повреждения головного мозга, сердечной недостаточности и скелетных нарушений (которые обусловлены анемией и закупоркой сосудов). В отличие от этого, некоторые особенности (например, рост или вес) контролируются многими генами. Более того, менделевское соотношение иногда меняется, потому что тот или иной тип летален или имеет некоторое преимущество.

Все это (и многое другое) означает, что изучение наследования за последние полтора века усложнилось. Тем не менее, законы Менделя применимы к людям, как и к любым другим существам. Они удивительно просты и были призваны объяснить все мыслимые — и немислимые — примеры сходств. В былые времена длинные родословные претендовали на то, чтобы показать, что вспышки плохого настроения были связаны с доминантным геном, и что есть гены выхода в море или "драпетомании" — патологической тенденции к побегам среди рабов. Это стремление к простым объяснениям сохраняется и сегодня, но в основном среди не-учёных. Генетики слишком часто обжигались на простоте, чтобы считать, что менделизм объясняет все.

Мендель не интересовался тем, из чего были сделаны его наследуемые частицы, или тем, где их можно найти. Другие начали задаваться вопросом, что они собой представляли. В 1909 году американский генетик Томас Хант Морган, ища кандидата на эксперименты по скрещиванию, наткнулся на плодую мушку. Это был гениальный выбор, и его работа с дрозофилой (чернобрюхой любительницей росы, если перевести ее название) была первым шагом к созданию генетической карты человека.

Многие признаки плодовой мушки наследовались простым менделевским образом, но некоторые выявляли странные закономерности наследования. Когда скрещивали горох, не имело никакого значения, у какого из родительских растений были зеленые или желтые горошины. Результаты были одинаковыми, было ли мужское растение зеленым, а женское желтым, или наоборот. Некоторые признаки у мух дали другой результат. Для некоторых генов — например для тех, что контролируют цвет глаз, которые могут быть красными или белыми — немало-

важно, у кого глаза белые, у матери или отца. Когда белоглазых отцов скрещивали с красноглазыми матерями, все потомство было с красными глазами, но когда скрещивали наоборот (белоглазых матерей с красноглазыми отцами) результат был другим. У всех сыновей были белые глаза, а у дочерей красные. К удивлению Моргана, пол родителя, несущего определенную вариацию, оказывал влияние на появление потомства.

Морган знал, что самка плодовой мушки отличается от самца в другом отношении. Хромосомы в клетке являются парными органами, которые выглядят как темные нити. Большинство хромосом обоих полов схожи, но одна пара — половые хромосомы — разные. У самок две большие X-хромосомы, у самцов одна X и намного меньшая Y-хромосома.

Морган заметил, что схема наследования цвета глаз следует схеме наследования X-хромосомы. Самцы, с их единственной копией X-хромосомы (которая передается от матери, отец дает Y), всегда похожи на своих матерей. У самок копии X-хромосомы матери сопутствует соответствующая X-хромосома отца. При скрещивании белоглазых матерей и красноглазых отцов женское потомство имеет одну X-хромосому, несущую "белый", и другую, несущую "красный". Как и ожидал бы Мендель, у них были глаза, как у одного из родителей, в данном случае родителя с красными глазами.

Ген цвета глаз и X-хромосома, следовательно, демонстрируют один и тот же тип наследования. Морган предположил, что это означает, что ген цвета глаз фактически находился на X-хромосоме. Он назвал эту модель наследования "сцепленной с полом". Хромосомы уже были кандидатами на роль носителей генов, поскольку, как и гипотетические частицы Менделя, их количество уменьшено вдвое в сперматозоидах и яйцеклетках по сравнению с клетками тела.

Каждый человек имеет по сорок шесть хромосом в каждой клетке тела. Сорок четыре из них парные, но половые хромосомы X и Y различны. Поскольку Y несет мало генов, к мужчинам обычные правила менделевской доминантности и рецессивности не применимы. Любой ген на единственной X-хромосоме проявит свои эффекты у самцов, независимо от того, является ли он рецессивным у самок.

Наследование дальтонизма человека аналогично цвету глаз дрозофилы. Когда дальтоник-мужчина женится на нормальной женщине, ни на одном из его детей это отрицательно не сказывается, но дальтоник-женщина, чей муж имеет нормальное зрение, передает этот признак всем своим сыновьям, но ни одной из дочерей. Поскольку у всех мужчин с аномальной X-хромосомой проявляются ее эффекты (тогда как у большинства женщин этот ген скрыт геном нормального зрения), этот признак больше распространен у мальчиков, чем у девочек. Многие другие отклонения демонстрируют ту же картину.

Сцепленность с полом приводит к интересным различиям между полами. Что касается X-хромосомы, женщины несут две копии каждого гена, но мужчины

только одну. В результате, женщины содержат больше генетической информации, чем мужчины. Из-за двух различных сенсоров восприятия красного, контролируемых геном на X-хромосоме, многие женщины должны нести оба красных рецептора, каждый из которых чувствителен к несколько иному участку спектра. Мужчины ограничены только одним. В результате, некоторые женщины имеют более широкий диапазон чувственного восприятия — по крайней мере, для цвета — чем доступно любому мужчине.

Какими бы ни были преимущества видеть мир по-другому, у женщин есть потенциальная проблема со сцепленностью с полом. Любой избыток хромосом, таких больших как X, как правило, фатален. Как женщины справляются с двумя, тогда как даже одна содержит всю информацию, необходимую для создания нормального человека (или мужчины)? Ответ на этот вопрос неожиданен. Почти в каждой клетке в теле женщины та или иная из двух ее X-хромосом выключена.

Черепашковые кошки имеют пестрый внешний вид, который является результатом небольших групп желтых и черных шерстинок, смешанных вместе. Все черепашковые кошки являются самками и потомками скрещиваний, в которых один родитель передает ген черной шерсти, а другой желтой. Поскольку ген цвета шерсти сцеплен с полом, около половины клеток кожи котенка выключают X-хромосому, несущую черный вариант, а остальные — несущую желтый. Шерсть представляет собой сочетание двух типов волос, размер пятен варьируется от кошки к кошке.

То же самое происходит у людей. Морган заметил, что тип наследования цвета глаз зависит от наследования X-хромосом. Если у женщины сын дальтоник, у нее самой должен быть один нормальный и один аномальный цветовой рецептор. Если крошечным лучом красного или зеленого света сканировать ее сетчатку, ее способность различать цвет изменяется по мере прохождения луча от одной группы клеток к другой. Примерно половину времени она их прекрасно различает, но в остальное время она отличает красный от зеленого не лучше, чем ее сын-дальтоник. В каждой клетке, чувствительной к цвету, выключаются разные X-хромосомы, либо нормальные, либо несущие инструкции для цветовой слепоты.

Наследование митохондриальных генов также демонстрирует половые различия. Когда яйцеклетка оплодотворяется, большая часть ее содержимого, включая эти важнейшие структуры, передается развивающемуся эмбриону. Схема наследования митохондрий отличается от наследования ядра. Митохондрии не волнует половое размножение, вместо этого они передаются по женской линии. Сперматозоиды заботятся о мелочах, вынужденные совершать долгое путешествие, они питаются энергией многих митохондрий. При оплодотворении они разлагаются, так что передаются только митохондриальные гены матери. В теле митохондрии тоже передаются довольно пассивно, каждая клетка распределяет их популяцию среди своих потомков. Их ДНК содержит истории женщин во всем

мире, почти без вмешательства мужчин. Митохондриальная ДНК королевы Елизаветы Второй происходит не от королевы Виктории (ее предка по мужской линии), а от менее выдающейся современницы Виктории, Анн-Каролин, умершей в 1881 году.

Маленькие митохондрии являются очагом поразительного разнообразия заболеваний. Шестнадцать с половиной тысяч оснований их ДНК — меньше одной сотой всей последовательности — были первыми из прочитанных, через столетие после смерти Анн-Каролин. Каждая клетка содержит около тысячи таких структур. Это великие фабрики метаболизма; места, где сжигается пища — топливо жизни. Митохондриальные гены кодируют всего лишь тринадцать белков и примерно в два раза большее количество молекул, которые передают информацию от ДНК туда, где создаются белки.

Они подвержены ошибкам больше, чем другие. Некоторые из ошибок проходят через поколения, в то время как другие с возрастом нарастают в самом теле. Некоторые из двухсот известных ошибок представляют собой одиночное изменение в ДНК, другие разрушают целые секции генетического материала. Некоторые случаются часто: так например, изменение одного митохондриального гена происходит при одном из семи тысяч рождений.

Митохондриальные заболевания включают в себя множество симптомов: глухоту, слепоту, или повреждение мышц или мозга. Некоторые формы сахарного диабета обусловлены митохондриальными ошибками, как и наследственная мышечная слабость, и птоз верхнего века. У разных пациентов в одной и той же семье могут быть разные проблемы, может быть глухота у одного ребенка и повреждение мозга у другого. Все это обусловлено ролью митохондрий в сжигании энергии и их случайной перетасовкой при делении клеток. Яйцеклетка может содержать как нормальные, так и аномальные митохондрии. Если в эмбрионе ошибки становятся распространенными в линии клеток, которые создают ткань мозга, то страдает этот орган; если в клетках, кодирующих инсулин, возникает диабет. Матери передают такие гены сыновьям и дочерям, но только дочери передают их следующему поколению; картина, довольно отличная от наследования, сцепленного с полом.

Таковы правила генетической игры. С этого момента остальное относится к молекулярной биологии: механике, а не физике. Представление, что жизнь — это химия, впервые пришло от людей. В 1902 году, всего через два года после повторного открытия менделизма, английский врач сэр Арчибальд Гаррод заметил, что болезнь под названием алкаптонурия — причиной которой в то время считались кишечные черви — была более частой у детей тех родителей, которые разделяли недавнего предка, чем детей неродственных людей. Ее симптомы, потемнение мочи и ушной серы, а также артрит, прослеживаются рецессивно. Эта болезнь, подумал он, вызвана наследственным сбоем в одном из путей метаболизма,

который он назвал "химической мутацией" (собственный термин Дарвина для отклонения от нормы). Это было первое из многих врожденных нарушений метаболизма. Сам ген был найден всего за четыре года до окончания столетия. Ключ к его открытию показал, насколько широко должна распространяться генетическая сеть. То же самое было обнаружено у грибов, и этот кусок поврежденной ДНК используется для поиска его человеческого аналога.

Что это открытие говорило о генах, это то, что можно изменить форму бактериальных колоний, вставив "фактор переноса", извлеченный из родственных колоний другой формы. Этой субстанцией была ДНК, обнаруженная за много лет до этого в некоторых довольно отвратительных экспериментах с использованием пропитанных гноем бинтов. Это была самая важная молекула в биологии.

История о том, как была установлена структура ДНК, двойная спираль, слишком хорошо известна и не нуждается в повторении. Молекула состоит из двух сплетенных нитей, каждая из которых состоит из цепочки химических оснований — аденина, гуанина, цитозина и тимина — вместе с сахарами и другими веществами. Основания соединены парами, аденин с тимином, а гуанин с цитозином. Каждая из нитей комплементарна другой. Когда они разделяются, одна действует как шаблон для создания соответствующей ей нити. Порядок оснований вдоль ДНК содержит информацию, необходимую для производства белков. Каждый белок состоит из ряда разнообразных блоков, аминокислот. Инструкции для создания каждой аминокислоты закодированы в трехбуквенных последовательностях ДНК-алфавита.

Наследуемое сообщение, содержащееся в ДНК, передается в цитоплазму клетки (где и создаются белки) через посредника, РНК. Эта рибонуклеиновая кислота бывает в нескольких различных формах, каждая переносит связанную с ней генетическую информацию туда, где она используется.

Молекула ДНК — фактор преемственности поколений — стала частью нашего культурного наследия. Новая способность читать (и вмешиваться в) ее послания преобразила наше видение своего места в природе и нашей власти над ее обитателями. Тем не менее, стоит помнить, что законы генетики были разработаны без знания того, где могут располагаться единицы наследования и что они собой представляют. Подобно Ньютону, Мендель не интересовался деталями. Его устраивал мир взаимодействующих и независимых частиц, которые вели себя в соответствии с простыми правилами. Эти правила хорошо работали у него, и зачастую работают так же хорошо сегодня.

Опять же, как и Ньютон, Мендель был триумфально прав, но только до определенного момента. Молекулярная биология превратилась из красивого сказания о горохе в гораздо более мутную историю, которая больше напоминает гороховый суп. Новый генетический туман описан в следующей главе.

## Глава третья.

### ПЕРЕСМАТРИВАЯ ГЕРОДОТА

Греческий путешественник Геродот опрометчиво сказал, что хорошо знает мир. Он путешествовал по всему Средиземноморью и слышал о большинстве финикийских путешествий в Африку. Полагая, что знает все достопримечательности земного шара, он пришел к выводу, что "Европа длиной как Африка и Азия вместе взятые, а шириной, на мой взгляд, даже не сравнима с ними". Геродот располагал вещи примерно в нужных местах по отношению друг к другу, но физические расстояния между ними были безнадежно неправильными.

На протяжении двух тысяч лет карты могли быть изготовлены только в греческой манере. Они были условными, сделанными в стремлении подогнать ориентиры друг к другу, а не мерилком, содержащим абсолютные расстояния. Знакомые сельские участки преувеличивались намного больше, чем они того заслуживали. Средневековые карты были не намного лучше. Хотя форма Африки узнаваема, она сильно искажена. Восприятие картографами расстояний определялось тем, сколько времени требовалось, чтобы проехать из одного пункта в другой, а не тем, насколько далеко друг от друга они действительно были.

Суть генетики, как и географии, заключена в картах, в данном случае в наследственной карте нас самих. Только после изобретения точных часов и компасов через две тысячи лет после Геродота стало возможным измерение реальных расстояний на поверхности Земли. Как только они были усовершенствованы, вскоре появились хорошие карты, и Геродот стал выглядеть несколько глупо. Сейчас то же самое происходит в биологии. Генетики, оказывается, до сих пор делают те же ошибки, что и древние греки.

Так же, как при составлении карты мира, составление карты генов ожидало появления технологий. Теперь, когда она появилась, биологический атлас претерпел радикальные изменения. При этом мировоззрение изменилось гораздо больше, чем география от афинской до сегодняшней. То, что еще три десятилетия назад казалось простой и надежной схемой генома (основанной на таких ориентирах, как цвет гороха или наследственные заболевания), сейчас выглядит очень безобразно.

Большой возраст картографии был обусловлен, в конце концов, экономически: желанием найти новое сырье и новые рынки. Картографические амбиции Колумба были нужны королям Фердинанду и Изабелле. Еще пятьдесят лет назад посвященным казалось, что ДНК — денежное дело, и многие крупные фонды вложили средства в этот предмет. Лишь в 1980-х годах стало возможным картировать множество генов, и даже тогда казалось, что эта задача потребует десятилетий.

Темпы прогресса таковы, что сейчас, по окончании тысячелетия, эта работа, по сути, завершена. Благосклонность политиков и самолюбие ученых перераспределило денежные средства на Программу, институты и центры, поскольку от свободного рынка в науке отказались в пользу плановой экономики, но, в конце концов, проект "Геном человека" был осуществлен, и, наконец, у нас есть карта самих себя. Налогоплательщики (большинство из которых американские) играли важную роль, но в последние дни проекта работа была разделена, с некоторым ехидством, между правлениями благотворительных организаций (таких как Wellcome Foundation со своим кампусом недалеко от Кембриджа) и частными учреждениями, крупнейшими из которых управляют перебежчики из американской правительственной лаборатории. Был безумный ажиотаж на патентование генов. Крупные суммы перешли в другие руки. Права на одну из технологий были проданы швейцарской компании за триста миллионов долларов. Под конец ДНК-эльдорадо альтруисты опередили конкурентов, и большая часть информации была выложена в Интернете, где стала доступна для всех.

Идея создания карты генов впервые возникла не из-за технологии, а из-за отклонений от законов Менделя. Морган, со своими мухами, нашел много наследуемых признаков, которые следовали этим правилам. Их линии передачи из поколения в поколение не были связаны друг с другом, как цвет и форма гороха были признаками, наследуемыми независимо. Было одно большое исключение. Определенные сочетания признаков, передаваемые половыми хромосомами, не вели себя подобным образом. Вскоре к ним присоединились другие.

Мендель обнаружил, что наследуемое соотношение для цвета гороха не зависело от того, был ли горох круглым или морщинистым. Морган, напротив, обнаружил, что довольно часто пары характеристик (таких как цвет глаз и пол) переходили из поколения в поколение вместе. Вскоре у мух было найдено множество различных генов (таких как гены цвета глаз, уменьшенных крыльев и раздвоенных волосков тела), связывающих модель наследования с полом и, как следствие, с X-хромосомой. Вопиюще пренебрегая правилами Менделя, они не были независимыми. Используя термин Моргана, они были сцеплены.

В течение нескольких лет оказалось, что многие другие признаки передаются вместе. Эксперименты с миллионами мух показали, что все гены дрозофилы могут быть организованы в группы на основе того, независимы ли схемы наследования. Некоторые комбинации вели себя так, как ожидал Мендель. Для других, пары признаков от одного родителя имели тенденцию оставаться вместе в последующих поколениях. Как выразился Морган, гены были включены в одну и ту же группу сцепления. Число групп было таким же, как число хромосом. Это открытие положило начало "карте сцепления" дрозофилы и стало связью между менделизмом и молекулярной биологией.

Сцепление — это склонность групп генов переходить вместе из поколения в поколение. Оно не является абсолютным. Гены могут быть тесно связаны или могут оказывать лишь слабое предпочтение компании друг друга. Такое несовершенство объясняет некоторые странные события, когда образуется сперматозоид и яйцеклетка. Каждая клетка содержит две копии каждой из хромосом. Их число уменьшается в два раза во время особого деления клеток в яичках или яичниках. Хромосомы располагаются попарно и обмениваются частями своей структуры. В результате, сперматозоиды или яйцеклетки содержат комбинации хромосомного материала, отличающиеся от комбинаций в клетках родителей, которые их создали.

Именно поэтому в группе сцепления определенные гены наследуются, будучи тесно взаимосвязанными, а у других связь менее близкая. Если гены находятся рядом друг с другом, у них меньше шансов быть разделенными, когда хромосомы обмениваются материалом. Если они далеки друг от друга, то разделяются чаще. Пары генов, каждая из которых следует законам Менделя, находятся на разных хромосомах. Рекомбинация, как называется этот процесс, похожа на перетасовку комбинаций красных и черных карт. У двух красных карт, находящихся далеко друг от друга, больше шансов оказаться в разных частях новой колоды, когда ту разделяют, чем у двух таких карт, находящихся близко друг от друга. Такие перетасовки означают, что каждая хромосома в следующем поколении представляет собой новую смесь генетического материала, состоящую из перегруппированных частей пар хромосом каждого родителя.

Рекомбинация помогла сделать первые генетические карты. Подобно картам в руках у опытного игрока, гены организованы в последовательности. Их новое положение может быть обусловлено тем, насколько сильно была нарушена последовательность в каждом поколении, когда перетасовывались наследуемые карты. Изучая наследование групп генов, Морган выяснил их очередность и относительные расстояния между ними. Сопоставление информации от небольших групп наследуемых признаков позволило создать то, что он назвал "картой сцепления".

Карты сцепления, основанные на исключениях из менделизма, чрезвычайно полезны. Они были сделаны для бактерий, помидоров, мышей и других живых существ. Таким образом были сопоставлены тысячи генов. У дрозофилы почти все они были организованы по порядку вдоль хромосом, и почти все у мышей.

Поскольку для этой работы требовались эксперименты по воспроизводству, человеческая карта сцепления оставалась в течение многих лет почти совершенно и абсолютно пустой. Большинство семей слишком малы для поиска отклонений от правил Менделя, и было известно слишком мало вариаций, чтобы их искать. Казалось, было мало надежды, что генетическая карта человечества может быть создана.

Единственным исключением из этой *terra incognita* было сцепление с полом. Если гены сцеплены с X-хромосомой, они должны быть сцеплены друг с другом. Создание такой карты для десятков признаков заняло немного времени. Вычерчивание карты сцепления для других хромосом было мучительно медленным делом. Ген дальтонизма был нанесен на карту X-хромосомы в 1911 году, но первая сцепленность на других хромосомах не появлялась до 1955 года, когда была обнаружена близость гена группы крови АВО к гену аномалий скелета. Фактическое число хромосом человека было установлено в следующем году, а первый ген, сцепленный не с полом, был отображен на карте своей хромосомы в 1968 году.

Теперь генетика преобразилась. Применяемые сейчас технологии отличаются от картирования сцеплений, как спутники от секстантов. Они не зависят от скрещиваний и представляют не просто биологическую карту, основанную на модели наследования. Генетики теперь создали более общепринятую (но гораздо более подробную) карту, физическую карту фактической очередности всех оснований вдоль ДНК. Новый атлас нас самих изменил наши взгляды на то, что такое гены.

На ранних стадиях развития генетики человека, тридцать лет назад, у биологов было детское представление о том, как выглядит мир. Как и на ментальной карте одиннадцатилетнего ребенка (или Геродота), сцепленность была основана на нескольких знакомых ориентирах, размещенных по отношению друг к другу. Утомительное, но объективное использование меры расстояний все изменило. Тридцать лет назад молекулярные биологи были полны высокомерия. По их мнению, они решали проблемы наследственности. Новые возможности для чтения посланий ДНК должны были выполнить работу, которую не смогли завершить исследования семей и картирование сцеплений; они показали бы, где находятся все наши гены по отношению друг к другу. Здание, фундамент которого был заложен Менделем, должно было быть закончено. Оптимизм в то время был разумным. Казалось справедливым предположить, что физическая карта генов будет выглядеть так же, как биологическая карта, основанная на моделях наследования, и сможет со временем ее заменить.

Такой оптимизм вскоре был умерен. Первые исследования неведомой территории, которая лежит вдоль цепи ДНК, показали, что физическая карта сильно отличалась от карты сцепления, полученной от гороха или плодовой мушки. Сами гены не нанизаны по очереди на нить хромосомы, а имеют сложную и неожиданную структуру.

Успехи молекулярных исследователей, как и их географических предшественников, зависят от новых геодезических инструментов, которые сделали мир более обширным и сложным местом. Инструменты, используемые в молекулярной географии, заслуживают упоминания.

Первым устройством является **электрофорез**, разделение молекул в электрическом поле. Многие биологические вещества, включая ДНК, несут электрический заряд. Помещенные между положительным и отрицательным электродом, они перемещаются в направлении одного или другого. Гель (действующий как сито) используется, чтобы улучшить разделение. Гели когда-то делали из картофельного крахмала, тогда как современные изготавливаются из химических полимеров. Я испытал клубничное желе, которое работает достаточно хорошо. Гель разделяет молекулы по размеру и форме. Большие молекулы движутся медленнее, когда их протягивают через сито, в то время как более мелкие проходят с меньшими трудностями. Различные приемы улучшают этот процесс. Так, изменение направления потока каждые несколько секунд предполагает, что могут быть подвергнуты электрофорезу более длинные фрагменты ДНК, поскольку они закручиваются и раскручиваются каждый раз, когда отключается питание. Новейшие технологии используют массивы тонких стеклянных трубочек, заполненных гелем, в каждую из которых загружают образец. С различными уловками весь процесс становится поточной линией, и ежедневно можно проанализировать десятки тысяч образцов.

Компьютер, на котором я писал эту книгу, обладает некоторыми довольно бесполезными способностями. Он может — если его попросить — отсортировать все предложения по длине. Это предложение, с двадцатью словами, выстроилось бы по порядку со многими не связанными в других отношениях предложениями из остальной части книги. Электрофорез делает это с молекулами. Длина каждой части ДНК может быть измерена тем, как далеко она продвинулась в геле. Ее положение определяется с помощью ультрафиолетового света (поглощаемого ДНК), химических красок, флуоресцентных красителей, которые загораются, когда на них светят лазером соответствующей длины волны, или радиоактивных меток. Каждая часть собирается со всеми другими, содержащими такое же количество букв ДНК.

Другой инструмент использует ферменты, извлеченные из бактерий, чтобы разделить участок на удобные части. Бактерий атакуют вирусы, которые встраиваются в их генетические инструкции и заставляют хозяина копировать захватчика. У бактерий есть защита: ферменты, которые режут чужеродную ДНК в определенных местах. Эти "рестрикционные ферменты" можно использовать, чтобы нарезать гены человека на куски. Имеются десятки таких ферментов, каждый из которых в состоянии разрезать определенную группу букв ДНК. Длина получаемых частей зависит от того, как часто повторяется место разреза. Если бы каждое предложение в этой книге разрывалось всякий раз, когда появляется слово "и", были бы тысячи коротких фрагментов. Если бы фермент узнавал слово "но", было бы меньшее число, более крупных частей, а фермент, резавший бы по гораздо бо-

лее редкому слову "банан" (которое, уверяю вас, действительно появляется время от времени), создал бы всего несколько фрагментов длиной в тысячи букв.

Места разрезов (таких как слова "и", "но" и "банан") дают набор ориентиров вдоль ДНК. Их отыскание является первым шагом к воссозданию самой книги. Процесс похож на тот, что реализовали студенты, ворвавшиеся в американское посольство в Тегеране после падения шаха. С большим трудом они собрали секретные документы, которые были пропущены через уничтожитель бумаг. Собрав фрагменты, студенты восстановили длинное, сложное и компрометирующее сообщение.

Молекулярная биология делает почти тоже самое. Во-первых, в качестве первого шага к полной карте нужно размножить копии сообщения, чтобы позволить детально просмотреть каждый короткий кусок. Различные приемы позволяют вырезать куски ДНК, чтобы вставить их в бактерии или дрожжи. ДНК была клонирована. Всякий раз, когда хозяин делится, он размножает не только свои собственные генетические сообщения, но и чужеродный ген. В результате миллионы копий оригинала готовы для изучения в мельчайших деталях, необходимых для генетической географии.

Клонирование было дополнено другим ухищрением, полимеразной цепной реакцией. Она использует фермент, применяемый в естественной репликации ДНК, для создания копии молекулы в лаборатории. Продолжая нашу довольно вымученную литературную аналогию, этот метод служит биологическим ксероксом, который может создавать множество дубликатов каждой страницы генетических инструкций. Ксерокопируемый фермент был взят у бактерии, живущей в горячих источниках. Реакция начинается с пары коротких искусственных последовательностей ДНК, которые связываются с натуральной ДНК, по обе ее стороны, чтобы ее увеличить. При нагревании и охлаждении реакция смешивает и обеспечивает подачу четырех оснований, целевые нити ДНК раскручиваются, копируются с помощью фермента и восстанавливают форму. Каждый раз, когда цикл повторяется, количество копий удваивается, и вскоре образуются миллионы копий первоначального фрагмента ДНК.

Другая уловка использует способность ДНК связываться со своим зеркальным отображением. Основания ДНК образуют две согласованные пары, А с Т и Г с С. Чтобы обнаружить ген, комплементарные копии создаются в лаборатории. При добавлении в клетку они ищут и связываются со своими аналогами на хромосоме. Мой компьютер может делать то же самое. По простой команде он будет искать любое слово, какое я захочу, и красиво выделит его фиолетовым. Он делает свою работу лучше с редкими словами (такими как "банан"). ДНК-зонд, меченный флуоресцентным красителем, обнаруживает гены таким же образом. Метод известен как FISH (флуоресцентная гибридизация *in situ*) генов. Усовершенство-

ванный вид FISH включает раскручивание ДНК, прежде чем ее окрасить. Это делает метод более чувствительным.

Все это, и многое другое, произвело революцию в картировании человеческой ДНК. Во-первых, это улучшило карту сцеплений. Картину наследования коротких последовательностей ДНК можно отследить по поколениям так же, как можно отследить наследование дальтонизма или коротких пальцев. Есть миллионы генных сайтов, которые варьируются от человека к человеку. Все они могут быть использованы в исследовании родословной. Другая схема состоит в использовании полимеразной цепной реакции для размножения копий ДНК из отдельных сперматозоидов. Карта сцеплений создается на основе сравнения перестроенной хромосомы в сперматозоидах с хромосомой в теле человека, который их произвел. Это позволяет совсем избежать проблемы размеров семьи.

При создании карты сцеплений человека потребовалось много времени на раскачку, и еще предстоит пройти определенный путь. До появления высоких технологий большой проблемой был недостаток различий; недостаток изменчивых генов или сегментов генетического материала, общие закономерности наследования которых можно бы было изучать. Эта проблема была решена. Наша ДНК, как теперь известно, насыщена сотнями тысяч изменчивых сайтов, многие из которых основаны на индивидуальных различиях в количестве и местах повторов двух букв, С и А. В результате на основе наиболее традиционной разновидности генетики возникла целая новая индустрия.

Как и любая индустрия, она требует сырья. Французы, вместе с американцами, установили около шестидесяти больших семей с длинными и сложными родословными, которые хорошо подходили для картирования генов. Они происходили из разных уголков мира, от Венесуэлы до Бангладеш. Линии клеток от каждого человека сохраняли живыми в лаборатории, и были установлены тысячи вариаций, плотно упакованных по всей длине хромосом. Пациенты, скажем, с болезнью сердца, могут пройти обследование, чтобы убедиться, что они тоже, как правило, несут другие наследственные вариации. Если это так, есть большая вероятность, что подлинный ген, который в этом задействован, находится поблизости и тащит с собой своих анонимных товарищей. Нахождение таких ориентиров может быть первым шагом к обнаружению самого гена.

Наследникам Моргана наконец удалось сделать для людей то, что уже давно было сделано для плодовой мушки, и до карты сцепления мужчины рукой подать. Выясняется, что для женщин это будет несколько дольше. Такие карты зависят от половой перетасовки генов. По некоторым причинам это происходит больше у женщин, чем у мужчин, и, как результат, их карта работает в другом масштабе.

Карта сцеплений человека полезна, но биологи всегда хотели сделать другой вид карты, подобную той, что используют географы, основанную на простом описании генетического материала. Теперь она есть. Подход был грубым: штур-

мовать геномом деньгами, долго и нудно, пока он не будет прочитан весь, от начала и до конца.

Первый шаг в привязке карты сцепления к карте, основанной на физической структуре ДНК, обязан случайности. Морган заметил, что в одной из его пород мух ген, который, как правило, был сцеплен с полом, начал вести себя, как если бы он был не на X-хромосоме вообще. Взгляд в микроскоп показал, почему. X-хромосома приклеилась к одной из других хромосом и наследовалась с ней. Изменение закономерности сцепления гена было обусловлено переменной в его физическом положении.

Такие повреждения хромосом были использованы, чтобы начать составлять физическую карту человека. Иногда из-за ошибки в создании сперматозоида или яйцеклетки часть хромосомы перемещается в новое место. Любое параллельное изменение в схеме наследования определенного гена показывает, где она должна быть. Иногда крошечный сегмент хромосомы отсутствует. Это сразу же может привести к ряду врожденных заболеваний. У одного неудачливого американского мальчика была недостаточность иммунной системы, наследственная форма слепоты и мышечной дистрофии. Крошечный участок его X-хромосомы был удален. Он, должно быть, содержал отрезки ДНК, несущие эти гены. Он дал важную подсказку, где был расположен ген мышечной дистрофии, одно из самых частых и наиболее огорчительных наследственных заболеваний. Отсутствующий сегмент стал ориентиром, за который могла зацепиться физическая карта области вокруг этого гена.

Чтобы составить карту генов на основе изменений в хромосомах не нужно дожидаться природных несчастий. Клетки человека, или клетки мышей, или хомячков, можно культивировать в лаборатории. Когда смесь клеток мыши и человека выращивают вместе, клетки могут сливаться, производя гибрид с хромосомами от обоих видов. Когда эти гибриды делятся, они теряют хромосомы (и гены), полученные от одного или другого вида. Некоторые характерные человеческие гены теряются каждый раз, когда выбрасывается хромосома человека. Сопоставив потери определенных генов с потерями хромосом (или их коротких сегментов), можно увидеть, где они должны быть.

Все эти методы подсказывают положение гена, а не дают его точные координаты. Мелкомасштабная картография (или бестолковое секвенирование, как ее ласково называют) включает различные хитрые уловки. Одна из них основана на способности ДНК копировать себя, когда появляется особый фермент, и смесь снабжает ее А, G, C и T основаниями. Можно постепенно увеличивать части нити ДНК от одного конца к другому в четырех отдельных экспериментах (с использованием разных оснований). С помощью химического трюка некоторые из растущих нитей останавливаются каждый раз, когда добавляют основание. Это создает множество отрезков ДНК различной длины, каждый заканчивающийся А, G, C

или Т. Электрофорез этой смеси на одном и том же геле дает четыре параллельные линии фрагментов ДНК, упорядоченных по длине. Сканирование геля вдоль и поперек дает очередность этих оснований. Это наиболее трудоемкая задача. Человека здесь вытеснили машины, которые делают эту работу по-другому. Наиболее важное изменение в генетике носит принципиальный характер. Поскольку трехбуквенный код для каждой аминокислоты известен, можно вывести очередность аминокислот, созданных одним фрагментом ДНК, если установлена последовательность его оснований. Что делает любой ген, можно установить путем сравнения его последовательности с компьютерной базой данных других генов, чьи действия известны. Совпадение не должно быть точным, в конце концов, французский словарь содержит тысячи слов, достаточно похожих на английские, чтобы догадаться об их значении. Кроме того, иногда можно определить трехмерную структуру белка из его аминокислотной последовательности, и установить, какой может быть его функция.

Есть некоторые замечательные сходства между наследуемыми словарями. Гены, контролирующие развитие, схожи у человека и дрозофилы, как и гены, создающие их мозг. Гены, которые, выходя из строя, повреждают нервную систему, имеют близкие аналоги у дрожжей (не имеющих нервов вообще), а один из наших собственных генов практически идентичен гену, изменяющему структуру кровеносных сосудов на крыльях насекомых. Такой консерватизм должен был оказать радикальное влияние на генетику человека.

Каталог запчастей для автомобиля Мерседес класса С содержит четыре с половиной тысячи именованных элементов, от педали акселератора и бокового зеркала до колесных гаек. Некоторые (например, отдельные винты или шайбы) могут повторяться в десятках рифм, но заводу нужно сделать менее пяти тысяч штук, чтобы прокормить конвейер и, в конце концов, чтобы внести свой вклад в европейские пробки. Чтобы сделать человека, требуется в десять раз больше — по стоимости, как реактивный самолет — и задача наблюдать, как скручивается болтами огромное количество деталей, может показаться почти невозможной. Даже клетка дрожжей (чуть ли не Мерседес живого мира) с ее шестью тысячами белков требует больше, чем автомобиль.

Сама последовательность гена дрожжей, как и любого другого, не больше, чем заводская инструкция, содержащая информацию об отливке, формовке и заготовках, но также и о различных посторонних частях, которые удаляются до того, как достигают конвейера. Затем, как и на заводе Mercedes, ее части должны быть объединены, чтобы создать функциональный механизм. Даже это бесполезно для тех, кто не может водить, и даже опытный водитель не поможет, если его выбросить в чужом городе без карты дорог. Чтобы понять, как работает клетка, требуется еще больше.

Ремонтный механизм ДНК, как автомобиль технической помощи, производит лишь ящик с кусками и частями; биологический аналог гаек, болтов, реле, пружин, стоек, проводов и всего прочего, необходимого для создания автомобиля. Форма человеческого белка может быть выведена из последовательности ДНК, но обычно не дает намека на то, как он вписывается в клеточный механизм. Дрожжи проще, и об их механике известно гораздо больше. Нежелание жизни изменяться позволяет использовать механизм дрожжей, чтобы исследовать наши собственные клетки. В охоте на человеческий ген один из методов довольно похож на рыбную ловлю. Возьмите белок, работа которого известна, и прикрепите к нему молекулярный крючок и специальный поплавок. Введите его в самца (или клетку, считающуюся мужской у дрожжей). Затем спарьте этого обольстительного индивида с самкой и пустите его гены по течению мимо всех тысяч частей ее клеток, пока одна не проглотит наживку, встроив их в себя. Поплавок заставляет женскую клетку светиться, и соответствие найдено.

Рыбалка с приблизительно двумя сотнями белков-приманок из дрожжей позволила поймать более тысячи генов в клетках человека. Один целый набор белков дрожжей присоединился к одному человеческому белку, который говорит, когда клеткам начинать делиться, а когда остановиться. Дрожжевая приманка похожа на белок, который, выйдя из строя, вызывает рак у человека: и экспресс-испытания доказали, что недавно пойманные человеческие аналоги представляют важные части наших собственных клеточных систем тормоза и газа. Такое открытие вызвало большой интерес в медицине и стало первым шагом к тому, что может стать эрой охоты на гены в сложных организмах, на приманку, основанную на более простых существах.

Генетические языки различных организмов действительно близки; по сути, достаточно близки, чтобы дать возможность связать недавно обнаруженную последовательность генов человека с чем-то еще, либо какой-то из наших генов с генами далеких от нас существ. Генетика человека преобразилась. Она больше не начинается с наследственного изменения (например, с генетического заболевания), чтобы найти его расположение. Вместо этого она использует противоположную стратегию, логику, прямо противоположную логике Менделя: от наследуемых частиц к функциям, а не наоборот. Генетика — первая наука, которая ускорила, идя в обратном направлении.

Первым прорывом в этом новом подходе стала успешная охота на ген кистозного фиброза в 1990 году. Это дало возможные подсказки и помогло внедрению достижений, которые привели к полной карте лишь десятилетие спустя. Эта работа обошлась в сто пятьдесят миллионов долларов, но затраты на один ген в настоящее время снизились в сотни раз.

Муковисцидоз является наиболее распространенной наследственной аномалией среди белокожих людей. В Европе он поражает примерно одного ребенка из

двух тысяч пятисот. Еще несколько лет назад заболевшие умирали молодыми. Их легкие заполнялись слизью и становились заразными. Заболевшие с трудом переваривали пищу, поскольку они не могут производить достаточное количество ферментов кишечника. Опасность этого заболевания уже давно общепризнана. Швейцарские дети поют песню, в которой есть слова: "умрет ребенок, чей лоб на вкус соленый, когда его целуют". Эти симптомы на первый взгляд кажутся не связанными с болезнью, но все они обусловлены неспособностью выделять соль через мембраны, окружающие отходы. Медицина улучшила жизнь пострадавших, но мало кто доживает до середины третьего десятка.

Исследования семей давно показали, что заболевание связано с рецессивным геном, который находится не на половых хромосомах. В 1985 году родословные показали, что он был связан с другой последовательностью ДНК, которая контролирует ферменты печени, хотя тогда не было известно, на какой хромосоме она находилась. Примерно в течение года была обнаружена родословная, в которой эта пара генов была связана с вариантом ДНК, уже нанесенным на карту в седьмой хромосоме. Соответствующий сегмент хромосомы был вставлен в линию клеток мыши, нарезан на короткие отрезки, и мучительная работа по секвенированию началась. К 1988 году ключевой участок был обнаружен. Им оказался сегмент ДНК длиной в полтора миллиона оснований. Фрагменты были проверены, чтобы увидеть, имели ли они общие последовательности с ДНК других животных (как последовательности дрожжей и человека, контролирующие деление клеток, которые были найдены позже), и если да, то порядок букв должен был сохраниться в процессе эволюции, потому что он выполнял неведомую, но полезную работу. Было открыто несколько таких участков. В одном порядок букв ДНК был схожим с ДНК других белков, участвующих в транспорте через мембраны. Из этого вытекала схема наследования муковисцидоза. Ген был найден.

Ген кистозного фиброза имеет длину в четверть миллиона ДНК-оснований, хотя белок содержит лишь около полутора тысяч аминокислот. Компьютерные модели его формы показывают, что он охватывает клеточную мембрану несколько раз, как и ожидалось для молекулы, в чьи обязанности входит действовать как насос. Многие семьи с таким заболеванием имеют только одно изменение в этом белке: отсутствует одна аминокислота. Это изменяет его форму и не дает новому белку двигаться в нужное место в клетке. Вместо этого его подхватывает и разрушает внутренняя сеть контроля за качеством.

Открытие гена позволило выявить его носителей (вместе с эмбрионами, несущими две копии). К сожалению, муковисцидоз, который когда-то казался простым расстройством, как мы теперь знаем, может быть вызван множеством различных изменений в ДНК, которые варьируют от места к месту и от семьи к семье. Болезнь дала первый намек на неожиданные и нежелательные сложности, которые позже выявила полная карта.

Картирование бурно развернулось после этого первого открытия. Сначала картографы вели себя как любые исследователи на новой территории. Картограф не начинает с плана берега, который затем расширяется в мельчайших деталях, пока не будет охвачена вся страна. Вместо этого он выбирает главные ориентиры и оставляет детали на потом, когда он будет знать, что они, вероятно, будут интересны. До сегодняшнего триумфа технологии большинство картографов были обеспокоены малым процентом генов, приводящих к наследственным заболеваниям.

Все наиболее важные наследственные болезни, контролируемые одиночным геном, были обнаружены в течение нескольких лет. Болезнь Хантингтона приводит к дегенерации нервной системы и смерти в среднем возрасте. Ее когда-то называли хорей Хантингтона (слово того же корня, что и хореография) из-за произвольных танцевальных движений тех, кто ею страдает. В восемнадцатом веке профессор Гарвардского университета утверждал, что люди с этой болезнью были богохульниками, поскольку их жесты были имитацией движений Христа на кресте, и некоторые больные были сожжены. Ген болезни является доминантным, но с одной неприятной особенностью: из-за позднего проявления симптомов, входящие в группу риска люди остаются в неуверенности относительно своего опасного положения. В 1983 году произошел прорыв, чему способствовало большое везение. Вскоре после начала поиска приблизительное место гена Хантингтона было найдено благодаря его связи с другой сцепленной ДНК, чуть поодаль на той же хромосоме. Затем везение кончилось, и потребовалось десять лет, чтобы найти ген. Сейчас его отследили на кончике хромосомы 4. Была вычислена форма белка, действовавшего неправильно — хантингтина, как его называли при определенном отсутствии воображения — впервые дав некоторое представление о природе заболевания, которое вызывается самоубийством нервных клеток, когда аномальный белок (не похожий ни на что другое в клетке) приказывает им это сделать. Многие другие поврежденные гены вскоре пали жертвой генетических исследователей и были нанесены на карту.

Введите четыре буквы OLIM — On Line Inheritance In Man — в любую поисковую систему, и сразу появится список из десяти тысяч наследственных заболеваний, симптомы, схема наследования и, почти для всех, привязка к координатной сетке хромосом. От охоты на наследственные заболевания поиск переместился на более широкий круг генов. Больше не было болезней, необходимых в качестве первой зацепки. Искать гены только тогда, когда они работают неправильно — все равно, что пытаться разобраться в принципах работы двигателя внутреннего сгорания, исходя из поломки автомобиля. Теперь сама машина может быть разобрана и ее механизм изучен напрямую.

Когда ген что-то делает, он вырабатывает комплементарные молекулы — известные как мессенджеры — которые передают информацию от ДНК к основ-

ным частям клетки. Из-за того, что она ничего не производит, большая часть ДНК не генерирует мессенджеров вообще. Поэтому поиск таких молекул — отличный способ найти работающие гены. Есть десятки тысяч различных мессенджеров. Что делает большинство из них — совершенно неизвестно. Почти во всех клетках большинство их выключено, но в мозге большая часть работает в любое время. Мозг более активен, чем любая другая ткань (что может помочь объяснить, почему более четверти всех наследственных болезней приводят к психическим расстройствам).

Поиски генов больше похожи на поиски Тимбукту, чем Эльдorado. Картографы вскоре обнаружили, что гены являются оазисами смысла в пустыне бессмыслицы. В одно время казалось, что едва ли стоит просеивать песок между генетическими городами, но, в конце концов, полная карта была сделана в основном по тем соображениям, что она была важна, в то время как никто не знал, что там могло оказаться. Это подтвердило один из самых неправильно понимаемых фактов в науке, что можно решить большинство проблем, выбрасывая на них деньги.

Штурм физической карты лучше по сравнению с геодезическими измерениями страны шестидюймовой линейкой, начиная с одного конца и двигаясь к противоположной границе. Двадцать и более лет назад, когда работа начиналась, один человек мог двигаться со скоростью около пяти тысяч оснований ДНК в год. Теперь обычной практикой является делать в тысячи раз больше. Большая часть интеллектуальных усилий в этой работе сместилась от простого накопления информации к ее пониманию. Волшебство компьютера сыграло такую же важную роль в генной карте, как и биохимическое оборудование.

После того, как участок ДНК секвенирован, местные карты — планы городов — нужно разместить в правильном порядке. Один из способов построить большую карту — это сделать ряд перекрывающихся последовательностей коротких отрезков ДНК. Этот почти все равно, что собрать страницы, вырванные из уличного путеводителя, глядя на взаимные наложения на краях каждой страницы, в попытке найти улицы, которые выходят друг на друга. Сложные программы ищут перекрывающиеся сегменты, длинные или короткие, и собирают разрозненные фрагменты ДНК. Это гораздо сложнее, чем кажется. Алфавит из всего лишь четырех букв и — как на карте американского города — множество повторов одной и той же схемы улиц дает много возможностей для путаницы. Есть несколько коротких путей. Одной из уловок, полезной в былые годы, было перескочить через несколько страниц в путеводителе в надежде пропустить особенно утомительные части прилегающей территории, но для завершения работы нужно нанести на карту даже самые скучные части города.

Новые и мощные компьютеры сделали возможным, по крайней мере в принципе, создать целый генетический атлас сразу, а не собирая кусочками, страница за страницей. Метод "дробовика", стреляющего наугад, оправдывает свое

название. Он разрывает копии генома на тысячи сегментов, снова и снова, и воссоздает все с нуля, как таксидермист восстанавливает единственного фазана, случайно разнесенного в пух и прах слепым человеком с дробовиком двенадцатого калибра. Гигантская компьютерная программа собирает все раздробленные осколки, пока, наконец, они не становятся похожи на карту (или пернатую дичь). Такой подход хорошо зарекомендовал себя с дрозофилой, геном которой был секвенирован перед нашим собственным, но у мухи в десять раз меньше букв ДНК и гораздо меньше повторов коротких последовательностей, чем у нас. Менее дерзкий метод, "клон за клоном", берет крошечные фрагменты (каждый длиной в одну двадцатитысячную всей человеческой ДНК) и секвенирует их один за другим. Затем он вновь собирает короткие сегменты генов и, со временем, восстанавливает весь атлас. Этот метод, хоть, возможно, и медленный, хорошо зарекомендовал себя с человеком и был использован картографами, финансируемыми за счет бюджета, публиковавшими каждый клон, когда он появлялся, и помогшими сорвать негосударственный план (и патент) секвенирования всей нашей ДНК одним махом.

Физическая карта вовсе не выглядит как карта сцепления, которая была выявлена в результате исследования семей. Основная трудность заключается в размере. Несколько десятков тысяч функциональных генов вмещается в трех миллиардах букв ДНК. Поскольку большинство генов использует информацию, закодированную всего лишь в нескольких тысячах оснований, кажется, ДНК гораздо больше, чем необходимо. Картирование показывает, что только одна двадцатая часть представляет собой части гена. Наш геном устроен необычно и совершенно неожиданно.

Могут помочь географические аналогии. Представьте себе путешествие по всей вашей ДНК как поездку из Лендс-Энда в Джон-о'Гротс через Лондон, в целом около тысячи миль. Чтобы представить все буквы ДНК в дорожной карте в этом масштабе, должно быть пятьдесят оснований ДНК на дюйм или около трех миллионов на милю. Путешествие проходит через двадцать три графства различных размеров. Довольно удобно, что этих административных единиц столько же, как хромосом, в которые упакована человеческая ДНК, двадцать три. За исключением некоторых коротких участков длиной в несколько сотен метров, которые, по различным техническим причинам, оказались неподатливыми, огромное множество было нанесено на карту с точностью до одной части на пятьдесят тысяч — дюйм на миле (что так же хорошо, или лучше, чем карты, продаваемые Картографическим управлением).

Пейзажи в большей части поездки утомительны. Как и большая часть современной Великобритании, они кажутся неплодородными. Примерно треть всего расстояния покрыта повторами одних и тех же сообщений. Примерно пятьдесят миль содержат слова из пяти, шести или более букв, повторяющиеся друг за дру-

гом. Многие из них — палиндромы. Они читаются задом наперед, как некролог Фердинанда де Лессепа — "A man, a plan, a canal: Panama!" ("Человек, план, канал: Панама!") Некоторые из этих "тандемных повторов" разбросаны в блоках по всему геному. Расположение и длина каждого блока варьируется от человека к человеку. Знаменитые "генетические отпечатки пальцев", уникальный наследуемый признак, используемый в судебно-медицинской экспертизе, зависит от вариаций в количестве и расположении таких сегментов. Другие повторяющиеся последовательности представляют собой только две буквы, С и А, размноженные тысячекратно, тогда как еще больше являются остатками древних вирусов. Значительные участки генома передают длинные и сложные сообщения, которые, похоже, не говорят ничего.

Опасно списывать всю эту ДНК как бесполезную, из-за того что мы не понимаем, что в ней сказано. Китайский термин "ши", судя по всему, может иметь семьдесят три различных значения, в зависимости от того, как он произносится. Можно построить предложения, такие как "мастер любит лизать слюну льва", используя только "ши" снова и снова. Это может показаться пустыми повторами для тех, кто не говорит по-китайски.

Большая часть наследуемого пейзажа усеяна трупами заброшенных генов, иногда одних и тех же, снова и снова. Последовательности ДНК этих "псевдогенов" выглядят весьма схоже с их функциональными родственниками, но подвержены вырождению и больше ничего не делают. В какой-то момент в их истории важнейшая часть механизма была повреждена. С тех пор они ржавели. Как ни странно, одни и те же псевдогены могут появляться в нескольких местах по ходу путешествия.

После многих миль скучной и повторяющейся местности ДНК мы начинаем видеть места, где производится некоторая продукция. Это функциональные гены. В их структуре также есть несколько сюрпризов. Каждый из них можно распознать по порядку букв алфавита ДНК, который начинает читаться в словах из трех букв, написанных в генетическом коде, как указание, что они могут производить белки. В большинстве случаев есть несколько подсказок, что делает его продукт, хотя его структуру можно установить (и предположить его форму), исходя из порядка букв его ДНК.

Большинство генов располагаются группами, производя взаимосвязанные продукты. Всего есть около тысячи таких "генных семейств". Одно из них участвует в производстве красного пигмента крови. Большая часть ДНК в клетках костного мозга, производящего красные кровяные тельца, выключена. Одна небольшая группа генов неустанно работает. В результате они более известны, чем любые другие. В основном молекулярная биология человека возникла из исследований генного промышленного центра, генов глобина.

Они имеют две фабрики. Одна находится на полпути до генетического Джон-о'Гротса — в Лидсе. На ней создается одна часть белка, занятого доставкой кислорода. Бета-глобиновый комплекс промышленных предприятий включает в себя около полудюжины участков ДНК, кодирующих сопутствующие вещи. Будучи ответственным за часть гемоглобина взрослого (и вызывая серповидноклеточную анемию, когда допускает ошибки), он весьма мал: около трех футов в длину по шкале нашей карты. В нескольких футах находится еще один, создающий глобин, обнаруженный в эмбрионе. Рядом с ним — разрушенные каркасы некоторого оборудования, которое перестало работать много лет назад. Фабрика бета-глобина занимает в целом около ста футов, большинство из которых, похоже, является неиспользуемым пространством между функциональными генами. Она сотрудничает с сестринским комплексом, блоком альфа-глобина, расположенным вдали от нее, (недалеко от Лондона на этой вымышленной карте), который производит сопряженный белок. Соединенные вместе, эти два продукта создают сам красный пигмент крови. Большинство генов организованы в семейства, или близко друг от друга, или разбросаны по всему геному.

Карта показывает, что сами гены имеют самые разные размеры, от примерно пятисот букв до более чем двух миллионов. Один создает больший из известных белков, тайтин, молекулярный амортизатор: длинную, складчатую структуру, найденную в мышцах, клетках крови и хромосомах. Независимо от размера продукта, ген, производящий тайтин, отнюдь не самый большой. Большинство генов человека имеют свои функциональные сегменты, прерываемые участками некодирующей ДНК — в болезни Хантингтона, например, их почти семьдесят. Во многих генах (таких как ген, выходящий из строя при мышечной дистрофии) подавляющее большинство ДНК ничего не кодирует. Некодирующие участки, важность которых значительно варьируется от гена к гену, участвуют в первой части производственного процесса, но эти сегменты генетического кода вырезаются из сообщения, прежде чем белок будет собран. Этот способ кажется странным, но именно так придумала эволюция.

Общая картина начала проясняться, как только картографы начали работу. В 2000 году — почти ровно через столетие после повторного открытия законов Менделя — их работа была, по сути, закончена, и вся последовательность человеческих генов, при всей ее упомянутой монотонности, была изложена, не особо поразив мир. Три миллиарда букв (или, как теперь оказалось, чуть больше) это очень много. Для точности, каждый участок нужно было секвенировать десять и более раз, и даже при тысяче оснований ДНК в секунду (выжимаемых оборудованием), это было нелегко. Шестнадцать центров, во Франции, Японии, Германии, Китае, Великобритании и США, объединились, чтобы выполнить эту работу. Большинство из них финансировалось правительствами или благотворительными организациями, с пресловутым исключением компании Celera Genomics (их де-

виз: "Открытие не может ждать!"), глава которой переметнулся из правительственной программы. Достижения в технологии снизили первоначальную смету в три миллиарда долларов в десять раз, что для проекта — описанного президентом Клинтоном как производство самых чудесных карт из когда-либо созданных — с гораздо большим научным весом, чем высадка на Луну, было заметной выгодой. Большую часть времени частный и государственный сектор были на ножах (что наглядно иллюстрирует, как Selega описывала директора одной бюджетной лаборатории, ведущего себя так, будто его укусила бешеная собака).

Поскольку (как это часто бывает в науке) значительная часть усилий затрачивается не на получение информации, а на ее осмысление, вынужденный союз между соперниками был, в последний момент, организован. Снабдить геном "комментариями" — определить, что именно делают недавно секвенированные гены — было настолько трудной задачей, что это потребовало применения одного из самых мощных суперкомпьютеров в мире.

Из массы данных были отобраны небольшие сегменты, кодирующие белки, и еще более мелкие части, которые действуют как выключатели "включено-выключено" для рабочих генов (где и пригодились вычислительные мощности). К счастью, многие гены человека выглядят довольно схоже с генами плодовых мушек, дрожжей и нематод (которые были секвенированы), и массовое сравнение каждого отрезка ДНК человека с ДНК других существ выделило общие сегменты, которые, по-видимому, представляют рабочие гены. Тем не менее, некоторые бесполезные участки случайно замаскировались под полезные, а некоторые части были определены как рабочие гены — опять же, возможно, ошибочно — только благодаря небольшим изменениям в соотношении различных пар оснований. В результате, даже с полной последовательностью ДНК, точное число генов, необходимых для создания человека, остается и будет оставаться неопределенным (хотя большинство исследователей предполагают, что их пятьдесят тысяч или около того).

Даже тогда, когда функциональные сегменты будут найдены, задачу понимания того, что они делают, только предстоит решить. Полная последовательность, которую приветствовали президенты (и премьер-министры), хоть и была прочитана, представляет собой лишь произвольный шаг на пути к пониманию.

Тем не менее, геном раскрыл если не свои секреты, то, по крайней мере, свою структуру; и это достаточно примечательно. Возьмем, к примеру, хромосому 22, как наименьшую из двадцати трех пар, маленькое графство Ратленд нашего генома, и первую, чья полная последовательность была установлена в последние недели XX века. Она была отображена на карте с погрешностью менее одной к пятидесяти тысяч оснований и всего с несколькими короткими пробелами. Кроме своего небольшого размера (при длине в тридцать три с половиной миллиона оснований она представляет собой сотую часть всей последовательности), это ни-

чем не примечательная хромосома, достаточно типичная представительница своих более крупных собратьев (крупнейший из которых, хромосома 1, в восемь раз больше).

До создания глобальной карты на хромосоме 22 было отслежено несколько разрозненных генов. В частности, она содержит гены редкого заболевания, которое вызывает проблемы с сердцем и перекашивание лица, врожденный дефект, называемый "синдромом кошачьего глаза", и гены, связанные с таким тяжелым заболеванием как нервная дегенерация.

Методом "клон за клоном" (вырывание страниц карты, секвенирование каждой из них и расстановка по порядку, глядя на перекрытия) выявлено около тысячи сегментов ДНК, которые выглядели так, как если бы они могли кодировать белок. Около семисот из них идентичны генам, уже обнаруженным у нас или где-нибудь еще; и могут представлять полезные части ДНК. Многие, без сомнения, вызывают заболевания, когда допускают сбои. Некоторые могут быть мошенниками; сегментами, которые ничего не производят, но случайно обладают чертами, которые напоминают продуктивную часть генома. Даже эта самая маленькая хромосома не испытывает недостатка в генах. Если наименьшая хромосома имеет длину всего лишь в тысячу оснований, то наибольшая более чем в пятьсот раз длиннее. Некоторые из них непрерывны, но большинство разбиты множеством встроенных последовательностей некодирующей ДНК. Чтобы сделать ситуацию еще более сложной, два гена обнаружены в структуре других. Это гены внутри генов; читаемые (как еврейские предложения в английской книге) не слева направо, а справа налево.

Большая часть остальной хромосомы представляет собой историю упадка и деградации. Она скрывает в себе около восьми очень длинных дубликатов, в которых, по каким-то причинам, удвоились целые сегменты инструкции. Обломки генов есть везде, и примерно пятая часть последовательности, которая может когда-либо что-то сделать, присутствует только в виде псевдогенов. Большинство фактических рабочих — таких как производители красного пигмента крови — члены семейств генов, и большинство из этих семейств полны генетическими паршивыми овцами, псевдогенами, которые почивают на лаврах, пока их родственники заняты делом. Некоторые из генов этой хромосомы отвечают за белки, связанные с иммунной системой. Они работают вместе, как семья из десятков активных членов, но им сопутствуют в два раза больше деградировавших родственников, живущих неподалеку.

В настоящее время на этой короткой хромосоме обнаружены около тридцати заболеваний, от рака и дефектов развития плода до склонности к шизофрении: небольшая часть из тысяч, причиняющих страдания человеческому роду, но намек на огромное количество путей, которыми ДНК может выйти из строя. Функции большинства белков, нанесенных на карту хромосомы 22, не известны.

Что делают некоторые из них, можно догадаться, сравнивая их с другими, из других мест в геноме человека или иных живых существ, но большинство из них представляют собой неизвестные фабрики, усердно работающие, но, пока еще, не дающие никаких намеков на то, что они производят.

Другие хромосомы обладают такими же общими свойствами, как и самая маленькая, хотя каждая из них имеет свои особенности. Следующая по очереди, 21-я хромосома, имеет свои индивидуальные черты. Ранее известная как источник наиболее распространенной человеческой врожденной аномалии, синдрома Дауна (возникающего примерно в одном случае из семисот живорожденных), и в качестве места расположения одного из генов, предрасполагающих к болезни Альцгеймера, эта структура имеет приблизительно тридцать три миллиона пар оснований — около одного процента от общего числа. Один конец забит копиями одной и той же последовательности, повторяющейся снова и снова, но в другом находится производственное оборудование. Однако, не очень много, поскольку хромосома 21, хотя она примерно такого же размера, как хромосома 22, имеет лишь половину от количества ее генов.

Ее двести двадцать пять рабочих сегментов (девять десятых из которых были новостью для науки), кажутся лишь малой толикой. Возможно, ее депауперизированное состояние объясняет, почему хромосома 21 является единственной (кроме половых хромосом), которую тело может переносить в дополнительной копии. Дети с синдромом Дауна страдают от пятидесяти или более различных проблем, от болезней сердца и склонности к лейкемии до трудностей с дыханием. Одной из серьезных проблем является их преждевременное старение и потеря памяти. Эти симптомы напоминают симптомы болезни Альцгеймера — и один из генов, ответственных за раннюю форму этой болезни, находится в 21-й хромосоме. Возможно, некоторые из других генов хромосомы окажутся связанными с другими недугами, общими для детей-даунов.

Среди других ее генов — ответственные за две формы врожденной глухоты и за боковой амиотрофический склероз: состояние, известное в Соединенных Штатах как болезнь Лу Герига, после того, как бейсболист "Нью-Йорк Янкиз" Лу Гериг умер от этой болезни, но в Британии неразрывно связанное с великим физиком Стивеном Хокингом. Больные в этом состоянии страдают от потери нервных клеток в головном и спинном мозге и, как следствие, медленно теряют способность двигаться. Проблема в ферменте, чья работа заключается в удалении отходов изнутри клетки: когда это не удастся, нервы медленно отравляются.

Хромосома 21 может выглядеть как захудалая промышленная зона с несколькими горящими окнами, но на другом полюсе экономической деятельности хромосома 6 полна активных генов. Она находится в авангарде генетических защитных сил организма. Давно известно, что один из ее участков несет ответственность за большую часть иммунной защиты организма. Этот ключевой сег-

мент занимает лишь около одной десятой размера хромосомы 21, но содержит более ста генов (а также солидное количество их остатков, ставших функциональными призраками). Многие разделяют определенные общие особенности и возникли путем дубликации древних предковых генов. Основная их работа заключается в связывании с белками захватчика и передаче информации о том, как их опознать лейкоцитам, которые затем бросаются в атаку. Другие кодируют удостоверение личности на поверхности клетки.

Поскольку задействовано множество генов, есть много возможностей для их перетасовки. В сочетании с высокой скоростью мутирования во многих последовательностях, это порождает большое разнообразие от человека к человеку и от места к месту, как напоминание, что секвенирование генома человека является лишь шагом к гораздо большей задаче поиска различий между людьми. Поскольку некоторые из генов на хромосоме 6 принимают целых две сотни форм, работа растянется надолго, но она будет того стоить, потому что, по неизвестным причинам, некоторые представители защитных сил имеют обыкновение сосредотачиваться на самом теле, давая ряд аутоиммунных заболеваний, таких как ревматоидный артрит, псориаз, кожные заболевания, а также некоторые формы сахарного диабета.

Какими бы ни были детали отдельных хромосом, картина, всплывающая при завершении проекта генома человека, отображает величину и сложность. Как и Новый Свет, который распростерся перед первыми исследователями, геном, прежде всего, велик, и, как и все крупные объекты, притягивает к себе метафоры. Если ее распечатать, информация, собранная проектом "Геном человека", заполнит двести телефонных книг или, в одной строке, протянется на длину Миссисипи; секретарше потребуется двадцать лет, чтобы напечатать, а певчому пятьдесят лет, чтобы спеть (символически) все это.

Из-за всего этого символизма и гипербола возникает неприятное ощущение, что вся эта гонка была лишь гонкой к стартовой линии понимания наших генов, а не к финишной черте. Журнал "Nature" в 1970 году дал аналитический отчет одного из самых простых вирусных геномов под заголовком "Секвенирование недостаточно". Это предсказание проявляется с новой силой в связи с проектом генома человека.

Несмотря на это, его завершение служит важной вехой в истории генетики. Взглянув на древние карты — даже такие несовершенные, как у Геродота — можно осознать, что они содержат в себе очень много нового о жизни тех, кто их рисовал. Они показывают размеры и положение городов, пути миграции и летописи давно исчезнувших народов. Карта генов создана, и теперь можно начинать настоящее путешествие.

## Глава четвертая.

### ИЗМЕНЕНИЕ ИЛИ УПАДОК

К тому времени, когда вы закончите эту главу, вы будете другим человеком. Я не думаю, что изменятся ваши взгляды на существование — или даже на ваши гены — хотя, наверно, это возможно. То, что я имею в виду, гораздо проще. В следующие полчаса, или около того, ваши гены и ваша жизнь будет изменена путем мутации; ошибок в генетическом сообщении. Мутации — изменения — происходят все время, внутри нас и на протяжении поколений. Они постоянно нас повреждают, но биология обеспечивает спасение от неизбежности генетических потерь.

Эволюция — не более чем увековечивание ошибок. Это означает, что прогресс может возникнуть в результате порчи. Мутации лежат в основе человеческого опыта, старости и смерти, но также и секса и возрождения. Все религии разделяют идею, что человечество — деградировавший остаток бывшего совершенства, и что оно должно быть возвращено к более высокому уровню через спасение, начав все сначала. Мутация воплощает в себе то, что требует вера: падение каждого человека, но спасение человечества.

Первые гены появились приблизительно четыре миллиарда лет назад как короткие цепочки молекул, которые могли копировать самих себя. По дерзким предположениям, исходная молекула на первом этапе жизни, в первичном бульоне, прошла через четыре тысячи миллионов предков, пока не оказалась в вас или во мне (или в шимпанзе или бактерии). Каждый из бесчисленных миллиардов генов, которые существовали с тех пор, появился благодаря процессу мутации. Короткое сообщение выросло до инструкции из трех миллиардов букв. У каждого из нас есть уникальный набор инструкций, который отличается в миллионах отношений от инструкций наших собратьев. Все это происходит из-за накопления ошибок в наследуемом сообщении.

Как случайные изменения в часах, некоторые из этих повреждений вредны. Но большинство не имеет никакого эффекта, и лишь немногие могут быть полезны. Каждое наследственное заболевание связано с мутацией. Теперь, когда медицина, по крайней мере, в западном мире, почти победила инфекции, мутация приобрела особо значимую роль. Приблизительно у одного ребенка из сорока, родившихся в Великобритании, имеется врожденная патология, и приблизительно одна треть всех госпитализаций маленьких детей обусловлена генетическими заболеваниями. Некоторые патологии происходят в результате изменений, произошедших давно, в то время как другие представляют собой ошибки в сперматозоидах или яйцеклетках самих родителей. Каждый из них несет одну копию повре-

жденного гена, который, при наличии двух копий, убьет ребенка. В результате, каждый имеет, по крайней мере, один мутировавший скелет в своем генетическом шкафу.

Поскольку существует так много различных генов, шанс наблюдать новое генетическое повреждение в одном из них невелик. Тем не менее, в некоторых случаях, новые ошибки можно обнаружить.

До королевы Виктории генетическое заболевание гемофилия (несвертываемость крови) никогда не отмечалась в британской королевской семье. Некоторые из ее потомков от него пострадали. Биохимическая ошибка, вероятно, произошла в августейших яичках ее отца, Эдварда, герцога Кентского. Ген гемофилии находится в X-хромосоме, поэтому, чтобы стать больным гемофилией, мужчина должен унаследовать всего одну копию гена, в то время как женщине нужно две. Поэтому болезнь намного более распространена среди мальчиков. Это было известно евреям три тысячи лет назад. Матери позволяли не делать обрезание сыну, если его старший брат сильно кровоточил при подобной операции и, что более примечательно, также, если у сыновей ее сестры была та же самая проблема.

Кроме очевидных эффектов после обрезания, гемофилия наносит более тонченный вред. Пораженные ею дети часто имеют много синяков и могут страдать от внутренних кровотечений, которые могут повредить суставы и быть смертельными. Когда-то более половины страдающих ею мальчиков умирало в возрасте до пяти лет. Инъекции фактора свертывания крови восстанавливают более или менее нормальную жизнь.

Некоторые внуки Виктории были больны гемофилией, как и один из ее сыновей — Леопольд. Две из ее дочерей — Беатрис и Элис — должны быть, были носителями. Сама королева сказала, что "нашу бедную семью, похоже, преследует эта болезнь, наихудшая из тех, что я знаю". Самым известным гемофиликом был Алексей, сын российского царя Николая и царицы Александры, внуки Виктории. Одной из причин дурного влияния Распутина на царский двор России была его способность успокаивать несчастного Алексея. Ген исчез из британской королевской линии, и среди трехсот потомков королевы Виктории, живущих сегодня, не известен ни один больной гемофилией. В Великобритании этой болезнью страдает приблизительно один мужчина из пяти тысяч.

Кстати, еще один монарх, Георг III, возможно, был носителем другой мутации. Ген, ответственный за порфирию, может приводить к психическим заболеваниям, и, возможно, был ответственен за его знаменитое безумие. Ретроспективный диагноз был поставлен на основании заметок королевского врача, который отметил, что королевская моча была пурпурного цвета "портвейна" — характерный признак болезни. У его далекого потомка также были выявлены признаки этой болезни. Одним из наименее успешных назначений этого короля было назначение Премьер-министром лорда Норта, который был во многом ответстве-

нен за потерю американских колоний. Стоит отметить, что и русская, и американская революции частично могли быть результатом повреждений королевской ДНК.

Исследования человеческих мутаций иногда были вызваны отчаянием, усиленным подобными историями. Они были перевернуты с ног на голову прогрессом молекулярной биологии. В прежние времена, в 1980-ых, единственным способом их изучить было найти пациента с наследственной болезнью и попытаться определить, что не так с белком. Изменения в ДНК были совершенно неизвестны. Это было так же верно для гемофилии, как и для любого другого гена. По сути, гемофилия казалась довольно простой ошибкой. У различных пациентов появлялись довольно разные симптомы, но способ наследования был прост, и все, казалось, разделяли одну и ту же болезнь.

Теперь можно сравнить целые участки ДНК нормальных семей и семей, больных гемофилией, чтобы показать, что же произошло, и, как и сама генетическая карта, все стало намного сложнее. Молекулярная биология сделала жизнь генетиков гораздо менее простой. Во-первых, неостанавливаемое кровотечение — это не одно заболевание, а несколько. Сворачивание крови – сложный процесс, который включает в себя несколько этапов. Белки организованы в каскад, который реагирует на повреждение, создает, а затем мобилизует необходимый материал и собирает его в барьер. Десяток или более различных генов, рассеянных по всей ДНК, принимают участие в этом производственном процессе.

Два из них наиболее предрасположены к ошибкам. Один создает фактор VIII в каскаде свертывания крови. Ошибки в этом гене приводят к гемофилии типа А, на который приходится девять из десяти всех случаев заболевания. Другой распространенный тип гемофилии — гемофилия В — связана с фактором IX. В редкой форме болезни виноват фактор VII.

Фактор VIII — это белок, состоящий из 2232 аминокислот, с геном большим, чем большинство других — примерно 186000 оснований ДНК, который в масштабе от Лендс Энда до Джон О'Гроата составляет около сотни ярдов в длину. Только 20-ая часть ДНК этого гена кодирует белок. Ген разделен на множество различных функциональных частей, отделенных друг от друга сегментами неинформативной последовательности. Большая часть этих посторонних включений содержит многократные копии одного и того же двухбуквенного сообщения, так называемые СА-повторы. Существует даже "ген-в-гене" (который производит нечто совсем иное) в аппарате фактора VIII.

Мутация гемофилии А, которая когда-то казалась простым изменением, на деле оказывается довольно сложной. Ошибки могут быть самыми разными. Было найдено около тысячи различных ошибок. Их негативное влияние зависит от того, что пошло не так. Иногда меняется только одна важная буква в функциональной части структуры; обычно у разных больных гемофилией разные буквы. Механиз-

мы, соединяющие рабочие части продукта, очень чувствительны к подобного рода поражениям. Более чем у трети больных не доставало части или даже не было совсем фактора VIII. Некоторые страдали от вставки дополнительного участка ДНК, перескочившего из другого места.

Когда-то единственным способом измерить частоту новых мутаций гемофилии (или любой другой наследственной болезни) было подсчитать количество больных, оценить их шансы передать мутацию, и на основе этого определить, как часто это должно происходить. Технология все изменила. Сейчас можно сравнить гены мальчиков, больных гемофилией, с генами их родителей и родителей их родителей, чтобы увидеть, где мутация появилась.

Если мать такого мальчика имеет мутацию гемофилии в одной из двух своих X хромосом, то она сама должна была унаследовать ее, и повреждение, по видимому, произошло когда-то в прошлом. Если же у нее нет мутации, то новое генетическое повреждение ее сына произошло, когда яйцеклетка, из которой он развился, формировалась в ее теле. При исследовании британских семей, сыновья в которых страдали от гемофилии В (чей ген, отвечающий за фактор IX, состоит из 33000 оснований), было выявлено множество различных мутаций, уникальных для каждой семьи. 80 процентов матерей таких сыновей сами когда-то унаследовали эту мутацию. Однако в большинстве случаев поврежденный ген не был выявлен у их отцов (дедушек больных). Другими словами, ошибка в ДНК появилась, когда формировалась их сперма.

Быстрый подсчет числа новых мутаций по отношению к численности населения Британии дает частоту появления для гена гемофилии В около восьми на один миллион. Разница в частоте изменений между дедами и их дочерьми предполагает, что у мужчин она в девять раз выше, чем у женщин. Половые различия легко объяснить. Вероятность сбоя выше у мужчин (которые, в отличие от женщин, производят свои половые клетки на протяжении всей жизни, а не делают запас заранее, и, следовательно, у них больше репликаций ДНК в зародышевой линии, чем у женщин). Для некоторых генов частота мутаций среди мужчин в 50 раз выше, чем у женщин. Мужчины, похоже, являются источником большей части сырья для эволюции.

Большинство людей с тяжелыми формами гемофилии также страдают от других генетических нарушений. Такие нарушения происходят в родительских половых клетках и сразу же исчезают, потому что ребенок умирает маленьким. Люди с более легкой формой болезни часто разделяют те же изменения ДНК; ошибки, возникшие очень давно и распространившиеся среди многих людей. Общие мутации говорят о том, что эти люди унаследовали их от одного предка. Нефункциональная ДНК в гене гемофилии и вокруг него полна изменений, которые, похоже, никак себя не проявляют и прошли через сотни поколений. Область рядом с самим геном содержит множественные повторы одного и того же кода. Ко-

личество копий увеличивается или уменьшается, но высокая частота ошибок, кажется, не приносит никакого вреда.

Все это подсказывает, что мутация — активный процесс, с большим количеством перемешиваний в ДНК. Эта новая изменчивость когда-то встревожила генетиков, поскольку она нарушает идею гена как частицы (по общему признанию, частицы, иногда совершающей ошибки), идею, которая ранее была главной в их жизни. Наследие Менделя является настолько мощным, что его последователи иногда неохотно признают результаты, которые ему не соответствуют. Это очень верно в отношении некоторых новых и странных аспектов мутации.

Ученые, вообще-то, ни во что не ставят врачей, но в мои годы врачи сообщили о странном генетическом эффекте, названном "антиципация" (появление признаков болезни ранее, чем это обычно происходит). Пагубные эффекты некоторых наследственных болезней, казалось, проявлялись в более раннем возрасте в каждом из прошедших поколений. Название эффекту восемьдесят лет назад дал увлеченный евгенический врач по имени Мотт. Он полагал, что это предвещало неизбежное вырождение общества: "Закон антиципации психических болезней представляет ... гнилые ветки, постепенно падающие с древа жизни". Более поздние генетики противились этой идее, и она пропала из виду. На самом деле она описывала новый вид мутации, наследуемую ошибку, которая усугубляется по ходу поколений, и которая в настоящее время широко распространена.

Процесс проявляется в болезни, называемой синдромом ломкой X-хромосомы, важнейшей причиной врожденных психических нарушений, с симптомами, которые варьируются от легких до критических. Многие дети с диагнозом аутизм в действительности имеют легкие формы этой болезни. На первый взгляд его наследование является странным, поскольку в некоторых семьях оно встречается только у одного человека, тогда как в других болезнь поражает десятки. Мальчики, как правило, страдают тяжелее, чем девочки, имея задержку психического развития, а иногда и характерное лицо с большими ушами, и проблемы с сердцем.

Хотя страдают и мужчины, и женщины, ген сцеплен с полом. Мужчины никогда не передают его своим сыновьям, но девочки, у матерей которых он есть, являются носителями и иногда подвержены его воздействию. Синдром ломкой X-хромосомы является одним из нескольких генетических заболеваний, при которых повреждение можно увидеть в микроскоп. Вблизи конца каждой из пораженных X-хромосом есть небольшое сужение, которое выглядит, как будто оно может быть легко разорвано. Приблизительно одна женщина из двухсот пятидесяти имеет одну или несколько X хромосом, поврежденных таким образом. У многих не проявляется никаких симптомов, ни у них, ни у их детей. У других есть признаки заболевания, как и у их потомков, тогда как некоторые, хотя сами и нормальны, могут иметь детей с болезнью.

Эта мутация представляет собой многократный ДНК-повтор трех букв — С, G и G — в гене. Его белок помогает сформировать связи, когда молодой мозг начинает реагировать на события из внешнего мира. Повреждается не кодирующая часть гена, а его выключатель. Мутация гибкая. Большинство людей имеют тридцать или меньше повторов, а некоторые всего лишь полдюжины. Когда их количество превышает приблизительно пятьдесят, дети в опасности и могут с трудом говорить или читать, а когда возрастает свыше двухсот (а у серьезно страдающих людей имеется более тысячи повторов), симптомы проявляются в полной мере.

Самый странный аспект ломкой X хромосомы — а теперь мы знаем, многих других мутаций — в том, что количество повторов (и количество повреждений) изменяется от поколения к поколению. У дочери, чья мать имеет ломкую X-хромосому, более вероятно будет больной ребенок, чем у ее собственной родительницы, хотя (или так кажется) она передает точно тот же ген. В каждом поколении количество копий изменяется, увеличиваясь, когда передается через женщину, но оставаясь неизменным или снижаясь, когда поврежденную хромосому передает мужчина.

Одна из форм мышечной дистрофии также проявляется в более опасной форме по мере смены поколений. И снова здесь замешана повторяющаяся последовательность. Родословные одной группы детей с этой болезнью указывают на общего предка, который жил в XVII веке. Он был здоровым; как и его потомки в течение двухсот лет; но вдруг некоторые из них, хотя они теперь и дальние родственники, начали страдать от дистрофии. В каждом поколении создавалось все больше копий ДНК-повторов в ключевом гене. После того, как критическое количество было достигнуто, появились симптомы. В каждом поколении они проявляются все больше и больше, и последствия поврежденного гена становятся более тяжелыми по мере смены поколений. Болезнь Хантингтона тоже связана с повтором трех букв ДНК, CAG. Каждый триплет кодирует одну аминокислоту, которая протискивается в середину хантингтоновой молекулы. Некоторые люди имеют менее десяти копий, некоторые более ста. Если создано более тридцати пяти копий, возникают симптомы болезни, и чем больше повторов, тем раньше они проявятся. Те, у кого их пятьдесят, подвергаются риску заболеть еще в двадцатилетнем возрасте. Такие трехбуквенные лазутчики вызывают полдюжины других заболеваний нервной и мышечной системы. Почему нервы настолько к ним предрасположены — не ясно, хотя тенденция таких наращиваемых белков формировать в клетке большие сгустки может иметь к этому некоторое отношение.

Если принять за норму частоту мутации, приводящей к гемофилии, должно быть примерно одно новое изменение ДНК в функциональном гене за пять поколений. Это означает десять миллионов изменений в функциональных генах за по-

коление в Великобритании. Фактический уровень может быть еще выше. Гормональные изменения у женщин, которые пытаются забеременеть, показывают, что восемь из десяти оплодотворенных яйцеклеток теряются. Многие могут нести новые смертельные мутации. Часто они связаны с потерей всей или части хромосомы, и частота таких ошибок у мертворожденных детей в десять раз выше, чем у тех, кто родился живым.

У каждого гена есть своя собственная частота мутирования. Она варьируется больше чем в тысячу раз от гена к гену. Большие гены, с более разбросанными частями ДНК, допускают сбои чаще, чем мелкие, и одни комбинации оснований изменяются вероятнее, чем другие. Короткие сегменты повторяемой ДНК за пределами функциональных генов (как те, что используются в 'генетических отпечатках пальцев') обладают высокой частотой ошибок. Примерно один человек из десяти может передавать их с изменениями. Частота самой мутации также эволюционирует и контролируется ферментами, которые могут восстанавливать поврежденную ДНК. Когда повреждаются сами ферменты, она взмывает вверх.

Многие факторы увеличивают частоту мутаций. Мощное влияние, например, может оказывать радиация. Многие мутации вызываются не природной неустойчивостью генов, а вредом, причиненным снаружи (как у многих ранних исследователей радия, многие из которых, как вскоре выяснилось, умерли от рака). До двух третей сперматозоидов у больных раком, получивших большие дозы облучения, несут хромосомные изменения. Данные по другим животным делают более низкие дозы радиации реальным поводом для беспокойства, учитывая связь между агентами, вызывающими мутации в сперме и яйцеклетке, и агентами, вызывающими рак. Допустимая доза для людей установлена частично исследованиями на мышах (которые, кажется, более восприимчивы, чем мы сами), и были призывы увеличить эти пределы; но никто не отрицает, что радиация повреждает наши гены. Солнечный свет тоже вреден для клеток, и даже повышение температуры может увеличить частоту ошибок.

Самый большой неизбежный источник радиации в Великобритании — газ радон, который просачивается из гранита. Люди, которые живут в гранитных домах в Корнуолле, могут быть более подвержены избыточной радиации, чем те, кто работают на атомных станциях (хотя их коллеги в гранитном городе Абердин могут отчасти нивелировать эффект, поскольку носят килт с его охлаждающим действием). В Соединенных Штатах дома, построенные с радиоактивным песком в фундаменте, были снесены, поскольку их жители столкнулись с радиацией в двадцать раз выше средней дозы. В Великобритании подверженным риску людям рекомендуется устанавливать вентиляторы, чтобы прекратить накопление газа. Другие источники облучения включают в себя космические лучи во время авиаперелетов и медицинские рентгеновские лучи, но для большинства людей это связано с очень малыми дозами.

Химические вещества являются гораздо более важными агентами генетических повреждений. Количество хромосомных ошибок у рабочих атомной электростанции немного больше, чем среди населения в целом, но у занятых на угольных станциях их число еще выше из-за вредных побочных продуктов сжигания угля. Бактерии используются для тестирования огромного количества всевозможных, и некоторых невозможных, веществ. Некоторые, к примеру, как те, что когда-то использовались в красках для волос, оказывали сильное влияние и были запрещены. Другие, содержащиеся в черном перце, в чае "Эрл Грей" и в некоторых пестицидах, также вызывают мутации. Некоторые из самых мощных совершенно натуральны. Растения производят много токсичных химических веществ для защиты от насекомых, и даже салат, воплощение здорового питания, содержит вещества, которые вызывают мутации у мышей. Почти половина всех случаев рака может быть вызвана пищей, которую мы едим, и подавляющее большинство пестицидов — возможно, более чем 99,9% — в западной диете абсолютно натуральны. Циники утверждают, что натуральные продукты более опасны, чем опрысканные, из-за вредных химикатов, найденных в грибах, которые на них растут. Свежие фрукты и овощи уменьшают уровень мутаций, и в некоторых растениях, таких как брокколи и помидоры, полно антимутагенов, которые могут помочь защитить тех, кто их ест.

Мутации являются сырьем эволюции. Жизнь развивается; она не приходит в упадок, но каждый человек смертен. Когда мы стареем, наши механизмы разъедает ржавчина до тех пор, пока, наконец, они не сломаются.

Частично эта эрозия происходит из-за генетических изменений в организме, а частично из-за отдаленных эффектов генов, полезных в молодости, но вредных в старости. Построение взрослого человека из оплодотворенной яйцеклетки предполагает создание сотен миллионов клеток, каждая со своей собственной копией исходного сообщения. Процесс копирования несовершенен, и есть много возможностей для ошибок. Даже во взрослой жизни большинство клеток продолжает делиться. Эритроциты, например, обновляются примерно каждые четыре месяца. Каждую минуту создаются тысячи копий ДНК. В результате, в соматических клетках нарастает огромное количество мутаций. Каждый человек является развивающейся системой, чья идентичность меняется день ото дня.

Некоторые из этих изменений могут привести к несчастью. Многие случаи рака являются результатом генетических повреждений. Действительно, некоторые виды рака все больше похожи на генетические заболевания. Они представляют собой порчу генетической информации и потерю контроля ДНК над клетками, в которых она живет. Возраст является отражением того же процесса. Поскольку наши тела пребывают в постоянной лихорадочной репликации, чем мы старше, тем больше проходит делений, и тем больше вероятность ошибки. Клетки новорожденного ребенка отделяет от яйца всего несколько сотен делений; но мои

клетки в пятьдесят с лишним лет отделяет от него тысячи. У моих генов больше шансов мутировать, чем у генов ребенка. Что еще хуже, они менее эффективны при устранении повреждений. Клетки стариков даже содержат измененные гены, которые создают недопустимые белки. Таким образом, многие пожилые европейцы имеют в крови небольшое количество серповидно-клеточного гемоглобина. Этот ген обычно встречается у африканцев, но в их случае появляется как следствие новой мутации в их престарелых телах.

Старение ускоряется с возрастом. Самый низкий риск смерти приблизительно в возрасте двенадцати лет — как раз перед половой зрелостью. После этого норма удваивается примерно каждые восемь лет, давая семидесятишестилетнему старику в двести пятьдесят раз больше шансов умереть, чем подростку. Сила ускоряющегося одряхления впечатляет. Если бы уровень смертности оставался на уровне двенадцатилетнего, то большинство людей жило бы до тысячи лет, и была бы маленькая, но значимая доля окружающих людей, которые родились бы в последнем Ледниковом периоде. К сожалению, наше старение таково, что даже столетние встречаются редко. Все это помогает объяснить, почему рак — болезнь стариков; и почему, даже если бы эта болезнь была уничтожена совсем, продолжительность жизни повысилась бы приблизительно только на четыре года. Биологический личностный кризис, который мы определяем как старость, и за который расплачиваемся смертью, происходит, когда генетическое сообщение настолько вырождается, что его инструкции больше не имеют смысла. Темп старения запрограммирован. Клетки мышцы в культуре прекращают делиться приблизительно через четыре года, в то время как клетки человека могут делиться в течение почти столетия.

Части сообщения со временем исчезают. ДНК упакована в хромосомы. В каждой на конце есть особый отрезок ДНК, который отмечает точку, где механизм ДНК-дупликации останавливается и закольцовывается, почти как обжимка на концах шнурков, которая мешает им изнашиваться. Она становится короче с возрастом. У ребенка это приблизительно двадцать тысяч букв, в то время как у шестидесятилетнего меньше половины от этой длины. Клетки в опухолях теряют еще больше ДНК на концах хромосом. Приблизительно сорок букв теряются из этого раздела сообщения каждый раз, когда клетка делится, поэтому старое тело работает по несовершенной инструкции, полной типографских ошибок. То же самое происходит с митохондриальными генами, которые изнашиваются до дыр с годами, продолжаящими свой неумолимый бег.

Сама старость отчасти является результатом генетических повреждений. Клетки человека в культуре стареют быстрее, когда несут дефект, увеличивающий частоту мутации, и у некоторых детей, унаследовавших предрасположенность к раку, симптомы старости также проявляются гораздо раньше, чем обычно. Иммунная система, которая имеет самую высокую частоту мутаций из всех ча-

стей тела, с годами часто слабеет. Похоже, увядание наших стареющих личностей само является, до некоторой степени, последствием мутации. Влияние старости на повреждение сперматозоида и яйцеклетки добавляет определенную иронию к утверждениям одной организации, чья деятельность посвящена предотвращению деградации человеческого рода — Центра Выбора Зародыша в Калифорнии, в котором Нобелевские лауреаты делают генетические вклады для полных надежд матерей. Сделавшие вклад, как они утверждают, приблизились к генетическому идеалу, но это совершенство омрачается возрастом.

Если наши гены изменяются и портятся на протяжении наших жизней, почему человеческий род не дегенерирует по мере смены поколений? Ответ заключается в сексе. Дать определение сексу просто; это процесс, который объединяет гены различных предков. Он обеспечивает шанс очиститься от вредных мутаций, которые возникают в каждом поколении, и представляет собой — в некоторых отношениях — полную противоположность старости.

Почти каждый роман, пьеса или произведение искусства вращаются вокруг вечного треугольника секса, возраста и смерти. Все три — и само наше существование — возникают в результате ошибок в передаче генов. Человечество — не выродившийся остаток благородного предка. Скорее мы являемся продуктами эволюции, набором успешных ошибок. Генетика разрешила один из наших самых старых вопросов; почему люди приходят в упадок, а **Homo sapiens** нет.

## Глава пятая.

### МЕСТЬ КАЛИБАНА

Сюжет романа Джорджа Элиота "Даниель Деронда" витиеват. Он вращается вокруг приключений Даниеля Деронда, приемного сына баронета. Через несколько сотен страниц Даниель обнаруживает неожиданный интерес к ивриту и — через некоторое время — выясняется, что он, совершенно того не подозревая, был сыном еврейки. Его биология победила его окружение.

Многие люди одержимы ролью наследственности по сравнению с опытом. Эта страсть возникла задолго до генетики. Даже Шекспир имел что сказать: в "Буре" Просперо описывает Калибана как "дьявола, прирожденного дьявола, который никогда не сможет изменить своей природе". Еще есть бесконечные (и довольно пустые) дискуссии о том, являются ли музыкальность, преступность или интеллект унаследованными или приобретенными, и более серьезные дебаты о роли генов и окружающей среды в таких заболеваниях, как рак или болезни сердца. Такие вопросы часто не решены и могут быть неразрешимы.

Гальтон в "Наследственном гении" сделал все возможное, чтобы показать, что талант передается по наследству в семьях и закодирован в их биологии. Он не обратил внимание на то, что больше половины его "гениев" оказались в семьях, не имевших выдающейся истории вообще, и сконцентрировался только на тех, кто подтверждал его взгляды о наследственном характере индивидуальных свойств. Большинство утверждений, что талант (или его отсутствие) наследуется, основаны, как у Гальтона, лишь на ряде подобранных историй. Даже потомки Иоганна Себастьяна Баха исчезли с музыкального небосвода через несколько поколений. Семейное сходство мало что говорит о роли природы, в конце концов, одним из признаков, общим для родителей и детей, является банковский счет.

Тем не менее, вопрос: природа или воспитание, приковывает бесконечное внимание. Десятки исследований имеют целью показать, что поведение находится под генетическим контролем. Однажды была исследована целая группа выродившихся семей: племя Измаила, семейства Джуке и Калликак (чей псевдоним произошел от греческих слов, означающих "хорошо" и "плохо"). Одна из них восходит к матросу восемнадцатого века, который женился на правоверной женщине, но завел роман со шлюхой. Ветвь его жены была источником чистой добродетели, а другая была бременем для общества, как твердое доказательство того, что нравственность заложена в генах.

Генетики считают глупым вопрос о роли природы и воспитания, по двум причинам. Во-первых, они едва понимают наследование сложных признаков (таких, как рост, вес или поведение, которые измеряются, а не рассчитываются) даже

у более простых существ, вроде мух или мышей, и даже с характеристиками, которые легко определить. Во-вторых, что более важно, генетики знают, что вечный вопрос — ген или окружающая среда — зачастую не имеет смысла. Единственный ответ на него — вопрос задан некорректно.

Хотя сутью генетики является наследование, наследование, конечно, не ограничивается генетикой. Почти все признаки предполагают совместное действие внутреннего и внешнего мира. Такие характеристики как интеллект (или рост) часто рассматриваются как пирог, в котором можно выделить доли "природы" и "воспитания". На самом деле, они настолько тесно смешаны, что отделить их — все равно что пытаться вернуть в первоначальное несмешанное состояние уже испеченный торт. Непонимание этого простого факта приводит к путанице, и даже хуже.

Недалеко от могилы Герберта Спенсера (и его соседа Маркса) находится большой дом из красного кирпича. Его занимал Зигмунд Фрейд, после того как бежал из Австрии, чтобы избежать расовой политики, оставшейся в наследство от идеалов Гальтона. На его столе — ряд каменных топоров и древних фигурок. Интерес Фрейда к ним был вызван убеждением, что поведение контролируется биологической историей. Он думал, что в детстве каждый повторяет фазы, пройденные в ходе эволюции. Фрейд считал несчастье своего рода живым ископаемым, возрождением древнего поведения, которое сегодня неприемлемо. Подобно Гальтону, он считал, что человека формирует наследственность. Либи́до и эго, писал он, "лежат в основе наследственности, краткий конспект развития, через которое прошло все человечество с первобытных времен". Фрейд надеялся, что если обнаружить врожденный дефект, вызывающий огорчение, он сможет его вылечить.

Нынешние фрейдисты отошли от гальтонизации поведения, исповедуемого их гуру. Они считают, что воспитание имеет большое значение. Анализ ищет события детства, а не родовые воспоминания. При этом они подвержены той же опасности, что и их учитель, пытающийся вернуть ингредиенты уже испеченного торта человеческой природы. Любая попытка сделать это тщетна.

Сиамская кошка показывает, насколько бессмысленной может быть эта задача. У сиамок на кончиках ушей, хвоста и лап шерсть черная, но в других местах белая или светло-коричневая. Они несут "гималайскую" мутацию, которую также находят у кроликов и морских свинок (но, увы, не у человека). Скрещивания показали, что здесь задействован один ген, который следует законам Менделя. На первый взгляд, шерсть сиамской кошки является частью ее природы: если окрас контролируется только одним геном, то, конечно, здесь нет места для роли воспитания.

Однако, гималайская мутация необычна. Поврежденный ген не может производить пигмент при нормальной температуре тела, но прекрасно работает, ко-

гда холодно. В результате, более холодные участки тела кошки, уши, нос и хвост (а у самцов и яички) темнее, чем остальные. Необычно темную кошку можно получить, держа типичную сиамку в холоде, а светлую — если выращивать в теплом помещении. Изнутри каждой сиамки пытается вылезти черная кошка. Спрашивать, обусловлена такая картина генами или окружающей средой, бессмысленно. Она является следствием и того, и другого. Что наследует сиамская кошка (и любое другое живое существо) — так это способность реагировать на условия, в которых она находится.

Многие врожденные заболевания это демонстрируют. Рecessивным нарушением, называемым фенилкетонурия (или ФКУ), страдают около сорока британских детей в год. Каждый из них унаследовал дефект в особом ферменте, что означает, что они не могут перерабатывать аминокислоту фенилаланин, которую можно найти в большинстве продуктов. В результате у них в организме вырабатывается много вредных веществ. Без лечения такие дети имеют низкий интеллект и умирают молодыми. Гены больных ФКУ, похоже, обрекают их на такую судьбу.

Но большинство ФКУ-детей, рождённых в наши дни, ведут более или менее обычную жизнь. Их оберегает изменение условий жизни. Если болезнь диагностирована рано (а все дети проверяются при рождении), им можно давать пищу, в которой почти не содержится фенилаланина. Затем они развиваются как здоровые младенцы. Их природа была обусловлена тщательным уходом, и вопрос о том, ДНК или диета важнее для их здоровья, не имеет ответа.

Сотни генов демонстрируют такие же взаимодействия. Целая новая наука занимается открытием индивидуальных реакций на лекарства. Задействованные в этом гены не были известны, пока люди не начали манипулировать своей химической средой. Некоторые люди несут наследственный вариант, который делает их фатально чувствительными к мышечному релаксанту, используемому перед операциями, и сейчас всех проверяют, не опасно ли им давать этот препарат. Одним из самых странных запретов Пифагора было предупреждение, чтобы его последователи не ели бобы. Он умер, потому что, преследуемый разъяренной толпой за свои философские взгляды, отказался бежать через бобовое поле. Пифагор жил в итальянском городе Кротон. Многие из его современных жителей плохо себя чувствуют, если едят полуприготовленные бобы. Одно из побочных действий гена талассемии (который там широко распространен) заключается в нарушении способности разрушать химическое вещество, содержащееся в бобах (а другое используется в качестве лекарства против малярии). Когда ген и бобы (или лекарство) сводятся вместе, то результаты могут быть неприятными или, в случае с лекарством, еще хуже.

Все это означает, что границы между наследственными заболеваниями и болезнями, которые обусловлены влиянием внешнего мира, стали размытыми.

Это меняет наше представление о медицине. Индивидуальное лечение может скоро быть адаптировано к биологической наследственности пациента. Две болезни, анэнцефалия и расщелина позвоночника, вызываются нарушением развития спинного мозга, и обе они семейные. Однако частично проблема связана с плохим питанием. Частота заболеваний подскочила в Голландии после голода 1945 года, а также в Ирландии и Шотландии (местах, известных нездоровым питанием). Матери, у которых болен ребенок, теперь принимают витаминные добавки на поздних стадиях беременности. Это уменьшает вероятность, что их гены навредят их детям.

Изменения в окружающей среде могут также вызывать генетические заболевания. До 1819 года сенную лихорадку не признавали как отдельное заболевание, и рассматривали ее (вместе с ее родственницами астмой и экземой) как болезни богатых. Сейчас около половины людей западного мира имеют, или утверждают, что имеют, аллергию на то или иное вещество. В Британии каждый четвертый ребенок болен астмой. Их легкие воспаляются, а мышцы становятся чувствительными к малейшим раздражениям. Несчастный пациент тяжело дышит и кашляет, болезнь может нанести ему непоправимый вред — а иногда даже вызвать внезапную смерть. Болезнь предполагает чрезмерную реакцию со стороны иммунной системы на внешние раздражители. Одним виновником являются клещи домашней пыли, другим кошки, третьим пыльца. Они были с нами до 1819 года, но по некоторым причинам почти не вызывали проблем.

Одна из причин кроется в современном мире с его одержимостью чистотой. Это, возможно, положило конец многим инфекционным заболеваниям, но позволяет другим, когда-то редким, выявлять наши врожденные слабые места. Астма является болезнью среднего класса; чаще встречается у тех, кто в детстве хорошо питался, в младенчестве принимал антибиотики, и живет в Западной, а не в Восточной Европе. Дети фермеров и те, у кого есть собаки, имеют меньше шансов заболеть этой болезнью, чем вегетарианцы в доме, где нет домашних животных. Это болезнь Трашвуд Грэнджа, а не Грозового Перевала <болезнь дворцов, а не хижин>.

Эмили Бронте знала ответ. Кэти, когда она возвращается чистой и скромной после своего выздоровления в Трашвуд Грэндж, сталкиваются с Хитклифом. Тот говорит: "Я могу ходить таким грязным, каким захочу, мне нравится быть грязным, и я буду грязным". Разгадка в грязи. Дети, рожденные в чистых домах, лишены весьма важного приобретенного опыта. Не их мозгу, но их иммунной системе не хватает стимуляции. В домах людей среднего класса не хватает грязи, с которой эволюционировало человечество. Иммунная система, как и сам мозг, должны тренироваться, чтобы справляться с проблемами, с которыми им придется столкнуться в дальнейшей жизни. И то, и другое нуждается в стимуляции, но иммунной системе требуются ленточные черви, а не Моцарт.

Какой бы важной ни была грязь, у астмы и ее родственниц есть наследственная составляющая. Однояйцевые близнецы чаще страдают оба, чем разнояйцевые, и те, кто несет определенные вариации в генах, кодирующих элементы иммунной системы, также подвержены болезни. Далекий и инбредный остров Тристан-да-Кунья, на котором многие люди разделяют одни и те же гены, подвержен эпидемии астмы, причем страдает почти половина населения.

Аллергия является классическим примером взаимодействия генов и окружающей среды. Давным-давно гены, которые сегодня вызывают проблемы, возможно, были полезны, когда активная иммунная система хорошо отражала инфекции. После мыла, в неестественно чистых домах, сверхактивная иммунная система стала неприятностью, поскольку она располагает к аллергии. Окружающая среда изменилась, но гены остались прежними. Сегодня ДНК оказывает совсем другое воздействие на здоровье, чем раньше, и изменения во взаимодействии природы и среды привели к вспышке болезни.

Термин "рак" охватывает множество заболеваний. Все они связаны с неспособностью контролировать клеточное деление. Сотни генов контролируют рост клеток, и, когда они мутируют, процесс может выйти из-под контроля. Как и при гемофилии, могут случаться неприятные ошибки. Может измениться одно основание ДНК или потеряться целые разделы сообщения. Иногда ошибка включает перемещение гена с одной хромосомы на другую, или с вирусов. Часто, чтобы способствовать развитию опухоли, нужны различные генетические повреждения. Общая картина не сильно отличается от мутации в сперматозоиде или яйцеклетке.

Рак — это сиамская кошка болезней, и вероятность его получить зависит как от генов, так и от условий, с которыми они сталкиваются. Для деления клеток нужны тормоза и ускорители. Во-первых, гены-супрессоры опухолей, как они называются, контролируют группу протоонкогенов, стимулирующих рост клеток. Если один из команды допустит сбой, то деление ускорится. В клетке, однако, есть ряд камер контроля скорости, которые отслеживают непослушный ген. Клетка должна пройти через множество контрольных пунктов на пути к делению, и если обнаруживается что-нибудь подозрительное, клетка умирает (что, в конце концов, является естественной судьбой большинства клеток). Многие из причин рака увеличивают количество особого белка — Р53, как его называют — который чувствителен к любым признакам повреждения ДНК в атакованных клетках. Большинство из них затем самоуничтожаются, чтобы не создавать проблем. Действительно, многие средства лечения рака (такие как радиация и некоторые химические вещества, которые сами зачастую являются причинами болезни) будят гены Р53 и убеждают клетки поступить достойно. Повреждение самого контрольного пункта (либо наследственное, либо вызванное внешним воздействием) означает настоящую проблему: к тому времени вышедшая из-под контроля линия клеток

прорывается через последний барьер безопасности, и ее бывает невозможно сдержать.

Некоторые раковые заболевания чаще встречаются среди тех, кто подвергается определенным факторам риска. Многие трубочисты умерли от рака кожи, который сначала появился на мошонке. Английский врач Персивелл Потт предположил, что виной была сажа. Он оказался прав. Сажа, жиры и смолы содержат много канцерогенных химических веществ. Радиация тоже может быть опасна. В Британии ежегодно не менее двух тысяч случаев рака легких — двадцатая часть общего количества — возникают в результате воздействия радона. Когда-то думали, что вокруг ядерных электростанций возникали очаги случаев детской лейкемии, но сейчас это отрицается на статистических основаниях. Для большинства британцев воздействие радиации настолько мало, что оно не может быть основной важной причиной рака.

Некоторым, возможно, повезло меньше. Река Теча течет через Челябинск, когда-то ядерную столицу России. В разгар холодной войны туда было свалено столько отходов, что рыбак на ее берегу мог получить смертельную дозу в течение недели. Многие деревни на берегах реки были переселены, но у жителей оставшихся наблюдается повышенный уровень лейкемии и рака щитовидной железы и других органов. Тем не менее, воздействие радиации меньше, чем перенесли те, кто выжил после взрыва бомбы в Хиросиме, так что внезапный всплеск излучения может быть более опасным, чем та же доза в течение более длительного периода. В связи с тем, что западные стандарты безопасности основаны на японских данных о раке, раздаются призывы сделать минимальную дозу менее строгой, но им противостоят многие, кто считают, что безопасного нижнего предела не существует.

Каким бы ни было влияние радиации на рак, химические вещества более важны. Мощным фактором являются вещества в табачном дыме, равно как и некоторые промышленные химикаты. Алкоголь тоже далеко не безупречен. Некоторые химические вещества связываются с ДНК, вызывая ее повреждение. Количество связанного материала дает оценку воздействия мутагенов. Польский город Гливице, где сжигают много низкокачественного каменного угля — одно из самых загрязненных мест в мире. В Гливице высокий уровень заболеваемости раком. У многих жителей большое количество ядохимикатов приклеено к ДНК. Их количество возрастает зимой, когда дыма больше. У многих из тех, кто подвергся действию дыма, развилась болезнь.

Другие виды рака (такие как ретинобластома, дегенеративное заболевание сетчатки) возникают в семьях без очевидной связи с окружающей средой. Причины заболевания варьируют от гена (преобладают при ретинобластоме) до окружающей среды (в равной мере преобладают при раке мошонки), но обычно включают и то, и другое. Рабочие на примитивных нефтяных производствах верили,

что люди со светлыми волосами и веснушками не должны заниматься этой работой, они рисковали заболеть раком мошонки, известным как "sootwort". Поскольку для таких людей опасность получить рак кожи при воздействии солнечного света выше, возможно, в этой идее есть доля истины.

Семь миллионов человек умирают от рака ежегодно. Многие подвергаются воздействию среды настолько опасной, что даже лучшие гены не могут их спасти. Сам Калибан не смог бы разработать изобретение, столь дьявольское как сигареты: дешевая система поставки наркотика, которая дает наркотическое привыкание, как у героина, и некоторые из наиболее канцерогенных химических веществ. Сотни миллионов людей добровольно участвуют в гигантском эксперименте в качестве подопытных, и миллионы любезно умерли. Их великодушие доказывает совместное действие природы и внешних условий. Если бы курили все, рак легких был бы генетическим заболеванием. Многие механизмы клеточного контроля и противодействия имеют множество естественных вариаций. Если говорить об одной из них, примерно один человек из десяти имеет весьма активную форму, которая, столкнувшись с табачным дымом, делает свою работу очень хорошо — и, когда ее делает, производит опасный канцероген. В результате легкие курильщиков с этой формой гена имеют в семь раз больший риск заболеть раком легких, чем курильщики с другими вариантами (хотя у заядлых курильщиков, которые ломают всю свою защиту, подавляя ее внушительной дозой яда, риск просто удваивается).

Даже когда ДНК повреждена, она может быть отремонтирована. У некоторых семей отсутствуют те или иные системы необходимых ферментов, и, как следствие, они подвержены высокому риску. Активность этих ферментов в населении в целом варьируется в сотни раз, и снова же, те, кто имеют более слабую форму, подвергаются повышенному риску, если курят. Действительно, такие формы в пять раз больше распространены среди курильщиков с раком легких, чем среди тех, кто избежал заболевания. Чернокожие, которые курят, имеют более высокие проценты, чем белые, и это также связано с некоторыми неизвестными генетическими различиями между этими группами.

Курильщики могут выбирать, следует ли им травиться, но другим не так повезло, и они попадают, не по своей вине, в ловушку, расставленную их генами. Рак печени является пятым по распространенности раком в мире со столицами в Африке и Китае. Непосредственной причиной является афлатоксин; химически создаваемый плесенью, которая растет на неправильно хранящихся продуктах, таких как арахис, рис, фасоль и другие основные тропические продукты питания. Он разрушает иммунную систему, замедляет рост и вызывает рак. У заболевших возникает новая мутация в гене, нормальная роль которого заключается в предотвращении неконтролируемого деления клетки. Мутации подобного рода вызывают афлатоксином в лаборатории, и у людей в этих регионах имеется высокий

уровень этого яда в крови. Благодаря улучшению хранения продуктов питания можно контролировать рак печени. Бедность означает, что даже этого нельзя добиться.

Предпринимаются определенные шаги, чтобы защитить, по крайней мере, некоторых из тех, кто подвержен высокому риску. Заядлым курильщикам — почти у каждого десятого из которых развивается рак легких — назначают витамин А в надежде уменьшить последствия мутаций в клетках легких. Тех, кто унаследовал ген, предрасполагающий к раку толстой кишки, лечат аспирином, прежде чем у них появятся симптомы, так как это может уменьшить его последствия. Такие болезни иногда рассматриваются как своего рода запрограммированная Неমেзида, с которой ничего нельзя поделать. Признание роли окружающей среды показывает, что это не так.

Такие нарушения как рак и болезни сердца действительно появляются в семьях, но их наследование трудно изучать. В них задействованы многие гены, и свою роль играют условия, с которыми сталкиваются люди из группы риска. Один из способов их изучения заключается в использовании близнецов, эксперимент самой природы в области генетики человека.

Близнецы бывают двух видов, однояйцевые и разнояйцевые. Разнояйцевые близнецы приходят от оплодотворения двух яйцеклеток двумя сперматозоидами (и время от времени оказывается, что у них разные отцы). У таких близнецов половина генов общие, и они не более похожи, чем братья или сестры. Их ситуация — снова же — описана в Ветхом Завете, этом кладезе ранней генетики. Иаков и Исав были близнецами, но "стал Исав человеком искусным в звероловстве, человеком полей; а Иаков человеком кротким, живущим в шатрах". Они выглядели совсем по-разному: "Исав, брат мой, человек косматый, а я человек гладкий", — и у них даже была разная манера говорить: "голос, голос Иакова; а руки, руки Исавовы".

Такие близнецы не являются редкостью. У обезьян и игрунок большинство рождений относятся к этой категории. Без всякой видимой причины их число меняется от места к месту. В Европе разнояйцевые близнецы рождаются примерно в восьми случаях на тысячу. Во Франции немного меньше, а в Испании немного больше, чем в среднем. Среди йоруба в Нигерии их число почти в пять раз выше. У пожилых матерей близнецов больше, как и у тех, у кого уже есть несколько детей.

Однояйцевые или идентичные близнецы встречаются реже, примерно четыре на тысячу рождений, процент, который не сильно меняется от места к месту. У некоторых млекопитающих они обычны, а у броненосцев всегда рождаются однояйцевые четверни. Идентичные близнецы появляются в результате деления уже оплодотворенной яйцеклетки. У них одинаковые гены, и они издавна были источником легенд. Кастор и Поллукс, близнецы из созвездия, были идентичны-

ми, как и их аналоги в германских легендах, Балдур и Ходур (не говоря уже о Ромуле и Реме, основателях Рима).

Для изучения врожденных и приобретенных черт близнецов можно использовать несколькими способами. Самый простой (но на сегодняшний день наименее распространенный) — найти идентичных близнецов, которые были разлучены при рождении и воспитывались в разных семьях. Если характер находится под генетическим контролем, у близнецов он должен быть одинаковым, несмотря на разные условия воспитания. Если более важной является среда, каждый близнец должен вырасти похожим на семью, с которой он провел свое детство.

Этот простой сюжет служит основой большого количества литературы, как научной, так и художественной. Многие исследования проводились с целью показать, что идентичные близнецы, выросшие отдельно, похожи друг на друга по размеру, весу или сексуальной ориентации, но большинство этих работ были недостоверными. Часто у приемных семей было похожее социальное положение, или близнецы знали друг друга, когда росли. Близнецы, которые считали себя идентичными, оказывались разнородными, когда брались анализы крови. Что еще хуже, постоянно выдвигаются обвинения в мошенничестве в таких работах. Все это означает, что большинство прежних исследований близнецов, выросших отдельно, было отвергнуто. Тем не менее, новая работа действительно демонстрирует, что некоторые черты личности — агрессивность, замкнутость и т.д. — имеют генетическую компоненту. Это, конечно, не означает, что воспитанием можно пренебречь. Внутренне жестокий человек может быть спокойным, пока не получит шанс доказать свой генотип, пойдя в армию.

Более тонкий подход предполагает сравнение степени схожести идентичных близнецов со схожестью неидентичных. Когда оба вида близнецов воспитываются в одной семье, степень, в которой они разделяют условия, по-видимому, одинакова. Любое более значительное сходство однояйцевых близнецов друг с другом, очевидно, должно говорить о том, что здесь задействованы гены.

Этот подход может быть эффективным, но есть и свои проблемы. Оба типа близнецов воспитываются вместе, но идентичные могут копировать поведение друг друга. Это заставляет их казаться похожими по причинам, не связанным с биологией. Тот факт, что они являются идентичными близнецами — возможно, носят похожие имена и одеты в одинаковую одежду — может предрасполагать к психическому заболеванию.

Одно из фундаментальных предположений при исследовании близнецов — что однояйцевые и разнородные отличаются лишь настолько, насколько они разделяют общие гены — не всегда оправдано. Жизнь до рождения может быть нелегкой, и больше для однояйцевых близнецов, чем для кто-либо еще. Многие болезни во взрослом возрасте — например, болезни сердца — являются, по крайней мере частично, результатом сложных условий во время беременности. Беремен-

ности близнецами всегда более трудные, чем одним плодом. В результате общая и враждебная среда может внести больше сходства в пары близнецов, чем это ожидается на генетических основаниях.

Идентичные близнецы бывают двух видов. Те и другие возникают в результате расщепления раннего эмбриона. Некоторые из них являются зеркальными отображениями своих сибсов; глядя на одного, видишь другого в зеркале. Такие особи разделяются довольно поздно в развитии, когда система лево-право у эмбриона уже установлена. Поздний раскол увеличивает вероятность того, что близнецы будут иметь общую плаценту, и им придется бороться за свою долю материнской крови. Такие близнецы выживают гораздо хуже, чем близнецы, у каждого из которых есть своя плацента, и выжившие рождаются на десять дней раньше, чем те, что пережили трудные времена до рождения. Их борьба настолько жаркая, что один может красть кровь у другого, так что один вырастает большим, а другой маленьким и анемичным. Еще больше осложняет дело то, что некоторые разнородные близнецы — не более схожие своими генами, чем братья или сестры — еще и обмениваются клетками на ранней стадии развития, поэтому каждый является химерой, состоящей частично из тканей своего сибса.

Тем не менее, в сравнениях двух видов близнецов были свои успехи. Близнецы из однойцевых пар в два раза чаще страдают от ишемической болезни сердца, чем из разнородных. Диабетом — в пять раз. Даже туберкулезом однойцевые близнецы болеют в большей степени, чем разнородные, как намек на наследственную предрасположенность. И другие особенности, такие как возраст, в котором ребенок впервые садится, больше схожи у идентичных близнецов.

Спор о природе и воспитании имеет не только научный интерес. Этот вопрос бесконечно повторяют с той или иной политической корыстной целью. Генетика когда-то использовала топор, закаленный в пожарах социального дарвинизма. Теперь, когда это попало в заголовки газет, вновь возникло положительное отношение к биологической теории человеческого поведения. Поджоги, приверженность традициям и даже интерес к жизни — все это связывается с ДНК. Шестидесятые годы были десятилетием проявления интереса к этому, и за неспособность ребенка сосредоточиться ответственность возлагалась на бедных учителей. Затем был "синдром работающей матери", когда виноватыми оказывались отсутствующие родители. Теперь некоторые психологи придумали целый ряд поведенческих нарушений, закодированных в генах, а другие вновь возложили ответственность на друзей (не на родителей), как на основные факторы развития ребенка.

Навязчивое стремление психологии отделить биологию от практического опыта живо, здорово и упрощено как никогда. В одном исследовании обнаружилось, что студенты с сенной лихорадкой необычайно стеснительны. Это доказывает, что "есть небольшая группа людей, которые наследуют набор генов, пред-

располагающих их к сенной лихорадке и застенчивости". Это наивно, но исследования семей и усыновлений предполагают, что некоторые аспекты личности, от интроверсии до скорости реакции на звук, имеют наследственную компоненту. Отсюда до открытия каких-либо генов, которые в этом задействованы, большой шаг, но психологов он не пугает. Анонсы открытий отдельных генов маниакально-депрессивного психоза, шизофрении и алкоголизма тихонько были отозваны.

Одна форма поведения всегда была предметом страстных споров о генах и окружающей среде, но служит отличным доказательством того, что генетика и социальные отношения имеют друг с другом мало общего. Гомосексуальное влечение является почти универсальным в некоторый момент жизни каждого. Некоторые люди продолжают предпочитать свой собственный пол. Исключительная гомосексуальность является удобным объектом изучения для тех, кто интересуется генетикой поведения человека, поскольку ее легко выявить, она довольно широко распространена и уже не сильно скрывается.

Одно исследование американских мужчин-гомосексуалистов указывает на связь между таким поведением и группой генов вблизи вершины X-хромосомы. Во-первых, братья мужчин-геев с большей вероятностью являются геями, чем мужчины в населении в целом. Само по себе это говорит не много, поскольку братья разделяют общие условия жизни, так же как и гены. Тем не менее, родственники геев со стороны матери более склонны быть геями, чем родственники со стороны отца, наводя на мысль, что черта передается через женщин. Опять же, это не является доказательством врожденной предрасположенности (даже если это подразумевает возможный ген на X-хромосоме). Лучшее доказательство, похоже, было получено от X-хромосом пар гомосексуальных братьев. Большинство из тех, кто принял участие в исследовании, разделяли особый сегмент ДНК возле конца этой хромосомы. Предположительно не менее ста генов могут располагать некоторых носителей к такой форме сексуального поведения.

После первоначального всплеска общественного резонанса, результат оказалось трудно воспроизвести (как это часто случается с такими признаками, в которых разные гены могут быть задействованы в разных семьях), и незамысловатая идея "голубого гена" в настоящее время отвергнута. Какой бы ни была наука, интереснее всего была реакция некоторых — но не всех — гей-сообществ. Многие, как выяснилось, были рады использовать биологию в качестве оправдания своего образа жизни. Идея, что сексуальные предпочтения наследуются, заключили они, означает, что сексуальность не заразна, и что борьба мракобесов за отстранение гомосексуальных учителей не обоснована. Что более важно, это поддерживало чувство разделения: ощущение общих отличий, возникших по причинам, выходящим за пределы индивидуального контроля. Все это смутило многих биологов, которые провели годы в борьбе с идеей, что сексуальные предпочтения, преступ-

ность и бедность являются врожденными и не могут быть изменены социальными средствами.

Эта новая ортодоксия наследования, как и прежний либерализм, требуют от биологии слишком многого. Она перекликается с забытыми спорами 1930-х годов. Немецкий генетик Теобальд Ланг утверждал, что обнаружил, что сестры геев имели некоторые мужские черты, и что мужской гомосексуализм может поэтому быть наследственным. Насколько бы правильным ни было его утверждение, этот намек на "ген гея" породил две совершенно противоположных (хоть и одинаково логичных) реакции. Взгляды нацистов, разумеется, были безжалостными: "Они не бедные, больные люди, которых нужно лечить, они враги государства, которые должны быть уничтожены!" В отличие от них — и имея ту же информацию — социалистическая медицинская ассоциация (тогда в изгнании) писала, что "гомосексуальность является врожденной и не подчиняется свободной воле людей, которые появляются на свет с этой инверсией. Законы против нее должны быть отменены".

Как и некоторые члены гей-сообщества сегодня, и левые, и правые считали, что, если такое поведение было врожденным, оно должно быть вне контроля тех, кто его демонстрирует. Каждая политическая группа считала свой ответ — евгеническую стерилизацию или либеральную легализацию — последовательным. Никто не спросил, что понимается под термином "ген чего-то", включая гомосексуализм. История немецкого "голубого гена" заострила внимание на неприменимости генетики к политическим убеждениям. Какую бы наследственную основу ни имел признак, наука не изменит предвзятое мнение о его качествах.

Нигде сложность разделения науки и политики, и путаница между природой и воспитанием, не является более пагубной, чем в изучении различий между человеческими группами. Старые учебники о расах рано или поздно приходили к вопросу, всегда рассматривавшемуся с определенным похотливым зудом, о наследственных различиях в интеллекте. Что такие различия существовали и что они были врожденными, когда-то казалось очевидным. Сам Линней относил человека к *Homo sapiens*, человеку разумному. Что касается вида в целом, он не может быть более точным в своем определении, чем *Homo, nosce te ipsum*: Человек, познавший самого себя. Его описание различных разновидностей человечества, напротив, использует поведение в качестве отличительного признака. Линнеевское определение азиата, например, было: некто желтый, меланхоличный и уступчивый. Даже сорок лет назад расовые стереотипы самого предсказуемого рода были еще нормой.

Большая часть работ по наследственным различиям в интеллекте между расами презренны, а большинство остальных ошибочны. Ошибочный аргумент выглядит следующим образом. Чернокожие не столь хорошо, как белые, проходят IQ тесты, так что они менее умные. Балы IQ родителей и детей схожи, так что

различия в интеллекте контролируются генами. Разница между черными и белыми поэтому должна быть в ДНК.

Этот аргумент обманчиво прост. Он был когда-то в США предложением, чтобы не тратить деньги на образование чернокожих, и один из вариантов этой теории, который видит бедных, а не черных детей в качестве жертв своих генов, используется в Великобритании теми, кого возмущают инвестиции в государственное образование (хотя, как ни странно, самые преданные сторонники наследственности улучшают условия для своих детей, отправляя их в частные школы). Этот простой аргумент в корне ошибочен.

Служат ли IQ тесты непредвзятой мерой интеллекта — вопрос для тех, кто их разрабатывал. Общая систематичность в способности вращать геометрические формы или решать простые арифметические и языковые задачи предполагает некоторую объективность в критериях. Сходство родителей и детей в их способности проходить тест само по себе ни о чем не говорит, так как семьи разделяют не только одни и те же гены, но и одну и ту же окружающую среду. Было бы удивительно, если бы не было никакой генетической составляющей в вариациях IQ. Многие люди с низким IQ страдают по генетическим причинам, так как некоторые врожденные заболевания частично проявляются в повреждении мозга. Хотя нормальные вариации интеллекта не могут быть связаны с такими генами — ведь врожденная слепота не имеет ничего общего с вариациями в восприятии цвета — некоторые наследственные заболевания действительно меняют определенные части комплекса IQ. Одно из них, синдром Вильямса (который предполагает потерю крошечной части хромосомы), вызывает проблемы с сердцем и довольно необычный внешний вид, а также полную неспособность обращаться с объектами в пространстве. Пациенты, которых просили нарисовать велосипед, проделывали серьезные операции с колесами, рулем и педалями — но те были разбросаны по странице. Они не могут организовать части в изображение всего механизма. Тем не менее, их способность говорить или решать арифметические задачи не сильно страдает.

Это редкое заболевание предполагает, что отдельные гены влияют на разные части комплекса IQ, но, как всегда при использовании аномального при изучении нормально, мало что говорит о вариациях в населении в целом. Масса данных, полученных от близнецов и усыновлений, позволяет предположить наследственную компоненту в IQ. Более того, вариант одного гена, отвечающего за рост клеток, часто встречается среди детей с очень высоким интеллектом (хотя это объясняет лишь небольшую часть всех вариаций). Задействованный ген помогает перемещать ферменты внутри клетки, и ген высокого интеллекта может быть более эффективен при сжигании сахара в мозге. Некоторые утверждают, что не менее семидесяти процентов вариаций в показателях IQ среди населения связано с разнообразием в генах. Эта цифра кажется высокой, но пока что ее можно при-

нять. На первый взгляд это выглядит как мощное доказательство, что любые расовые различия в IQ должны быть связаны с природой.

На самом деле это не имеет никакого отношения к пониманию того, являются ли такие различия — если они существуют — врожденными или приобретенными. Почему это так, можно увидеть по другой характерной особенности. В Соединенных Штатах кровяное давление у чернокожих мужчин среднего возраста примерно на пятнадцать делений выше, чем у белых. Исследования близнецов и другие показывают, что около половины вариаций артериального давления в группе связано с генетическими вариациями, и некоторые гены, влияющие на эту особенность, были обнаружены. Показатели для кровяного давления похожи на показатели IQ, хотя в данном случае черные оказались с более высокими баллами.

Сталкиваясь с такими цифрами, врачи и педагоги едва уловимо расходятся в своем мировоззрении. Врачи оптимисты. Они концентрируются на окружающих условиях, том факте, что чернокожие курят больше, а питаются хуже, чем белые, и пытаются это изменить. В США оптимизм окупился, и высокое кровяное давление среди черных стало не такой большой проблемой, как раньше. Многие педагоги менее оптимистичны. Для них существование наследственных вариаций в интеллекте снимает вопрос попыток улучшить ситуацию, изменив окружающие условия. У черных, говорят они, хуже гены. Их нельзя изменить, так что бесполезно тратить деньги на лучшие школы. Их теория была опровергнута. За последние тридцать лет средний IQ японских детей вырос почти на десять пунктов выше, чем у американских. Даже самые радикальные сторонники теории наследования утверждают, что это связано с внезапным взрывом эволюции на Дальнем Востоке. На самом деле, лучше становятся школы.

И генетическая, и экологическая точка зрения на кровяное давление или IQ наивна. Такие особенности формируются как генами, так и окружающей средой, и не имеет смысла говорить о генетических различиях, кроме как среди населения, живущего в одних и тех же условиях. Я однажды сделал простой эксперимент с группой студентов. Я разделил их по цвету волос. Светловолосых я отправил вниз пить кофе. Другая группа измеряла свое артериальное давление в состоянии покоя. Затем я позвал пивших кофе. Как они вдобавок к кофеину взбежали вверх, их давление в среднем было выше, чем у темноволосых студентов. Была связь между артериальным давлением и цветом волос.

Исследования семей показывают, что большая часть вариаций артериального давления в состоянии покоя связано с наследственными вариациями. Для большинства студентов это было доказательством существования генетических различий в кровяном давлении темноволосых и светловолосых людей. Только когда была раскрыта простая тайна различных воздействий, которым подвергалась каждая группа, становилось очевидно, что неправильно в этом утверждении. Студенты сделали ту же ошибку, что и педагоги. Высокая наследуемость в сочетании

с разницей между группами не обязательно говорит что-либо о генах. История рас и IQ является, в основном, одной из печальных неудач осмысления в фундаментальной биологии.

**Вера в наследственность, как и вера в предопределенность — хорошее оправдание для бездействия.** По крайней мере, версия окружающих условий может быть использована, чтобы попытаться улучшить ситуацию. Генетическая точка зрения часто воспринимается как шанс обвинить жертву, оправдать несправедливость, поскольку генетика детерминирована по своей природе. В последней главе книги "Дэниэл Деронда" побеждает природа. Герой возвращается к своим родовым корням и женится на Мире Мордехай, пригласив семью Коэн. Его поклоннице Гвендолен Харлет осталось утешаться памятью о своем несимпатичном супруге, Хенли Грандкорте, утонувшем несколькими страницами ранее. Триумф детерминизма, удобный для романиста. К счастью, реальная жизнь гораздо сложнее. Одно из самых замечательных открытий, сделанных новой генетикой, состоит в том, что она показала, как мало мы понимаем человеческие болезни, о которых мы не знали раньше.

## Глава шестая.

### ОБРАТНАЯ СТОРОНА СКРИНИНГА

Если, случайно, вы читаете эту книгу в поезде, или в библиотеке, или в любом другом месте, где есть люди, взгляните украдкой на человека слева и справа от вас. А потом утешьтесь знанием, что двое из вас троих умрут в результате ошибки (или побочных результатов действия) генов, которые вы носите. Если эта идея будет неприятной, не стоит забывать, что сто лет назад в этом поезде или библиотеке (и в зависимости от возраста ваших компаньонов) двое из вас троих были бы уже мертвы.

Жизнь в конце второго тысячелетия претерпела большие изменения. Рожденный сегодня британский ребенок, живущий свои трудные первые шесть месяцев, имеет примерно лишь один шанс из ста не дожить до зрелого возраста. В викторианскую эпоху — и задолго до нее — этот показатель составлял для большинства новорожденных примерно один из двух. В те времена смерть приходила извне: от голода, инфекции, или холода. Евгеники были обеспокоены врожденной слабостью будущих поколений, но фактически большинство их сограждан умерли по причинам, непосредственно не связанным с их генами. Теперь все по-другому: мы выиграла битву против внешнего мира и столкнулись с врагом внутри, нашими врожденными недостатками, такими как болезни сердца, диабет или рак. В результате большинство из нас в настоящее время умирают от генетических заболеваний (хотя не многие это замечают). Гены посягают на нас больше, чем они это делали во времена Гальтона, и наша новая способность читать их сообщения может менять жизни и смерти самым неожиданным образом.

И Национальная евгеническая лаборатория Гальтона, и Бюро сбора данных по евгенике Давенпорта (изменившее свое название в связи со слиянием с Лабораторий в Колд-Спринг-Харбор) в настоящее время являются мировыми центрами генетики человека. Они, и произошедшие от них сотни исследовательских групп, придумали технологию для поиска генетических дефектов, которой не было у Гальтона и Давенпорта. Многие вопросы, которыми были одержимы биологи столетие назад, получили ответы. Какова взаимосвязь между людьми и генами сейчас, когда мы вскоре можем получить инструментарий для выявления этих нарушений и реализовывать некоторые евгенические программы, если они потребуются? Будем ли мы проверять всех младенцев при рождении, или так мы зайдем слишком далеко?

Ни один серьезный ученый не интересуется генетически спланированным обществом. Но бурное развитие генетики означает, что, нравится нам это или нет, мы должны решать этические проблемы подобного рода, которые столь всесто-

ронне игнорировали ее основатели. Могут ли, и должны ли, приниматься решения на основании ДНК? Где баланс между правами личности и общества в свете новой биологии, и есть ли необходимость беспокоиться — как думали евгеники — о правах нерожденных поколений? Один герой-интеллектуал, Сэм Голдвин, снял эту проблему, спросив, "а что последующие поколения когда-нибудь сделают для меня?", но его предшественника, Платона, заботил моральный долг перед будущим, поскольку "человечество получает надежду на бессмертие, рождая детей". Вмешательство в гены в настоящем влияет на будущее, ошибка, диагностированная у одного человека, сразу отражается на членах его семьи, нынешних и будущих. Где должна заканчиваться сфера науки?

Генетика претерпела значительный сдвиг во взглядах. Большинство генетиков не заботит качество далекого будущего. Они чувствуют ответственность за людей, а не за население, за сегодняшний день, а не за завтрашний. Биологи же более осторожно относятся к своей работе, чем другие. По результатам одного опроса, трое из четырех американцев считают идею вставки генов в человеческие сперматозоиды или яйцеклетки вполне приемлемой, но почти никто из ученых не рассматривал бы эту идею.

В девятнадцатом веке бактериальная теория произвела революцию в медицине. Некоторые надеются, что ДНК сделает то же самое в двадцать первом. Генетика может помогать предсказывать болезни до появления симптомов, предотвращать их до нанесения вреда или даже лечить с помощью молекулярной микрохирургии. Удастся это или нет, она раскроет множество тайн. ДНК может полностью разрушить платоновскую идею совершенного человека, но напоминает нам о его мнении, что людей можно классифицировать по самой их природе - не просто на сделанных из золота, серебра, железа и меди, а на тысячи классов, каждый из которых подвержен риску определенных заболеваний, определенных условий, и каждый, возможно, наделен некоторыми уникальными и врожденными талантами. Готовы ли мы вытащить скелеты, спрятанные в каждом генетическом шкафу? Идея скрининга для выявления генетических дефектов витает в воздухе (и британское правительство одно из первых предложило своему населению это сделать). Евгеники были бы рады этой идее, а сторонники свободы встревожены, но теперь кажется, что работа может быть более сложной, чем можно было бы надеяться — или опасаться.

Большую часть времени генетика имела дело со здоровыми людьми, либо с носителями одной копии рецессивных генов, либо с людьми с поврежденной ДНК, которая может повлиять на их здоровье в будущем. Поступая таким образом, она привлекает все больше людей под знамена медицины. Генетика была когда-то наукой об отклонениях. Страшная, каким может быть для семьи наследственное заболевание, она не импонировала большинству людей. Гены ответственны за тяжелые врожденные дефекты, но большинство из них не поддается

лечению (поэтому больные умирают молодыми), и все они редки. При общем числе один или два на сто рождений живых детей, генетические проблемы кажутся малой частью истории смерти, крайне важные для некоторых, но несущественные для большинства.

За редкость таких заболеваний платят (если использовать этот термин в его грубом смысле) остальные, благодаря эффективности дородовой диагностики и прерывания беременности. В Голландии национальные консультационные службы обходятся около тридцати миллионов фунтов в год. Это предотвращает от восьмисот до вдвое большего количества рождений детей с серьезной инвалидностью. Даже при такой небольшой и эффективной системе здравоохранения расходы на оказание медицинской помощи при их жизни будут составлять примерно от четверти до трех четвертей миллиарда фунтов. Для Британии, с вчетверо большим населением, эти цифры надо умножить пропорционально. В Соединенных Штатах, для синдрома ломкой X-хромосомы (частой причины врожденных психических нарушений), затраты на предотвращение одного рождения составляют \$ 12 000, по сравнению с миллионом долларов стоимости содержания.

Такие расчеты звучат преступно, или даже бесчеловечно, но, подобные уравнения — обычное явление в медицине. Подведение баланса денежных средств по отношению к качеству и продолжительности жизни неизбежно, и эта арифметика может быть суровой. Тем не менее, учитывая, что очень многие заболевания, обусловленные единственным геном, нельзя вылечить, и что многие другие требуют постоянного ухода, определить их стоимость довольно просто. На первый взгляд, если отбросить различные моральные аспекты, эти уравнения кажутся ясными, как для дородовой диагностики, так и для ухода за теми, кто родился с наследственной болезнью. Однако для генетики затраты и выгоды неоднозначны. Теперь, когда ДНК стала прерогативой общих заболеваний, это позволит рано диагностировать болезни, поддающиеся и не поддающиеся лечению, которые появляются в старшем возрасте. Фактически это может создать совершенно новый социальный класс, здоровых больных, которые — будучи крепкими и бодрыми, пока судьба, закодированная в их генах, себя не проявит — обращаются к врачам за помощью, которую те не могут им дать.

Самой большой трудностью может оказаться диагноз через третье лицо, случайное открытие, что третья сторона, родственник, находится в группе риска. Должны ли врачи информировать членов семьи, даже тех, которые не находятся на их попечении, об их состоянии? Врачам уже предъявили иск, что те не сказали родственникам о смерти от наследственного рака толстой кишки, поскольку информация могла бы позволить им уберечься. В некоторых штатах США считается, что врачи отвечают за информирование жены психопата о том, что она рискует, и от них требуют сообщать остальным членам семьи о наследственных заболеваниях. В других считают, что достаточно информировать пациента и позволить

ему делать то, что он хочет (практика, рекомендованная Британским парламентским комитетом). Большинство людей, согласно опросу, согласны с тем, что родственникам нужно рассказывать о врожденных болезнях, и это может стать обычной практикой, которая изменит нормальные законы соблюдения врачебной тайны. И как долго больницы должны поддерживать контакт с пациентом? Когда появляются более точные тесты, те, кто когда-то показал отрицательный результат на ДНК-обследовании, могут его не показать.

Следовательно, генетика требует решения, какая информация должна быть собрана, кем собрана и кому она должна быть доступна. Это меняет границы между личной и общественной ответственностью. До какой степени расширяются моральные обязательства в семье? Где кончаются медицинские заключения и начинаются ценности общества? К счастью, возможно, чем больше мы узнаем, тем более непривлекательной представляется идея скрининга.

Несомненно, генетические тесты могут быть полезны. Прервать беременность может быть большим облегчением для женщины, чем обнаружить, что она носит дефектный плод. На более позитивной ноте, любой родитель, имеющий ребенка с фенилкетонурией или унаследованным раком толстой кишки (которые можно лечить) знает, насколько важными могут быть генетические проверки. Возможно, скрининг целых народов обнаружит многих завтрашних больных. Он может выявить тех, кто подвергается особому риску, будь то от курения, стресса, химикатов или определенных продуктов. Новое понимание того, как ДНК взаимодействует с внешним миром, по крайней мере, может изменить отношение к риску. Большинство людей знают, что курение вызывает рак и что жирная пища может привести к заболеваниям сердца. Некоторые гены предрасполагают своих носителей к вредному воздействию табака или жира, а некоторые люди могут безнаказанно пить, курить и есть сало. Пропаганда о курении и раке легких была не очень эффективной. У тех, кто ей подвергается, есть поразительная способность предполагать, что если один из десяти курильщиков приобретает это заболевание, то это будет кто-то другой. Если есть возможность определить, кто именно заболит раком, если будет курить, то личный страх может оказаться лучшим сдерживающим фактором, чем коллективный риск. Одна из форм гена белка, называемого альфа-1 антрипсин, значительно увеличивает риск эмфиземы среди курильщиков. Частота встречаемости людей с двумя копиями составляет примерно один на пять тысяч, и половина всех курильщиков, которым не повезло попасть в эту группу, умирают моложе сорока лет, в то время как продолжительность жизни для носителей гена, которые не курят, продлевается на двадцать лет. Знание своего индивидуального риска позволяет сконцентрировать на нем внимание: в Швеции из десяти подростков с чрезвычайно рискованным генотипом курит один, по сравнению с пятью в других странах.

Оценка будущего здоровья не является чем-то новым. Все врачи проверяют своих пациентов на высокое кровяное давление, а здоровых женщин проверяют на признаки рака молочной железы. По мере развития технологий, признаки других видов рака (например, рака предстательной железы, который создает антигены в моче) можно выявить задолго до появления симптомов. ДНК делает диагностику легче, с тестами для широкого спектра заболеваний, будь то унаследованных или ставших результатом мутации в клетках собственного тела. Как только появляется пациент или кто-то, беспокоящийся о семейных проблемах, ДНК является еще одним оружием в арсенале врача. Медицина уже сделалась доступнее благодаря домашним аппаратам измерения кровяного давления и холестерина. Тесты на беременность уже представляют собой в некотором смысле генетический скрининг, для многих положительный результат заканчивается прерыванием беременности, независимо от генов плода. В Соединенных Штатах доступны безрецептурные тесты на носительство кистозного фиброза и на гены, предрасполагающие к раку молочной железы.

Возникли технологии, позволяющие еще много чего продать. Генные чипы, как их называют, предусматривают ряд проб для тысяч различных генов одновременно. Эта идея возникла в 1970-х годах. Определенная последовательность ДНК удерживается в стабильном матриксе, а возможные совпадения, каждое из которых помечено радиоактивным зондом или флуоресцентным красителем, проплывают, пока не свяжутся с ней в своего рода фишинге генов. Теперь десять тысяч последовательностей-приманок можно положить на одно предметное стекло, используя методы, разработанные компьютерной индустрией. В принципе, один чип мог бы проверить все основные заболевания сразу, и хотя такие устройства, несомненно, будут дорогими, они могут вскоре появиться на рынке. Заинтересованные компании, говорят некоторые, преувеличивают риски и играют на страхах, чтобы увеличить продажи. Тест на ген наследственного рака молочной железы стоит 2500\$, намного больше, чем его себестоимость. Тем не менее, их использование будет трудно контролировать, и, судя по опросам, большинство людей считают, что они должны быть доступны. Промежуток времени между открытием гена и продажей теста короткий, и врачам придется все больше и больше иметь дело с теми, кто, правильно или нет, диагностировал себя или своих детей как состоящих в группе риска.

Медицина может выиграть от такой информации, так как это предусматривает лечение, нацеленное более точно. Таблетки, адаптированные для пациента, могут стать обычным явлением. Способность справляться с противораковыми препаратами варьируется в пятьдесят раз, и доза, полезная одному человеку, может быть смертельной для другого. В случае одного из препаратов, используемых против лейкемии, каждый десятый ребенок имеет низкую переносимость, поэтому скрининг имеет важное значение. С другой стороны, лекарства, сейчас почти

не используемые из-за их токсичности, для некоторых могут оказаться безопасными. Этот новый подход также может изменить профессии людей. Никто не хочет быть пассажиром в самолете с дальтоником-пилотом, и обладатели гена дальтонизма не получают эту работу ради их собственной безопасности и безопасности других людей. Эту логику можно значительно расширить. Людям, которые наследуют определенные формы фермента альфа-1 антитрипсина, трудно иметь дело с пылью или грязью. Точно так же, некоторые люди с определенными формами белков, обычно делающих яды безопасными, более восприимчивы к промышленным канцерогенам. Генетический скрининг может стать частью приема на работу, и проводить тесты становится обязанностью компании. Однако гены могут также использоваться в качестве оправдания, чтобы не улучшать окружающую среду. Журнал "Chemical Week" однажды написал, что "... нет никакого экономического смысла тратить миллионы долларов, чтобы ужесточать процесс, который опасен только для крошечной доли сотрудников ... если восприимчивых людей можно выявить и изолировать от него".

В Соединенных Штатах и в других странах работодатели оплачивают медицинское страхование своих работников. Страхование, в любой форме, представляет собой механизм рассеивания риска. Ущерб от несчастного случая распределяют на тех, кто никогда не заявит претензий. Те, кто любит вождение в нетрезвом виде или хранение золотых слитков под кроватью, платят больше и не жалуются (сильно), что их образ жизни заставляет их это делать. Но как насчет медицинского страхования? В США (и все больше и больше в Великобритании) доступ к медицинской помощи ограничен платежеспособностью. Двадцати миллионам американцев приходится покупать собственное страховое покрытие, и десятки миллионов не имеют медицинской страховки. При любой покупке полиса их просят раскрывать все медицинские проблемы, о которых им известно. Многим, кто обращается, отказывают, а для всех остальных "хронические заболевания" — сообщенные или нет — из страховки исключаются.

Генетика поднимает интересные вопросы. Имеет ли страховщик право требовать результаты тестов, помогающих определить, какой должна быть плата и предлагать ли страховое покрытие вообще? Является ли поврежденный ген "хроническим заболеванием"? В конце концов, смерть настигнет каждого, и ДНК всего лишь говорит некоторым (и в ближайшие годы, возможно, большинству) людей, когда это может произойти. Но, поскольку страхование зависит от распределения рисков, генетика может быстро разрастись. Это ослабляет наше незнание будущего. Никто не будет играть с игроком, который знает карты соперника, и никто не будет вносить страховые взносы, если будет уверен, что будет жить до глубокой старости (и что страховка ему не нужна). То же самое может быть, когда страховщики знают, что в чьих-то генах запрограммирована дорогостоящая болезнь. Страхование уже страдает, потому что люди, подверженные высокому рис-

ку, с большей вероятностью покупают полис. Генетика может разжечь войну роста отчислений, которая завершится тем, что за медицинское страхование будут платить только те, кто подвержен риску.

Уже сейчас компании отказываются покрывать страховки тех, кто обречен на болезнь Хантингтона и другие недуги. Отказ в страховке — не пустая угроза. Женщине, отвечающей за программу скрининга хрупкой X-хромосомы в США, было отказано в страховании, потому что ее дети имели симптомы, хотя у нее не было ни одного. В другом случае страховщик согласился застраховать плод, который должен был пройти тест на муковисцидоз — но только если родители согласятся сделать аборт, если тест будет положительным.

Коммерческий рынок здравоохранения хорошо видит и плохо покупает, и работодатель, который оплачивает счета, вынужден не нанимать того, кто может быть подвержен опасности. Все это служит аргументом в пользу национальной службы, распределяющей риски среди всего населения. Тогда здравоохранение вернется к роли полицейского, а не охранника, приняв точку зрения, что платить должны все, даже если некоторые подвержены большей опасности, чем другие.

Общественное здравоохранение, как и страхование, также подразумевает баланс между правами личности и социальными обязательствами. Почему, в конце концов, недопустимо плевать на улице, и почему курильщики считают себя преследуемым меньшинством? Возможно, скрининг новорожденных, или взрослых, с их врожденными недостатками, будет теперь рассматриваться как обязанность и заинтересованных лиц, и общества, а не просто как коммерческая сделка. Уже сейчас каждый младенец, с ведома или без ведома своих родителей, проверяется на ряд генетических заболеваний, фенилкетонурия только одно из них.

Есть много случаев, когда это может быть полезно. Гемохроматоз является рецессивным заболеванием, которое приводит к неспособности справляться с железом в пище. Если его не лечить, оно может привести к смерти из-за поврежденных сердца и печени. Примерно один европеец из четырехсот рождается с этой болезнью, и она еще более распространена среди африканцев. Сотни тысяч британцев находятся в группе риска (для мужчин риск в пять раз выше, чем для женщин). Ген был обнаружен, и большинство пациентов несут одну из двух мутаций. Лечение дешевое и простое. Вскрывают сосуды, чтобы пустить кровь и предотвратить накопление железа; медицинские умы додумались, что пациенты должны выращивать розы, поскольку кровь является столь хорошим удобрением. Простое сканирование в раннем возрасте может спасти много жизней и сэкономить на многих расходах, связанных с лечением тех, кому ущерб уже был нанесен.

Медицина также преуспела в лечении генетических заболеваний, которые когда-то убивали молодежь. Главной заботой евгеники было биологическое будущее. Стерилизация была легким способом обратить вспять то, что они считали нежелательными тенденциями. Новая биология надеется стать позитивной силой,

а не просто фильтровать дефекты. Муковисцидоз летален, потому что легкие наполняются слизью, и потому что не вырабатываются некоторые пищеварительные ферменты. Традиционная медицина — внимательное отношение к легочным проблемам, а также использование фермента, помогающего разрушить слизь — увеличивает как качество, так и продолжительность жизни пациентов с этим заболеванием. Некоторым пациентам может помочь сердечно-легочная трансплантация.

Такие успехи означают, что медицина за прошедшие годы уже изменила гены, и многие из тех, кто когда-то умер бы от кистозного фиброза и других заболеваний, теперь могут быть спасены, чтобы передать свою поврежденную ДНК. Оптика тоже сыграла свою роль. Близорукие охотники-собиратели, возможно, голодали, но изобретение очков устранило штрафы, связанные с какими-либо генами, имеющими отношение к близорукости, и в результате они выиграли. Только если бы очки были запрещены, это вызывало бы проблемы. Любой успех в лечении врожденных заболеваний приводит к тому, что ген становится более распространенным в последующих поколениях, но до тех пор, пока медицинское лечение остается доступным, это не будет иметь большого практического значения.

Какими бы ни были эти локальные победы, самой большой проблемой современной генетики остается та, которую общественность вряд ли осознает; вездесущность врожденных заболеваний. В Великобритании примерно один ребенок из тридцати рождается с какой-то явной генетической проблемой, и врожденные болезни становятся причиной примерно пятой части младенческих смертей. Более трети слепых людей сталкиваются со своим бедственным положением по генетическим причинам, и выявляется все больше и больше болезней, имеющих наследственную составляющую. В некоторых местах эта проблема стоит еще острее. В Средиземноморье и в Африке ошибки в эритроцитах, эволюционировавшие как защита от малярии, поражают миллионы людей. На Кипре есть множество генов различных форм талассемии, потери сегмента молекулы гемоглобина. Любой ребенок, родившийся с двумя копиями, страдает от тяжелой анемии. Лечение служит переливание крови, которое работает, но стоит так дорого, что лечение всех пострадавших детей в скором времени может поглотить половину бюджета здравоохранения. Один человек из пятнадцати по всему миру является носителем одного из генов резистентности к малярии. Без прорыва в медицине ни одно общество не сможет лечить миллионы детей с анемией, которые будут рождаться, если ничего не будет сделано для уменьшения их числа. Высокая стоимость будет означать трудный выбор.

Большинство генетических технологий просты: выявить поврежденный ген и предложить аборт по медицинским показаниям. Все основные дефекты можно обнаружить таким образом, и в перспективе многие другие могут быть выявлены тестами. Но, если скрининг становится все более изощренным, где должна быть

подведена черта? В России беременности прерывались, если считали, что плод несет гены, располагающие к диабету. Но диабет — заболевание, которое можно иногда лечить инсулином. А как насчет болезней, для которых лечения нет, но которые могут быть излечимыми к тому времени, когда ребенок будет находиться в смертельной опасности? При мышечной дистрофии, например, мы теперь знаем, какой белок создается неправильно, и что нормальная его версия может помочь мышам с геном подобной болезни. Не исключено, что какое-то лечение может стать доступным в течение ближайших двух десятилетий. Поскольку многие мальчики, родившиеся в настоящее время с этой болезнью, скорее всего доживут до того времени, это создает собственную моральную дилемму. Для дородовой диагностики это уравнение зависит от возраста родителей (и, следовательно, от частоты мутаций), их родства, любой семейной истории наследственных заболеваний, тяжести симптомов, возможности лечения и отношения к абортам. Все это делает процесс более неоднозначным.

Решения, основанные на оценках врожденных качеств, выносились и ранее, но сейчас, впервые, они могут быть точными. Позволять ли поврежденным генам перейти в следующее поколение, или человеческий род должен пытаться каким-то образом повысить свое качество? Ежегодно по всему миру происходит около девяноста миллионов рождений и шестьдесят миллионов аборт. В одной только Великобритании в 1998 году было проведено сто восемьдесят тысяч аборт, лишь две тысячи из которых были сделаны в связи с аномалиями. Гораздо больше беременностей заканчиваются, когда женщина не знает о своем положении, часто потому, что плод имеет серьезный генетический дефект. Еще больше теряется яйцеклеток. У девочки в яичниках их около миллиона. Три четверти исчезают до наступления половой зрелости, и в возрасте двадцати пяти лет она теряет их, в среднем, около сорока в день, тогда как производит только одну в месяц. Расход сперматозоидов еще более огромен, и у любого пола многие из половых клеток обречены из-за своих биологических недостатков. Генетическая селекция является естественной частью воспроизводства. Тем не менее, попытки выбирать сперматозоиды или яйцеклетки, или изменять баланс между незавершенными и завершенными беременностями приводят к ожесточенной полемике. Некоторые требуют, чтобы государство контролировало репродуктивный выбор, но другие считают, что такие решения должны приниматься одними родителями.

Гальтон, без сомнения, одобрил бы многие концепции, которые были изжиты по генетическим причинам. В конце концов, то, чего добьется генетический скрининг, будет ограничиваться больше отношением к нему, чем технологиями. Отношение может быть трудно предсказать. В старые недобрые времена Германия наделала много ошибок, но либеральная Швеция стерилизовала шестьдесят тысяч людей в рамках программы, которая продолжалась долгое время после окончания войны. Еще в 1995 году в Южной Австралии Закон о репродуктивных

технологиях запрещал лечение бесплодия для тех, кто столкнулся с уголовными обвинениями. Напротив, в Великобритании, родине всей этой идеи, евгеника никогда не реализовывалась на практике. Девяносто пять процентов детей в двадцать первом веке рождаются в странах третьего мира. Хотя в большинстве мест генетика только еще появляется, в Китае ее услуги уже наработаны. В 1993 году страна приняла закон, который был разработан, чтобы "положить конец распространности аномальных рождений и повысить стандарты всего населения". Большинство генетиков этой страны выступают за обязательные тесты до вступления в брак, а также за дородовую диагностику тяжелых генетических заболеваний (подразумевая, что может потребоваться прерывание беременности).

В других местах, тем не менее, отношение может быть неожиданным. Сардиния является довольно традиционным католическим обществом, в котором для многих браков есть риск рождения ребенка с талассемией. Девять из десяти пар, которые сталкиваются с этой неприятной ситуацией, теперь знают об этом; и когда у женщины оказывается пораженный болезнью плод, 9 из 10 выбирают прерывание беременности. Тесты, предлагаемые возрастным матерям в Дании, привели к пятикратному снижению числа детей с синдромом Дауна. Возможно, такое заболевание, как синдром Хантингтона, скоро станет редкостью, поскольку люди, подверженные риску, решат не размножаться. Некоторые из самых завзятых сторонников тестов на врожденные заболевания являются родителями, у которых был больной ребенок. Это само по себе говорит кое-что о том, где лежит этический баланс. Правда, в некоторых местах преданность "праву на жизнь" такова, что благотворительные организации, которые просят средства на генетические исследования, никогда не упоминают идею аборта, но вместо этого сосредотачиваются на (часто безнадежных) поисках лекарства.

Генетика как негативная сила воплощает другую коварную тиранию; диктатуру нормы, принуждение рожать среднестатистического ребенка. Соединенные Штаты видят потребность давать гормон роста детям, которые растут на несколько дюймов ниже, чем в среднем, и которые хотели бы, чтобы их когда-нибудь признали обычными. Один из десяти британцев намеревался бы прервать беременность для плода, у которого обнаружена нехватка двух пальцев, и, как зеркальное отображение генетической дискриминации, большинство глухих людей утверждают, что они должны иметь право отдавать предпочтение рождению глухого ребенка, который может лучше вписаться в их семью. Ахондроплазия, распространенная форма карликовости, возникает из-за доминантной мутации. Она оказывает некоторое влияние на здоровье тех, кто несет ее ген, но большую часть времени они чувствуют себя хорошо, и многие из них определенно гордятся своей болезнью. Почти все случаи возникают в результате новых мутаций, и такие дети рождаются у родителей, которые не имели ни малейшего представления о риске. Ген был найден. Любая беременность, в которой кажется, что ребенок растет

медленно, контролируется. Сначала то, что проблема роста была обусловлена только ахондроплазией, врачи рассматривали как полезное утешение для родителей. Многие врачи были встревожены, обнаружив, что реакцией часто было требование прервать беременность. Теперь некоторые центры не разглашают результаты — но кто имеет право скрывать правду?

Ахондроплазия является напоминанием о том, что гены затрагивают людей, так же как ДНК. Этот урок преподавался неоднократно. Первые попытки использовать новые знания натолкнулись на трудности, потому что игнорировали социальные реалии. Поиск носителей гена серповидно-клеточности в американской черной общине тридцать лет назад вызвал большие обиды. Хотя носители вполне здоровы, за исключением условий крайней нехватки кислорода (с которыми мало кто сталкивается), некоторые штаты сделали скрининг обязательным. Носителей одной копии мутации подвергали дискриминации на работе и при страховании. Хуже того, люди, которые не несли серповидно-клеточности, считали носителей менее здоровыми и менее счастливыми, чем это делали сами носители. Носители подвергались дискриминации, когда вступали в брак, и эта программа напоминала евгенические попытки улучшить качество населения, а не здоровье людей. Схема — хотя и задуманная с наилучшими намерениями — была образцом того, каким образом генетическая информация не должна использоваться.

Тем не менее, генетическая инквизиция никуда не делась. Почему бы, в конце концов, не расширить тестирование на взрослое население, для его же блага или для блага общества, и не предоставить обществу решать, как справляться с трудностями, когда они возникают? История дискриминации в отношении генетических неудачников неприглядна: но, в конце концов, это было давно. Возможно, некоторые люди с большим риском сердечно-сосудистых заболеваний хотели бы узнать об этом, прежде чем будет нанесен реальный ущерб их здоровью, заблаговременно выявить свои дефекты, чтобы снизить риск или обратиться за ранним лечением? Идея соблазнительная и широко обсуждаемая. Реальность, увы, не всегда так проста, по нескольким причинам.

Насколько далеко может зайти тестирование, определяется в первую очередь распространенностью дефекта. Любое рецессивное заболевание всегда предполагает гораздо больше носителей одной копии варианта, чем двух. Если болезнь такого рода поражает одного ребенка из десяти тысяч, примерно один нормальный человек из пятидесяти несет ее ген — это означает, что у здоровых людей в сто раз больше копий, чем у тех, кто болен. В результате, то, что в долгосрочной перспективе можно улучшить здоровье населения, не допуская, чтобы люди с наследственным заболеванием имели детей, просто неверно. Почти все несут хотя бы один из различных генов рецессивных наследственных заболеваний. Всеобщий скрининг предоставлял бы информацию, которая нежелательна и почти бесполезна.

Возьмем кистозный фиброз. Один британский ребенок из двух с половиной тысяч рождается с этой болезнью, таким образом, около двух миллионов британцев несут одну копию, и в каждом десятом браке тот или иной из партнеров является носителем. Любая программа скрининга выявила бы миллионы таких пар. Если бы супружеские пары проверялись на все рецессивные заболевания, было бы обнаружено так много носителей, что трудно понять, что делать с этой информацией — и стоит ли ее собирать вообще.

Эта проблема усугубляется началом осознания того, что сам скрининг может быть гораздо сложнее, чем кто-либо мог надеяться. Законы Менделя настолько просты, что карта генов, казалось бы, должна помочь легче обнаруживать людей, входящих в группу риска. Общественность — и многие врачи — считают именно так, и требования настойчивы. Кажется, что новая эра достоверной точности близка, но, по крайней мере, что касается генетического скрининга, реальность более неопределенна.

Существуют две основные трудности при таком применении простых правил для сложных проблем. Во-первых, для большинства генетических заболеваний связанная с ними ДНК может быть повреждена несколькими способами. Каждая группа людей — иногда каждая семья — может иметь свои собственные мутации в разных частях структур, в которых могут быть десятки тысяч оснований. Тест для выявления ошибки в одной группе, следовательно, не может работать в других. В результате, вместо всеобщего скрининга может понадобиться множество отдельных проверок. Говорить, что этот конкретный тест, к примеру, на муковисцидоз, означает меньше чем кажется. Что более важно, многие врожденные болезни, хотя и возникают в семьях, вызываются несколькими или множеством генов, которые собираются вместе в каждом поколении в виде меняющихся комбинаций, эффекты которых трудно предсказать.

Для заболевания, вызываемого одним геном, такого как муковисцидоз, некоторые мутации произошли давно и распространились на миллионы людей. Другие возникли недавно и обнаруживаются лишь у некоторых. Как правило, чем старше мутация, тем шире она распространена и тем легче выработать полезный тест. Что касается примерно сотни менделевских заболеваний, уже детально изученных, новости не слишком хорошие: большинство имеет множество различий, большинство отдельных мутаций встречаются редко, и — предположительно — большинство ошибок появились в течение последних двух тысяч лет и по-прежнему ограничены в своем распространении.

Все это означает, что установить, является ли кто-то носителем простой ошибки, без предварительного знания о задействованной мутации может быть нелегко. По иронии судьбы, при алкаптонурии — первой обнаруженной врожденной ошибке, с ее простым типом наследования — почти все, кто несет это редкое заболевание, имеют одну и ту же уникальную мутацию. Однако для более часто

встречающейся болезни, кистозного фиброза, известно более тысячи различных мутаций. Некоторые довольно распространены. Одна из них ответственна за семьдесят процентов случаев в Западной Европе. Две тысячи миль к Востоку, это изменение обнаруживается лишь у небольшой доли пациентов. Даже среди еврейского населения Соединенных Штатов оно вызывает только треть повреждений, а в некоторых группах населения (например, в Северной Африке) наибольший вред приносит совсем другая ошибка. Одна болезнь, изменение в одном гене, имеет, как выяснилось, множество причин.

Жизнь еще тяжелее при многих заболеваниях, которые не следуют менделевским правилам. Некоторые вызываются генами, оказывающими умеренное воздействие. На одну из форм сердечно-сосудистых болезней сильно влияют изменения в гене, участвующем в передаче сигналов от нервов к мышцам, хотя здесь также задействованы некоторые другие сегменты ДНК со слабым эффектом. Тысячи женщин умирают от рака молочной железы, и у некоторых за это ответственен один из двух генов, предрасполагающих к этому заболеванию. Их несет одна из восьмисот женщин, и они представляют собой сотни различных изменений ДНК. Удаление груди в некоторой степени помогает тем, кто являются носителями гена, но это решительный шаг, неприемлемый для многих (хотя небольшие дозы противораковых препаратов также могут помочь). Все это, в сочетании с редкостью гена, тем фактом, что девятнадцать из двадцати пациенток с раком молочной железы не несут мутировавшие версии, но болезнь, по неизвестным причинам, проявляется, а также отсутствие какого-либо универсального теста означает, что скрининг населения не имеет смысла.

У евреев ашкенази некоторые поврежденные версии этого гена являются более распространенными, поскольку, по случайному стечению обстоятельств, большая часть их населения происходит от довольно небольшой группы основателей. Один из пятидесяти ашкенази несет одну из трех четко выраженных мутаций, предрасполагающих к развитию рака молочной железы. Скрининг всего населения, похоже, может окупиться, но и здесь реальность не так проста. Поскольку многие женщины с этим заболеванием получают его по причинам, не связанным с этими двумя генами, и поскольку болезнь часто не проявляется до среднего возраста, дополнительное бремя риска, с которым сталкиваются носители гена, составляет примерно лишь один к двадцати. Все это говорит о том, что многие генетики считают, что скрининг на наследственную предрасположенность к раку молочной железы не принесет пользы даже здесь.

Чтобы еще более затруднить жизнь несчастному врачу, производящему скрининг, похоже, одни и те же заболевания могут возникнуть в результате ошибки в самых разных генах, и довольно часто болезнь, имеющая простую генетическую причину у некоторых пациентов, может почти не иметь наследственной составляющей у других. Многие болезни, когда-то казавшимися одной, были разде-

лены. "Лихорадка" рассматривалась как единое расстройство с одним лечением, и "рак" почти точно так же. Это упрощенное представление изменилось задолго до генетики, но гены ускорили этот процесс.

Несмотря на сложность мутации, никто не сомневается, что, скажем, муковисцидоз является единым заболеванием. Однако большинство наследственных болезней не связаны с простыми ошибками в одном или даже нескольких генах: наоборот, они (как сама лихорадка) являются симптомами комбинации множества нарушений в механизме тела. В отдельных случаях может быть замешан единственный ген, но не прочие, или гены, оказывающие небольшой эффект, могут объединиться непредсказуемым образом. Виновная ДНК может отличаться от популяции к популяции или от семьи к семье, и врожденная проблема может не проявляться, пока не будет выявлена в определенной ситуации. В результате некоторые болезни, похоже, у некоторых пациентов связаны со средой, а у других вызываются генетическими причинами. Такая сложность означает, что раскрыть страшных убийц, таких как болезни сердца или ожирение, будет нелегко. Даже выполнив эту работу, не ясно, каким образом эта информация может сильно помочь при скрининге.

Возьмем, к примеру, сахарный диабет. Сахарный диабет поражает одного из десяти человек. Причина, утрата контроля за сахаром в крови, кажется простой. Болезнь вызывает повреждение почек, слепоту, сердечные нарушения, разрушение нервов и смерть, и в США на лечение тратится \$ 100 млрд в год.

Она сводится к двум вариантам. Один возникает в результате недостаточности поджелудочной железы, которая вырабатывает инсулин. Эта проблема довольно редка (проявляется у одного ребенка из тысячи), начинается в юности и может быть вылечена недостающим гормоном. Другой, инсулиннезависимый сахарный диабет, распространен более широко, проявляется позже, и устойчив к лечению инсулином. Шесть миллионов американцев страдают этой болезнью, не зная об этом, и она становится все более распространенной. Эти две формы, по видимому, родственные, связаны с разными наборами генов и преподносят медицине совершенно разные проблемы. Более того, каждая болезнь сама по себе таит несколько заболеваний, на некоторые оказывает влияние наследственность, на некоторые нет. Инсулинозависимая форма, как когда-то думали, вызывалась вирусами, питанием или даже городской жизнью. Ни одна из идей не подтвердилась. На самом деле, здесь задействованы гены, при этом братья или сестры больных подвержены в двадцать раз большему риску, чем население в целом. Юношеский диабет связан с системой распознавания на поверхности клеток. Клетки с определенными комбинациями сигналов на клеточной поверхности сталкиваются с десятикратным увеличением риска. Болезнь, похоже, является результатом атаки иммунной системы на свое собственное тело.

Один ген объясняет третью часть шансов заболеть. По крайней мере, двадцать других могут к ней предрасполагать, некоторые участвуют в механизме инсулина, а другие — в работе несвязанных частей клетки. Однояйцевые близнецы имеют только один шанс из трех, что заболеют оба, так что здесь участвует кое-что помимо ДНК (возможно, плохое питание их беременной матери). Производство инсулина плавно варьирует от человека к человеку, с порогом, при котором наступает болезнь. Уровень, на котором он установлен, находится под генетическим контролем и может быть изменен какими-то неизвестными внешними причинами.

Поскольку генетическая составляющая этой формы диабета у некоторых пациентов проста и достаточно сильна, ДНК-тест может быть использован для определения доли детей, подверженных риску, и чтобы начать лечение до того, как будет нанесен вред. Тем не менее, большинство пациентов — с генами, оказывающими незначительное влияние, или те, кто подвергается неизвестному внешнему стрессу — не будут выявлены генетическим тестом.

Население тихоокеанского острова Науру обладает богатством, свалившимся на них благодаря добыче фосфатов. Вместо рыбы и овощей они едят жиры и сахар. Восемь из десяти взрослых науруанцев больны инсулиннезависимым диабетом, и продолжительность жизни на острове одна из самых коротких в мире. Возможно, местные гены восприимчивости к сахару получили преимущество во времена, когда голод следовал за изобилием. Как только изобилие стало нормой, они стали опасны.

Биологическое наследие Науру разделяют выходцы из Нового Света. Многие мексикано-американцы страдают от "синдрома нового света", они толстые и испытывают трудности в контроле уровня сахара в крови. Риск повышается с количеством индейских предков, что, на первый взгляд, является хорошим аргументом в пользу того, что главное значение имеют гены. Но болезнь почти неизвестна среди американских индейцев, живущих в своих общинах. Она поражает их, только если они меняют свое питание, двигаясь на север. Среди американцев различия в заболеваемости "синдромом нового света" возникают и из-за природы, и из-за среды.

Этот второй тип диабета еще более сложен и менее поддается скринингу, чем детская форма. Гены действительно играют роль, но они характеризуют популяции, а не отдельных людей. У людей тихоокеанского происхождения или коренных американцев диабет передается по наследству, но ни один отдельный ген не объясняет более чем десятую часть предрасположенности любого человека. Задействованы многие варианты, разбросанные по геному, с небольшими намеками на то, что они делают. Некоторые из них играют в лучшем случае неоднозначную роль: поиски в Америке одиннадцати генов, предположительно встречающихся в населении Великобритании, выявили только два.

Наиболее заметным аспектом инсулиннезависимого сахарного диабета является влияние окружающей среды. Виновато изменение питания. Гены коренных американцев или жителей островов Тихого океана в меньшей степени способны справиться с большим количеством жира и крахмала, чем гены европейцев, и развивается болезнь. ДНК является менее эффективным предсказателем, чем диета. Изменения в привычках принесут пользу всему населению, независимо от того, есть ли определенный риск заболеть.

Что касается диабета, который, казалось, был одним заболеванием, он на самом деле является двумя, или несколькими, или множеством болезней, каждая из которых может потребовать различных методов лечения. Некоторые виды лечения более успешны, некоторые менее, а некоторые подразумевают не лекарства, а изменения в привычках. Некоторых больных можно определить до появления симптомов по действию генов, которые они несут, а других не выявит никакая программа скрининга. У некоторых людей диабет будет развиваться независимо от их питания, а другие могут, несмотря на наследственную предрасположенность, избежать его, благодаря тому, как они живут. Генетика болезней — как и генетика многого другого — охватывает меньшинство людей с одним геном, предрасполагающим к болезням, и большее число тех, кто, к сожалению, вытащил несколько малоценных генетических карт, которые могут выпасть во многих аспектах. Вместе они увеличивают опасность, но от любой из них мало пользы для предсказаний. Что касается приобретенных форм, можно сосредоточиться на выявлении лиц с высоким риском, но, в конце концов, гены не имеют к этому прямого отношения: запрет чизбургеров сделал бы больше, чем может сделать вся медицина.

Таковы, пожалуй, многие (а возможно и большинство) болезней. Предрасположенность будет трудно проверить. Вариации в одном гене, кодирующем белок, важный для контроля уровня жиров в крови, влияют на вероятность сердечных заболеваний (хотя, конечно, питание также важно). Это также оказывает большое влияние на вероятность возникновения предстарческого слабоумия, болезни Альцгеймера. У людей с двумя копиями одной из форм этого гена болезнь обычно начинается в возрасте до семидесяти, на пятнадцать лет раньше, чем у тех, кто наследует две копии более благоприятной аллели. Большинство пациентов не имеют явной предрасположенности вообще; многие люди с высоким риском умирают по другим причинам до появления симптомов, и футболистам, независимо от их генов, угрожает аналогичная болезнь, поскольку они бьют по мячу головой. Болезни сердца столь же сложны. Некоторые семьи наследуют тенденцию к высокому уровню холестерина в крови, но к такому результату могут привести двести различных комбинаций генов. Риск заболевания зависит от того, насколько человек толстый (что само по себе может иметь генетическую составляющую), какое у него давление и инсулин крови, равно как и от генов, задей-

ствованных более непосредственно. В результате такие семьи легче выявить простой проверкой холестерина крови, чем самыми сложными ДНК технологиями.

Все это означает, что изучению наследования распространенных заболеваний приносят вред результаты, которые нельзя воспроизвести повторно. Многие утверждения, что определенные гены связаны с психическими заболеваниями, такими как шизофрения или депрессия, не были подтверждены дальнейшими исследованиями. Несмотря на огромные (и дорогие) планы пробиться через генетические заросли, просканировав тысячи больных людей, чтобы выявить особенности их ДНК, шансы на успех в поиске задействованных генов малы. В результате генетика будет играть меньшую роль в диагностике и лечении распространенных заболеваний, чем это часто утверждается. Что она может сделать, прежде всего — это показать, что то, что когда-то казалось одним заболеванием, от шизофрении до ожирения, на самом деле является множеством болезней, каждая из которых может потребовать отдельного лечения. В результате планы скрининга всего населения для выявления людей, подверженных риску, остаются далекими.

Тем не менее, наука может принести для некоторых неприятные новости. Многие наследственные заболевания нельзя вылечить, даже если они диагностированы, что сразу же поднимает вопрос, кто захочет проходить эти тесты. Половина людей, родители которых страдают от хореи Хантингтона, могут ею заболеть. Из-за задержки появления симптомов люди из группы риска однажды сталкиваются с неопределенностью относительно своей судьбы. Первые признаки часто появляются после тридцати или сорока в виде общего беспокойства и депрессии, затем следуют непроизвольные движения, и все заканчивается параличом и смертью обычно в течение двадцати лет после постановки диагноза. Поскольку симптомы могут не проявляться до среднего возраста, люди из группы риска остаются в двусмысленном положении. В Великобритании лишь каждый десятый предпочитает пройти тест. Для них сомнения лучше уверенности (даже если, для тех людей, чей тест оказался позитивным, страхи, что многие покончат жизнь самоубийством, не оправдались). В противоположность этому, половина тех, кто рискует унаследовать рак молочной железы (где лекарства могут помочь, хотя их эффективность не доказана) принимают это предложение, и восемь десятых соглашаются на тест наследственного рака толстой кишки, который, по сути, может быть вылечен хирургическим путем. Для тех, кому угрожают генетические заболевания, основным является вопрос, поддается ли их болезнь лечению. Для болезни, с которой ничего нельзя поделать, большинство людей не видят смысла в тесте.

Все это дань здравому смыслу. Некоторые решения менее рациональны. Каждый десятый из тех, кому предоставляется возможность проверить по почте, несет ли он одну копию гена кистозного фиброза, соглашается, и каждый четвертый — когда назначит врач, но шанс провериться немедленно используют почти

все. Все великие болезни-убийцы в развитых странах мира находятся под влиянием генов, и, по крайней мере в принципе, генетики могли бы сообщить многим людям вероятную дату их смерти задолго до того, как она случится. Спрашивается, зачем кто-либо хотел бы об этом узнать?

Как выразился слепой провидец Тиресий в "Царе Эдипе": "Как страшно иметь мудрость, когда от нее нет никакой пользы тому, у кого она есть!" Генетика — наука в целом — создает знание; мудрость, как этими знаниями пользоваться, требует гораздо большего, и она может прийти только вслед за долгим и болезненным опытом. Тиресий сам был ослеплен за то, что раскрыл тайны богов. Те гены все еще отчасти скрыты: и каждые двое из трех людей, которых они убьют, могут, до поры до времени, быть за это благодарны.

## Глава седьмая.

### БИТВА ПОЛОВ

Биологи по-юношески увлечены сексом. Как и подростков, их смущает эта тема из-за их невежества. Что такое секс, почему он эволюционировал и как он работает, были когда-то крупнейшими нерешенными проблемами в биологии. Это занятие должно быть важным, раз оно настолько дорого. Если некоторые животные могут обходиться только самками, так что каждая особь создает свои копии, стоит ли волноваться о самцах? Самки, отказавшись от них, могли бы производить в два раза больше дочерей, чем прежде, и те несли бы все их гены. Вместо этого, самки теряют время, сначала в поисках партнера, а затем для рождения сыновей, которые несут лишь половину их наследства. До сих пор нет определенности, почему существуют самцы, и почему, если они неизбежны, природе их нужно так много. Безусловно, одного или двух было бы достаточно для оплодотворения всех самок, но, за редким исключением, соотношение одних к другим упорно остается одинаковым во всем животном мире.

Одержимость сексом берет начало в далекие времена. Венере Гальгенбергской, элегантной извивающейся статуэтке без преувеличенных грудей и ягодич, как в более поздних вариациях на эту тему, тридцать тысяч лет. Эстетический интерес к женской форме восходит к еще более далеким временам. Мелкая галька из раскопок в Израиле украшена резьбой, напоминающей тело женщины. При возрасте в восемьсот тысяч лет, она является старейшим известным произведением искусства.

Людей издавна интересовал смысл секса. Платон в диалоге «Пир» (другое название, «Симпосий») предположил, что сначала было три пола; мужчины, женщины и андрогины или гермафродиты. Третий пол был разделен на две половины разъяренным Зевсом и обречен провести вечность в постоянных поисках своего партнера: "Зевс перенес их половые органы вперед и заставил их заниматься размножением. Если во всех этих объятиях мужчина случайно наткнулся на женщину, происходило зачатие и род продолжался, в то же время, если мужчина соединялся с мужчиной, то он мог получить такое удовольствие, какое позволяло ему направить свою энергию на повседневные жизненные дела". Это дало Платону объяснение происхождения и соотношения полов и превосходное объяснение различных половых влечений, широко распространенных со времен Древней Греции до наших дней. Две тысячи лет спустя остроумный англичанин Сидни Смит высказал ту же идею, хотя его тремя полами были мужчины, женщины и священники.

Дать определение половому размножению достаточно легко. Это то, что создает особей, содержащих гены от нескольких родословных линий, так что наследственная информация от различных предков сводится вместе. В бесполом линиях у всех одна мать, одна бабушка, одна прабабушка и так далее в непрерывной цепи прямого наследования от праматери, начавшей родословную. Двуполые организмы от них отличаются, потому что число предков удваивается каждое поколение. Каждый имеет двух родителей, четыре бабушек и дедушек, и так далее. Каждый сперматозоид или яйцеклетка несет половину от количества генов, находящихся в клетках тела, и каждый ген попадает в новую структуру благодаря рекомбинации. Когда они встречаются, новые наборы собираются вместе, создавая новых и уникальных индивидов. Перетасовка генетических сообщений лежит в основе полового размножения.

Сущность полового размножения иллюстрируют два эпонимных героя британской истории, король Эдуард VII (который процветал в годы, предшествовавшие Первой мировой войне) и сорт картофеля Король Эдуард (который накормил британский рабочий класс почти в то же время). Картофель, в отличие от королевской семьи, размножается бесполо. Каждая картофелина Король Эдуард идентична любой другой, и у каждой один и тот же набор генов, как у древнего предка всего картофеля, носящего это имя. Это удобно для фермера и бакалейщика, поэтому половое размножение среди картофеля не поощряется. Сам Король Эдуард был совсем из другой оперы. Половину своих генов он получил от матери, королевы Виктории, а половину от отца, принца Альберта. Сам он был новой и уникальной генетической смесью, в которой объединились некоторые качества их обоих и постоянно расширяющегося числа более отдаленных предков.

Легче дать определение половому размножению, чем понять его. Мужчины сделали много попыток оправдать свое существование. Помочь объяснить, почему жизнь не состоит всецело из женщин, может мутация. Опасное изменение ДНК у бесполом существ будут нести все ее потомки. Никто никогда не может избавиться от него, каким бы оно ни было разрушительным, если оно не будет восстановлено еще одним изменением в том же гене (что маловероятно). Со временем возникает вторая ошибка в другом гене в родословной линии. Деграция генетических сообщений, начинающаяся, когда одно поколение сменяет другое, очень похожа на деграцию, происходящую в стареющем теле, когда его клетки делятся без благоприятного воздействия полового размножения.

У двуполом существ, напротив, от новых мутаций можно избавиться, поскольку они передаются некоторым потомкам, но не всем. Довольно часто бывает, что один неудачник случайно унаследует несколько поврежденных генов, и все они исчезают ценой одной смерти. Половое размножение также оказывает более позитивный эффект: когда окружающая среда меняется, некоторые новые комбинации генов могут лучше справляться с новыми задачами. Новые комбина-

ции генов создают успешных индивидов, которым выпали благоприятные карты, и других, несущих менее полезные комбинации. Джордж Бернارد Шоу проиллюстрировал это в банальной, но меткой фразе. Когда актриса спросила, может ли она родить его ребенка, у которого могло бы быть ее тело и его мозги, Шоу указал на возможность, что у ребенка будут ее мозги и его тело. Половое размножение перетасовывает карты жизни: оно создает красивых гениев, которые выживают, и уродливых дураков, которые не выживают. Это удобный способ собрать вместе лучшее и удалить худшее, и разделить судьбы генов тех, кто их несет.

Рекомбинации являются исправлениями, которыми каждое поколение поворачивает вспять биологический распад. В некотором смысле, это являются ключом к бессмертию; фонтаном вечной молодости — не для тех, кто к этому прибегает, но для генов, которые они несут. Половое размножение ускоряет эволюцию, потому что каждое поколение состоит из новых комбинаций генов, а не из тысяч копий одной и той же. Вместо того чтобы постоянно улучшать одну и ту же комбинацию в карточной игре природы (которая может быть успешной в одной сдаче, но не во всех), каждая оплодотворенная яйцеклетка имеет новую комбинацию карт и новый шанс на победу. Шанс может быть небольшим, но при множестве раздач половое размножение становится полезным, хотя и дорогим приемом в игре против враждебного мира.

Отказ от самцов может вызвать проблемы. Большинство исключительно женских растений можно использовать в течение лишь нескольких лет. Они стали нести столько генетических повреждений, что больше пышно не произрастают, или не могут угнаться в эволюционной гонке за своими паразитами, которые постоянно их одолевают. Их линия стареет и увядает. Опасность воздержания от секса демонстрирует картофель. В Ирландии голод случился потому, что используемые растения принадлежали к старому и бесполому сорту. В середине девятнадцатого века каждый клубень в Европе происходил из одного или двух клубней, завезенных из Нового Света триста лет назад. Новая сельскохозяйственная культура вскоре распространилась по всей Европе. Во Франции Людовик XVI, умело эксплуатируя деревенское сознание, ставил охрану на первых полях днем, но убирал ее ночью. Крестьяне, впечатленные очевидной ценностью растения, спешили украсть образцы и вырастить их на своей земле. В Ирландии в 1840 году каждый взрослый съедал несколько килограммов картофеля в день (отчасти потому, что его семена экспортировались в Англию в счет уплаты за пользование землей).

Голод ударил с большой скоростью и губительными последствиями. В 1845 году "Журнал независимых граждан Ирландии" писал: "Мы с сожалением вынуждены констатировать, что получили информацию от нескольких корреспондентов, извещающих о факте так называемой картофельной "холеры" в Ирландии, особенно на севере. В одном случае человек копал картошку — наилучшую из

тех, которую он когда-либо видел, на определенной грядке одного поля до понедельника, и, копая на той же грядке во вторник, он нашел все клубни поврежденными и непригодными для употребления людьми или животными". Следующие пять лет голодало полтора миллиона людей. Их урожай был атакован грибом, картофельным фитофторозом, который был двуполом и производил многочисленное потомство на каждом из своих хозяев. Эти паразиты эволюционировали с гораздо большей скоростью, чем мог эволюционировать картофель. В настоящее время растения с новыми наборами генов испытываются каждые несколько лет, чтобы этому противостоять. Другие бесполое культуры, такие как бананы, пока избежали участи ирландского картофеля (хотя это не может продолжаться бесконечно). Картофель был загнан в эволюционный тупик, из которого единственным выходом является половое размножение.

Из-за этой опасности довольно немногие животные отказались от этого занятия. В их числе необычные ящерицы или рыбы, но нет ни одного из наших более близких родственников. Даже тля, которая обходится без этого большую часть времени, испытывает необходимость в сексе примерно один раз в год. За редкими исключениями, такими как коловратки (крошечные обитатели пресных вод, среди которых никогда не находили ни одного самца), полностью женские линии происходят от последних предков с нормальной половой жизнью, как намек, что воздержание от секса является эволюционным тупиком. Только, почему воздержание нежелательно, до сих пор не ясно. Несмотря на привлекательность теории мутаций, прямой ответ состоит в том, что, хотя причина существования женщин достаточно очевидна, есть еще много места для споров по вопросу о существовании мужчин.

Опасность воздержания можно увидеть у самих мужчин, так как они обладают Y-хромосомой, единственной хромосомой, которая отказалась от этого хобби. Когда формируются половые клетки, все остальные хромосомы выстраиваются друг рядом с другом — например, хромосома 2 рядом с хромосомой 2, X-хромосома с X-хромосомой — и предаются рекомбинации, сексуальной оргии генетического обмена. У самцов Y-хромосома выравнивается в линию с X-хромосомой, но объятия этой пары не очень пылки. Только кончик Y-хромосомы обменивается материалом со своей противоположностью. Остальная часть хромосомы удерживается в своего рода биологической парандже, предохраняющей от попыток заигрывания со стороны других генов.

Целомудрие Y-хромосомы имело для нее ужасные последствия. Она содержит длинные последовательности бессмысленных инструкций ДНК, повторенные многие тысячи раз. Возможно, это намек на то, что может случиться с бесполой линией, если воздержание продолжается достаточно долго. Мутации накапливаются, и от них нельзя избавиться. Может закраситься мусорная ДНК и доказать, что ее нельзя заставить обратиться. Помимо своей ограниченной роли в обеспече-

нии сохранения мужчин, хромосома Y служит предупреждением о вреде воздержания.

Другие части генома также движутся в том же направлении. Сравнение физической карты генов с картой сцеплений (основанное на рекомбинациях) показывает, что некоторые части нашей ДНК более склонны к сексу, чем другие, по крайней мере, в том смысле, что в этих удачно названных "горячих точках" происходит больше рекомбинаций. Более того, самки по этому критерию сексуальнее, чем самцы, поскольку женщины показывают больше рекомбинаций, чем их партнеры.

Сам секс поднимает другие проблемы — если есть половое размножение, то почему существует два пола? Если перетасовка генов двух особей является настолько хорошей вещью, почему эволюция не придумали схему, которая позволяла бы каждому спариваться со всеми остальными? Поскольку мы ограничены в выборе партнера особями другого пола, то, что полов всего лишь два, кажется очень неэффективным. Почти все организмы (за исключением нескольких простых существ, которые имеют десятки полов) существуют в виде только самцов и самок. Это означает, что только половина популяции доступна в качестве потенциальных партнеров. Если бы было три пола, то были бы доступны две трети группы, а сотня различных репродуктивных классов могла бы сделать возможными партнерами девяносто девять процентов наших братьев. Один ответ (и единственный) предполагает то, что на первый взгляд кажется противоположностью секса — конфликт.

Самцов лучше всего охарактеризовать как пол с небольшими половыми клетками, сперматозоидами, а самок — с большими, яйцеклетками. ДНК в клетках тела содержится не только в ядре, но и в окружающей цитоплазме. Некоторые относятся к митохондриям, имеющие собственные гены. У многих животных их еще больше в цитоплазме. Они произошли от когда-то независимых организмов, которые теперь стали попутными пассажирами внутри клетки. Эта ДНК (как и ядерная) имеет свою собственную программу действий, которая должна быть скопирована и передана следующему поколению. Цитоплазма является ее территорией, и, как дрозд или тигр, она защищает ее от захватчиков. Если бы сперматозоиды и яйцеклетки были одинакового размера (и у каждой была бы своя собственная популяция чуждой ДНК), была бы опасность войны за оплодотворение. При этом два набора цитоплазматических генов оказались бы в одном пространстве в оплодотворенной яйцеклетке. Как тигры, один набор мог бы нападать на другой, пока не победит. Это дорого, и могло бы даже нанести вред генам в ядре.

Спор разрешается, потому что один пол — мужской — в одностороннем порядке сдается. Пол, который сдается, не передает (или передает очень мало) своих цитоплазматических генов (которые исключаются из сперматозоидов при оплодотворении), а победитель, создающий яйцеклетку, передается в большом

количестве. Как и в большинстве войн, стабильное число противников — два, и существование самцов и самок (а не десятков полов) представляет собой перемирие в войне этих полов.

Биология теперь понимает, почему существует половое размножение, и почему оно ограничено скучным дуализмом мужского и женского. Техническая революция в генетике также показала, как прост секс и зачатие, и каким запутанным клубком это становится позже. Жизнь, похоже, по своей сущности женская, и мужские признаки являются просто модификацией женского опыта. Хромосома Y загоняет эмбрион в мужское естество. Если, по некоторым причинам, Y-хромосома отсутствует, плод развивается как женщина. Некоторые дети рождаются с дополнительной X-хромосомой. Их хромосомный набор XXY. Они мужчины, но стерильные. Были обнаружены люди с полдюжиной X-хромосом и Y-хромосомой, и они тоже были мужчинами, напоминая о силе этой маленькой хромосомы навязывать свои функции X-хромосомам.

Открытие нескольких мужчин с двумя X-хромосомами помогло в поиске ответственного гена. Они нарушают то правило, что чтобы быть мужчиной, нужна Y-хромосома. На самом деле, у этих мужчин (большинство из которых не знают о своей болезни) крошечные части хромосомы Y были оторваны и прикреплены к хромосоме X. Именно это вооружило ее информацией, необходимой, чтобы заложить мужское начало. Поскольку перенесенные сегменты малы, дополненная X-хромосома полезна для отслеживания ключевого гена. Этот ген встречается у всех млекопитающих мужского пола и похож на другой, который определяет то, что у дрожжей считается мужскими признаками.

Механизм, определяющий пол оплодотворенной яйцеклетки, может быть простым, но дорога к полу взрослого сложна. Половая принадлежность — гибкая вещь. У крокодилов, например, она определяется температурой, при которой развиваются яйца, поэтому самки должны устраивать кладки в местах, где температура позволяет рождаться как самцам, так и самкам. В некоторых рыб важно душевное равновесие или социальное давление. Стаю самок охраняет самец. Его удаление приводит к временному замешательству, пока одна из самок не сменит пол и не возьмет на себя его роль.

Как только начинается разделение полов, из него вытекают огромные последствия. Большая часть естественной истории — это научные исследования полового размножения, поскольку признаки, отличающие птиц, насекомых и цветы друг от друга, в основном связаны с размножением. Сравнение половой жизни различных животных дает понять, как эволюционировало половое размножение и почему животные имеют те или иные половые предпочтения. Хотя люди во многом отличаются, по-видимому, можно кое-что узнать о наших собственных привычках, глядя на особенности других видов.

Многие люди пытались сделать радикальные выводы о человечестве, исследовав частную жизнь обезьян. Всегда опасно и, как правило, бесполезно пытаться объяснить поведение человека простыми терминами, используемыми при изучении животных. Почти все попытки сделать это впадают в "патетические заблуждения", словесную ловушку, в которой испытываются эмоции, отраженные в погоде или пейзаже. Иногда — очень редко, как в "Грозовом перевале" — это работает, но большую часть времени это заканчивается ложным пафосом. Антропология испытывает те же проблемы. Пагубно легко читать в животном мире то, что мы хотели бы видеть в нашем собственном, объяснять человеческие болезни как неизбежное следствие нашей биологии. Даже Чарльз Дарвин, настоящий Бронте среди социобиологов, заблуждался. В его неопубликованных записях скрывается убийственная фраза: "Происхождение человека сейчас доказало — метафизика может этим похвастаться — что тот, кто понимает бабуинов, сделает больше для метафизики, чем Локк".

Метафизика — это одно, а половое размножение — другое. Нобелевский лауреат Конрад Лоренц видел в нас "убийц обезьян", стремящихся передать собственные гены, уничтожив оппозицию (чем может объясняться его собственное заигрывание с нацистами), и в любом приличном аэропорту есть ряд книг в мягкой обложке, которые претендуют на то, чтобы объяснить человеческую природу как пережиток истории, как приматов с теми или иными социальными предпочтениями. Еще несколько лет назад исследование сексуального поведения представляло собой не больше, чем набор разрозненных историй. Оно преобразилось благодаря возрождению одного из старейших методов в биологии. Сравнительная анатомия — это то, что убедило Дарвина, что мужчины и женщины родственны обезьянам. Новая наука сравнительного поведения подсказывает, как и почему эволюционировало их сексуальное поведение.

Секс полон борьбы, и само существование самцов и самок развязывает войну за то, чтобы передать цитоплазматические гены. Еще один конфликт возникает, когда самец борется за партнершу, и самцы с самками расходятся во мнениях относительно времени и усилий, необходимых для выращивания молодняка. Конфликты между самцами ведут к эволюции эффективных органов нападения, таких как рога. Другие черты — такие, как яркое лицо бабуина — являются более тонкими утверждениями мужских способностей и могут эволюционировать, потому что их предпочитает противоположный пол.

Нет никаких свидетельств (несмотря на многочисленные домыслы о бородах, грудях и ягодицах), что люди имеют подобного рода атрибуты, но, как у большинства животных, у людей конфликт среди мужчин сильнее, чем среди женщин. Быть мужчиной опасно. При рождении насчитывается около 105 мужчин на каждые 100 женщин, но их число уменьшается до 103 к 100 в возрасте шестнадцати лет, а к семидесяти годам женщин в два раза больше, чем мужчин.

Мужчины больше подвержены несчастным случаям, инфекционным заболеваниям, и они убивают друг друга чаще, чем противоположный пол. Как и следовало ожидать, евнухи и монахи живут дольше, чем те, кто обречен на нормальную половую жизнь.

У наших близких родственников стиль жизни другой. С человеческой точки зрения, шимпанзе достойны сожаления, а гориллы скучны. Самец шимпанзе ежегодно совокупляется сотни раз с десятками самок. Преданная горилла, с другой стороны, должна ждать до четырех лет, пока самка будет готова к спариванию после рождения детеныша, и даже тогда она доступна в течение всего пары дней каждый месяц. Это предполагает интенсивную конкуренцию среди самцов горилл за доступ к самкам. Успешный самец может собрать полдюжины или больше самок, в результате чего многие гориллы, не пользующиеся успехом, остаются в одиночестве и стремятся бороться за свои репродуктивные права. Зачастую эта борьба жестока, поскольку на карту поставлено эволюционное будущее самца. Люди отличаются от других приматов, потому что они живут в больших группах (более или менее) верными парами. В этом люди больше похожи на чаек, чем на каких-либо обезьян. Наиболее близкими к нам по поведению являются карликовые шимпанзе. Они образуют стойкие пары внутри стабильной, но небольшой группы особей, и имеет другие признаки, не отличающиеся от наших собственных (например, совокупление лицом к лицу). Среднестатистический француз или британец за свою жизнь имеет десять половых партнеров, и, как и у многих приматов, успешность разнится больше среди самцов, чем среди самок. Одна из шести женщин обязана сексом одному из ста мужчин.

Обезьяны демонстрируют хорошее общее соответствие между уровнем половых различий и моделями спаривания. У видов с большими гаремами и сердитыми холостяками самцы намного больше, чем самки, поскольку величина и агрессия помогают в битве за партнершу. Самец гориллы в два раза больше, чем самка, тогда как более спокойное общество шимпанзе сняло давление сексуальной враждебности, и самцы и самки весят примерно одинаково. Аргумент от анатомии (ограниченный социальным комплексом животных, похожих на нас) предполагает, что у людей, где мужчины лишь немного больше, чем женщины, есть история мягкой полигамии, промежуточной между шимпанзе и гориллой.

Наше собственное поведение гибкое и часто меняется (как при недавнем переходе к серийной моногамии, верности в отношениях, но с более чем одной связью в течение жизни). Похоже, действуют некоторые общие правила. Строгая моногамия встречается редко, и в большинстве обществ большинство мужчин за свою жизнь имеют более одной партнерши. Полигамия (один мужчина сразу с несколькими женами) встречается гораздо чаще, чем полиандрия, противоположная картина, хотя она и существует в Тибете. В полигамных обществах, где у некоторых мужчин много жен, у некоторых, должно быть, нет ни одной.

Есть намеки на более распутное прошлое человечества, чем это записано в скромных различиях мужских и женских размеров. У многих млекопитающих борьба между самцами не останавливается на совокуплении. Сперма также конкурирует. Часто самка использует сперму самца, который с ней спаривался последним, а это означает, что успешный донор спермы должен гарантировать, что ни один другой самец не спарится с ней, пока яйцеклетка не оплодотворится. Собаки, например, остаются парами после случки, потому что кобель охраняет суку от незваных гостей. Более утонченный способ помочь собственной сперме — затопить вклад предыдущего посетителя. Различные приматы показывают достаточно хорошее соответствие между размером яичек и степенью промискуитета самцов. Шимпанзе, эти Лотарио приматов мира, имеют огромные яички, в то время как гориллы, несмотря на слухи об обратном, наделены гораздо меньшим "достоинством". Люди не слишком отличается от шимпанзе в этом отношении (что может поведать некоторые поразительные вещи о нашем прошлом). Настоящие приверженцы эволюционных объяснений отмечают, что мужчины производят больше спермы, когда возвращаются к своей партнерше после долгого отсутствия, возможно, чтобы залить сперму любого чужака, который мог вторгнуться. Есть также вопрос — пока остающийся без ответа со стороны науки — почему по размеру пениса человек стоит особняком. Есть пределы тому, что может объяснить биология, и это может выходить за ее пределы.

Джеймс Босуэлл в своем лондонском журнале (который разоблачает в нем незаурядного распутника) писал, что "Если бы сладострастное наслаждение и сила продолжения рода были разрешены только добродетельным, это сделало бы мир лучше". Дарвин тоже заметил, что половой отбор (как он его называл) может сделать больше, чем просто улучшить способность самца побеждать своих завязанных конкурентов. Он много занимался эволюцией признаков, не имеющих очевидных биологических преимуществ (таких как хвост павлина или большой человеческий пенис). Борьба за секс, думал Дарвин, может иметь трудноуловимые последствия. Если самки предпочитают, по той или иной причине, определенный атрибут самца (такой как яркий хвост), то самцы, которые им обладают, будут размножаться более успешно. Хвост или его аналог станет более распространенным в последующих поколениях, и наиболее ярким самцам вновь будет отдаваться предпочтение. Со временем могут развиваться странные структуры, которые настолько дороги для несчастных самцов, что не могут эволюционировать дальше. Отбор самками, предположил Дарвин, может быть столь же важной частью полового уравнения, как агрессивность самцов.

В своей книге на эту тему, "Происхождение человека и половой отбор", он пошел дальше. Он предположил, что сексуальные предпочтения объясняют, почему человеческие расы выглядят столь разными. Не потому, что они эволюционировали, чтобы соответствовать месту, в котором они живут, а как следствие

произвольного выбора партнера. В разных местах те, кто ищут партнера, могли делать разный и довольно причудливый выбор. Со временем люди в мире разбрелись: например, Дарвин предположил, что людей с более темной кожей можно было бы считать более привлекательными в Африке, а с более светлой — в Европе. Люди, как правило, вступают в брак с теми, кто похож на них по интеллекту, цвету кожи и телосложению, но нет никаких доказательств того, что такой выбор играет важную роль в эволюции. В среднем мужчины — любой расовой группы — действительно, как правило, предпочитают относительно светлых женщин. Если половой отбор был важен, то будут преобладать блондинки. Поскольку это не так, возможно, Дарвин ошибался, или, может быть, весь вопрос о половом отборе настолько открыт для социального конвента, что этот довод никогда нельзя будет проверить.

Мужчины, как правило, сходятся в оценке, насколько может быть привлекательна та или иная женщина. Гальтон делал фотомонтаж, на котором фотографии многих светских красавиц были напечатаны одна поверх другой, в надежде на некий образ идеальной женщины. Его миссис Усредненность выглядела довольно неинтересно на современный взгляд. Эту работу можно теперь сделать с помощью компьютера. И для мужских, и для женских лиц, большинство людей находили изображение, составленное из нескольких людей, более привлекательным, чем основанное на одном человеке, и чем более использовалось лиц, тем более привлекательным оно казалось. Почему должно восторжествовать типичное лицо, не ясно (хотя некоторые полагают, что люди с крайне выраженными чертами лица могут также иметь аберрантные — и менее желательные — гены). В смешанных лицах даже гасятся различия между левой и правой стороной. Простой эксперимент с ксероксом показывает, насколько "двулично" большинство из нас. Две левые щеки и две правые часто выглядят тревожно отличными друг от друга. Поскольку каждая сторона лица создана одним и тем же набором генов, возможно, чем больше асимметрия, тем слабее гены. Модели (известные своей сексуальной привлекательностью), как правило, имеют симметричные черты и часто демонстрируют в камеру глупую улыбку, повернувшись в фас. Опять же, здесь может быть задействован половой отбор, хотя доказательства неубедительны.

Любое обсуждение эволюции секса, похоже, обречено блуждать в таких диких краях предположений. Некоторые говорят, что мужчины носят эксцентричные и дорогие украшения, чтобы продемонстрировать потенциальным супругам, что их гены достаточно хороши, чтобы оплачивать эти расходы. Эта идея была использована для объяснения странных моделей человеческого поведения. Возможно, мужчины больше употребляют алкоголь, табак или наркотики, чтобы продемонстрировать женщинам, насколько они выносливы, насколько их тело может справляться с плохим обращением, и насколько хорошими отцами они могли бы в результате стать. Трубочки, найденные в гробницах индейцев майя,

возможно, были использованы для ритуальных клизм токсичными препаратами для самых могущественных мужчин, как гарантия мгновенного опьянения и показатель сексуального мастерства. Этот обычай не распространился.

Конфликт между самцами за внимание самок очевиден, но есть также много возможностей для разногласий между полами. У самок некоторых животных возникает упорное нежелание принимать нового партнера, даже если есть возможность, потому что самцы вкладывают меньше средств в воспитание потомства. Он платит им за спаривание и бежит, чтобы попытаться произвести как можно больше детей с как можно большим числом самок. Самки должны быть более осторожными. Поскольку произвести на свет ребенка стоит очень дорого, они должны выбрать самца, который будет наилучшим отцом, и отвергнуть всех остальных.

Расхождение интересов иногда очевидно. Некоторые самцы убивают материнский выводок от другого самца с целью сделать ее доступной для себя. Среди обезьян лангуров большинство молодняка умирает по этой причине. У некоторых видов даже есть форма пренатального каннибализма. У беременных самок лошадей под влиянием нового самца рассасывается их плод, поведение, которое, возможно, эволюционировало из-за практически полной уверенности, что если он родится, то будет убит.

Люди проявляют межполовую борьбу менее вопиющим образом. Их битва экономическая а не смертельная. Если взять племенные народы, общества с частной собственностью более полигамны, поскольку женщины предпочитают более обеспеченных супругов. Когда богатство концентрируется в руках немногих, общество становится все более похоже на горилл, где самые богатые самцы монополизируют самок. Плодовитый (и богатый) Мулай Исмаил, кровопролитный король Марокко, признался, что имел 888 детей. Мы на Западе в настоящее время, похоже, движемся в сторону шимпанзе, поскольку большинство мужчин имеют, по крайней мере, хороший шанс на миссис Именно-ту, но в большинстве обществ успех по-прежнему связан с богатством. Среди народа Кипсиджис на юго-западе Кении богатый человек может иметь целую дюжину жен и восемьдесят детей. Чем больше у мужчины земли, тем больше жен он получает, а бедные мужчины покидают общину, будучи подростками, и не имеют детей вообще. Все женщины, напротив, как правило имеют семьи примерно одинакового размера. В Британии тоже, у мужчин из высших социальных групп больше партнерш, чем у менее обеспеченных. Экономический конфликт между полами означает, что мужчины обеспечивают капитал, а женщины выбирают, куда инвестировать.

Битва полов может объяснить еще одно необычное свойство размножения человека. Женщины являются единственными самками приматов, которые не показывают явно, когда они наиболее фертильны. Большинство самок приматов рекламируют те два или три дня в каждом цикле, когда они способны к зачатию. Часто это сопровождается неистовством совокупления с рядом самцов. До воз-

никновения современной медицины большинство женщин (и все мужчины) не знали о том, когда был фертильный период. Репродуктивная скромность женщин, возможно, отражает изменение экономических отношений между полами, которое произошло с возникновением общества. Некоторые полагают, что это может быть попыткой разрешить конфликт между мужским промискуитетом и женской необходимостью обеспечивать заботой своих детей. Скрывая, когда она фертильна, женщина обеспечивает постоянное внимание со стороны своего партнера. Если он не уверен, когда она может зачать, то он не смеет оставить ее ради новой женщины, боясь, что другой мужчина воспользуется его отсутствием. Это историческая спекуляция без свидетельств за нее или против — и, как это часто бывает с историческими теориями, возможен ряд других интерпретаций.

Самцы, разумеется, вносят свой вклад в заботу о своих детях, но в большинстве обществ полы отличаются по своим затратам на следующее поколение. Мать обычно остается с ребенком на руках, когда отношения разрываются. Разница может быть едва заметной. Многие генетические тесты могут рассказать родителям, несут ли они вредные гены и разумно ли для них планировать детей. В некоторых случаях тест также говорит родителям, что они сами рискуют заболеть. Такова болезнь Хантингтона. В два раза больше женщин, чем мужчин добровольно подвергаются тестам, возможно, потому, что они заботятся о будущем своего потенциального ребенка больше, чем о своем душевном спокойствии.

Битва полов часто рассматривается как прискорбная, но неизбежная, но большинство людей считает, что связь между матерью и ребенком обусловлена взаимной преданностью. На трезвый взгляд биолога, сделки между поколениями также полны конфликтов, с множеством шансов для обеих сторон эксплуатировать друг друга. Именно в интересах ребенка получить как можно больше внимания от своей матери. Материнская забота состоит в том, чтобы предоставить всего лишь столько, сколько позволит потомству выжить. Если она слишком щедра к одному, может пострадать следующий.

Подобное противостояние, грустное, как кажется — обычное явление в животном мире. В биологии возникло утешительное предположение, что природа на самом деле не кровожадна, и что животные редко наносят серьезный вред другим представителям собственного вида. Битва за репродуктивный успех показывает, насколько это неверно. Орлы откладывают несколько яиц. Если пищи достаточно, все птенцы кормятся, но малейший дефицит означает, что последний из проклевнувшихся может голодать или может быть убит своими братьями и сестрами. Крысы, мыши и другие млекопитающие часто поедают весь свой молодняк, когда еды становится мало (особенность, известная как кронизм, в честь греческого бога Кроноса, который пожирал своих детей).

Любая мать уверена, что все ее дети (первый, второй или третий) несут ее собственные гены, но вполне возможно (и у многих животных почти гарантиро-

вано), что у её первого детеныша будет не тот же отец, что и у более позднего потомства. Как выразился Аристотель: "Это является причиной, почему матери более преданы своим детям, чем отцы: она заключается в том, что они страдают больше, когда их рожают, и более уверены, что это их дети". Это влечет за собой конфликт интересов, и различия во вкладе каждого пола в свое потомство могут помочь объяснить некоторые странные закономерности наследования.

К большому удивлению генетиков, действие определенного гена иногда зависит от того, передается он от матери или от отца. Этот эффект, известный как "геномный импринтинг", довольно сильно отличается от сцепления с полом, поскольку могут быть задействованы гены на любой хромосоме. Оба пола, похоже, отпечатывают свои особенности на том, что они передают. Сама ДНК не изменяется постоянно, но ее влияние на тех, кто ее наследует, зависит от того, от какого из родителей она взята. Ген, передаваемый от отца к дочери, отличается по своему воздействию от гена, который та передает своим собственным детям. ДНК "маркируется", когда передается через сперматозоид или яйцеклетку, и клеймо меняется, когда линия передачи переходит от одного пола к другому.

Каждый эмбрион содержит как материнскую, так и отцовскую ДНК. Если мы используем (довольно сомнительную) метафору, что каждый ген действует в своих интересах, то генам, которые переходят от отца, выгодно выжимать как можно больше из матери, в которой они находятся, независимо от того, какой вред они наносят ей или последующим детям, поскольку более позднее потомство вполне может нести гены от другого отца. Первый отец ничего не теряет, эксплуатируя свою партнершу как можно больше, поскольку потом она будет вынашивать уже не его детей. Мать, напротив, должна гарантировать, что дальнейшие попытки передать ее собственное наследие не будут отягощены жадностью ее первенца. Таким образом, разница в поведении одного и того же гена, когда он передается через отцов или матерей, возникает от отцовской алчности.

У мышей гены, создающие мембрану, через которую питается плод, более активны, если передаются от отца, и их воздействие настолько сильно, что плацента сама предстает в виде паразита, загнанного в мать отцом. Гены, передаваемые от отца, также имеют тенденцию увеличивать размеры языка (который, разумеется, используется при сосании). Гены человеческих болезней оказывают такое же воздействие. Некоторые эмбрионы случайно наследуют две копии гена, способствующего росту. Они становятся аномально большими, только если обе копии передаются от отца. У нормальных эмбрионов будет включена только отцовская копия, как еще одно свидетельство заинтересованности отца, чтобы его ребенок извлек как можно больше из своей матери. Два редких генетических заболевания (синдромы Прадера-Вилли и Ангельмана), как когда-то думали, отличались, так как их симптомы различны. На самом деле, обе они — это одна и та же мутация, делеция короткого сегмента пятнадцатой хромосомы, которая повре-

ждает ген, участвующий в импринтинге отцовских особенностей. Различия зависят от того, передается ли он от отца или от матери. Дети с синдромом Прадера-Вилли (у которых аномальная хромосома была передана от отца) сосут с трудом, становятся одержимы едой и толстеют, тогда как детей с синдромом Ангельмана (которые получают такую же хромосому от своей матери) худые или с нормальным весом, но с довольно тяжелыми нервными симптомами, такими как эпилепсия, склонны постоянно смеяться и увлечены водой. При последней болезни отцовская копия гена частично подавлена в мозгу, что, возможно, объясняет психические заболевания.

Приверженцы теории конфликта предполагают, что даже криками ребенок пытается манипулировать своей матерью, чтобы получить больше еды, и что мать принимает ответные меры, выделяя в свое молоко вещества, подобные тем, что применяются врачами в качестве седативных средств. Верно это или нет, ясно, что раз уж половое размножение эволюционировало, оно оказывает иногда неожиданное воздействие на жизнь тех, кто его практикует. Без полового размножения не было бы почти никакой эволюции и никакой генетики. Наше всеобщее увлечение этим предметом может в один прекрасный день решать самую важную сексуальную проблему из всех — почему мы вообще этим озабочены.

## Глава восьмая.

### ЧАСЫ, ОКАМЕНЕЛОСТИ И ОБЕЗЬЯНЫ

Граница между обезьянами и людьми была когда-то далеко не ясна. Лорд Монбоддо, друг доктора Джонсона, был убежден, что "Орангутан столь же страстно увлекается женщинами, как и собственными самками", и что малайцы обрезают хвосты потомству от таких спариваний и принимают его как свое собственное. "Из упомянутого отчета становится несомненным" — писал он, — "что они относятся к нашему виду ... хотя не добились успеха в языке". Доктора Джонсона это не убедило: "Огорчительно видеть, что лорд Монбоддо публикует такие идеи ... когда это делает дурак, мы должны только смеяться, но когда это делает мудрый человек, мы сожалеем".

Сегодня повсюду еще больше глупости. Миллионы американцев вовсе не верят, что люди — родственники обезьян, или даже, что возраст человечества больше, чем несколько тысяч лет. Креационисты намерены оставаться невежественными. Они отрицают, что мы эволюционировали, и, следовательно, связаны через наши гены со всей остальной жизнью. Сам президент Рейган однажды сказал, что "Эволюция — всего лишь теория, в непогрешимость которой научное общество не верит, как это было раньше. Недавние открытия выявили в ней большие недостатки". Эта креационистская догма нагоняет скуку на биологов, если не сердит. В результате они были менее активны, чем должны, и мракобесы добились некоторого успеха, по крайней мере, в США.

Письменные исторические документы обрываются на позавчерашнем дне. Самые ранние тексты возникли у шумеров. Записи в мифической форме восходят к чуть более раннему прошлому. Гильгамеш был королем шумерского государства Урук в 2700 году до н. э. Эпическая поэма, носящая его имя, содержит некоторые хорошо знакомые элементы. В ней есть Эдемский сад, спуск героя в подземный мир (с благополучным возвращением) и Потоп. Подобным же образом, лучшее из доказательств того, что люди действительно эволюционируют, и что они являются членами животного мира, получено из наших собственных древних летописей. Без окаменелостей портрет наших предков не мог бы быть полным. Историк, который знает только современный мир, сказал бы, что невозможно сделать вывод о развитии, скажем, Турции и Соединенных Штатов только исходя из того, что существует сегодня. Всем историкам нужны документы из прошлого. То же самое нужно эволюционистам, чтобы быть уверенными в своих теориях.

Окаменелости удостоверяют прошлое. В свое время их характеризовали как дело рук дьявола, помещенное в горные породы, чтобы вводить верующих в за-

блуждение. Позже была отчаянная попытка втиснуть их в Библию. Некоторые ископаемые млекопитающие, казалось, стояли на цыпочках, задрав нос, когда встретили свой конец; доказательство того, что они были поражены Ноевым Потопом.

Дарвин прекрасно осознавал силу прошлого. Примерно каждая шестая страница в "Происхождении видов" касается окаменелостей животных и растений. Фрагменты их предков занимали центральное место в его теории. В отношении людей, у Дарвина была огромная брешь в его свидетельствах. Он мало что знал об останках наших предков и почти не упоминал о них в другой своей великой работе, "Происхождении человека", опубликованной в 1871 году. Хотя мы теперь знаем о костях наших предков немного больше, записи нашей собственной эволюции все еще очень неполны.

Первым ископаемым, в последствии признанным в качестве возможного предка человека, был неандерталец, найденный в долине Неандер в Германии в 1856 году. Сила веры в те дни была такова, что некоторые отвергали эти кости, считая, что они принадлежали калеке, больному артритом, или казаку, который умер при отступлении из Москвы. Сто лет назад был найден череп, промежуточный между человеком и другими приматами. Это был *Pithecanthropus erectus*, яванский человек. Поиски нашей родины продолжаются до сих пор.

Палеонтологи до сих пор не достигли согласия в том, откуда пришли современные люди и куда они направлялись. Ископаемая летопись настолько неполна, что цинику может показаться, что главный урок, который следует извлечь, в том, что эволюция обычно происходит где-то в другом месте. На место зарождения человечества претендовала Азия, Африка и даже весь мир одновременно. Летопись человечества изучалась упорно, как никакая другая, но в ней все еще зияют огромные дыры. Даже самые хорошо известные залежи отрывочны. Территория вокруг озера Туркана в Восточной Африке почти никогда не сходит экрана телевизора. Приближенная оценка численности населения предполагает, что, возможно, семьдесят миллионов людей жили там в течение двух с половиной миллионов лет. Были найдены останки всего нескольких сотен из них, большинство в виде маленьких фрагментов. Ископаемая летопись никогда не дает нам полной истории нашего прошлого, но она может дать даты и места, на которые гены могут только намекать. Стоит взглянуть на кости, прежде чем смотреть на молекулы.

Как и с геномом, самой большой проблемой с сохранившимися летописями прошлого является проблема масштаба. Жизнь началась около четырех миллиардов лет назад. Путь из Лендс-Энда в Джон-о'Гротс снова можно использовать в качестве метафоры. Вся дорога к югу от Бирмингема покрыта первобытной слизью, о которой мы мало что знаем. Первые примитивные наземные животные выползают на берег недалеко от Эдинбурга. В Каингорне появляются лягушки, а в

тридцати милях к северу от Инвернесс ландшафт кишит динозаврами. Первые приматы появляются вблизи Вика, тогда как наш собственный вид можно увидеть над ледяными водами Пентленд-Ферта, у их места рождения в сотне ярдов от самого северного берега Британии. Документированная история начинается на пляже, при высоком приливе.

Для путешествия во времени нужны вехи. Ископаемые можно датировать разными способами. Одни основаны на распаде радиоактивных материалов с течением времени. Другие более изобретательны. В древнем мире в качестве емкостей любили использовать страусиные яйца. Структура их аминокислот, как и во всех тканях, смещена влево. С течением лет аминокислоты распадаются на смесь левых и правых форм. Измеряя соотношение левых и правых форм, был установлен возраст скорлупы и людей, которые ее использовали. Самые старые сосуды из страусиной скорлупы найдены в Клезис Ривер Маус, территории в Южной Африке, населенной людьми, чьи черепа очень похожи на современные. Они датируются ста двадцатью тысячами лет. Старейший за пределами Африки, найденный в израильской пещере Кафзех, на двадцать тысяч лет моложе, а пятьдесят тысяч лет назад скорлупа использовалась для создания первых украшений, нескольких бусин, обнаруженных в Танзании.

Наша история имеет те же истоки, что и у всех других животных, и подобно им, мы — организмы, невероятно выжившие в прошлом, которое почти исчезло. Было несколько опасных моментов по пути к *Homo sapiens*. Большую часть своей истории несколько видов доисторических людей жило одновременно. Большинство ушло в небытие. Как человекообразные обезьяны, мы принадлежим к менее успешной ветви нашего семейства, поскольку большинство наших родственников исчезло пятнадцать миллионов лет назад с расцветом хвостатых обезьян. Как приматы, люди отстаивают верность группе, которую тридцатью миллионами лет ранее покинули лишь несколько ветвей на процветающем генеалогическом дереве; и как млекопитающие, мы являемся потомками редкой и небольшой группы животных, похожих на мышей, угнетаемых некогда процветающими динозаврами.

История древних человеческих предков покрыта мраком. Кости, похожие на кости приматов — обезьян и человека — появляются около шестидесяти миллионов лет назад. Первому фрагменту существа, который мог быть антропоидом (группа, эволюционировавшая в обезьян и людей) около сорока миллионов лет. Это животное было не намного больше, чем крыса, но в течение десяти миллионов лет группа хорошо упрочилась от Северной Африки до Китая и Бирмы. Животные были небольшими, и не намного больше, чем нынешние долгопяты, и, как и долгопяты, они, вероятно, ели насекомых и фрукты, а не листья, предпочитаемые многими их современными потомками. Челюстная кость раннего гоминида (группы, которая включает в себя людей и обезьян) того периода была найдена в

Кении. Около пятнадцати миллионов лет назад несколько видов обезьян бродили по Африке и Азии. Ни одна из них не была больше, чем семилетний мальчик, и у всех был маленький мозг и заостренные морды.

Один из самых ранних прямых предшественников современного человека появился от трех до четырех миллионов лет назад в Лаэтоли, Кения. Австралопитек афарский (*Australopithecus afarensis*) назван так в честь района Афар в Эфиопии, библейского Офир, упомянутого в истории Соломона и царицы Савской. Самым известным экземпляром является "Люси", названная так потому, что первооткрыватели в то время слушали песню Битлз "Люси в небе с алмазами". Она была ростом меньше четырех футов, с небольшим черепом. Кости австралопитеков показывают, что, подобно нынешним шимпанзе и гориллам, они помогали себе костяшками пальцев при ходьбе. Самые древние кости, которые, похоже, принадлежат нашим ближайшим предкам, роду Номо, найдены в Кении и датируются примерно двумя с половиной миллионами лет. Примерно в то же время появляются первые каменные орудия.

Окаменелости так же трудно классифицировать, как определить художественные стили. Поскольку они образовались одна из другой, не имеет смысла рисовать линию, чтобы точно показать, когда, например, импрессионистская живопись превратилась в постимпрессионистскую. Некоторая произвольность непременно закрадывается. В палеонтологии дела обстоят еще хуже, поскольку найдены лишь немногие экземпляры, и их первооткрыватели имеют естественную тенденцию удостаивать каждый из них собственным именем. Даже то, что необходимо для вступления в досточтимый род Номо, вызывает споры. Примерно пинта мозгов, хваткая рука и несколько простых каменных орудий являются минимальными требованиями к поступающим, но проходной балл зависит от прихоти экзаменаторов (некоторые из которых достаточно придирчивы, чтобы исключить старейшего члена, *Homo habilis*, и понизить его до простого австралопитека).

Тем не менее, большинство экспертов согласны, что было по меньшей мере четыре вида Номо: первый, *Homo habilis*, ("человек умелый"), живший примерно от 2,3 миллиона лет назад до своего исчезновения примерно семьсот тысяч лет спустя, второй, *Homo erectus* ("человек прямоходящий"), возникший примерно за 1,9 миллиона лет до настоящего времени, с самым молодым надежно датированным образцом возрастом около 200 000 лет, и — наконец — наш собственный вид, *Homo sapiens*, начавший всплывать около полумиллиона лет назад. *Homo habilis* иногда делят на два отдельных вида, сам *habilis* и *Homo rudolfensis* ("человек рудольфский"). *Homo erectus* тоже были разделены на два или более вида, и история нашего вида может быть историей ряда близких родственников, которые вымерли, не оставив никаких следов своего присутствия. У *Habilis* мозг был крупнее, чем у его предшественников, его лицо торчало меньше, и впервые возник примечательный нос и заметный подбородок. Почти полный скелет мальчика

*erectus* был обнаружен недалеко от озера Туркана в Кении. У него были надбровные дуги и массивные челюсти, а также длинные руки и ноги. На протяжении большей части времени одновременно существовало несколько видов человекоподобных существ. В Африке существа, похожие на Люси и ее родственников, жили в течение тысяч лет вместе с *Homo habilis*. На протяжении большей части времени несколько видов *Homo*, возможно, жили вместе, ситуация, которую трудно себе представить сегодня.

*Homo erectus* был первым, кто вырвался из Африки и сделал это вскоре после своего появления. Кости *erectus* возрастом почти два миллиона лет, смешанные с костями саблезубых тигров и слонов, были найдены в Республике Грузия, и этот вид вскоре распространился в модифицированном виде на Ближний Восток, Китай, Яву и Европу. Его останки включают Яванского человека и Пекинского человека (чьи кости исчезли во время японского вторжения в Китай), который вел статичное существование, и череп которого почти не изменился в течение его долгой истории.

Первые *Homo sapiens* — некоторые из которых выглядели скорее похожими на *erectus* — появились в Африке более четырехсот тысяч лет назад. Они были крепкими и на современный взгляд могли бы показаться определенно враждебными, хотя мозг у некоторых был крупнее, чем средний сегодня. Череп возрастом полмиллиона лет, который мог принадлежать к этой группе, был найден в Боксгроуе, Сассекс. В течение нескольких сотен тысяч лет такие популяции "архаичного *Homo sapiens*" обосновались по всей Европе.

Неандертальцы, процветавшие в течение сотен тысяч лет, прежде чем их захлестнула волна современных людей, имели более крупный мозг, чем наш собственный (хотя и при более тяжелом теле), а также больший нос и зубы. Их останки находили по всей Европе и на Ближнем Востоке, и они были обнаружены далеко на восток, в Ираке, но не в Африке или где-либо еще. Когда-то считалось, что они находятся на прямой линии с нами, но фрагменты ДНК, выделенные из их митохондрий, настолько отличались, что неандертальцы озаменовали собой еще один тупик на пути к человечеству.

Около ста тридцати тысяч лет назад первые люди современной внешности (легкое строение, тонкий череп, большой мозг и маленькая челюсть) появляются в Африке. Их останки были найдены от Омо-Кибиш в Эфиопии до южной оконечности Африки, на тысячи миль южнее. Довольно скоро после того как они появились, современные люди начали безжалостную экспансию. Многие из первых мест их стоянок расположены вблизи побережья; но в те далекие дни море было ниже, чем сегодня, и перед теми предковыми пещерами простиралась широкая прибрежная равнина. Каменные орудия были найдены на коралловых рифах в Красном море (которое было сухим сто тысяч лет назад), таким образом, возможно, наши предки шли вдоль ныне затопленной береговой линии от Африки до

Индонезии, оставив своих архаичных родственников, которые в то время все еще жили поблизости, внутри материка.

Эти первые современные люди прибыли в Израиль, в пещеры Кафзех и Эскул, сто тысяч лет назад. Кроманьонец, первый современный европеец (который, будучи человеком неглупым, жил на юге Франции) обитал там примерно сорок тысяч лет назад. Как и в Африке, их старомодные родственники, неандертальцы, продержались какое-то время, и жили на юге Испании в течение еще десяти тысяч лет после прихода новых иммигрантов.

Это модель "из Африки", описание истории, в которое верит большинство эволюционистов. Некоторые считают, что люди появились более или менее одновременно во всем мире, так что нынешние китайцы эволюционировали от древнего китайского предка, а африканцы от предка на их собственной земле. Идея, что один и тот же вид может образоваться одновременно в разных местах, идет вразрез с теориями генетики видообразования. Некоторые окаменелости могли бы, пожалуй, поддержать идею локальной эволюции. Одна из них, с реки Хан в Китае, напоминает *Homo erectus*, но имеет плоское лицо, которое, по мнению его открывателей, выглядит довольно похоже на современных китайцев. Те, кто защищают локальную эволюцию, придают слишком большое значение "лопатообразным резцам" в ископаемых челюстях из Азии. Эти зубы вогнуты с задней стороны, как зубы некоторых китайцев сегодня. В некоторых местах в Европе у трети людей также лопатообразные резцы, так что это не убедительный аргумент. Сохранилось так мало фрагментов, что кажется, слишком часто история зависит от взглядов историка. Африка была центром возникновения большинства приматов, и нет никаких оснований полагать, что люди возникли где-либо еще.

Другая проблема ископаемых — это вопрос, ползет ли эволюция медленно или рывками. Дарвин считал, что происхождение видов было постепенным и непрерывным. Прошлое было всего-навсего увеличенной версией настоящего. Из-за того, что было так много времени, огромные преобразования, имевшие место в истории жизни, можно объяснить медленными и почти незаметными изменениями, которые действуют и сегодня. У него был неторопливый и викторианский взгляд на то, как работает мир, путем постепенных и почти постоянных изменений.

Противоположная точка зрения (известная в своей последней версии как теория "прерывистого равновесия") больше в духе двадцатого века. Она видит эволюцию как скуку, разбавленную паникой. Новые виды появляются в результате внезапной вспышки революционных изменений. Между этими историческими катастрофами жизнь спокойна. Пунктуационисты полагают, что происхождение видов имеет мало общего с тем, что происходит с видами, как только они возникают, и что процесс эволюции сегодня мало что может сказать нам о том, что происходило в прошлом.

Самой сильной стороной этой теории является ее способность раздражать дарвинистов. Сотни научных работ были написаны в поддержку или против этой идеи. Одной из важных проблем является проблема шкалы времени. То, что для геолога может показаться мгновением, кажется биологу вечностью. "Рывок" от одного вида к его преемнику может охватывать десятки тысяч лет, пустяк по меркам геологических эпох, но более чем достаточно для поколений, чтобы позволить постепенной эволюции совершить кардинальные изменения. Те, кто оспаривают ползучий прогресс, указывают, вполне справедливо, что большинство видов не меняются на протяжении всей своей эволюционной карьеры, и это не то, что ожидал Дарвин.

Независимо от достоинств каждого учения, ископаемая летопись человека имеет так много пробелов, что не достаточно информации, чтобы сказать, произошли ли люди внезапно или медленно. Останки настолько редки, что вполне возможно, реликты линии, которая ведет к сегодняшним людям, все еще не обнаружены. Окаменелости — лучшее из всех доказательств того, что мы действительно эволюционировали, но они не могут сказать нам много о том, как происходила эволюция. Они действительно показывают, что качества, которые делают нас теми, кто мы есть, возникли по крупицам, что впервые они встречаются у отдаленного предка и принимают окончательный вид (если такой вообще есть) только в последние примерно сто тысяч лет. Ни один примат, проснувшись утром, не обнаружил, что стал человеком.

Центральная проблема при использовании мертвых для воссоздания истории заключается в том, что мы никогда не можем быть уверены, что какое-либо из ископаемых оставило потомков. Наши исчезнувшие предшественники просто вымерли. Это затрудняет определение их родства по отношению друг к другу и к нам.

Открылось еще одно окно в прошлое. Каждый современный ген ведет свой род с давно ушедших времен. Связи между людьми и приматами сохранились в ДНК нынешних животных. Сам Дарвин видел лучшие способы воссоздания истории, чем зависеть от застывших случайностей фоссиллизации. В его собственных заявлениях о наших предшественниках использовались косвенные свидетельства (например, сравнение анатомии человека с анатомией обезьяны). В настоящее время эти свидетельства гораздо более полные и рисуют новый портрет наших предков.

Молекулярная биология представляет собой лишь немного анатомических предписаний, плюс огромный исследовательский грант. Для генетика каждый из нас является живым ископаемым и содержит в себе наследие своих предшественников. Гены воссоздают древний мир. "Человек, — сказал Дарвин, — до сих пор носит в своей телесной основе неизгладимую печать своего низкого происхождения"; или, как выразился У. Ш. Гильберт: "Дарвиновский человек, хотя и благо-

нравный, на самом деле является просто побритой обезьяной". Генетика позволяет нам искать, кем могли быть эти бритые обезьяны.

Кости показывают, что люди связаны более тесным родством с человекообразными, чем с хвостатыми обезьянами, и их ближайшие родственники находятся среди шимпанзе, горилл и орангутанов. Анатомы когда-то предположили, что *Homo sapiens* должен быть весьма отличным. Часто его сравнивали с этими "большими обезьянами". Мы отличаемся от них очевидными признаками — например, размером мозга, волосатостью и другими особенностями. Большинство людей правши, и образцы сколов каменных орудий позволяют предположить, что наши предки были такими же. Каждый определенный шимпанзе и горилла может использовать одну руку, а не на другую, но примерно половина животных предпочитает левую, а половина правую. Человеческий мозг также асимметричен, и то, что речь и язык кодируются только с одной стороны — это больше, чем совпадение.

Трудно измерить, сколько генетических различий могут объяснить разницу в волосатости или доминировании одной из рук, и такие сравнения не часто используются в качестве критерия биологического разрыва между обезьянами и людьми. ДНК добывает лучших результатов. Люди и обезьяны имеют много общих генов. Мы различаемся как способом, которым мы пробуем мир на вкус, так и тем, как мы его видим. У некоторых обезьян многие самцы — красно-зеленые дальтоники. Шимпанзе имеют группы крови А и О, тогда как у всех горилл группа крови В. Около тысячи различных групп можно увидеть в наборе хромосом человека. Каждая из них также обнаружена у шимпанзе. Основные изменения заключаются не в количестве хромосомного материала, а в его порядке. Многие из этих групп были перетасованы, и две хромосомы слились в линию, которая привела к человеку. У нас в каждой клетке есть сорок шесть хромосом, тогда как у шимпанзе и горилл сорок восемь. Папа Иоанн Павел II в 1996 году ссылаясь на "онтологический разрыв" между человеком и обезьяной. Возможно, этот момент был отмечен слиянием обезьяньих хромосом 1 и 2, при этом человеческая душа закодирована где-то на их объединенном аналоге.

На уровне ДНК (и пренебрегая вопросами онтологии) физических изменений было тоже не много. В одном из псевдогенов гемоглобина, "ржавом каркасе" гена (структуре, которая накапливает многие мутации, поскольку не выполняет никаких функций), люди примерно на 1,7 процента отдалены от шимпанзе и горилл, на 3,5 процента от орангутангов и на 7,9 процента от макак-резус.

Чтобы определить место человека в природе, мы должны объединить информацию от как можно большего числа генов. Гибридизация ДНК, хоть и сырая, делает именно это. Этот метод полагается на необычайную прочность молекулы ДНК и ее непреодолимое стремление объединяться, ведь каждая нить подбирает пару в последовательности, которая сама движется.

Когда двойную спираль нагревают, она разделяется на две отдельные нити, каждая из которых имеет соответствующий набор из четырех оснований. Когда жидкость остывает, нити объединяются, А с Т и Г с Ц, восстанавливая первоначальные парные структуры. Если ДНК от двух различных видов обработать таким образом, некоторые из одиночных цепей каждой из них формируют гибридные молекулы, которые содержат по одной цепочке от обоих видов. Чем более они родственны, тем больше похожи их ДНК, и тем строже подходят друг к другу. Если нити очень похожи, они остаются вместе даже при высоких температурах, но, если они имеют меньше общих последовательностей, они менее стабильны. Температура, при которой плавится гибрид, следовательно, определяет, насколько похожими должны быть две ДНК, и служит показателем их родства. Гибридизация ДНК уже помогла решить некоторые сложные проблемы классификации. Так, она показала, что ближайшими родственниками грифов Нового Света являются аисты, а не грифы Старого Света.

Результаты приматов удивительны. Люди и шимпанзе разделяют 98,4 процента ДНК, гораздо больше, чем каждый из них с гориллой. Орангутаны связаны с ними не столь близким родством, а обезьяны Нового Света тем более. Любая идея, что люди находятся на высокой генетической вершине, совершенно неправильна. Для ряда функциональных генов, ДНК, общая для нас и шимпанзе, составляет целых 99,5 процентов, при этом горилла располагается дальше по той же шкале. Таксономист с Марса, вооруженный механизмом гибридизации ДНК, отнес бы людей, горилл и шимпанзе к одной и той же близкородственной биологической семье — действительно, он мог бы посчитать всех троих очень похожими, чтобы присвоить им общее латинское имя *Ното*, когда-то уникальное для нас.

Разумеется, шимпанзе и человек не являются просто небольшими вариациями на одну и ту же тему. Эволюция подразумевает не просто общее изменение в ДНК. На Гавайских островах живет больше видов плодовых мушек, чем где-либо еще в мире, при огромном разнообразии форм. Одна выглядит как акула молот, с огромными выступами по обе стороны головы. Гибридизация ДНК показывает, что эта дикая эволюционная эйфория почти не сопровождается изменениями в генетическом материале.

Мозг и поведение — вот что отделяет людей от любого другого животного. После отделения от шимпанзе мозг прибавлял около тысяч клеток в год. Мозг человека в пять раз больше, чем можно было бы ожидать для типичного примата такого же размера. Задействованные гены утратили свое значение как показатель средних генетических различий, и сам мозг производит целый ряд интеллектуальных и культурных признаков, которые появились, когда был достигнут критический уровень интеллекта, и которые не кодируются генами вообще.

Где-то в этом мозгу, или в его мыслях, содержится то, что нас отличает. Хотя шимпанзе разделяют с людьми большую часть ДНК, они не могут говорить.

Некоторые утверждают, что они могут манипулировать символами на примитивном "языке" (и обученные попугаи могут делать почти то же самое). Попытка показать, что обезьяны могут говорить, является одним из больших тупиков в исследованиях поведения. Сэмюэл Батлер, комментируя викторианскую попытку научить собаку языку жестов, отметил: "Если бы я был его собакой, и он бы меня учил, первое, что я должен был бы сказать ему, что он дурак!" Слишком много носиться с общей ДНК шимпанзе и человека — значит рисковать допустить ту же глупость. Люди, как никто другой, представляют собой то, что они думают.

При любых оговорках общие гены многое говорят об истории. Биологические различия между людьми и их родственниками возникли из-за мутаций, которые произошли после того, как приматы начали отклоняться друг от друга. Их можно использовать для предположений, когда человеческий род отделился от других: чем больше различий, тем раньше произошел раскол. Если такие ничем не примечательные случайности происходят с регулярной частотой, их можно применять в качестве "молекулярных часов", которые используют изменения в генах, чтобы заключить, когда два вида разделяли общего предка.

Молекулярные часы основаны на нескольких предположениях, некоторые из которых могут быть подтверждены. Во-первых, мутации должны происходить в поколениях с постоянной скоростью. К тому же, они не должны вредить своим носителям (и, поскольку большинство из используемых частей ДНК не содержит каких-либо важных инструкций, возможно, они не вредят). В ДНК за эти годы накопились ошибки. Некоторые исчезли, потому что их носители случайно не оставили потомства, но их заменили новые. Таким образом, генетический состав любой линии со временем меняется. Трансформация наследственных сообщений — это ключ к пониманию того, когда два вида начали расходиться. На время раскола должны быть свидетельства от окаменелостей (или других источников, такие как время появления барьера, например, горного хребта), говорящие о том, когда у двух сохранившихся членов группы был общий предок. Сравнивая их гены, определяют скорость, с которой тикают часы, и это дает возможность установить даты деления других, чьи предки не оставили окаменелостей.

Лингвисты используют ту же логику. В слова, которые передаются от родителей к детям, закрадываются ошибки. Иногда эти изменения едва заметны. В шекспировском "Как вам это понравится" придворный шут произносит речь, которая вызывает большое веселье: глядя на часы, он говорит:

"Здесь видим мы, как движется мир:

Всего лишь час назад был час девятый,  
А час пройдет — одиннадцать пробьет;  
И так-то вот мы с каждым часом зреем,  
И так-то вот гнием мы каждый час.  
И тут конец всей сказочке."

Только почему это должно быть так смешно, современная публика упускает; если не понимает, что во времена Шекспира слово "hour" (час) звучало почти так же, как слово "whore" (шлюха). Такие ошибки можно использовать для датирования рукописей. Их переписывали от руки люди, часто имевшие смутное представление о том, что они пишут. Копия за копией, закрадывалось все больше и больше ошибок. Ряд неточностей дает хорошее представление о том, когда фактически была написана та или иная версия оригинала.

Такие изменения невелики, но могут иметь большое значение. Такие разные языки, как бенгальский и английский, связаны родством. Они обязаны своим существованием накоплению крошечных изменений в общем предке, на котором говорили давным-давно. Возьмите слово, обозначающее королей и королев. На санскрите это было "raj" на латыни "rex", на старом ирландском "rí", на французском "rot", на испанском "rey", и на английском "royal". Различные ошибки передачи происходили на пути к каждому языку. Если мы знаем время раскола (из литературных окаменелостей, известных как книги), мы можем сделать лингвистические часы. В Европе они тикают со скоростью, предполагающей, что два языка имеют примерно восемьдесят процентов общих слов через тысячу лет после того, как они разделились. Языковой таймер несовершенен: некоторые слова почти не меняются, тогда как другие меняются быстрее. Тем не менее, его можно использовать, чтобы отследить происхождение современных языков, хотя носители, передавшие их по наследству, давно мертвы.

Идея молекулярных часов, движимых мутациями, элегантна и проста. Как обычно, чем больше мы узнаем, тем хуже становится. Они ускоряются и замедляются, и тикают с разной скоростью для разных генов. Похожий беспорядок привел к тому, что в девятнадцатом веке Парижское лингвистическое общество запретило обсуждение происхождения языков. Были некоторые очевидные неудачи молекулярных часовщиков, не увидевших биологического леса за эволюционными деревьями. Несмотря на это, у них было несколько триумфов, которые могут быть использованы при датировании эволюции человека. Необходимы некоторые предосторожности. Ископаемая летопись приматов настолько отрывочна, что трудно найти твердые даты, чтобы отрегулировать часы. Окаменелости и гены предполагают, что приматы начали расходиться около 60 миллионов лет назад, линия бабуинов откололась от 25 до 30 миллионов лет назад, а линия орангутангов — от 12 до 16 миллионов лет назад. Они ничего не говорят о дате раскола между людьми, шимпанзе и гориллами. Молекулярные часы на основе генов наших родственников предполагают, что это разделение произошло от 5 до 7 миллионов лет назад, при этом линия горилл отклонилась раньше, чем разошлись линии шимпанзе и человека.

И, следовательно, последний общий предок человека и шимпанзе жил около трехсот тысяч человеческих поколений назад. *Homo sapiens* появились недавно

даже в истории приматов, не говоря уже о четырех миллиардах лет родословной самой жизни. Молекулярные часы показывают, что филиппинский долгопят (невзрачная мелкая коричневая обезьянка) откололась от западного долгопята (почти идентичного на вид) примерно в то же время, как мы разошлись с шимпанзе, показывая, как быстро должны были эволюционировать наши предки.

Когда (или как) впервые появились характерные черты, которые столь безусловно отделяют людей от любых других животных, вопрос не биологии. Возможно, лучшее, что мы можем сделать, это согласиться с Китсом, что все мы "меж обезьяной и Платоном", и предоставить каждому самому выбирать, где на этом долгом пути располагаемся мы.

## Глава девятая.

### ВРЕМЯ И СЛУЧАЙНОСТЬ

В священном писании, в Екклесиасте, отмечается, что "Не быстрым удача в беге, не храбрым — в битве. Но срок и случай постигает их всех". Суть эволюции — в изменениях с течением времени, но то, как все эволюционирует, часто дело случая. Сущность наследования предполагает, что случайные события обязательно управляют нашими генами при смене поколений. В результате, большинство человеческих заболеваний формируется случайно.

Важность случайности в эволюции отметил английский клирик Томас Мальтус. Он заинтересовался историей бюргеров Берна и проследил записи их фамилий на протяжении нескольких столетий. К его удивлению, многие фамилии, отмечавшиеся в начале периода, исчезли к концу, хотя число горожан осталось прежним. Фрэнсис Гальтон объяснил, почему.

Фамилия почти как ген, переходит от отца к сыну. В каждом поколении есть вероятность, что тот или иной отец не имеет ребенка мужского пола. Возможно, у него есть только дочери (которые теряют свои фамилии в браке) или нет детей вообще. Тогда его фамилия исчезает из его рода. Если у него нет детей, фамилия будет утеряна сразу. Кроме того, она исчезнет с большей вероятностью, если его семья маленькая, поскольку их небольшое потомство будет довольно часто состоять из одних дочерей. Если в замкнутой общине, как у бернских буржуа, этот процесс продолжается достаточно долго, со временем исчезает все больше и больше фамилий. Через достаточное время выживет только одна фамилия. Каждый будет носить одно и то же наследственное послание (по крайней мере, что касается фамилий). Кроме того, община будет более инбредна, чем раньше, поскольку в роли супругов будут доступны люди с одинаковыми фамилиями, и все они происходят от общего предка.

То же самое происходит с генами. Скажем, у средневековых бернских буржуа был редкий ген — например, необычная группа крови. Поскольку Берн был маленьким городком, его мало кто нес. Если ген никто не передал (потому что не было детей, или потому, что ген случайно не попал в сперматозоиды или яйцеклетки, которые создавали следующее поколение), то он был утерян. С другой стороны, носители могут, опять же случайно, иметь больше детей, чем остальные, и в этом случае эта вариация становится более распространенной. В любом случае, ее частота меняется (что означает, что население эволюционирует) в манере, которая зависит только от случайностей времени.

Эйнштейн однажды сказал, что "Бог не играет в кости". Он был не прав: для генов, Бог играет в кости. Сколько из них преуспееет, не зависит от конкретной

ДНК. Возникает почти богословская проблема. Является ли это их собственным недостатком, что гены, и те, кто их несут, обречены — или они гибнут случайно, в результате простого невезения?

Такая случайная эволюция известна как генетический дрейф. Этот процесс имел важное значение в нашем собственном прошлом. *Homo sapiens* еще не так давно был редким видом, жившим маленькими группами. Еще несколько десятков тысяч лет назад во всем мире было не больше людей, чем живут сегодня в Лондоне. Несколько выживших племенных народов дают понять, на что было похоже общество.

До 1970-х годов, пока жизнь народа Яномамо не была уничтожена золотодобытчиками и лесорубами, около десяти тысяч индейцев этого племени жило в сотне разбросанных деревень в тропических лесах южной Венесуэлы и северной Бразилии. Они называли себя "жестокими людьми", и не без оснований. Около трети всех смертей мужчин были связаны с насилием, часто с боями между деревнями и, как верят Яномамо, намного больше — со злонамеренной магией.

Их общество не было достаточно прочным, чтобы позволить группе из более восьмидесяти — ста человек, в том числе около десятка молодых мужчин, оставаться вместе. Любые более крупные группы как правило разделялись. Отколовшаяся группа уходила, чтобы основать деревню где-то в другом месте. В результате Яномамо всю свою историю (которая в той или иной форме уходит корнями к самым ранним американцам, жившим двенадцать тысяч и более лет назад) существовали в виде группы небольших общин, находящихся в постоянном конфликте.

Большинство охотников-собирателей, возможно, жили так же. Древние жители Сибири, которые охотились на мамонтов, делали дома из их костей. Размеры их костяных селений предполагают, что каждая группа, как и сегодняшние Яномамо, состояла из нескольких десятков человек. Один странный факт о современном обществе также может быть подсказкой о размерах древних групп. Большинство командных действий предполагают примерно одно и то же количество людей. Есть девять членов в Верховном суде США, одиннадцать в футбольной команде, двенадцать в суде присяжных — и у Иисуса было двенадцать учеников. В каждой группе Яномамо есть, как ни странно, около десятка здоровых взрослых мужчин. Является ли трудность достижения консенсуса в большой группе пережитком прежних времен? Большинство людей могут выделить около двенадцати других людей, чьи смерти заставили бы их страдать. Сам Аристотель отметил, что нельзя любить больше, чем нескольких. Может ли это быть подсказкой (хотя бы слабой) о размерах древних общин?

Так же, как для фамилий, случайные генетические изменения легче происходят в небольших популяциях, когда мало кто из людей несет определенный ген. Тогда все или большинство носителей могут случайно его не передать. В более

крупной группе вариация может быть редкой, но ее будут нести достаточно людей, чтобы гарантировать, что, по крайней мере, один из них ее передаст.

Странные вещи случаются с генами в малых популяциях. Опять же, фамилии показывают, что может произойти. Их эволюцию легко изучать, так как для этого необходима всего-навсего телефонная книга, а кроме того, имена и фамилии сохранились на протяжении столетий в регистрационных записях браков. В мире существует около миллиона фамилий. Китайские фамилии самые старые и восходят к династии Хань, правившей две тысячи лет назад. В отличие от них, японские фамилии берут начало лишь около столетия назад, когда они были присвоены по приказу властей. Те, кто их изучает, сталкиваются с различными трудностями. Например, во многих местах одни и те же фамилии (как моя собственная, Джонс, что означает "сын Джона") возникали независимо много раз. В некоторых странах, таких как Испания и Россия, система дает сбой, поскольку дети берут имя своего отца и 'фамилия' изменяется в каждом поколении. То же самое когда-то имело место в Уэльсе. Мальчик носил имя своего отца и более далеких предков, каждое из которых приставлялось спереди с помощью частицы "ар" или "сын", и чем больше было имен, тем более уважаемой была фамилия. Остатки системы существуют в современных валлийских фамилиях, таких как Пью (сын Хью), Прайс (сына Риса) и Пэрри (сын Гэрри). В большинстве мест эта практика почти полностью отошла.

Телефонные книги в давно обжитых уголках мира (таких, как гористая местность вокруг Берна) показывают, что в каждой из деревень, расположенных в нескольких милях друг от друга, разный набор фамилий, причем в некоторых деревнях почти все люди носят одну и ту же фамилию. В каждой изолированной деревушке время от времени терялись фамилии, когда, случайно и на протяжении многих лет, у некоторых мужчин не было сыновей. Поскольку данный эффект случаен, в каждом из мест взяли верх разные фамилии. Этому процессу могло способствовать то, что каждая деревня была основана группой, которая, опять же случайно, имела свой собственный набор характерных фамилий. Дело не в том, что в деревне название одной семьи чем-то лучше, чем других. На самом деле, ее распространенность отражает ошибки истории.

С генами изолированных популяций происходит почти то же самое. Соседние деревни Яномамо (и даже альпийские) имеют весьма различные частоты групп крови и другие вариации. В альпийских деревнях частоты групп крови разнятся в степени, предсказанной тем, что записи актов о браке говорят об их размере с момента их основания. Они эволюционировали случайным образом.

В больших современных городах, таких как Берн, картина совершенно иная. Телефонная книга содержит тысячи фамилий, ни одна из которых особо не распространена. Опять же, действует правило случайности и времени. В городах так много людей, что маловероятно, что любая фамилия, или любой ген, вымрет

только потому, что его немногие носители не смогли его передать. Такие места привлекают иммигрантов, так что новые фамилии (и связанные с ними гены) все время прибывают, и население становится все более разнообразным. Простой, но эффективный способ определить, насколько различными могут быть сообщества — сосчитать количество фамилий по отношению к числу людей. Если почти у всех людей разные фамилии, то сообщество открыто для миграции из многих мест, и, по сути, настолько велико, что случайности не имеют значения. Взгляд на нью-йоркский телефонный справочник, по сравнению с, скажем, со справочником Осло, сразу обнаруживает, что их история была разной. В США более высокий процент всех мировых фамилий, чем где-либо еще. Это отражает их хроники иммиграции со всего мира.

Общие фамилии означают общих предков, которые в свою очередь означают общую ДНК. Население, в котором многие люди несут один и тот же ген (или одну и ту же фамилию), поскольку они унаследовали его от общего предка, как говорят, инбредно. В какой-то мере мы все инбредны, так как все мы в некоторой степени связаны родством. Каждый человек имеет двух родителей, четырех бабушек и дедушек, и так далее. Если бы все они были не родственны, число предков удваивалось бы каждое поколение, дав абсурдное число предков в течение нескольких веков. На самом деле, в браки вступали родственники, и родословные линии сливались и смешивались. В результате все мы имеем много общих предков.

Возможно, наиболее инбредной из людей, о которых сохранились записи, была аристократка Клеопатра-Береника III, тетья Клеопатры, возлюбленной Антония. У нее, возможно, были идентичные копии в половине генов, потому что они произошли от одного предка. Поскольку древние египтяне считали фараонов потомками богов, они стремились сохранить божественную кровную линию как можно более чистой, вступая в родственные браки (иногда даже между братом и сестрой). Эта история запутана из-за трудностей чтения иероглифов, показывающих степень родства фараонов.

Уровни инбридинга сильно отличаются от места к месту. Довольно хорошим показателем является частота браков между людьми с одинаковыми фамилиями. Это заметил Джордж Дарвин, сын более известного Чарльза (женившегося на своей кузине). По фамилиям он определил, что доля браков между двоюродными братьями и сестрами (самая близкая законная форма инбридинга) среди английских аристократов, по сути, небольшой и замкнутой группы, составляла около четырех с половиной процентов — вдвое больше, чем среди населения в целом в его время. Характер фамилий показывает, что в среднем население Великобритании в целом более аутбредно, чем большая часть остальной Европы. Даже в отдаленных и сельских районах Восточной Англии только один из пятидесяти лю-

дей, живших в конце восемнадцатого века, жил там в семнадцатом, что доказывает, сколько там было переездов по сравнению со Швейцарией или Италией.

Небольшая деревня предоставляет небольшой выбор, когда дело доходит до выбора супруга. В результате в брак вступают родственники, и население становится инбредным. Иногда в супружеской паре бывает, что каждый получил копию вредного рецессивного гена от их общего предка. В результате их дети подвергаются повышенному риску получить две копии. Джордж Дарвин обнаружил, что гребцы Оксфорда и Кембриджа, здоровая группа, менее вероятно были рождены от брака между кузенами, чем их менее активные коллеги.

Есть ограничения, с насколько близким родственником можно вступать в брак. Брак между братом с сестрой запрещен везде, но даже брак между двоюродными братом и сестрой может быть незаконным (как в большинстве штатов США в девятнадцатом веке и сегодня на Кипре). Этот социальный императив, возможно, возник, по крайней мере, частично, из страха, что дети могут быть менее здоровыми. Поскольку детская смертность все равно была высокой, когда вырабатывалось это табу (настолько высокой, что небольшое ее увеличение из-за генетического заболевания осталось бы незамеченным), возможно, оно не имело биологической основы вообще.

Уровень смертности действительно увеличивается и развитие замедляется у детей близких родственников. Двоюродные брат и сестра разделяют общих дедушку и бабушку. Если он или она несла вредный рецессивный ген (как бывает почти у всех), их дети и внуки, более вероятно, чем в среднем, унаследуют две копии. В некоторых японских деревнях до Второй мировой войны до трети всех браков заключались между двоюродными братьями и сестрами. Массовое обследование населения Хиросимы после атомной бомбардировки показало, что дети кузенов начинали ходить и разговаривать позже других и хуже учились в школе. Частично это было связано с относительной бедностью их родителей, а частично отражало их наследственность. То же самое верно для Индии и Пакистана, где до половины всех браков по-прежнему заключаются между двоюродными братом и сестрой или между дядей и племянницей. Картина здесь усложняется, потому что такие браки, как правило, сохраняют богатство семьи и увеличивают число детей, которых родители могут себе позволить. Тем не менее, они также выживают хуже, чем дети родителей, не связанных родством. Первое поколение пакистанских иммигрантов в Великобританию также было инбредно. Такие родители обеспечивали лишь одно рождение из пятидесяти, но около пяти процентов от общего числа врожденных заболеваний среди британских детей наблюдалось у детей пакистанских родителей.

Важно не преувеличивать опасность инбридинга. Родители, которые являются двоюродными братом и сестрой, имеют более девяноста процентов шансов родить совершенно нормального ребенка, по сравнению с более девяноста пятью

процентами для родителей, не состоящих в родстве. Инбридинг оказывает влияние, но оно затмевается улучшением здоровья детей, которое произошло в последние несколько десятилетий. Карта генетического разнообразия человека, основанная на тысяче мест по всему геному, также дает представление об инбридинге: ребенок от брака между мужчиной и женщиной с общим предком, вероятнее всего, имеет двойные копии длинных участков одинаковой последовательности. В популяциях, о которых из записей известно, что они разделяют общего предка, это часто имеет место, но довольно часто дети, о которых не известно, что они инбредны, также демонстрируют такое же снижение вариаций в деталях своего генома. Эти эффекты давно забытого инбридинга могут, похоже, сохраняться в течение многих поколений.

Отчасти из-за этого эффекта изолированные популяции часто показывают высокую частоту наследственных аномалий, которые редко встречаются в других местах. Большинство цыган Южного Уэльса принадлежат к одной широкой родне, и половина их браков заключается между родственниками (что делает их одним из самых инбредных народов на земле). Один из четырех уэльских цыган несет копию гена фенилкетонурии, которая в четыреста раз чаще в этой группе, чем по Уэльсу в целом. История длительной социальной и сексуальной изоляции сказалась на их генетическом здоровье. Другие группы семей, связанные тесными узами, такие как бедуины Израиля, Иордании и соседних стран, могут показать высокий уровень инбридинга, при этом в некоторых местах более половины всех браков заключаются между двоюродными братьями и сестрами (и этому сопутствует локальное увеличение уровня заболеваний, таких как врожденная глухота). Попытки генетиков способствовать аутбридингу по соображениям здоровья имели ограниченный успех.

Последствия родственных браков могут быть трудно уловимыми. Некоторые женщины страдают от периодических выкидышей. Они часто беременеют, но теряют плод. Эта проблема встречается среди гуттеритов, религиозной группы, которая возникла в Тироле в шестнадцатом веке. В 1770-х годах они переехали в Россию, где их сообщество процветало и увеличилось в десять раз от своего первоначального количества в приблизительно сто человек. Столетие спустя фанатизм возобновился, и гуттериты мигрировали в Америку. Все тридцать тысяч живущих сегодня, многие из которых проживают в Южной Дакоте, ведут свое происхождение от менее чем девяноста основателей, и почти все вступают в брак внутри группы. За эти годы все они стали довольно близкими родственниками, и чем более инбридной может быть женщина-гуттеритка, тем больше интервал между ее детьми. Женщины-гуттеритки, которым трудно родить ребенка, как выяснилось, разделяют высокую долю генов со своими мужьями. Это может свидетельствовать о пагубных последствиях инбридинга для эмбриона.

У низших животных генетическая вариация на поверхности клеток определяет, будет ли разрешено сперматозоиду оплодотворить определенную яйцеклетку. Если две клетки слишком схожи, то оплодотворение терпит неудачу. Возможно, именно поэтому изначально эволюционировала сложная система генетической идентификации на поверхности клетки. Неоднократное отсутствие беременности у генетически схожих мужей и жен может быть пережитком метода прекращения оплодотворения, явившегося результатом ухаживаний слишком близко родственника. Их ликвидирует самопроизвольный выкидыш, возможный в первые несколько недель беременности.

У мышей этот механизм принял более неожиданную форму. Самки по запаху могут определить, насколько близким родственником может быть самец. Учитывая эту возможность, они избегают спаривания со своими братьями. Более того, если мыши, беременной от родственника, подворачивается неродственный самец (или даже запах его мочи), она прерывает беременность и спаривается с новым партнером. Гены, ответственные за запах мыши, связаны с генами, которые контролируют вариации клеточной поверхности.

Среди гуттиеров тоже, супруги менее похожи друг на друга в определенных генах иммунной системы, чем пары, которые являются просто друзьями. Данные гены родственны тем, которые приводят в действие половой отбор у мышей. Возможно, совершенно бессознательно, большинство гуттиеров — и большинство людей — чувствует влечение к тем, у кого набор опознавательных сигналов отличается от их собственного. Более того, они сильно стараются избегать партнеров, чьи гены слишком похожи на гены их матерей: мать гуттиера — это то, чего он избегает как образца для подражания при выборе жены. Насколько этот механизм работает, никто не знает, но здесь может быть как-то замешан запах.

Случайные генетические изменения — почти все равно, что игральные кости Бога. Чтобы их исследовать, необходима статистика. Популяционная генетика полна математики, значительная часть которой непонятна даже популяционным генетикам. Однако, её не избежать. Важность случайного изменения зависит от размера популяции. Не достаточно всего лишь знать число людей, живущих вокруг сегодня. Важен средний размер популяции после того, как она возникла; в конце концов, большой город мог когда-то иметь всего несколько предковых жителей. Более того, необходимо особого рода усреднение. Особое внимание обращают на себя эпизоды уменьшения численности. Как и многие другие идеи в эволюции, идея "среднего гармонического" пришла из экономики. Представьте себе деревню в древние времена, с одним богатым помещиком и множеством голодных крестьян. Может быть, пятьдесят бедных крестьян имели средний доход сто фунтов в год каждый, тогда как помещик кичился миллионом. Средний доход был девятнадцать тысяч фунтов, что является довольно бессмысленной статистикой для тех, кого интересует сельская реальность. Гармонический средний доход,

напротив, был сто два фунта, что является лучшим отражением того, что представляло собой общество на самом деле.

Та же логика применима к населению, которое изменяется численно. Так, средний размер населения, численность последующих поколений которого составляла 1000, 1000, 10, 1000, и 1000 человек, равен 802, но его гармонический средний размер — всего лишь 48. Любое популяционное бутылочное горлышко — в данном случае десять человек — оказывает значительное воздействие, которое может сохраняться в течение многих поколений.

Измерение реального размера населения затрагивает и другие тонкости. Вариации количества детей, произведенных каждым человеком, означают, что их эффективное число может быть меньше, чем могло бы показаться на первый взгляд. Многие племенные народы (и, возможно, наиболее древние общества) показывают большие различия в репродуктивном успехе, больше всего среди мужчин. Несколько Казанов монополизировали женщин, тогда как многие вынужденные холостяки не получают свою справедливую долю. Фрейд в "Тотем и табу" (с восхитительным подзаголовком "Некоторые сходства между психической жизнью дикарей и невротиков") построил свою теорию психоанализа на следующем: в предполагаемые времена первобытной ордой руководил доминирующий отец с сексуальными правами на всех женщин. Его сыновья убили его и съели, унаследовав Эдипов комплекс, который с тех пор стал большой неприятностью.

Многие общества действительно имеют довольно фрейдистское устройство. В одной из деревень Яномамо у четырех из стариков было 41, 42, 46 и 62 внуков соответственно, тогда как у двадцати восьми было только по одному внуку, а у многих не было ни одного. С другой стороны, у каждой из женщин было приблизительно одинаковое количество потомков. Простой подсчет мужчин мог бы сильно переоценить реальную численность населения. С эволюционной точки зрения, многих из них могло бы и не быть.

Всякая популяция имеет свою историю. Непреложное правило случайности гласит, что любой эпизод уменьшения численности — популяционное бутылочное горлышко — будет иметь долговременные последствия. Издревле люди были колонизаторами, сначала, когда они заплывали мир из своего африканского дома, и потом, когда экономическое давление погнало людей завоевывать новые земли. Эмигранты были небольшой группой, крошечной выборкой людей, опередивших остальных. Новая колония может вырасти до миллионов, и все ее жители будут иметь только гены основателей. Поскольку первопроходцев было очень мало, новое население могло, случайно, довольно сильно отличаться от тех, кто остался дома.

Этот так называемый "эффект основателя" важен для всей эволюции. Первым портом захода Дарвина при путешествии на "Бигле" был остров Мадейра. Дарвин прокомментировал то, как моллюски на нем отличались от своих евро-

пейских предков. Это различие стало еще более заметным, когда он обратил внимание на птиц и черепах на Галапагосах. Возможно, думал Дарвин, случайности истории, с возможностью колонизации каждого острова, помогают объяснить, почему архипелаги были природными лабораториями эволюции.

Особенности колонизации имели такое же важное значение в нашем собственном прошлом. По иронии судьбы, лучшим примером эволюционной случайности служит не уход, а возвращение: миграция африканеров обратно на свой исконный континент после отсутствия в течение более чем ста тысяч лет. Они начали свою миграцию из Европы в 1650 году. Первопроходцы принесли с собой давнее наследие. Оно включало в себя не только кальвинизм и фанатизм. Фамилии и гены потомков до сих пор являются завещанием первых переселенцев. Три миллиона африканеров в Южной Африке происходят от небольшой группы поселенцев, некоторые из которых были настолько усердны в своей плодовитости, что сегодня оставили десятки тысяч потомков. Миллион африканеров разделяет всего двадцать фамилий (Бота — одна из них). Это согласуется с тем, что говорит нам история о количестве эмигрантских семей. Даже сегодня, половина фамилий появилась до 1691 года, а другая половина до 1717 года.

Мигранты, довольно неожиданно, также принесли некоторые редкие гены, случайно привезенные людьми из Голландии. Один из супругов в браке Gerrit Jansz и его жены Ariaantje Jacobs (которая была одной из группы девушек, отправленных из детского дома Роттердама в 1660-е годы) должно быть, нес копию гена порфирии. Это заболевание (родственное тому, от которого, возможно, страдал Георг III) обусловлено неспособностью синтезировать красный пигмент крови. Иногда светочувствительные химические вещества откладываются в коже. Здесь они вступают в реакцию с солнечным светом и производят болезненные язвы. При некоторых формах порфирии на открытых участках растут волосы. Иногда эти отходы накапливаются в головном мозге и приводят к психическим расстройствам. Часть выводится с мочой, придавая ей характерный, почти кроваво-красный цвет портвейна. Оборотни — существа, которые выходят ночью, чтобы выть и пить кровь — возможно, начинали с гена порфирии.

Южноафриканская форма мягкая, но стала актуальной, когда в 1950-х начали использоваться барбитураты. Носители этого гена, когда их принимали, страдали от боли и бреда. Порфирия редко встречается в Европе, но ее несут тридцать тысяч африканеров. В Йоханнесбурге больше носителей, чем во всей Голландии. Все они происходят от одного члена небольшой популяции основателей, которая численно возросла, породив сегодняшних африканеров. Поскольку порфирия столь распространена в одной семье, в Южной Африке ее иногда называют "болезнью ван Ружена". Ген и фамилия рассказывают одну и ту же историю.

Эффект основателя можно наблюдать снова и снова среди потомков тех, кто колонизировал мир из Европы. Иногда поселения изолированы милями океана.

На Тристан-да-Кунья, крошечном острове в Южной Атлантике, обосновался гарнизон, посланный охранять Наполеона, бывшего тогда в изгнании на острове Святой Елены. Несколько солдат остались после того, как стража была снята. Они нашли жен по объявлению, и несколько потерпевших крушение моряков и другие присоединялись к их сообществу на протяжении многих лет. Община прошла через второе узкое место, когда несколько мужчин утонули при несчастном случае на рыбалке, и некоторые семьи уехали по совету мрачного пастора. Теперь на остров по-прежнему еженедельно приплывает корабль с материка, но несколько сотен человек могут олицетворять собой изоляцию. Опять же, у них есть общие фамилии, всего семь, а Бентли, Глас и Суэйн, фамилии трех первых основателей, по-прежнему широко распространены. Существует всего пять линий митохондриальных генов, и на острове есть своя собственная генетическая аномалия, наследуемая слепота, принесенная одной из первых жен.

Некоторые общины мигрантов изолированы скорее социальными, а не физическими барьерами. В Соединенных Штатах есть много религиозных групп, основатели которых эмигрировали, чтобы избежать преследований. Они выросли в большие общины, в которые не допускаются посторонние. У пенсильванских амишей есть уникальное наследие. Почти сотня детей родилась с шестью пальцами и задержкой роста, заболеванием, почти неизвестным в других местах. Каждый из пораженных детей происходит от Сэмьюэла Кинга, основателя общины.

Прослеживание перемещения генов по миру также показывает важную роль случайности. Болезнь Хантингтона относительно широко распространена среди африканеров. Большинство ее случаев происходит от одного голландца или его жены, которые эмигрировали в 1650-х годах. Все копии на Маврикии являются наследием внука французского дворянина, Пьера Дани Дассена де Бурбона, а более четырехсот пациентов в Австралии унаследовали ген от британской иммигрантки, миссис Кандик. В Уэльсе очаг этой болезни есть в Sirhowy Valley, вокруг дома каменщика, который поселился там в девятнадцатом веке и который, должно быть, нес ген Хантингтона. Крупнейшая в мире родня (которая использовалась для составления карты генов) проживает в Венесуэле вокруг морского залива, называемого озеро Маракайбо. Были прослежены десять тысяч потомков некой Марии Консепсьон, которая умерла примерно в 1800 году. Четыре тысячи людей либо страдают от этой болезни, либо подвергаются высокому риску ею заболеть.

Такие случаи при колонизации должны были происходить снова и снова, по мере распространения людей по всему миру. Даже без письменной истории, фамилии африканеров позволяют оценить, сколько людей было поначалу, триста и более лет назад. То же самое могут делать гены. Характеры вариаций показывают, сколько людей основало общину, и прошла ли она в далеком прошлом через узкое бутылочное горлышко.

Наследственное разнообразие ясно демонстрирует глобальную картину. Африканцы более разнообразны, чем остальные народы мира. Их антигены клеточной поверхности (сигналы, распознаваемые иммунной системой) показывают примерно в два раза больше вариаций, чем аналогичные гены в Европе, и многие их варианты являются уникальными для Африки. Африканцы более разнообразны по группам крови, белкам, а также последовательностям ДНК. В митохондриальной ДНК средняя разница между двумя африканцами вдвое больше, чем у людей в других местах. В отличие от них, у венесуэльских индейцев, чьи предки жили ближе к концу длинной истории расселения по всему миру из Африки, нет почти никаких вариаций в митохондриальной ДНК.

Снижение разнообразия за пределами Африки, родного континента человечества, может объясняться тем, что терялись гены, когда небольшие группы людей перемещались, разделялись и основывали новые колонии, расселяясь по всему миру. Как и фамилии африканеров, количество вариаций сокращалось каждый раз, когда основывалась новая колония. Высокий уровень разнообразия среди африканцев является доказательством того, что *Homo sapiens* жил на этом континенте дольше, чем где-либо еще. Снижение разнообразия на кончиках эволюционных ветвей в Южной Америке и Полинезии показывает, как эволюция человека зависела от случайностей, когда мигранты проходили через ряд узких бутылочных горлышек.

Сравнение генов африканцев с генами их потомков в других странах мира позволяет предположить число людей, участвовавших в тех далеких колонизациях. Порядок оснований вдоль короткой последовательности ДНК служит в некотором смысле "генетической фамилией", набором наследуемых букв, которые переходят вместе как группа из поколения в поколение. Фамилия, записанная нуклеиновыми кислотами вокруг одного из генов гемоглобина, подробно рассматривалась по всему миру. Результаты были довольно неожиданными.

Все население за пределами Африки, от Великобритании до Таити, разделяет несколько общих последовательностей. В самой Африке картина распределения другая. Так же, как фамилии в телефонной книге Йоханнесбурга, сравнивавшиеся с фамилиями Амстердама, изменение характера распределения от предкового континента к его потомкам может быть следом популяционного бутылочного горлышка во времена миграции — на этот раз из Африки, а не в Африку. Мы можем собрать некоторые статистические данные (и сделать довольно много предположений), рассчитывая размер этой 100-тысячелетней группы эмигрантов. Они показывают, что население всего мира за пределами Африки может происходить от менее чем ста человек. Если это правда, не-африканцы были когда-то исчезающим видом.

В науке есть две культуры: одна (к которой принадлежит большинство ученых) использует математику, а другая ее истолковывает. Такие догадки о древних

популяционных бутылочных горлышках требуют статистической акробатики. Они также зависят от одного ключевого, и, возможно, ошибочного предположения; что эти гены не влияют на шансы выживания или вступления в половые отношения. Молекулярные биологи склонны считать, что небольшие изменения в структуре ДНК не важны. Тогда как существует возможность, что они оказывают влияние на приспособленность. Если, например, африканцы имеют большее разнообразие на поверхности клеток, поскольку оно помогает бороться с болезнью, то утверждать, что его сокращение в другом месте обусловлено древним бутылочным горлышком, просто неправильно.

Любая попытка восстановить далекое прошлое неизбежно будет страдать от неясностей, таких как эти. Генетики пока не сказали, сколько могло быть Адамов и Евы, но показали, что большинство человеческих болезней сформировалось случайно: наблюдение, которое могло бы, по крайней мере, вселить определенное смирение в тех, чьи гены победили законы случайности, сохранившись до наших дней.

## Глава десятая.

### ЭКОНОМИКА ЭДЕМА

У художников ренессанса, рисовавших на религиозные темы, была проблема: когда они изображали Адама и Еву, должны ли у них быть пупки? Если да, то, конечно, это было кощунство, поскольку это означало, что у них должна была быть мать. Если нет, то это выглядело глупо. Хотя некоторые пошли на компромисс, оперативно используя ветки кустов, вопрос это не решило. И где был Эдемский сад? По различным теориям, он находился в Израиле, Африке и даже в Соединенных Штатах. Когда он существовал, казалось очевидным, поскольку можно сложить возрасты потомков первой пары, данные в Библии, и установить время начала истории как 4 октября 4004 г. до н.

Причина ухода из Эдема была также ясна. Его жители с помощью яблока узнали запретные истины и в качестве наказания были выгнаны в мир. Они больше не могли зависеть от Богом данных продуктов, падавших к ним в руки. Вместо этого они должны были зарабатывать на жизнь. Родилась первая экономика.

Изгнание из рая — колонизация Земли — показала, как генетические изменения связаны с экономическим развитием. Экономика часто рассматривается как своего рода информированный эгоизм. Желание увеличить собственное богатство, в понимании Адама Смита, могло быть невидимой рукой, служащей основой всего социального прогресса. Тот же аргумент используется некоторыми эволюционистами. Гены рассматриваются как стремящиеся продвигать свои собственные интересы, даже в ущерб своим носителям. В своей самой наивной форме, такой взгляд на жизнь используется для объяснения (или по крайней мере оправдания) злобы, сексизма, национализма, расизма, а также экономических и политических систем, которые из этого вырастают.

Экономические теории и эволюция имеют очевидные связи. На Дарвина оказали сильное влияние работы Мальтуса, которого тревожили новые трущобы английских городов восемнадцатого века. В своем эссе о принципах народонаселения Мальтус утверждал, что население всегда опережает в росте ресурсы. Эта мысль привела Дарвина к идее естественного отбора.

Карл Маркс, который сам был жителем одного из самых густонаселенных районов Лондона, был столь же впечатлен мрачным положением нового пролетариата. Он послал Дарвину копию "Капитала" (которая была найдена непрочитанной после его смерти). Маркс в письме к Энгельсу через три года после выхода "Происхождения видов" зашел настолько далеко, что сказал: "Удивительно, как Дарвин узнает среди зверей и растений свое английское общество, с его разделением труда, конкуренцией, открытием новых рынков, изобретениями и мальту-

совской борьбой за существование". Энгельс пошел еще дальше. В своем эссе "Роль труда в переходе от обезьяны к человеку" он утверждал, что экономические изменения, использование рук для создания вещей, имели решающее значение для происхождения человека. Если подставить термин "орудия труда" вместо "труда", его точка зрения звучит довольно похоже на мнение современных студентов об окаменелостях.

Генетика показывает, что большая часть эволюции, как говорил Энгельс, связана с социальным прогрессом. Тем не менее, общество движут далеко не его гены, и социальные и экономические изменения создали многие генетические структуры в современном мире. Любое техническое усовершенствование, начиная с каменных орудий, приводило к эволюционному сдвигу и биологическим последствиям, которые сохраняются в течение тысяч лет. Общество — и, прежде всего экономические проблемы, которые заставляют людей перемещаться — управляет генами, а не гены управляют обществом. Безжалостная экспансия занимает центральное место в человеческой эволюции: выражаясь пессимистическими словами Паскаля: "Все человеческие неприятности возникают из-за нежелания оставаться там, где мы родились".

Окаменелости свидетельствуют о том, что люди, как только появились, почти сразу начали мигрировать. Почему наши предки были такими непоседливыми, никто не знает. Возможно, здесь был замешан научно-технический прогресс, поскольку появление современного человека совпало с улучшением каменных топоров и всего прочего (хотя орудия были сделаны, по крайней мере, за два миллиона лет до великого переселения народов).

Возможно, изменения климата были столь же важны. Пустыня Сахара была когда-то травянистой равниной, а озеро Чад — морем, большим, чем нынешний Каспий. И то, и другое высохло около ста тысяч лет назад, так что человека из Африки могла выгнать нехватка продовольствия. Этот процесс в миниатюре происходит на южной окраине Сахары. Когда нет дождей, пустыня надвигается на Сахель, и мигранты перемещаются.

Самые ранние экономики строились на простом фундаменте. Люди привыкли, что природа их обеспечивала, пока это не прекращалось. В мире полно окаменелостей больших и вкусных животных, которые были доведены до вымирания вскоре после прихода людей. В Сибири было убито так много мамонтов, что охотники строили селения из их костей. В Австралии тоже, леса сменились лугами, когда иммигранты огнем проложили себе путь через весь континент. Данные о разорениях сохранились в гренландском ледниковом покрове. Снег, выпавший десятки тысяч лет назад, сохраняет в себе сажу и золу от гигантских лесных пожаров, устроенных нашими предками.

Новая Зеландия не была колонизирована до эпохи Вильгельма Завоевателя. В течение нескольких лет там процветала культура, основанная на добыче десятка

видов моа, гигантских нелетающих птиц. Все еще сохранился ритуал забоя, на месте, где птиц убивали (и где было найдено полмиллиона скелетов). Но не сами птицы. В Европе также не так давно исчезли целые виды животных. Люди добрались до Крита, Кипра и Корсики приблизительно лишь десять тысяч лет назад. До этого там обитало несколько необычных жителей; карликовых гиппопотамов, оленей и слонов, а также гигантские сони, совы и черепахи. Вскоре после прибытия первых туристов все вымерло, и сожженные кости жареных на вертеле гиппопотамов разбросаны среди останков первых киприотов.

Широко распространенным крупным млекопитающим в Европе и на Ближнем Востоке во времена, когда современные люди пришли из Африки, был один из их родственников, неандерталец. Он жил там вполне счастливо в течение двухсот тысяч лет. Многие неандертальцы нашли убежище в густых лесах на юге Франции. У некоторых экономика основывалась на охоте на оленей, с поселениями, сосредоточенными вокруг маршрутов их миграции. В пещере Комб-Греналь в Перигоре содержатся десятки тысяч каменных орудий неандертальцев. Их культура была по-своему сложной; но она не прогрессировала и не показала никаких реальных изменений за сто тысяч лет. Орудия в Великобритании и на Ближнем Востоке выглядят почти одинаково. Те, кто их делал, были мало заинтересованы в разведке и никогда не делали лодок, поэтому прелести островов Средиземного моря (хотя те и кишели бегемотами) оставались неизвестными. Неандертальцы были первыми консерваторами.

Но вскоре после вторжения в Европу наших собственных прямых предков, они исчезли. Почему, мы можем только догадываться. Предположений много, от геноцида до скрещивания. Первое маловероятно. Во Франции в пещере святого Сезера, неандертальцы и современные люди жили рядом друг с другом в течение тысяч лет. Второе, скорее всего, неверно. Если бы были половые отношения между коренным населением и захватчиками, то можно было бы ожидать, что современные европейцы сохраняют гены этой особой ветви человечества, и их гены будут отличаться от генов нынешних китайцев или индейцев, предки которых никогда не встречали неандертальца, не говоря уже о том, чтобы с ними спариваться. Но этого не было.

Возможно, экономическое давление покончило с теми древними конформистами. В течение большей части истории Африка была наиболее прогрессивным континентом. Африканцы делали острые лезвия, в то время как европейцы должны были орудовать тупыми топорами. Был период, когда неандертальцы, казалось, подхватили некоторые из новых технологий, но это продолжалось недолго. Первые современные европейцы были найдены в 1868 году во время строительства железной дороги, в пристанище кроманьонцев у деревни Перигор, Ле-Эзи. Кроманьонцы были очень похожи на современных европейцев. Они (и их непосредственные предшественники, Ориньякские люди) имели сложную экономику

охотников-собирателей и делали различные орудия. Их наскальная живопись достигла своего пика около сорока тысяч лет назад. У современных людей были орудия, сделанные из слоновой и другой кости, тогда как их родственники все еще довольствовались камнем. Они лучше использовали то, что было доступно, поэтому их население росло быстрее. Это вытеснило неандертальцев (и их гены). Последние известные скелеты найдены в Сен-Сезере. Они погибли более тридцати тысяч лет назад.

Хоть и простая, экономика неандертальцев не подпускала к ним наших предков в течение долгого времени. Современные люди достигли Австралии раньше, чем заняли Европу. Возможно, их сдерживала конкуренция с местными жителями.

Большая часть земного шара была заселена с довольно большой скоростью, после того как люди покинули свой родной континент. Первые австралийцы прибыли около шести тысяч лет назад. Самые ранние их останки обнаружены на двух стоянках в Арнемленде, в Северной Австралии, которые содержат каменные орудия и охряные краски в песчаных отложениях. Стоянки находятся близко от берега и, возможно, от места, где люди прибыли с севера. Вскоре у их обитателей были сложные инструменты и рыболовные сети, и экономически они были развиты настолько же хорошо, как и остальной мир.

На протяжении большей части своей истории Австралия была соединена с нынешней Новой Гвинеей сухопутным мостом. Он исчез всего семь тысяч лет назад. Тасмания также была частью Большой Австралии. Этот большой континент, Сахул, всегда был отделен от Азии глубокой впадиной. Первые австралийцы должны были пересечь, по меньшей мере, девяносто километров воды, чтобы достичь своего нового дома.

Переход, возможно, был трудным, но генетика нынешних аборигенов говорит о том, что его совершило много людей. ДНК коренных австралийцев, как и папуасов, довольно разнообразна. Должно быть, было множество основателей и несколько вторжений вглубь континента. Как только они туда добрались, новые обитатели выяснили, что жилье им подходит, и, как правило, оставались там, по крайней мере, на тропическом севере. В результате в нынешней Папуа-Новой Гвинее местное население сильно отличается друг от друга, при этом они имеют разные "кланы" митохондриальных линий, каждый из которых ограничен несколькими уединенными горными долинами. Их обитатели оставались изолированными, пока полвека назад до внутренних областей не добрались первые европейцы. Они были по-своему продвинутыми, и рубили деревья, чтобы позволить расти находящимся под ними более вкусным растениям. Скрытые в своей цитадели в течение десятков тысяч лет, они оставались изолированными от экономической борьбы и волн переселенцев, которые влияют на остальной мир.

На другом конце Сахула повышение уровня моря вскоре позволило выселиться жителям Тасмании. Они оставались в неведении о внешнем мире до прихода европейцев в восемнадцатом веке. О генах тасманийцев ничего неизвестно, по одной простой причине. Они были доведены до вымирания (а иногда подвергались травле) послами экономик современного мира. Был отвратительный эпизод в антропологии, когда тасманийцев — абсурдно — считали неувлимым "недостающим звеном" между человеком и обезьяной, и музеи мира спорили из-за костей последних, кто остался в живых.

Маршруты человека показывают, что даже удаленные острова Тихого океана (например, Манус в группе Адмиралтейских островов, отдаленный от ближайшей суши на триста пятьдесят километров) были заселены двадцать восемь тысяч лет назад, так что к тому времени была возможность совершать значительные морские путешествия. Гены сегодняшних меланезийцев с островов северной и восточной Австралии по-прежнему похожи на гены древних популяций в высокогорьях Папуа. Они являются потомками тех древних мореплавателей.

Полинезийцы, занимающие остальную часть Тихого океана, весьма различны и добрались туда гораздо позднее. Они достигли Гавайев и острова Пасхи лишь через пару веков после рождения Христа. В удаленных частях Тихого океана острова, разделенные тысячами миль, вовсе не отличаются по своим генам, что служит доказательством того, что вода является менее эффективным барьером для кочевий, чем земля.

Почти все народы дальнего Тихого океана несут небольшие изменения в своей митохондриальной ДНК. Девять букв сообщения отсутствуют. Эта делеция распространилась по всей Полинезии, от Фиджи до Новой Зеландии. В некоторых местах она настолько распространена, что позволяет предположить, что большинство нынешнего населения происходит от одной женщины, которая была предком почти всех жителей. Ее разделяет население Тайваня и Японии, что говорит о том, что полинезийцы распространились по всему Тихому океану из Азии, а не из Австралии. Австралийские аборигены и горцы Папуа-Новой Гвинеи не обладают такой генетической особенностью. Они происходят от миграции, которую начали за тысячи лет до этого выскочки из Полинезии.

Ясно одно: жители Тихого океана и жители Южной Америки имеют мало генетических связей. Книга Тура Хейердала о его отважном путешествии на бальсовом плоту через восемь тысяч миль Тихого океана из Перу была распродана тиражом в миллион экземпляров, больше, чем все другие книги по антропологии вместе взятые. К сожалению, его мнение, что для того чтобы реконструировать прошлое, его надо только вновь пережить, неверно. Популяционная генетика потопила "Кон-Тики".

Двадцать тысяч лет назад на большей части Тихого океана было плотное население и процветающая экономика. В Европе тоже, торговля продвигалась

успешно. Кремень для каменных орудий перевозился на многие километры, а балтийский янтарь доходил до Средиземноморья. Был кратковременный подъем искусства, возможно, продолжительностью всего лишь пару веков, когда были расписаны картинами пещеры Ласко и Альтамира.

Пока мировая экономика процветала, Америки пустовали. Наконец, до них добрались из Сибири. Многие обитатели этой ледяной земли, которая тогда была еще холоднее, чем сегодня, жили охотой на мамонтов. Распространяясь, они уничтожали свой источник пищи. Наконец, они пришли к Берингову мосту, который соединял Азию с Аляской. Он появился из моря, как и тысячи квадратных километров прибрежных равнин во всем мире, так как вода была заперта во льду. В конце ледникового периода вода поднялась, и двенадцать тысяч лет назад мост между Старым и Новым Светом был разрушен. Непосредственно перед тем, как он исчез, его пересекли несколько первопроходцев. Если пережитое ими было похоже на то, что мы знаем об инуитах девятнадцатого века, которые совершили дальнейшее плавание через подобные суровые ландшафты, им пришлось туго. Многие, должно быть, голодали. Тем не менее, некоторые достигли широких равнин Северной Америки и вскоре распространились до самой южной точки континента, добравшись до нее в течение нескольких тысяч лет. Это похоже на быструю экспансию, но все-таки это было продвижение менее чем на десять миль в год по пустынным землям. Путешествию способствовало краткое потепление, а это значит, что даже на Аляске в суровом ландшафте появилось несколько деревьев.

Опять же, пострадали съедобные обитатели. Мамонты, ленивцы, тапиры и гигантские верблюды вымерли друг за другом. Все они были большими, вкусными, наивными и непугаными. Воспроизводились они медленно. Как только появились люди, их судьба была предрешена. Волна истреблений увлекла первых американцев на юг, пока в Патагонии они не смогли идти дальше.

Время вторжения в Америку доподлинно неизвестно. Древнейшие следы оккупации Северной Америки присутствуют в каменном убежище в Пенсильвании. Они датируются приблизительно двенадцатью тысячами лет назад. Вскоре представители "культуры кловис", там, где ныне находятся Соединенные Штаты, могли производить острые и эффективные наконечники для стрел. Первый предмет искусства в Америке находится в пещере Педра Фурада — Perforated Rock — в Бразилии, в которой есть 12-тысячелетние изображения птиц, оленей и броненосцев, вместе с контурами людей. Некоторые утверждают, что древесный уголь из близлежащих пещер датируется пятьюдесятью тысячами лет, но лишь немногие антропологи принимают это как доказательство вторжения людей. Большинство считает, что первые американцы прибыли меньше чем двадцать пять тысяч лет назад.

Гены коренных американцев соответствуют идее о небольшой группе, которая заполонила недавно обретенную землю. Американцы в целом менее разно-

образны и более однородны, чем горные народы Папуа-Новой Гвинеи (которые занимают крошечную часть территории). Митохондриальные гены всех коренных американцев можно разделить на четыре основных линии, как намек, что только небольшой группе удалось завершить рискованное прохождение Берингова моста. Те же самые гены можно обнаружить у некоторых 3-тысячелетних чилийских мумий, что наводит на мысль, что было не так много бутылочных горлышек по пути через Америку с севера на юг. Митохондрии южноамериканских индейцев похожи на митохондрии жителей северо-востока Азии, подтверждая идею, что их предки, как и полинезийцы, пришли из этой части мира (хотя есть намек на древнюю связь некоторых северных племен с Европой, что позволяет предположить, что более давний путешественник через сухопутный мост помог основать некоторые американские группы).

Десять тысяч лет назад люди заполнили весь пригодный для проживания мир, за исключением некоторых отдаленных островов. Везде они жили маленькими группами. Каждому англичанину необходимо было десять квадратных миль земли, чтобы прокормить себя. Распространение по всему миру сопровождалось техническими достижениями в топорах, наконечниках для стрел и сетях, когда животные, добывать которых было легче всего — олени, мамонты, гигантские кенгуру или эму — исчезли, и охотники были вынуждены перейти на менее легкую добычу.

Гены некоторых современных народов, которые до сих пор живут охотой и собирательством, служат окном в тот образ жизни. Соседние группы часто весьма заметно отличаются друг от друга, как доказательство того, что их социальная структура привела к генетической изоляции. Было больше возможностей для случайных изменений, когда все группы разделялись и перемещались, пока не заселили весь земной шар. Нет сомнения, что жизнь охотников-собирателей была довольно одинокой. Хотя сама группа, возможно, была сплоченной, было мало контактов с кем-либо еще.

Восемь тысяч лет назад все изменилось. Произошел экономический прорыв, который сформировал общество и гены современного мира. Возникло сельское хозяйство.

До сельского хозяйства люди ели десятки видов пищи. Раскопки в Сирии выявили более ста пятидесяти видов съедобных растений, но после появления сельского хозяйства рацион сократился до нескольких зерновых и бобовых. Даже в девятнадцатом веке аборигены Квинсленда ели двести сорок различных видов растений. Взятые вместе лучшие пять зерновых культур в современном мире составляют в общей сложности всего лишь сто тридцать видов.

Охотникам приходилось полегче, чем первым фермерам. Некоторым бушменам, которые до недавнего времени вели такой образ жизни, нужно работать всего пятнадцать часов в неделю, чтобы прокормить свои семьи, гораздо меньше,

чем тем, кто перешел к экономике сельского хозяйства (и меньше, чем время, которое приходится проводить на работе большинству европейцев, чтобы оплатить еженедельные счета за продукты). На Ближнем Востоке тоже, дикие травы были достаточно обильны, чтобы позволить семье, вооруженной примитивными серпами, собирать достаточное количество семян за несколько недель, чтобы прокормить себя в течение года. Возможно, дополнительные усилия объясняют пренебрежительный тон Библии в отношении новой экономической системы: Адам, когда его изгоняли из охотничье-собирательного Эдема, предупредил: "проклята земля за тебя; со скорбью будешь питаться от нее во все дни жизни твоей... поэтому Господь Бог изгнал его из Эдемского сада — пусть возделывает землю, из которой был взят".

Первые фермеры жили на Ближнем Востоке, большинство близ верховий Тигра и Евфрата, в центре плодородных земель на территории нынешней юго-восточной Турции и северной Сирии. Позже сельское хозяйство появилось в бассейне реки Иордан (что близко от места, где должен был располагаться библейский Эдем). В тогдашних довольно зеленых ландшафтах кругом было огромное множество натуральных пищевых продуктов. Было трудно перейти в другое место, когда настали плохие времена, потому что все вокруг было пустыней. Гораздо меньше чем десять тысяч лет назад погода начала меняться. Климат стал континентальным, как на Среднем Западе Соединенных Штатов сегодня. Зимы были холодные и влажные, а лето было жарким, с большим количеством дождей. Вдруг они сместились в сторону средиземноморского климата, с теплой дождливой зимой и жарким сухим летом. Само озеро Иордан начало высыхать, и его пресные воды разделились на соленое Тивериадское озеро и Мертвое море.

Пыльца показывает, что растения тоже начали меняться. Леса сокращались, и их сменяли травы. Средиземноморский климат очень благоприятен для эволюции новых растений. Вскоре появились новые и плодовые гибриды между видами трав, которые сошлись вместе, когда ландшафт стал засушливее. Местные жители сжигали эти травы, чтобы привлечь оленей и газелей к своим новым побегам. Через несколько лет они начали сажать семена, и возникло сельское хозяйство. Пшеница однозернянка — один из предков нынешних сельскохозяйственных культур — была одомашнена вблизи Тигра, родственница, с которой она гибридизировалась, росла в большом полумесяце от нынешнего Ирака до Израиля. Ячмень, чечевица, горох и вика горькая, все они нашли свой дом в пределах нескольких десятков миль поблизости. Сельское хозяйство само по себе могло быть очень локальным занятием в течение более тысячи лет, пока сельскохозяйственные культуры и их владельцы не начали заселять плодородный полумесяц около семи тысяч лет назад. Зубы тех древних земледельцев стирались, потому что первые зерна мололись на мягких жерновах, и их пища была полна песка.

То же самое происходило примерно в то же время в других местах. После переходного периода, в котором траву сжигали, новые побеги или дикие участки растительности стали поливать, и сельское хозяйство распространялось с большой скоростью. Пшеницу начали выращивать на Ближнем Востоке, рис в Китае, а кукурузу в Южной Америке. Несколько позже произошло окультуривание сорго, просо и ямса в Западной Африке. Результат был всегда один: демографический взрыв. До сельского хозяйства каждому человеку было необходимо примерно около квадратной мили, чтобы себя прокормить. С его появлением на той же территории могла жить сотня людей.

Ископаемые кости показывают, что здоровье фермеров не улучшилось, а стало хуже. Когда количество белков снизилось, появились болезни, вызванные недостатком питания, и были периоды голода, когда рост населения опережал рост ресурсов. Если дети хорошо питаются, они растут высокими. Именно поэтому средний рост в большинстве западных стран в прошлом веке увеличился на три дюйма. С детьми первых фермеров — как и с детьми пролетариата во времена промышленной революции — получилось наоборот. В Юго-Восточной Европе средний рост мужчин снизился на семь дюймов в тысячелетии, когда возникло сельское хозяйство. Кости североамериканцев показывают множество нарушений, в первую очередь в глазницах, когда кукуруза стала главным пищевым продуктом. В кукурузе содержится мало железа, и, что еще хуже, она уменьшает всасывание этого важного минерала из других источников, таких как мясо. Это привело к вспышке анемии, свидетельство которой сохранилось в черепках тех, кто зависел от нового кукурузного хозяйства.

Рост населения означал, что новый образ жизни вскоре распространился. Волны технических изменений расходились от каждого центра их появления. В Европе в археологических раскопках появляются декоративные чаши, а на Дальнем Востоке орудия возделывания риса распространились на тысячи миль от своей китайской родины.

Со времени своего возникновения на Ближнем Востоке около десяти тысяч лет назад, сельское хозяйство достигло Греции примерно пять тысяч лет до н.э, и ему потребовалось более двух тысячелетий, чтобы пересечь Европу. Его рост был не постоянным. Его передние границы были довольно похожи на границы продвижения переселенцев девятнадцатого века на Диком Западе. Колонисты заселяли лучшие уголки первыми и оставляли менее ценные земли исконным жителям. В Северной и Восточной Европе охотникам-собираателям удавалось сдерживать волну фермеров из бассейна Дуная в течение тысячи лет. Их распространение на север еще более замедлилось из-за ухудшения климата, который затруднял выращивание сельскохозяйственных культур. Новая технология достигла Великобритании лишь около пяти тысяч лет назад. В других местах она запоздала еще

больше, а в южную Финляндию новшества экономики пришли лишь во времена христианства.

В основном противодействие фермерскому образу жизни было связано с успехами охотников "лесного неолита". Девять тысяч лет назад на севере Европы обитали зажиточные охотники-собиратели. Они жили в больших лагерях, сооружая ловушки для своей добычи и сохраняя большие запасы пищи. Вокруг Балтийского моря они строили деревни на сваях у ледниково-подпрудных озер. В некоторых местах охотники специализировались на тюленях, а в других — на оленях. Собиратели употребляли в пищу тридцать или более различных растений: травы, желуди, щавель и одуванчик, а в болотистых местах — водяной орех. Была найдена скорлупа миллионов разбитых водяных орехов, вместе с деревянными молотками, применявшимися, чтобы их раскалывать. Монокультурой был лен, используемый для изготовления веревок, а не для еды.

Везде, где возникало сельское хозяйство, страдали местные охотники-собиратели, и рано или поздно они сталкивались с процессом джентификации в виде волны экономически передовых людей. Легко себе представить, как жаловались коренные народы, когда новички с их новомодными методами и высокими технологиями нарушали их сельскую идиллию. Жизнь на юге Англии пять тысяч лет назад имела довольно много общего с тем, что сейчас представляет радио BBC в серии программ "The Archers".

Фермеры, возможно, и сокрушили охотников, но был длительный период сосуществования. Фермеры обменивали зерно на мясо и меха. В некоторых местах переход от старой экономики к новой занял тысячу лет, с медленным снижением количества костей диких кабанов, оленей и диких трав (как показывают отпечатки их семян во фрагментах керамики), и увеличением крупного рогатого скота и зерновых. Ухудшение климата, наконец, поставило крест на охоте. Устрицы и тюлени исчезли из Балтики, и северные охотники, наконец, попали в современный мир.

У историков экономики есть два взгляда на происхождение технологий. Одна из теорий гласит, что движется само знание, а не люди, которые знают: новые методы передаются от группы к группе. Другая утверждает, что культурный подъем происходит благодаря перемещению и завоеванию одного народа другим. Он несет с собой свои искушенные знания и заменяет своих предшественников. Кости, горшки и семена дают представление о природе Европейского сообщества десять тысяч лет назад, но гены говорят больше. Генетическая картина сегодняшних европейцев показывает, что замена охоты на сельское хозяйство была вызвана как миграциями, так и распространением знаний. Фермеры действительно надвигались на охотников, но, как и в "The Archers", социальные барьеры классового разделения не остановили половые контакты.

Воссоздать историю Европы с помощью генов трудно, потому что это один из наиболее скучных уголков мира, с довольно небольшими изменениями от места к месту. Генетические карты, основанные на десятках генов из сотни мест, указывают на общее направление с юго-востока на северо-запад, от Греции к Ирландии. Эта карта довольно похожа на волны продвижения сельского хозяйства, обусловленные распространением сельскохозяйственных орудий. Фермеры двигались примерно на километр в год, создавая новые фермы на переднем крае своей растущей популяции. Они скрещивались с местными охотниками и, будучи гораздо более многочисленными, поглощали их гены. Этот процесс начался на Балканах и завершился через тысячи лет на западной окраине Европы. К тому времени, когда фермеры добрались далеко на север и запад, их гены были очень разбавлены генами коренных европейцев. В результате, британцы содержат больше ДНК охотников, опрокинув их древнюю экономику и поглотив их гены, чем, скажем, греки, которые происходят от менее разбавленной волны иммигрантов. Биологическое наследие охотников и фермеров говорит о том, что нынешние британцы более родственны португальцам, чем сербам. Последние живут примерно на таком же расстоянии, но ближе к ближневосточным истокам сельского хозяйства.

История европейских женщин — описанная в митохондриальных генах — не настолько ясна. Они делятся на пол дюжины основных групп и несколько небольших, большинство из которых в какой-то момент откололись друг от друга в конце каменного века, возможно, когда ледник отступил по всему континенту. Хотя частота каждой варьирует от места к месту, география митохондрий труднее вписывается в историческое повествование, чем география генов, которые проходят через оба пола. Есть намеки на направление восток-запад, вдоль побережья Средиземного моря, которое могло бы отражать движение жен фермеров, но нет никаких признаков этого дальше на север.

Генетическая карта Европы имеет несколько аномалий. Баски не вписываются в общую картину. Они имеют ряд уникальных особенностей, с самой высокой в мире частотой гена резус-отрицательной группы крови. Раскопки показывают, что местные жители противостояли новым технологиям в течение тысяч лет. Они и поныне отличаются от всех остальных европейцев и могут быть ближе к нашим предкам-охотникам, чем кто-либо другой (хотя их митохондрии не отличаются от своих соседей). Саамы тоже отличаются, и происходят от другой группы охотников, чьи общины у них по-прежнему частично сохранились. Сардинцы также весьма отличаются от остальной Европы и имеют сходство с басками. Удаленность их родного острова, возможно, уменьшила количество иммигрантов.

Есть также генетические направления от ближневосточного центра на северо-восток в сторону Сибири, на юго-восток в направлении Индии, и, что более неясно, на юго-запад к Северной Африке. Возможно, это также отражает волны фермеров, отдаляющиеся от демографического взрыва, которые, распространяясь,

впитывали в себя гены местных жителей. Одна североафриканская группа, берберы, в настоящее время разбросанные племенами по Марокко, Алжиру, Тунису, Ливии и Египту, своими митохондриями показывают, что они отличаются от арабо-язычных народов, которые их окружают. Вместо этого, они соответствуют европейской семье женских линий и могут быть остатками другой ветви первой волны фермеров, которые прошли к югу от Средиземного моря.

Новая экономика оставила аналогичные следы в других частях мира. Выращивание риса началось в бассейне Янцзы, около восьми тысяч лет назад. В течение трех тысяч лет рисовые фермеры появились от Вьетнама до Таиланда и Северной Индии. Это были люди, которые сконструировали морские каноэ и распространились на отдаленные острова Тихого океана, где — учитывая невозможность выращивания риса — они посадили плоды хлебного дерева, таро и ямса. Данные о пыльце три тысячелетия назад свидетельствуют, что на большей части Явы было интенсивное земледелие. Поскольку они попадали на пустые земли, гены этих тихоокеанских фермеров и рыбаков все еще очень похожи на гены их азиатских предков. В Африке тоже был демографический взрыв в местах, где впервые было выращено просо. Движение гена серповидно-клеточности можно проследить по всему континенту вслед за первыми фермерами. Эти люди были по-своему настолько же разрушительны, как и их предки-охотники. Великие и пустующие города в северо-африканской пустыне когда-то поддерживали поля, которые теперь разорены. Таким же образом, в Испании, Места, великий кооператив пастухов, превратил большую часть страны в пустыню в течение трех сотен лет.

Те африканские фермеры и их европейские коллеги, несомненно, пережили социальные волнения, когда отказались от охоты, чтобы перейти к более продуктивному, но, возможно, менее приятному образу жизни. Однако в любой романтической картине гармоничного прошлого, когда довольные охотники-собиратели делились своей пищей, присутствует голод в течение несуществующего Золотого Века. Вергилий в "Георгиках" скорбит о временах, когда "ничто не огораживало отдельные поля, ни знаки, ни границы / Не разделяли акры спорных земель". Его тоску по счастливому прошлому могли бы разделять первые фермеры, оплакивавшие славные времена, когда они охотились на пищу, а не выращивали ее. Какой бы ни была правда, возникновение сельского хозяйства положило конец экономической системе, основанной на индивидуальных действиях, длившейся в течение 9/10 всей истории. Из-за сельского хозяйства Эдем был покинут навсегда, и возникла политика.

## Глава одиннадцатая.

### ЦАРСТВО КАИНА

Дети Адама и Евы доставляли беспокойство своим родителям. Их старший, Каин, наиболее известен тем, что убил своего брата Авеля. У него была еще одна особенность. Всего лишь через одно поколение после изгнания из Эдема он стал первым капиталистом. Как сказано в Ветхом Завете, он был самым первым, кто "установил границы на полях". Тем самым он установил барьеры между народами мира. С тех пор границы правят обществом, историей, и генами.

Нет сомнения, что идея Каина приходила в голову также и первым фермерам. Право собственности на землю родилось вместе с сельским хозяйством. Этот процесс можно увидеть и сегодня, когда охотники-собиратели отказываются от старого общественного строя. Кепсигис Кении перешли к оседлой жизни как кукурузные фермеры в первые годы XX века. Вскоре возникло огромное неравенство. Когда урожаи были плохими, бедные голодали, а богатые жирели. Конкуренция среди мужчин за партнерш увеличилась, и началась новая стадия в битве полов. У тех, кто владел продуктивными землями, было гораздо больше детей, чем у тех, у кого их не было. Сельское хозяйство зародилось, когда возникли классы. От Микен до древнего Чили, была разница в росте и здоровье между богатыми, которых предали земле со своими украшениями, и сельской беднотой, похороненной в нищете.

Первые фермеры вскоре стали обсуждать, кто, что и где выращивал. Не потребовалось много времени, чтобы земельная собственность перешла во владение меньшего количества людей, а общество развилось в систему конкурирующих племен, которая сохраняется и сегодня. Любой барьер, будь то горы, границы, или неспособность к пониманию, который удерживает людей от встречи и спаривания, заставит их отклоняться друг от друга. Во всем мире генетические изменения отмечают разделения — границы на полях — между древними обществами.

Тем не менее, политика — новый член в эволюционном уравнении. Генетика предполагает, что то, что мы понимаем как историю, борьба между народами — недавнее событие. От "Ветхого Завета" до "Майн Кампф", историки считали завоевания ключом к народам мира. В бурные годы после Первой мировой войны Лига Наций пытались определить, что именно могла представлять собой "нация". Лучшее, что они могли придумать, было "общество, обладающее средствами ведения войны". За последнее тысячелетие большинство великих наций провели половину своего времени в состоянии войны, но мародерские государства сформировали свое биологическое прошлое только в последние несколько тысяч лет. До этого люди и их гены перемещались благодаря постепенному распростране-

нию или миграциям в незаселенные земли, а не уничтожениям одного социального объекта другим.

Во многих уголках мира древние фермы, а также первые оседлые общества, на засушливых территориях располагались вдоль рек. Такие реки (в особенности Нил), часто разливались, оставляя при отступлении плодородный ил. Современные фермерские племена, использующие землю, оголившуюся после отступивших вод реки Сенегал, получают от своего труда отдачу пятнадцать тысяч процентов: за каждую калорию потраченных усилий они получают обратно сто пятьдесят в виде пищи. Это сопоставимо с отдачей примерно пятьдесят к одному для наиболее эффективных современных полей.

Отдача в пойме огромна, но, как и на фондовом рынке, непредсказуема. Для местных жителей жизнь, как на Уолл-стрит, может быть ухабистой. Разливы Нила отмечались с 641 г. н.э. Записи свидетельствуют о стократной разнице в площади земли, затопляемой из года в год. Некоторые годы великолепные, но другие сухие и бедственные. В нынешнем Сенегале, с его столь же капризной рекой, это привело к жесткой неофициальной иерархии. Некоторые семьи всегда имеют доступ к пойме, даже когда заливаемые площади малы. Остальные могут вырастить урожай, только когда река поднялась высоко и покрыла большие участки земли. В засушливые годы они должны искать пищу в других местах, и в прежние времена это означало возвращение к охоте. Возможно, первые оседлые общины развивались не за счет увеличения эффективности, а умело справляясь с рисками. Дикие массовые драки за лучшие земли в плохой год были бы опасными и дорогостоящими. Общество развивалось как способ преодоления неопределенности.

Десять тысяч лет назад натуфийцы, потомки земледельцев долины реки Иордан, построили деревни с деревянными домами. В течение двух тысячелетий в Месопотамии были построены гораздо более крупные поселения. Цивилизации потребовалось лишь несколько веков, чтобы перейти к таким масштабам, когда такие места были окружены стенами, канавами и сторожевыми башнями. Войны начали играть свою роль, которую они сохранили до сих пор. Фермеры были вынуждены покинуть свои деревни из-за деградации земель и увеличения своей численности. В Месопотамии они перебрались от рек Тигр и Евфрат на жаркие и сухие равнины. Вскоре возникли самые первые города-государства, возможно, благодаря необходимости организовываться, которая появилась с орошением. В первое время человечество было разделено политическими, а не физическими барьерами. Гены сегодня показывают, что с той поры фанатизм был столь же эффективным препятствием, как и география.

Капитализму содействовали технологии. На острове Средний Стог в Украине кости лошадей возрастом шесть тысяч лет имели поломанные зубы, как если бы их взнуздывали, чтобы управлять. Лошадь увеличивала мобильность и помогала людям работать вместе, чтобы красть у других. Ее способности проявились в

успехе нескольких десятков испанцев при завоевании империй инков и ацтеков, и у монголов, захвативших Венгрию. Вскоре после появления всадников цивилизации Восточной Европы построили оборонительные стены вокруг своих городов. В течение нескольких лет их общества потерпели крах.

К 3600 г. до н.э. в Месопотамии были построены большие города. В Уруке жило десять тысяч человек, и в течение тысячелетия их число увеличилось в пять раз. Своим ростом город был отчасти обязан войне. Десятки сел были оставлены их жителями, которые переехали в новые города. Шумерские города-государства, первые организованные политические структуры, были источниками письменности и колесного транспорта. В них были касты священников и аристократов, а также обездоленные массы. Их упадок был ускорен неумелым хозяйствованием. В результате орошения почвы стали солеными, и в последние годы Шумерии производство сельскохозяйственной продукции упало до трети своего пика. Эти первые нации были побеждены одной из первых империй, аккадской, которая вторглась с севера.

Другие города прекратили свое существование из-за плохого планирования. Руины Петры в Иордании сегодня окружены милями засушливой пустыни. Свидетельство ее упадка сохранилось необычным образом. Даманы (мелкие млекопитающие размером с морскую свинку) живут в курганных общинах. Они обладают странной привычкой цементировать свои дома мочой, которая, высыхая, образует неприятный, но эффективный клей. В нем также сохраняются семена, которыми питались их предки. На пике своего развития Петра была окружена кедровыми и сосновыми лесами. Они были сожжены. Их сменили пастбища, которые старательно возделывали. В течение нескольких веков их поглотила пустыня. Без сомнения, жители Петры в свои последние дни покинули город, захватив с собой свои гены.

Никто не изучал картину генов нынешних иракцев или иорданцев (некоторые из которых могут быть прямыми потомками народа Петра). Если ее изучить, можно обнаружить генетические реликты первых городов. Тем не менее, другие забытые общества — и различия между ними — оставили биологические следы, которые сохраняются до настоящего времени.

Вскоре после упадка шумеров появились греческие полисы или города-государства. Их философия — и их название — лежит в основе современной политики. "Илиада" и "Одиссея" — это отчеты о войнах между первыми полисами, включающими Коринф, Спарту и Афины. Греция вступила в классическую эпоху. Это был триумф художественных, экономических и политических отношений. Три тысячи лет назад Греция была самой густонаселенной страной в Европе. Ее изобретательные люди расселились, образовав Великую Грецию, Magna Graeca, империю, которая простиралась от Кавказа до Испании. Сорок городов на юге

Италии были греческими. Они включали Сиракузы, на то время самый большой город в мире, и Сибарис, олицетворение богатства.

Картина групп крови и ферментов показывает, что нынешние южные итальянцы и сицилийцы отличаются от своих соотечественников с севера и имеют много общих генов с населением современной Греции. ДНК из первых европейских государств остаются свидетелями их прошлого. Сардинцы тоже обязаны своей самобытностью древнему государству. Они родственны современным ливанцам, чья страна занимает территорию финикийцев, когда-то наибольших торговцев на Средиземное море.

Греки, в отличие от шумеров или финикийцев, все еще живут, как напоминание о прошлом. Примерно во времена Греческой империи центральную Италию поддерживает другая оживленная экономика, экономика этрусков, теперь воплощение безвестности. Они жили в городах с полумиллионным населением, и, по утверждению их латиноамериканских соседей, там были квалифицированные рабочие-металлисты, женщины и мечтательные личности. Хотя они и были мечтательными, в течение короткого периода времени их империя охватывала сам Рим. Не осталось почти ни одной реликвии. Слово "Тоскана" обозначает их родину, и остались некоторые загадочные скульптуры с характерной улыбкой, как и эксцентричные вещи, бронзовая овечья печень, покрытая надписями, используемая как коробка священником, когда он потрошит жертвенного ягненка. Эти подсказки из прошлого до недавнего времени были единственным, что мы знали об этрусской нации.

Их наследие не было утеряно. Район между реками Арно и Тибр (нынешняя Умбрия) отличается от своих соседей. В нем сохранились некоторые гены этрусков. Их биологическое наследие живет в их потомках, хотя их язык и культура давно исчезли.

Многие миграции подразумевают коммерцию, а не завоевание. Часто торговцы оставляют генетические визитные карточки. Шелковый путь проходил от древнего китайского города Чанган до Средиземного моря. В течение двух тысяч лет он был торговым путем, и на протяжении большей части этого периода — главной артерией культурного обмена. Шелк переправляли с востока на запад; взамен шел хлопок, гранаты и буддизм. В современном Китае есть несколько генетических вариаций гемоглобина, красного пигмента крови, которые встречаются в других частях мира, но кровь нынешнего Шелкового пути показывает маршрут варианта генов гемоглобина. Они пришли из Средиземноморья и распространились с торговцами вдоль этого древнего пути. У них, в западной части Китая, примерно один человек из двухсот носит аномальный гемоглобин, в то время как в отдаленном восточном конце он встречается у одного из тысячи.

Другое расселение предполагает вынужденную миграцию. Сталин переселил тысячи людей из Крыма в Среднюю Азию, и нынешнее переселение мень-

шинств по всей Восточной Европе после краха коммунистических режимов будет иметь генетические последствия (хотя, по крайней мере на Балканах, кажется, что прошлые потрясения уже привели к такому большому смешению, что этнические границы, фактически, повод для конфликта, не отражают генетические изменения).

Неоднократно предпринимались попытки воссоединения народов, разъединенных историей. В 1920 году греки (чьи предки могли проследить себя от Magna Graeca) были обменены на турков, оказавшихся в современной Греции. Носители греческого языка, у многих из которых византийские гены, были переселены далеко на восток, аж на Кавказ. Отчасти стремление к государственности было стремлением к единству между народами, которые разделяют общую культуру. Как удачно высказался доктор Джонсон: "Языки — родословная народов".

Силу языка в формировании национальной принадлежности иллюстрирует Статут Килкенни 1367 года. В то время английский язык покорила только та часть Ирландии вокруг Дублина, которая известна как Пэйл. Все за его пределами считалось варварским. Власти были встревожены засильем коренного населения, которое зашло так далеко, что вступало в браки с поселенцами. Статут декларировал, что "... ныне многие англичане, отказавшись от английского языка, манер, способа верховой езды, законов и обычаев, живут в соответствии с образом, модой и языком ирландских врагов, а также вступают в различные браки и союзы между ними и ирландскими врагами, тем самым упомянутая земля и вассальный народ, английский язык, преданность королю и английские законы оказались в подчинении и пришли в упадок, а ирландские враги были неоправданно возвеличены. Поэтому если какой-либо англичанин или ирландец, проживающий среди англичан, будет использовать ирландскую речь, то он должен быть приговорен к смерти, а его земли отойти его правителю".

В Ирландии дублинское правительство все еще борется за сохранение почти исчезнувшей ирландской речи гэлтах, и, в соответствие с исторической одержимостью севера границами, запрет на использование гэльских названий улиц в Северной Ирландии был снят только в 1992 году. На протяжении шести веков две нации, разделяющие маленький остров, пытались сохранить свою самобытность с помощью языка; попытка, пережившая, как ни странно, смерть одного из этих языков.

Любая структура, будь то язык или генофонд, которая остается изолированной от своих собратьев, начнет от них отдаляться. Биологическая эволюция имеет параллели в возникновении новых языков от общего предка. Есть полная аналогия между языковыми и биологическими изменениями. Языковые барьеры замедляют движение генов, и языковые преграды могут обозначать собой генетический сдвиг. Более того, языковые деревья иногда напоминают генетические, как намек на общую историю.

В мире существует пять тысяч различных языков. Гораздо больше — такие как этрусский — исчезли. Подобно генам, языки эволюционируют, потому что накапливают мутации. Некоторые слова изменяются быстро, тогда как другие более консервативны. Хотя викторианцы утверждали, что за сто лет англичане и американцы перестали друг друга понимать, большинство языков сохраняют достаточно своей самобытности в течение достаточно длительного периода времени, чтобы, как и гены, быть ключом к разгадке прошлого.

Иногда барьеры едва заметны. Англию можно разделить на зоны, определяемые тем, произносят ли люди последнюю букву "r" в таких словах, как "car". Я не произношу — я говорю саН, потому что вырос в Уэльсе и в Мерсисайде, но многие из тех, кто вырос в Корнуолле, Линкольншире или Нортумбрии (и многие американцы) произносят его как саR. Это может показаться тривиальным, но такие крошечные различия могут накапливаться, создавая барьер для обмена информацией, пока не родится новый язык (и часто новые люди).

В Италии есть несколько диалектов, в некоторых из которых определенные слова имеют греческое прошлое. Другие местные языки также отражают историю. Португальский фермер понимает венецианского не больше, чем мы, но он может поговорить с его испанским соседом, который может разговаривать со своим каталонским родственником, который, в свою очередь, связан с Италией через лангедокский диалект на юге Франции. Цепочка слов отражает историю общего происхождения, которая восходит к Римской империи и более ранним временам.

Иногда можно гадать, как звучали предковые языки. Father, padre и pere, очевидно, родственные слова. Они происходят от одного и того же слова, p'ter; что означает, что фраза "God the father" ("Бог-Отец") могла появиться и как dens patris, и как Jupiter, или, на санскрите, как diu piter.

Родословное дерево европейских языков показывает, что почти все они связаны родством. Эта индо-европейская семья также включает индийские языки, такие как бенгальский, и вымершие языки, как санскрит. Ее существование признал сэр Уильям Джонс в 1786 году, поняв, что греческий, латынь и санскрит "возникли от какого-то общего источника, которого, возможно, больше не существует". Финский, венгерский, турецкий и мальтийский принадлежат к другим языковым группам, но половина населения мира сейчас говорит на индоевропейских языках.

Политическую карту современной Европы пересекает множество национальных барьеров, большинство из которых отмечают собой смену языка. Большинство французов говорят на французском языке, а большинство немцев на немецком. Язык является фактором национального единства и барьером для передвижения людей. Это снижает вероятность браков и распространения генов, и так было издавна. В Ветхом Завете описывается судьба заключенного ефремлянина, захваченного галаадитянами: "жители Галаадские говорили ему: не Ефремлянин

ли ты? Он говорил: нет. Они говорили ему "скажи: шибболет", а он говорил: "сибболет", и не мог иначе выговорить. Тогда они, взяв его, заколали".

Некоторые границы между языками представляют собой области биологических изменений. Есть генетические различия между говорящими на валлийском и английском языке в части Пембрукшира. Это "Маленькая Англия за пределами Уэльса" возникла, когда в 1108 году король Генрих I переселил группу ремесленников в Уэльс с берегов реки Твид, чтобы развивать ткацкую промышленность. Их англоговорящий дом заканчивался резкой границей, Лэндскером. Даже сто лет назад лишь один брак из пятисот заключался через этот рубеж. Через восемьсот лет после их приезда, группы крови потомков иммигрантов все еще отличаются от групп крови их соседей, говорящих на валлийском языке.

Точно так же, население Оркнейских островов, чей родной язык — скандинавский, отличается от остальных шотландцев. Даже диалекты могут отмечать биологические барьеры. Во Франции есть небольшой генетический порог между теми, кто говорит на окситанском (южном французском) и говорящими на северном языке ойль. Гены и язык рассказывают одну и ту же историю.

Их соответствие не всегда абсолютно. На Балканах была, и продолжается, бурная история миграций и завоеваний, делающая неясными любые отношения между языковыми и генетическими элементами. Венгры тоже говорят на особом языке, но остаются биологически близкими со своими соседями. Мадыарские завоеватели с Востока навязали язык своим подданным, но их было слишком мало, чтобы оказать большое влияние на гены. В некоторых местах существуют генетические пороги даже в пределах групп, говорящих на одном языке. Восток Исландии несколько отличается своими генами от запада, хотя оба говорят на исландском языке. Это может быть отголоском истории заселения западной Исландии скандинавскими иммигрантами, которые привезли жен и слуг из Ирландии.

Язык басков, как и их гены, по-видимому, не связан родством с любыми другими. Латинский писатель Мела писал о своих трудностях с баскскими именами людей и названиями рек, которые были непонятны на любом известном ему языке. Сам Фрэнсис Гальтон, который часто ездил отдыхать в страну басков, вспоминал "легенду, что сам сатана приходил сюда с визитом. Через шесть лет, поняв, что он не мог ни выучить язык, ни заставить басков его понимать, он покинул страну в отчаянии." Проблему сатаны иллюстрирует типично непостижимая баскская пословица: "Oinak zewrbitz-atzen du eskua, eta eskuak oina" ("нога служит руке, а рука служит ноге"). Баскский язык может быть последним в Европе остатком речи досельскохозяйственной эпохи. Его единственным очевидным родственником пользуются некоторые изолированные народы, бывшие когда-то советской Грузией. Многие грузины считают, что их родной язык был принесен в страну басков Фувалом, внуком Ноя, и была когда-то инициатива, чтобы найти баска для наследования престола Грузии.

Защищенные своими горами, баски сопротивлялись захватчикам, так что их древний язык, язык охотников-собирателей, живет среди полмиллиона его носителей. Скелет самого кроманьонца был найден в части Франции, которая, как предполагает ее географическое название, принадлежала когда-то стране басков. Могут быть даже языковые и, возможно, генетические связи между кроманьонцами, одними из первых европейцев, и басками. Этот последний остаток утерянной европейской экономики находится под угрозой. Сегодня баскские гены распространились гораздо дальше, чем язык: на восток до Сарагосы, теперь испанского города, и на север во Францию. Их экономика была давно разрушена. Теперь их речь и их культура могут, наконец, быть вытеснены современным обществом. Как и этруски — которые также говорили на не индоевропейском языке — они оставят только свои гены.

ДНК может сказать о родословной гораздо больше, чем язык. Предки нынешних британцев пришли из Европы, Африки, Индии и даже Китая, но они говорят по-английски. Книги и картины со временем размоют связи между генами и языком, но мы все еще живем в той фазе истории, где от лингвистического прошлого осталось достаточно, чтобы порассуждать о происхождении языка и, возможно, современного человека.

Откуда взялись индоевропейские языки? Первым узнаваемым представителем этой группы был хеттский, на котором писали клинописью и говорили в Турции четыре тысячи лет назад. Современные индоевропейские языки могут звучать совсем по-другому. "Our father, who art in heaven" будет "Ein Tad, yr hwn wyt yn y nefoedd" на валлийском, "Patera mas, pou eisai stous ouranou" на греческом, "Отче наш, сущий на небесах" на русском и "He hamarc svarghast pita" на хинди.

Тем не менее, некоторые слова, обозначающие широко используемые объекты, остались общими. Они могут быть использованы, чтобы приблизительно определить, где языки возникли. В индоевропейских языках есть несколько терминов для домашних животных и сельскохозяйственных культур. Древнее слово "овца", *owis*, произошло от латинского *ovis*, санскритского *avis* и английского *ewe*. Корова (*cow*) была *kou*, а вода (*water*) — *yotor*. Также есть похожие слова для кукурузы, ярма, лошади, и колеса.

Возможно, индоевропейцы были фермерами, которые, расселяясь, принесли свой язык с собой. Где именно была их родина, не ясно. Их язык возник задолго до того, как были сделаны первые сохранившиеся записи. Они могут представлять собой волну вторжения курганских народов из понтийских степей, к северу и востоку от Черного моря. Это была земля всадников Среднего Стога. Их путешествие началось примерно в 4500 г. до н.э., вскоре после возникновения сельского хозяйства. Некоторые считают, что индоевропейцы вторглись гораздо раньше и принесли с собой сельское хозяйство, когда мигрировали из Малой Азии за три тысячи лет до курганцев. Некоторые индоевропейские народы — и языки — по-

строившие Европу, возможно, начали расходиться прежде, чем они переселились из своих родных краев на востоке. Может быть, трудно проследить, какие из нынешних наций и языков (если вообще такие есть) являются предками современных европейцев.

Язык, археология и гены, все свидетельствуют о вторжении в Европу с Востока. Сельское хозяйство, гены и речь тесно связаны. В некоторых местах фермеры переселялись на пустую — или малонаселенную — землю, а не в успешные охотничьи хозяйства (как это было в Европе). Производители риса с Дальнего Востока вокруг бассейна Янцзы взяли с собой свой язык, а также ДНК, когда заселяли Тихий океан. В свое время эти австронезийские языки были наиболее распространенными из всех на территории, простиравшейся от Мадагаскара до Гавайев и острова Пасхи. В Африке фермеры двинулись на юг, заселяя западную и южную ее части носителями языка банту.

Нынешние технические достижения, от книг до Интернета, предоставили людям новый способ общения. Они привели к размыванию национальных государств, которые так долго определяли историю. Теперь мы можем дозвониться до любого человека в мире, если только он сможет добраться до телефона. Новая работа над глобальной моделью языка предполагает, что самый первый социальный прорыв также предусматривал новую форму коммуникационных технологий.

Картина генетических изменений, накапливавшихся в результате мутаций, может быть использована для составления всемирного родословного дерева. Африканцы составляют отдельную и древнюю ветвь рода. Группа американских индейцев вместе с их азиатским предками и Австралия с Новой Гвинеей являются отдельным ответвлением. Семейное дерево языков можно составить таким же образом. Английский, немецкий и бенгальский языки вместе входят в состав индоевропейской семьи, а китайский и японский — в другую группу. Языковое дерево, основанное на нескольких словах — один, два и три; голова, ухо и глаз; нос, рот и зубы, и так далее — очень напоминает дерево, созданное на основе более полного словаря. Такой ограниченный список слов с определенным успехом используется для классификации менее известных языков (например, в Африке или в Новом Свете).

Одно спорное утверждение гласит, что все языки мира можно разделить всего лишь на семнадцать различных семейств, при этом примерно тысяча языков коренных американцев составляет только три из них: эскимосско-алеутское семейство в районах Крайнего Севера, на-дене в южной части Аляски и Канады, и все остальные на юг до Патагонии как единая группа, американские индейцы. Широкое распространение этого семейства контрастирует с картиной в Папуа-Новой Гвинее, где на гораздо меньшем пространстве помещается восемьсот языков, многие из которых почти не связаны друг с другом. Генетика и речь Америки и Папуа-Новой Гвинее демонстрируют аналогичную картину: американцы до-

вольно однородны в своей ДНК и языках, в то время как папуасы варьируют от долины к долине. Самая высокая концентрация языкового разнообразия существует на Кавказе, между Черным и Каспийским морями. В районе в два раза большем Великобритании говорят на сорока языках, на некоторых всего лишь в одной деревне. К сожалению, мы мало знаем о генетике этого беспокойного уголка мира.

Дерево родства всех языков мира позволяет строить догадки — грубые — по некоторым из исходных слов, лежащих в их основе. Русские лингвисты попытались изобрести ностратический, двенадцатитысячелетний язык, который должен считаться родоначальником индоевропейских языков и его родственников. К ним относятся элемо-дравидийские языки части Индии, алтайские языки, включающие тюркский и монгольский, и афро-азиатская группа, на которой говорят в северной части Африки. Они реконструировали более тысячи слов "корень". Одно из них -"tik", обозначающее цифру, палец руки или ноги, другое kuṣna, обозначающее собаку. Нет общих слов, относящихся к сельскому хозяйству, так что этот праязык действительно может происходить с досельскохозяйственных времен.

Мировое языковое дерево выглядит несколько похоже на генетическое дерево. Оба сходятся к одному и тому же корню в Африке, и оба демонстрируют раскол между австралийскими и другими азиатскими народами. Это не должно говорить слишком о многом, так как слова могут распространяться через обучение, чего не могут гены. В результате, родословная слов больше похожа на сеть, чем на ветвящуюся реку ("to eat an avocado while paddling a kayak", есть авокадо, плывя на каяке, объединяет три далеких семейства в одном предложении). Кроме того, деревья генов не обязательно всегда отражают деревья популяций, из которых они приходят (особенно если определенные гены распространяются на целые группы, потому что — как гены сопротивляемости малярии — они выгодны). Тем не менее, общее сходство между двумя средствами общения предполагает, что, возможно, сам язык берет начало вместе с возникновением человечества.

Речь знаменует огромный скачок в скорости передачи информации. Выписать это предложение, буква за буквой, займет в десять раз больше времени на передачу информации, чем его произнести. Бедственное положение глухонемых показывает, как много в жизни зависит от способности говорить. Дислексия — проблема с распознаванием написанных слов, часто встречающаяся среди людей, обладающих в остальном высоким интеллектом — была частично обнаружена в специфических генах на двух человеческих хромосомах; и они могут быть кандидатами на избранную группу генов, которая может отличать нас от наших родственников-приматов. Трудно представить себе общество, которое могло бы обойтись без языка. Первые современные люди претерпели изменения в форме черепа и в положении гортани, что, возможно, ознаменовало собой способность

отчетливо произносить звуки. Такие физические изменения предполагают, что речь, возможно, вообще сделала человека человеком.

Шелли полагал именно так: в "Освобожденном Прометее" у него есть герой, "давший людям речь, а речь создала мысль". Не все с этим согласны. Некоторые считают, что даже у неандертальцев был сложный язык, который исчез, когда вымерли они сами. Есть намеки на древний лингвистический рассвет. Обезьяны в группах посвящают большую часть своего времени грумингу, чтобы показать своим товарищам, что они принадлежат к этой группе. Если первые люди успокаивали своих товарищей, как это делают обезьяны, им, возможно, из-за размеров каждой группы, пришлось бы тратить на груминг половину своего времени. Речь, даже примитивная — это лучший способ успокоить своего товарища, чем прикосновение. Первыми фразами, возможно, были слова утешения.

Никто и никогда не сможет говорить на неандертальском, если он существовал. Немецкий философ шестнадцатого века Беканус был убежден, что языком Эдема был старонемецкий, и что Ветхий Завет был переведен с него на иврит (император Карл V, напротив, говорил по-французски с мужчинами, по-итальянски с женщинами, по-испански с Богом и по-немецки с лошадьми). Скоро может представиться шанс узнать правду. Окаменелости и гены уже дали нам ключи к тому, где и когда Адам встретил Еву; в скором времени, мы, можем быть, сможем догадаться, что они сказали своим заблудшим детям.

## Глава двенадцатая.

### СТРАТЕГ ДАРВИНА

Американские орнитологи знают, что у воробья — птицы, прыгающей повсюду в английских парках — более крупное тело и более короткие ноги на севере, чем на юге Соединенных Штатов. То же самое верно для воробьев в северной и южной Европе. Креационисты видят в этом божественный механизм, обеспечивающий, чтобы каждый вид вписывался в структуру природы; холодные места, где бы они не находились, заслуживают небольших изменений в Божьем плане.

Если у бога действительно есть план, он, похоже, точно так же работает в отношении людей. У людей из районов Крайнего Севера более короткие руки и ноги и более компактные тела, чем у людей из тропиков. Олимпийские рекорды падают, когда в беге на длинные дистанции принимает участие Восточная Африка с ее длинными ногами. До Дарвина способность африканцев справляться с теплом, а эскимосов с холодом, была превосходным доказательством божьей деятельности. Создатель позаботился о том, чтобы каждый народ соответствовал своей родине, как доказательство того, каким замечательным дизайнером он был. В девятнадцатом веке церковнослужитель Уильям Пейли утверждал, что если кто-то нашел часы, красиво спроектированные, то нужно признать существование часовщика. Совершенство человеческой природы точно так же доказывает, что Бог существует. Эта идея казалась настолько мощной, что была доведена до абсурда. Вольтер в "Кандиде" пародировал ее, изобразив доктора Панглосса с его восхищением совершенством, в котором нос был предназначен для того, чтобы носить очки. Фрейд, страстный дарвинист, отметил, что с тем же успехом можно утверждать, что факт, что кошки имеют два отверстия в коже, где расположены их глаза, можно объяснить таким же образом.

Аргумент замысла, как его называют, имеет проблемы, по крайней мере в отношении воробьев. Действительно, английские воробьи не были в Америке со времен творения. Они появились там немногим более ста лет назад. Некоторые из них были привезены из Англии и выпущены в Бруклине в 1850-х годах. Примерно на протяжении века, ста поколений воробьев, они распространились, заселив континент. Как получилось, что они так необычайно похожи на птиц их родного края?

Ответ заключается в естественном отборе: в наследуемых различиях в выживаемости и воспроизводстве. Исследования помеченных воробьев в Канзасе показывают, что крупные особи с короткими лапами лучше выживают в ледяную погоду. Следовательно, они имеют больше шансов размножиться и передавать свои гены с приходом весны. Те, что были выпущены сто лет назад, принесли со

своей родной земли гены, отвечающие за большие и малые размеры и коренастые или стройные лапы. На севере большие, приземистые птицы добились лучших результатов, но для тех, которые распространились на жарком юге, было верно обратное. Через несколько поколений американские воробьи развили точно такие же географические особенности, как воробьи на другой стороне Атлантики. Естественный отбор сделал свое дело.

Естественный отбор был Большой Идеей Дарвина. Он дал ему механизм, движущий эволюцию, без необходимости дизайнера, контролирующего каждый шаг. "Происхождение видов" начинается с жизни на ферме. Там показано, как домашние животные появились от диких предков благодаря преимуществам, часто случайным, одного типа над другим. Селекция, отбор лучших для производства следующего поколения, вскоре привела к появлению новых форм.

Если фермеры смогли сделать так много за короткое время, то природа смогла бы добиться большего. "Какие пределы могут ограничивать эту силу, действующую на протяжении веков и сурово вглядывающуюся в строение, структуру и привычки каждого существа, благоприятствуя хорошим и отвергая плохих? Я не вижу никаких ограничений этой силе, медленной и красивой адаптации каждой формы к сложным жизненным связям".

Двигателем — если не инженером — эволюционных изменений является сохранение типов, пользующихся преимуществом, в ходе борьбы за жизнь. Изменения неизбежны в любой системе, будь то гены или язык, совершающей ошибки при передаче от одного поколения к другому. Это может быть эволюцией, но это — случайные изменения. Они не могут вызвать переход от простого к сложному, создавший человека из его скромных предшественников. Естественный отбор использует тот факт, что в каждом поколении наследование делает ошибки. Благодаря некоторым улучшениям способности справляться с тем, что природа им подбрасывает, носители этих ошибок копируют себя более успешно. Дарвиновский механизм отсортировывает лучшее из того, что предоставляет случайность. Это определяет направление эволюции и позволяет жизни избегать неминуемого вымирания. Это верно как для людей, так и для любых других существ.

Отбор — простая идея. Это понятие используется компьютерными специалистами. Они программируют в своих игрушках не точные детали того, что необходимо, а предполагают, что могло бы работать, и позволяют этому делать грубые копии себя. Выбирая наиболее удачные, они добиваются быстрого прогресса и могут через несколько поколений создать компьютерных птиц, держащихся стаями, как скворцы, математических муравьев, которые могут придерживаться тропы, и запрограммированные цветы, настолько же красивые и неожиданные, как любой продукт природы. Литература тоже не застрахована от искусственного естественного отбора. Всего несколько незатейливых тем лежат в основе простых произведений, таких как средневековые народные сказки или рассказы для детей.

Если загрузить их в компьютер с небольшими изменениями в каждом мотиве и выбрать лучшие, то появятся совершенно новые и связные версии.

Люди не защищены от дарвиновского механизма. На протяжении большей части истории большинство из людей умирали, прежде чем становились достаточно взрослыми, чтобы передать свои гены. Даже среди выживших, у некоторых было больше детей, а у некоторых меньше. Если эти различия хоть сколько-нибудь зависят от наследственности, то механизм Дарвина действует, и следующее поколение будет отличаться от своих родителей. Со временем отбор приведет к изменениям.

Сила механизма эволюции опирается на его способность выбирать лучшее из доступного, даже если оно не намного лучше, чем то, что было раньше. Льюис Кэрролл понимал, как это работает. Представьте себе, что у нас есть трехбуквенное слово — например, "pig" (свинья) — и мы хотим изменить его на другое — "sty" (свинарник). Мы можем изменить любую букву на любую другую. Если мы делаем случайные изменения и просто надеемся на лучшее, всякий раз получая какой-нибудь бессмысленный набор букв, он принимает тысячи модификаций, пока из pig не получится sty. Естественный отбор налагает правило: все промежуточные слова должны иметь смысл. Он подхватывает комбинации, которые хорошо выглядят, и основывается на них. Он может добиться успеха всего за шесть шагов — pig, wig, wag, way, say, sty.

Теория эволюции вызвала сенсацию в 1859 году, в год публикации "Происхождения", потому что она, казалось, устраняет необходимость в прямой связи между Богом и человеком. Жена епископа Вустера сказала о ней: "Будем надеяться, что это не так, — но, если это так, давайте молиться, чтобы об этом никто не узнал!" Когда истеблишмент оправился от шока, религиозные мыслители пришли к убеждению, что эволюция была средством реализации Божьего плана. Даже если люди были не совершенны, они были способны к совершенствованию, и отбор был способом, которым бог решил это сделать. Тем не менее, его действия вовсе не направлены на совершенствование несовершенного, а часто кажутся неумелыми или даже жестокими. Последователи Панглосса могут найти здесь слабое утешение.

Отбор можно делать замечательные вещи. Но многое ему не под силу. Естественный отбор не может планировать заранее, он действует без предвидения, не думая о завтрашнем дне. Он делает только то, что необходимо, и не больше, и делает это небрежно и недальновидно. Используя незабываемую фразу Ричарда Докинза, это слепой часовщик, добившийся необычайных результатов простыми и неэффективными средствами.

Легко утверждать, что все в биологии служит доказательством его работы. Точно так же, как Пэйли интерпретировал сложность растений и животных как

аргумент в пользу Бога, нео-пэйлизм докучает эволюционной теории. Он утверждает, что все живые структуры хорошо адаптированы и, следовательно, должны всегда отражать действие отбора. Этот круговая аргументация, но ее трудно опровергнуть. Он вызвал много разногласий среди биологов — очаровательных для его сторонников и утомительных для противников. Некоторые считают, что дарвиновский механизм управляет всей эволюцией, от формы носа до порядка оснований в ДНК. Другие считают отбор случайным событием, которое направляет некоторые гены, в то время как большинство из них изменяется случайным образом. Вопрос не решен, и некоторые биологи любят проводить свое время, сочиняя истории о том, как отбор сформировал самые невероятные образы. Иногда они даже оказываются правы. Антропологи обладают еще более ярким воображением, и у них есть некоторые невероятные догадки о том, как отбор мог сформировать человеческие признаки. Многие из них являются фантазиями, но поскольку они ссылаются на события, которые происходили давным давно, их практически невозможно опровергнуть.

Дифференцированное выживание и размножение действует во многих местах, и никто этого не осознает. Одна яйцеклетка из тысячи и один сперматозоид из миллиона производят потомство. Погибают ли остальные случайно или терпят неудачу по генетическим причинам? Никто не знает. Но если выживают только лучшие, дарвиновский механизм — более всепроникающая сила, чем кто-либо мог бы представить.

Какой бы ни была его важность, отбор — это просто механизм, а не сила добра. Онкологическим больным иногда дают лекарства, которые атакуют клетки, когда те делятся. Лечение часто не срабатывает, потому что действует отбор. Несколько клеток подвергаются мутации, изменяющей свойства определенного гена, что позволяет побороть лекарство. Вскоре это перенимается другими, иногда настолько эффективно, что больной умирает. Здесь не так много доказательств существования милосердного проектировщика.

Люди, как и все остальное, демонстрируют свои сильные и слабые стороны. *Homo sapiens* изменился, заселяя мир в течение последних 150 000 лет. Эти шесть тысяч человеческих поколений равны количеству поколений, отделяющих нынешних мышей от тех, что наводнили новый Акрополь, и связывающих современных фруктовых мушек с насекомыми, которые роились над яблоками Вильгельма Завоевателя. Насколько всем известно, нынешние мыши и фруктовые мушки почти не изменились за это время, что подчеркивает, насколько коротким был период, когда мы должны были эволюционировать.

Естественный отбор действовал в течение трех исторических эпох. За длительным периодом бедствий последовала короткая эпоха болезней и — совсем недавно — эпоха дряхлости. В прошлом почти все, кто родился, умирали от стихийных бедствий, холода, голода или насилия. Многие личные трагедии играли

роль факторов прогресса. Эта глава о том, как эволюционировало человечество, чтобы справляться с изменениями климата и питания, когда мы переселялись из нашего африканского дома. Вторая эпоха, эпоха болезней (которая началась всего несколько тысяч лет назад), хотя и завершилась на Западе, до сих пор правит в других местах. Нас сейчас окружает эпоха дряхлости (при которой большинство людей умирают от старости). Поскольку большинство из тех, кто умер в наши дни, передали свои гены, трудно понять, чего может достичь отбор в нынешней, третьей эпохе человеческой эволюции.

Наши предки, наши родственники и мы сами являемся тропическими животными. Что бы не говорил Ноэл Кауард, люди — одни из немногих крупных млекопитающих, которые могут справиться с африканским полуденным солнцем. Учитывая этот отбор, большинство людей предпочитают теплые места (возможно, всего лишь побережье Коста-дель-Соль в течение нескольких недель в году), и многие адаптации эволюционировали, чтобы бороться с теплом, а не холодом. Люди — наименее волосатые из всех приматов, и больше всех потеющие. В солнечный день температура на земле, или в нескольких сантиметрах над ней, может быть на целых двадцать градусов выше, чем в паре футов от земли, потому что поверхность поглощает и отражает солнечное тепло. Наше вертикальное положение, возможно, эволюционировало в ответ на это. Один из лучших способов уменьшить тепловой стресс — это встать, выбраться из слоя горячего воздуха. Возможно, когда наши далекие предки перебрались из лесов в саванну, они вставали, чтобы остыть, открывая, буквально и фигурально, новые горизонты для своих потомков.

Сегодня люди живут в любой среде, от тропических лесов до тундры и от уровня моря до пяти тысяч метров над ним. Культура — огонь, одежда и дома — помогли нам заселить мир, но была также и генетическая реакция на климат.

Человечество покинуло Африку более ста тысяч лет назад и достигло Новой Зеландии, самой дальней точки своего распространения, за тысячу лет до настоящего времени. На протяжении большей части времени погода была еще хуже, чем сегодня. О том, каким был древний климат, можно судить по изменениям в химическом составе воды. В Арктике вода выпадает в виде снега и сохраняется в виде льда. Были пробурены скважины через три тысячи метров льда Гренландии до скалы внизу, где двести тысяч лет назад выпал первый снег.

Летопись ледникового покрова показывает множество ледниковых периодов в течение эволюции *Homo sapiens*. Последний из них достиг своего пика около восемнадцати тысяч лет назад. Он оказал большое влияние на млекопитающих во всем мире, включая нас. Гигантские ленивцы и дикие лошади ушли из Америки, мамонты из Азии, а гигантские лемуры из Мадагаскара. Большие площади в северной Европе были покинуты. Поскольку климат стал сухим, из-за того, что вода была заперта во льду, некоторые части Африки стали пустыней и были утра-

чены для обитания. Уровень моря понизился. Берингов пролив и пролив Басса осушились. Широкие прибрежные низменности поднялись во многих местах. Воздух наполнился пылью с ледяных пустынь. Даже если нашим предкам было холодно большую часть времени, они любовались красивыми закатами.

На Русской равнине в ста пятидесяти милях от ледника процветали поселения. Французы, рисовавшие в пещере Ласко, не могли отдохнуть, греясь на солнце в уличном кафе. Арктические льды были за триста миль от них, и им нужно было пребывать в тепле, чтобы остаться в живых. Возможно, эта необходимость оставаться в укрытии способствовала художественному творчеству. Все вспышки художественных и технологических направлений произошли на северных границах области распространения человечества. Люди пережили суровый, новый климат, и на пике последнего оледенения стали наиболее широко распространенными млекопитающими в мире — статус, который они сохраняют до сих пор.

Не все было мрачно во времена глобального расселения. В короткие периоды протяженностью до нескольких тысяч лет температура поднималась на целых семь градусов в течение нескольких десятилетий; изменения эквивалентные тому, что климат Шотландии стал бы похож на климат южной Испании за время человеческой жизни. Возможно, эти странные внезапные потепления побуждали колонистов проделывать свой путь.

Как и у воробьев, дифференцированное выживание и воспроизводство благоприятствовало тем, кто был лучше адаптирован к климату. Неандертальцы, наши вымершие родственники, которые жили в холодной Европе задолго до прибытия современных выскочек, были невысокими, коренастыми и крепкими. Довольно похожие на современных эскимосов, они были адаптированы к холоду (фактически до такой степени, что средний неандерталец был едва ли не более коренастым, чем самый коренастый из десяти современных эскимосов). Большинство людей пересели бы, если кроманьонец, первый европеец, сел бы рядом с ними в метро, но они пересели бы в другой поезд, если бы то же самое сделал неандерталец.

Современные люди демонстрируют географические особенности в телосложении, которые отражают действие климатического отбора. Эскимосы примерно на треть тяжелее для своего роста, чем среднестатистический человек в мире, а люди из некоторых районов Восточной Африки гораздо стройнее, чем другие, имеют примерно три четверти веса, ожидаемого при их росте. Большая часть различий связана с изменениями в пропорциях тела. Большинство людей из тропиков высокие, худые, с длинными руками и ногами. Люди с севера, как правило, имеют более коренастое строение. По неизвестным причинам, эти тенденции сильнее у мужчин, чем у женщин. То же самое верно и для изменения формы у воробьев, возможно потому, что крупные самцы более агрессивны в борьбе за питание в зимний период. Хотя о наследовании таких признаков известно мало (и

здесь, без сомнения, оказывает влияние окружающая среда), различия по всему миру, по крайней мере, частично, являются генетическими.

Короче говоря, толстые люди на севере лучше сохраняют тепло в глубине тела. Люди с более изящной фигурой в более жарком климате остывают лучше, благодаря своим длинным рукам и ногам. Большая часть избыточного тепла тела теряется через кожу, и площадь поверхности на единицу объема больше у худых и длинных людей.

Некоторые популяции даже могут регулировать количество тепла, которое попадает в руки и ноги. Если европеец или африканец опустит палец в ледяную воду, его температура понизится достаточно сильно, чтобы повредить плоть. Когда то же самое делает эскимос, его палец остается теплым. Опять же, не ясно, насколько этот эффект является генетическим, но среди рыбаков северной Атлантики люди европейского происхождения хуже сохраняют тепло в руках, чем представители коренных народов Севера. У австралийских аборигенов есть другое средство защиты от климата, жаркого в течение дня, но холодного ночью. У них кровеносные сосуды вблизи поверхности тела закрываются холодными ночами, так что температура их кожи падает значительно ниже, чем у европейцев в тех же условиях, сохраняя тепло в глубине тела. Аборигены также лучше справляются с холодом, без дрожи, и могут спать на открытом воздухе без особых проблем. Даже скорость, с которой тело использует энергию, ниже у тех людей, которые эволюционировали в тропиках.

Другие примеры могут быть также связаны с климатом. Путаные волосы африканцев говорят о том, что это помогает поту испаряться и охлаждает голову. Длинные, тонкие носы людей с Ближнего Востока могут помогать увлажнять воздух пустыни, прежде чем тот попадет в легкие, а узкие глаза китайцев — служить для защиты от ледяных ветров азиатских степей. Все это догадки.

Земля имеет одну аномальную климатическую особенность. По крайней мере, в Старом Свете большинство тропических народов обладает более темной кожей, чем живущие в холодном климате. Любой, кто в солнечный день сидел на железной скамейке в парке, знает, что черные объекты нагреваются на солнце сильнее, чем белые, поэтому черная кожа вовсе не защищает от солнечного тепла, а поглощает его. Ни одна из теорий, которые пытаются объяснить, почему люди развили светлую кожу, когда мигрировали в места с мрачным северным климатом, не является вполне удовлетворительной. Рак кожи наблюдается среди людей со светлой кожей, которые подвергают себя воздействию ультрафиолетовых солнечных ванн. Черные люди почти никогда им не болеют, но болезнь, вероятно, не вызвала глобальную тенденцию. Во-первых, она редка даже среди белых, примерно один случай на десять тысяч человек в год. Что более важно, это болезнь стариков. Те, кто от нее умирает, уже передали свои гены, включая гены цвета кожи.

Без витамина D дети получают рахит, мягкие и деформированные кости. Витамин D может создаваться в коже под действием ультрафиолетового света. Под ультрафиолетовым светом белые люди синтезируют полезную дозу в течение получаса, в то время как черным на это требуется в шесть раз больше времени. Даже несколько часов на солнце позволяют светлокожему ребенку избежать рахита, и не случайно, что африканские дети светлее, чем взрослые. Возможно, естественный отбор благоприятствовал светлой коже, когда человек начал свой долгий путь из тропиков во мрак северной Европы.

Но откуда черная кожа? Пациенты, лечившиеся ультрафиолетом от кожных заболеваний, демонстрируют резкое падение витаминов и уровня антител, и, возможно, черная кожа защищает от этого. Другая идея заключается в том, что черная кожа позволяет людям из тропиков разогреваться на рассвете, когда солнце встает, даже если они должны защищаться от жары днем — тогда она может действовать как камуфляж в тенистых местах. Легко сочинить истории о том, как отбор может благоприятствовать определенным генам, но ни одну из них нельзя принимать всерьез, без экспериментов.

У плодовых мушек тепло вызывает множество генетических последствий. Оно действует на наследственные различия в ферментной структуре, увеличивает частоту мутаций, и даже вызывает скачки "эгоистичной ДНК" с места на место. Люди могут достаточно хорошо регулировать свою внутреннюю температуру, поэтому различия в климате должны оказывать менее прямое воздействие. Тем не менее, группы крови и альтернативные формы некоторых ферментов ориентированы в направлении Север-Юг. Связано ли это с климатическим отбором, не известно.

Люди, как и большинство животных, живут, балансируя на тепловом канате. Если наша температура тела повышается на несколько градусов, мы умираем. Молекулярная биология пролила свет на угрозу теплового поражения. У улиток и плодовых мушек, когда жизнь становится слишком жаркой, включаются белки теплового шока. Иногда этой работой занято большинство клеточных механизмов. Во время лихорадки наши собственные клетки создают такие белки. Они группируются вокруг тонких ферментов, которые могут быть повреждены высокой температурой. Повышение даже на пару градусов приводит в действие механизм защиты. Возможно, люди, живущие в тропическом и умеренном климате, отличаются по чувствительности системы теплового шока. Пока этого никто не знает.

Низших животных когда-то пренебрежительно описывали как "холодно-кровных". У них отсутствуют механизмы, позволяющие млекопитающим нагреваться, но многие удерживают стабильную температуру благодаря своему поведению. Один из видов ящериц процветает от пустынь Калифорнии до ледников Анд. Они поддерживают свою температуру почти одинаковой на всем этом

огромном пространстве, просто перемещаясь на солнце и обратно. Я когда-то изобрел краску, которая исчезает с измеримой скоростью под воздействием дневного света. Нанесение пятен этой краски на раковины улиток показывает, сколько времени каждое животное провело на солнце в течение месяца или около того. Улитки из жарких и холодных мест ведут себя по-разному, и популяции темных и светлых особей (которые отличаются по степени поглощения солнечной энергии) также отличаются по тому, как они подставляются под солнечный свет. Возможно, этот способ может быть также использован для изучения темной и светлой кожи людей.

Поведение может иметь решающее значение при контроле температуры. Пустынные ящерицы не могут отойти больше чем на пару ярдов от тени, чтобы не умереть от теплового удара, но обязаны рисковать выходить на солнце каждые несколько минут ради питания. Некоторые пауки тратят половину своей энергии, курсируя между солнцем и тенью. Пауки в местах с правильным балансом тенистых и солнечных пятен могут производить гораздо больше яиц, чем те, у которых в убежище много еды, но недостаточно солнечного света. Легко забыть о важности поведения в нашей собственной термической жизни. Быстрая оценка того, во сколько выбор правильной температуры обходится среднестатистическому британцу (или, тем более, среднестатистическому жителю Чикаго) — список, включающий дома, одежду, центральное отопление, кондиционеры, питание и отдых в Марбелье или Флориде — показывает, что затраты пауков на поддержание комфортной температуры более скромные. Возможно, мы и теплокровные, но эволюция заставила нас принимать некоторые хладнокровные решения, чтобы выжить при переселении из тропического климата, в котором эволюционировали наши предки.

Люди, как и большинство млекопитающих, адаптированы к низинам. Они не могут долго находиться выше пяти тысяч метров, где количество кислорода в воздухе падает вдвое. В Андах люди живут на такой высоте. Дети андских индейцев могут лучше справляться с такими условиями, чем дети иммигрантов с равнин. Коренные горцы, выросшие на уровне моря, лучше извлекают кислород из горного воздуха. Возможно, у них эволюционировала реакция на кислородное голодание.

Питание также было одним из факторов изменений. Во всем мире лишь меньшинство взрослых (включая население Западной Европы) может переваривать молоко коров. Большинство животных (включая людей до появления сельского хозяйства) никогда уже не могут выпить молока, после того как их отняли от груди. Их пищеварение зависит от фермента, который позволяет расщеплять молочный сахар. Если он остается активным до совершеннолетия, коровье молоко пригодно в пищу. Если этого не происходит, молоко теряет большую часть своей ценности, и взрослый человек, который его пьет, страдает от кишечных газов и

расстройства желудка. Соответствующий ген редко встречается в большей части Африки и на Дальнем Востоке (что означает, что сухое молоко, когда-то посылаемое в качестве продовольственной помощи в эти места, в основном было потрачено впустую). Этот ген гораздо более распространен в Западной Европе и у некоторых африканцев, таких как фульбе северной Нигерии, пасущих стада крупного рогатого скота. Что здесь эволюционная курица, а что яйцо, не ясно. Возможно, ген пользовался преимуществом у народов пустынь, поскольку это позволяло им пить молоко верблюдов, чтобы получать воду. В Европе он может быть выгоден, потому что люди с этим геном могут извлекать кальций из коровьего молока и избегать рахита. Опять же, легко вообразить, не ставя эксперименты.

Силу отбора у человека лучше всего объясняют наследственные различия в сопротивляемости болезням. Болезни являются неизбежной частью существования; и даже у животных, сохранившихся с зари существования, были найдены признаки инфекции. В компьютерной игре "life", основанной на аналогии с естественным отбором, есть свои болезни в виде компьютерных вирусов. Болезни имеют историю и географию: люди сталкивались с различными эпидемиями в разное время и в разных местах. Инфекция — наш неослабный враг. Она включает в себя существ, которые сами должны умереть или измениться в ответ на защитные силы организма в эволюционной гонке вооружений между нами и нашими болезнями. Понять, что естественный отбор может и не может сделать в ответ — задача следующей главы.

## Глава тринадцатая.

### СМЕРТЕЛЬНАЯ ЛИХОРАДКА

В хрониках португальских исследователей Западной Африки пятнадцатого века выражаются горькие жалобы: "Кажется, что за наши грехи, или из-за какой-то непостижимой кары Божьей, повсюду, куда бы мы неплыли, Он поместил разящего ангела с огненным мечом смертельной лихорадки". Триста лет спустя половина англичан, которые отправились в эту часть мира, умерли в течение года. Когда европейцы и их африканские рабы впервые отправились в Южную Америку, настала очередь туземцев страдать от болезней. Население Мексики сократилось с двадцати пяти миллионов до одного миллиона с 1500 по 1600 годы. Некоторые племена исчезли. Число людей кимбайя в Колумбии, которые платили дань испанцам, было пятнадцать тысяч в 1539 году, а в 1628 году шестьдесят девять. Везде великими убийцами были инфекции: малярия, оспа и тиф. В Новом и Старом Свете народы, знавшие эти болезни на протяжении многих поколений, выжили лучше, чем те, которые встречались с ними впервые. Было похоже, что существовали врожденные различия в сопротивляемости между людьми из разных мест, что в то время казалось почти чудом. Сейчас эволюция защиты от заболеваний является прекрасным примером действия естественного отбора. Эра болезней, возможно (по крайней мере, на данный момент) закончилась, но ее генетические последствия будут сохраняться в течение многих лет в будущем.

Западное общество добилось передышки в бою, но на протяжении всей недавней эволюционной истории эпидемии были величайшими убийцами и наиболее значительными факторами эволюции. В четырнадцатом веке — тридцать поколений назад — Черная Смерть сократила население Англии наполовину. Смерть от холода или голода может быть жестокой, но, по крайней мере, враг предсказуем. Бактерии и вирусы сами являются живыми. У них есть экология, поскольку они постоянно нуждаются в новых жертвах. Они могут эволюционировать, что приводит к гонке между естественным отбором на нашу выживаемость и отбором на их способность нас заражать. Это непримиримая и бесконечная эстафета. Как только один противник терпит неудачу, другой делает успехи.

Характер инфекции зависит от количества потенциальных жертв. В результате, значимость болезни меняется на протяжении истории. Чем дольше она удерживается и чем эффективнее передается, тем меньше людей необходимо, чтобы обеспечить ее сохранение. Иммуитет тоже играет свою роль. Некоторые болезни, должно быть, возникли задолго до других. Признаки туберкулеза, который может тянуться десятилетиями, можно увидеть в костях людей, умерших десятки тысяч лет назад. В отличие от него, корь возникла недавно. Она не длится

долго и не очень заразна. Люди, которые были инфицированы, приобретают иммунитет и не могут быть атакованы снова, поэтому, чтобы болезнь сохранялась, необходима большая популяция. История кори похожа на историю многих новых болезней, от которых страдало человечество со времен своего возникновения.

В популяции, которая никогда не подвергалась этой болезни и которая не имеет иммунитета, корь может иметь ужасные последствия. Когда она дошла до Фиджи в 1875 году (в результате визита короля в Сидней), она убила треть из ста пятидесяти тысяч его подданных. Вскоре она исчезла с острова, поскольку ей, чтобы сохраниться, необходимо общество, по крайней мере, из полумиллиона человек. Корь может появляться в местах с меньшим количеством жителей, но не может там удержаться. В Исландии до Второй мировой войны были интервалы до семи лет между эпидемиями. Только после 1945 года (когда постоянное передвижение людей стало означать, что исландцы сделались частью европейского населения в целом) корь стала постоянной проблемой. Люди живут группами по полмиллиона человек или больше всего две или три тысячи лет, так что корь должна быть достаточно новой болезнью. Ее первоначальный удар был намного хуже, чем ее последствия для населения, которое жило с ней в течение многих поколений.

Постоянные изменения в характере инфекций означает, что эволюция никогда не останавливается: вовсе не делая нас совершенными, она постоянно сталкивается с новыми задачами. Десять тысяч лет назад, когда люди жили маленькими группами, инфекционные заболевания вряд ли существовали. Без сомнения, вокруг было много вшей и глистов, поскольку их долгая жизнь и способность заражать своих хозяев означает, что им для сохранения жизни не нужно много людей. В общем, древний мир был здоровым миром. Вместо этого люди голодали, замерзали, или их съедали тигры. Даже когда их поражала эпидемия, это была локальная проблема. Несколько сохранившихся племен охотников-собирателей демонстрируют остатки этой системы. В 1950 году племенные группы Яномамо сильно различались по антителам, которыми они обладали. В некоторых деревнях у всех были обнаружены антитела к ветрянке (и, должно быть, все ею переболели). В других эта болезнь никогда не появлялась, но все население когда-то переболело гриппом. Картина болезней отражает баланс между вероятностью появления нового возбудителя и локальной эпидемией, которая заканчивалась, как только каждый получал иммунитет или умирал. Такая же картина наблюдается сегодня у шимпанзе. Теперь Яномамо присоединились к остальному человечеству с его болезнями и в результате пострадали от этого.

С сельским хозяйством человеческое население быстро возросло и начало сливаться в одну континентальную массу. Появился целый ряд новых болезней. Орошение помогло появиться водным паразитам, таким как шистосома, переносимая улитками. Их яйца были найдены в мумиях 1200 года до нашей эры. Ши-

стосомоз все еще широко распространен в Египте. Многие из библейских казней были новыми болезнями, появившимися, когда население Египта достаточно возросло, чтобы их поддерживать.

Некоторые инфекции перешли от животных. Ближайшей родственницей кори является чума крупного рогатого скота, и сама корь, возможно, произошла от нее. Родственница оспы найдена у коров, а родственница сонной болезни — у диких животных. Необходимо было лишь небольшое генетическое изменение паразитов, чтобы позволить им атаковать нового хозяина, *Homo sapiens*.

Некоторые болезни возникали и исчезали, и никогда не были выделены. Города средневековой Европы страдали от вспышек хореи, бешеной пляски, в которой принимали участие тысячи людей. Некоторые случаи, возможно, произошли из-за массовой истерии, но отеки и боли предполагают органические причины. В Италии эта болезнь называлась тарантизм и приписывалась (ошибочно) укусу пауков. Пляска святого Вита, с ее видением Бога, возможно, была той же болезнью. Эпидемия началась в одиннадцатом веке в Германии и исчезла в семнадцатом веке. В Англии была своя таинственная и преходящая болезнь, английский пот, которая приходила и уходила несколько раз с 1480 по 1550 год.

Последствия были ужасны. Болезнь принесли в Лондон солдаты, бежавшие с битвы при Босворте, и через месяц она достигла своего пика. Она убивала своих жертв в течение дня. Оксфордский университет был закрыт в течение шести недель. Болезнь возвращалась несколько раз в течение следующих пятидесяти лет, и в некоторых странах Европы смертность была настолько высока, что в каждую могилу клали по восемь трупов. Последняя эпидемия началась в Шрусбери в 1551 году, убив тысячи. С тех пор болезнь исчезла. Что это было, никто не знает.

Гиппократ в четвертом веке до нашей эры был первым, кто описал симптомы достаточно хорошо, чтобы позволить с уверенностью диагностировать болезни. В Древней Греции была дифтерия, туберкулез и грипп, но ни одна из его записей не свидетельствует о наличии оспы, бубонной чумы или кори. Путешествия вскоре принесли новый ряд эпидемий. Оспа была в Индии за тысячи лет до Рождества Христова, но ее короткий инкубационный период означал, что она убивала своих носителей быстро и не путешествовала по суше. Она добралась до Европы по морю, и первая эпидемия была в Риме в 165 г. н. э. Возможно, болезнь помогла в распространении христианства, так как даже стакан воды, данный больному, мог облегчить некоторые симптомы. В англосаксонских летописях упоминаются почти пятьдесят эпидемий с 516 по 1087 год.

Жизнь стала еще хуже в первых крупных городах. Большие города возникли недавно. До 1800 года только один европеец из пятидесяти жил в поселении, насчитывавшем более ста тысяч человек. Люди переселялись туда из сельской местности в течение тысяч лет, но эпидемии означали, что ни один город не мог поддерживать свою численность до девятнадцатого века. В Лондоне времен Пип-

са проживало сто тысяч человек, но, учитывая эпидемии, требовалось пять тысяч иммигрантов в год для поддержания его населения.

Чума убила миллионы людей за сто лет до Пипса, но ее последняя и наиболее страшная эпидемия случилась при его жизни. В декабре 1664 г. в Друри-Лейн умерли два француза. В июне следующего года, Пипс писал в своем дневнике: "В этот день, во многом против моей воли, я увидел два или три дома в Друри-Лейн, отмеченные красным крестом на двери и надписью "Господи, помилуй нас": это было грустное зрелище для меня, на моей памяти первое из подобного рода зрелищ, которые я когда-либо видел. Это повергло меня в нездоровые мысли о себе и моем запахе, так что я был вынужден купить немного табачного жгута, чтобы нюхать и жевать, который отвлек бы от моих предчувствий". К лету того года две трети населения Лондона бежали, и болезнь свирепствовала по всей Англии. Цикл эпидемий, мучивший столицу и достигший своего пика в 1665, год Чумы, закончился с заменой соломенных крыш (с их постоянными жителями, крысами) на шифер после Великого пожара в 1666 году. Последняя европейская чума была век спустя, на Балканах. С тех пор болезнь часто заносилась, но никогда не распространялась.

Триста лет назад в Англии была огромная смертность. Ожидаемая продолжительность жизни упала с сорока двух лет в конце шестнадцатого века до тридцати лет в семнадцатом, возвратившись к прежнему уровню только в викторианскую эпоху. Наибольшая смертность была в низинных селах. Обычно винули "лихорадку". Городские новобранцы, призванные в армию, добивались большего, чем здоровая молодежь из сельской местности. Городские солдаты были тощими и слабыми, но подвергались инфекции так часто, что были застрахованы от болезней, которые безжалостно убивали их сельских родственников, когда их втискивали в переполненные казармы.

Новые инфекционные заболевания продолжают появляться. Наряду со СПИДом в Африке в 1970-х годах была другая таинственная эпидемия, когда вспышки смертельной (и до той поры неизвестной) лихорадки Эбола убили половину инфицированных. Даже ничтожное изменение может спровоцировать новые болезни. В последние тридцать лет болезнь Лайма (названная в честь деревни Лайм в штате Коннектикут, где она впервые появилась) стала наиболее распространенным в Соединенных Штатах эпизоотическим заболеванием, с частотой более чем десять тысяч случаев в год. Она вызывает артрит и различные болезненные нервные симптомы. Болезнь связана с микроорганизмом, который проводит часть своего времени в клещах, найденных на белохвостых оленях. Несколько случаев были известны столетия назад, но болезнь встречалась нечасто, пока люди не переехали в пригород и не стали заражаться от оленей, которые там процветают. Санитария девятнадцатого века сделала города более безопасными местами. Но это дорого обходится. До появления канализации каждый младенец подвер-

гался постоянному воздействию небольших доз вируса полиомиелита. Их иммунная система работала хорошо, и большинство становились невосприимчивыми. Как только вода была очищена, лишь немногие неудачливые дети заражались этой болезнью, контактируя со спорадическими дозами вируса. Если Всемирная организация здравоохранения с успехом (как она надеется) полностью от него избавилась, любая случайная утечка может привести к катастрофе.

Для большинства стран мира инфекция все еще остается бичом. Десять миллионов жизней в год мы теряем из-за кори и пять миллионов из-за диареи, заболевания, которое при наличии политической воли можно контролировать с помощью вакцин и чистой воды. Шистосома, другой паразит, которого должно быть легко сдерживать, поражает двести миллионов человек. Сталкиваясь с таким натиском ряда изменчивых врагов, естественный отбор никогда не ослабевает. По мере того, как мы узнаем о себе все больше, заболевания, существующие или исчезнувшие, выглядят все более грозно. Вполне возможно, что из огромного количества человеческих вариаций большая часть является пережитками былых сражений против инфекции, и что многие генетические градиенты по всему миру являются результатом отбора на заболеваемость сегодня или в прежние времена.

Сама болезнь тоже эволюционирует. Если бы этого не происходило, ее возбудители скоро бы вымерли. В свое время оказалось, что эволюция неизбежно приводит к перемирию с инфицированными, и что наилучшей стратегией для патогена было бы сохранить своего хозяина — свою родину — живым. Несомненно, иногда это правда. Тем не менее, гены, которые обуславливают болезнь, изменяются исключительно в своих собственных интересах. Если самый эффективный способ увеличить свою численность — это убить пациента, то естественный отбор обеспечит средства для этого.

До появления туалетов (которые в первое время выводились прямо в реки) холера была менее опасной. Она должна была сохранять своих жертв здоровыми достаточно долго, чтобы те могли перебраться в другую деревню и загрязнить бактериями ее колодцы. Как только один пациент стал способен заразить сотни новых, поскольку его отходы выливали в реку, холера стала жестокой: чтобы выжить, ей нужно было всего лишь, чтобы жертва добралась до туалета. Если он умирал от потери жидкости, когда выплескивал миллионы бактерий, это не имело никакого значения.

Эволюционная борьба против малярии служит наилучшей иллюстрацией влияния болезней на эволюцию. Инфицированы триста миллионов человек, и болезнь убивает два миллиона в год — половина из них африканские дети. Почти половина населения мира живет в малярийных районах и, учитывая темпы ее роста в тропиках, смертность может удвоиться в течение ближайших тридцати лет. Возросшие поездки означают, что болезнь может распространяться с большой скоростью. Более двух тысяч случаев болезни ввозятся в Великобританию каж-

дый год, и время от времени малярия передается в южной Англии местными комарами. В Соединенных Штатах, с ее городами в дельтах рек, риск возвращения эндемической малярии реален (в частности из-за того, что комары нашли новые места размножения, такие как огромные свалки шин, со стоячей водой, загрязняющей местность).

Болезнь вызывает одноклеточный паразит, один из нескольких видов *Plasmodium*, передающийся комарами. Самки комаров опаснее, чем самцы, так как они пьют кровь (которая им необходима для создания яиц). Эти паразиты впрыскиваются из слюнных желез и переходят в печень реципиента. Здесь они размножаются. Одна инфицированная клетка может произвести тысячи потомков. Они попадают в кровь, проникают в эритроциты и делятся снова, фактически переваривая гемоглобин. Клеткам *Plasmodium* необходимо железо, которое они берут из крови. Если давать недоедающим африканским детям железо, то это может в результате привести к новой вспышке притаившейся малярии.

Приступы лихорадки происходят, когда новая волна клеток появляется из печени. Многие из симптомов болезни обусловлены выделением железа и других токсичных продуктов распада, когда кровь переваривается. Если паразиты проникают в мозг, может возникнуть фатальная церебральная малярия.

Как только больного кусает комар, паразит переходит в следующую фазу. В мужчине или женщине *Plasmodium* ведет беспорочную жизнь и ничего не предпринимает, но делает тысячи идентичных копий. В комаре он занимается половым размножением. Самцы и самки созревают и спариваются, чтобы дать новые комбинации генов в своем потомстве. Следующее поколение мигрирует в слюнные железы, где они готовы, чтобы их ввели человеку, и чтобы начать цикл снова.

Несколько видов малярийных паразитов имеют неожиданную эволюционную историю. Некоторые из их генов похожи на гены, найденные в зеленых растениях, так что, возможно, в далеком прошлом их предки были родственниками одноклеточных растений (возможно, тех, чьи современные аналоги вызывают "красные приливы", убивающие рыб). ДНК самой вирулентной формы, *Plasmodium falciparum*, похожа на ДНК плазмодия, который заражает птиц. Другие малярийные паразиты ближе к тем, что поражают обезьян. Возможно, своей относительной мягкостью они обязаны долговому прошлому внутри наших родственников.

Чтобы поддерживать свое существование, тропической малярии нужна высокая плотность населения. Она, вероятно, возникла десять тысяч лет назад, когда африканцы перешли из саванны к сельскому хозяйству на опушках леса. Ее симптомы можно узнать в документах из Древнего Египта и Китая. Первым, кто указал на ее связь с влажными местами, был Гиппократ. Болотистая местность в окрестностях Рима — Кампанья — была необитаемой на протяжении большей части своей истории из-за эндемической малярии, и эта болезнь помешала процветанию прибрежных городов Великой Греции, таких как Сибарис и Сиракузы. В резуль-

тате малярии плодородный бассейн Янцзы был заброшенным в течение тысячи лет. С продвижением географических исследований болезнь распространилась на весь мир. Когда-то она была распространена в Восточной Англии, чье население когда-то называли "желтопузыми", после желтухи, вызванной хронической инфекцией. Она убила короля Джеймса Первого и Оливера Кромвеля, и сэр Уолтер Рэли на эшафоте был обеспокоен тем, что его дрожание может быть истолковано как страх, а не как озноб (или малярийная лихорадка).

Сотни миллионов инфицированы малярией, и миллионы умирают. Тем не менее, взаимоотношения между паразитом и его хозяином, похоже, непростые. Эволюция обеспечила десятки способов помешать деятельности паразита. То, как человечество справляется с болезнью, демонстрирует сильные и слабые стороны естественного отбора. Использовались все виды защиты. Некоторые из них более эффективны, некоторые менее, а некоторые достались страшной ценой тем, кто ими пользуется.

Одна из величайших загадок биологии — масса наследуемых вариаций на клеточной поверхности. Это важно, поскольку не позволяет людям пересаживать ткани друг от друга. Но поверхность клеток не эволюционировала, чтобы сделать трудной пересадку почек. Возможно, такое разнообразие является пережитком истории естественного отбора посредством болезни, с особыми антигенами, пользующимися преимуществом, поскольку они защищают от конкретных инфекций. Что касается малярии, отбор должен был быть сильным, так как у половины населения Западной Африки есть защитные антигены, хотя наиболее тяжелая форма заболевания существовала в течение всего лишь пятисот человеческих поколений.

Если *Plasmodium* попадает в эритроциты, есть другие средства защиты. Народы Средиземноморья и Ближнего Востока несут мутацию, которая снижает активность фермента. Это затрудняет паразиту питание, и клетки умирают, как и их захватчики.

Эволюция придумала более сотни трюков, затрагивающих красный пигмент крови, гемоглобин. В некоторых районах Западной Африки до трети детей несут одну или две копии мутантного гемоглобина, известного как серповидные клетки. В их ДНК есть единственное изменение. Оно в свою очередь приводит к изменению в одной из аминокислот, строительных блоков эритроцитов. Когда клетка носителя серповидно-клеточности подвергается нападению, гемоглобин образует волокна, и клетка разрушается, замедляя рост захватчика. Это очень эффективно. Ребенок с копией этого гена на девяносто процентов защищен от болезни.

В Индии и на Ближнем Востоке есть мутации других аминокислот, которые действуют во многом так же, тогда как итальянцы, киприоты и другие народы развили более радикальные средства защиты. Удаляются целые секции молекулы гемоглобина. Опять же, это замедляет рост *Plasmodium*. Название этого заболевания, талассемия, отражающее ее распределение, означает анемия моря (в данном

случае Средиземноморья). Реакция на малярию также может предполагать сохранение в зрелом возрасте гемоглобина, обычно встречающегося у плода.

Картина выглядит уже очень запутанной. Теперь, когда можно использовать ДНК, чтобы изучить ее более подробно, все стало еще сложнее. То, что казалось одним и тем же механизмом защиты, в иных местах оказывается генетически совершенно разным. Найдено множество различных делеций битов в цепи гемоглобина, как и множество различных защитных сигналов клеточной поверхности. В общей сложности, сотни мутаций пришли нам на помощь в этой борьбе. Более того, один и тот же механизм (серповидно-клеточность, например) независимо появился у народов, живущих далеко друг от друга. Несколько различных очагов гена серповидно-клеточности, каждый из которых связан с разным набором вариаций в смежной ДНК, известны в Африке, другие в Индии.

Несколько очагов серповидно-клеточного гемоглобина найдено в Европе, где в некоторых местах мутации несут люди с белой кожей. Один находится в городе Коруши, в центральной Португалии, где малярия была когда-то широко распространена. В основном ДНК его обитателей похожа на ДНК других европейцев, но ДНК вокруг гена серповидно-клеточности имеет тип, который встречается только в Западной Африке. Португальцы привезли домой первых рабов в 1444 году, и, спустя столетие, в Португалии было полно африканцев и их детей, у большинства из которых был белый родитель. Многие из этих детей, должно быть, несли серповидно-клеточность. Это защищало их от местных заболеваний, так что этот африканский ген процветал и распространялся, хотя люди с черной кожей были поглощены местным населением и, через сотни лет, потерялись из виду.

История малярии преподносит много уроков для эволюции. При всяких революциях толпа хватается то, что есть под рукой, чтобы сделать грубый и скорый барьер, который даже если не остановит силы репрессии, задержит их. Естественный отбор реагирует на болезнь так же. Всякий раз, когда появляется мутация, которая может быть полезна, она используется, чтобы попытаться остановить вторгшегося противника. В разных местах становятся доступны разные гены, и используется первый, который оказался под рукой, даже если он был не самый лучший. Появившееся решение может быть расточительным и неэффективным, но способность "латать тем, что есть" является характерной особенностью эволюции. Это объясняет, почему ни одно существо не служит красивым решением проблем своей собственной истории, и почему жизнь в основном такая беспорядочная.

Есть известный анатомический пример целесообразности существования. У всех млекопитающих один из черепных нервов делает небольшую петлю вокруг позвонка на шее. У жирафов шея сильно вытянута, — но нерв, вместо того чтобы кратчайшим путем идти прямо к мозгу, снова проходит весь путь вниз и обратно.

Неуклюжие решения эволюционной дилеммы часто встречаются и могут оказывать влияние на молекулы не меньше, чем на нервы. Возможно, они объяснят, почему большая часть структуры ДНК тоже напоминает, грубо говоря, кавардак.

Сталкиваясь с чрезвычайной ситуацией, люди часто обращаются к необходимым решениям, которые дорого обходятся в долгосрочной перспективе. Эволюция делает то же самое. Некоторые из защитных механизмов против малярии наносят вред тем, кто их использует. Когда серповидно-клеточная мутация впервые появилась, она была редкой, так что почти каждая копия становилась партнером неизмененного гена. Эта комбинация защищает от инфекции и оставляет ее носителей в добром здравии. Когда серповидно-клеточность стала более распространенной, появились люди с двумя копиями измененного гемоглобина, по одной от каждого родителя. Они страдают от серповидно-клеточной анемии, тяжелой (а иногда и смертельной) болезни. Их эритроциты сплюсциваются, даже если паразит не проник, что дает ряд симптомов, которые включают повреждения головного мозга, сердечную недостаточность и паралич. В некоторых местах примерно каждый десятый ребенок рождается с этим заболеванием.

Это высокая цена за защиту, но она неизбежна, если население начинает использовать этот ген. Некоторые другие механизмы (в том числе талассемия) достаются такой же ценой. Поскольку более чем один человек из двадцати во всем мире несет тот или иной из этих генов, каждый год рождаются сотни тысяч детей с наследственной анемией. Это не добавляет весомости идее естественного отбора как доброго проектировщика.

Другие модификации, которые мы сейчас рассматриваем как врожденные заболевания, сами по себе могут быть, подобно серповидно-клеточности, пережитками защиты от инфекции (возможно, от болезней, которые сейчас исчезли). Серповидно-клеточная анемия встречается у американских негров, которые не подвергаются малярии. Если бы мы не знали о её связи с инфекцией в других странах мира, ее присутствие в этой расовой группе было бы загадкой. У других этнических групп есть свои собственные врожденные заболевания. Один из тридцати евреев ашкенази является носителем гена болезни Тея-Сакса. Те, кто наследуют две копии, страдают от фатальной дегенерации нервной системы. В семьях, несущих этот ген, возможно, были предки, более устойчивые к туберкулезу, чем в среднем. Поскольку туберкулез был широко распространен в европейских гетто, откуда пришло большинство из них, болезнь Тея-Сакса, возможно, была остатком системы защиты от инфекции. Их потомки по-прежнему платят за нее тяжелую цену. Другие заболевания — такие как болезнь Бехтерева или анкилозирующий спондилоартрит — как правило, поражают людей, несущих определенные антигены клеточной поверхности. Возможно, это тоже пережиток естественного отбора, отбора утерянными болезнями.

У малярии есть и другие свойства, которые делают ее безжалостным врагом. Многие болезни были побеждены вакцинацией. Ослабленная версия паразита может побудить организм вырабатывать антитела, которые будут нападать на реального противника. Ликвидация оспы является наиболее ярким примером такого подхода. Вакцины против малярии оказались обманчивыми надеждами. Plasmodium чрезвычайно изменчив. Один из его многих поверхностных антигенов (которые должны быть симитированы любой успешной вакциной) существует в пятидесяти различных формах. Десятки могут встречаться только в одной деревне. Положение усугубляет половое размножение паразита. Антигены клеточной поверхности производятся несколькими генами, разбросанными по всем его четырнадцати хромосомам. Каждый раз, когда Plasmodium размножается половым способом, он перетасовывается в новые и уникальные комбинации. Многие пациенты с малярией инфицированы несколькими штаммами, так что все время появляются новые комбинации. Пройдет еще много лет, прежде чем малярия отправится туда же, куда и оспа, если такое вообще случится. Она такой хитрый и эффективный противник, что гены, которые от нее защищают, будут необходимы еще долгое время.

Болезни могут многое рассказать о человеческом разнообразии. Даже система групп крови АВО могла возникнуть в результате их действий. Варианты А и В различаются всего семью основаниями примерно из тысячи, кодируемыми для них; в О в инструкции отсутствует одно основание ДНК, что приводит в беспорядок весь текст за ним и удаляет часть структуры клеточной поверхности, кодируемой этим геном. Люди с группой крови АВ имеют некоторую защиту от диареи и, что более важно, от холеры, а люди с О более восприимчивы к этой инфекции (но могут быть более устойчивы к малярии). Другие гены также, по видимому, связаны с резистентностью. Возможно, древние болезни объясняют многое из нашего разнообразия. Тем не менее, множество инфекций ушли безвозвратно. Оптимисты утверждают, что победа над болезнями, холодом и голодом означает, что естественный отбор подошел к концу. Если у эволюции и есть одно правило, то это ожидать неожиданного. Может возникнуть новая эпидемия и вызывать такой же ущерб, как малярия, или болезни, которые кажутся на грани исчезновения, будут возрождаться, как сама малярия.

История борьбы с болезнями рассказывает много полезного о естественном отборе. Вовсе не проектируя простой и эффективной защиты, всякий раз при появлении малейшего пустяка он за него ухватывается. Отбор действует как домашний умелец, а не как искусный мастер. Его продукты часто кажутся плохо, если не сказать нелепо, спланированными и грубо сделанными. Если человек действительно создан по образу Божьему, малярия не много говорит о божественном инженерном искусстве. Этот бессистемный подход имеет и свои сильные стороны. Используемый инженерами или программистами, он может делать изощренные и

неожиданные вещи. Логика отбора является логикой живого мира: создавать сложные проекты без проектировщика.

Естественный отбор никогда за свои три миллиарда лет истории не производил колеса, не говоря уже о художественных произведениях, хотя ему удалось создать глаза, мозг и другие органы большой сложности. Это объясняется его наибольшим недостатком, его медленным подходом. Колесо, или часы, необходимы для каких-то долгосрочных замыслов. Чтобы их сделать, требуется интеллектуальный скачок, который выходит за рамки эволюции. У естественного отбора есть превосходные тактики, а не стратегии — но тактики, в случае их реализации без учета стоимости, могут добраться до мест, о которых стратег и не мечтает.

## Глава четырнадцатая.

### РОДСТВЕННИКИ ПОД КОЖЕЙ

Тысяча девятьсот шестой год был успешным для зоопарка Бронкса. Толпы тянулись к новому экспонату. Африканский пигмей — по имени Ота Бенга — содержался в той же клетке, что и орангутан. Экспозиция вызвала бурю негодования, и не потому что это было позорное зрелище, а потому, что она продвигала идею эволюции, что обезьяны и люди были связаны родством. Через некоторое время Ота Бенга был выпущен, в частности из-за его привычки стрелять стрелами в тех, кто над ним издевался. Он переехал в штат Вирджиния, где покончил с собой несколько лет спустя.

Взгляды зоопарка Бронкса на человеческую эволюцию были некогда широко распространенными. Сам Линней, который первым классифицировал животных и растения, хорошо выразил эту идею в 1754 году: "Все живые существа, растения, животные и даже само человечество формируют единую цепь вселенского бытия от начала и до конца мира". Многие до сих пор видят эволюцию как плавный прогресс, органичный переход от первобытной слизи к новым лейбористам. Линней распознавал несколько различных разновидностей среди нашего собственного вида. Наряду с желтыми, меланхоличными и изворотливыми азиатикусами, были европеусы, белые, румяные и мускулистые; американусы, красные, холерические и прямые, и аферы, черные, флегматичные и ленивые.

Эти группы человечества пребывали на разных стадиях. Африканцы были внизу, рядом с обезьянами, азиаты где-то посередине, а белые европейцы — само собой разумеется — вверху. Викторианские писатели без колебаний разъясняли эту идею. Роберт Чемберс, написавший влиятельную книгу об эволюции за пятнадцать лет до Дарвина, утверждал, что "Наш мозг проходит через признаки, проявляющиеся у негров, малайцев, американских и монгольских народов, и, наконец, у кавказцев. Короче говоря, главные признаки различных рас человечества представляют собой просто отдельные этапы в развитии наивысшего или кавказского типа. Монголы — это задержавшиеся в развитии младенцы, недавно рожденные".

Теория о неравенстве рас имеет долгую и постыдную историю, сеявшую страдания и смерть на своем пути. Она пробралась и в медицину. Большинство людей видели детей с синдромом Дауна, который возникает в результате ошибки в их хромосомах. Его первооткрыватель, Лэнгдон Даун, назвал его "монголизмом" в своей работе "Наблюдения по этнической классификации идиотов" 1866 года, из-за того, что казалось ему хорошей научной причиной — эти дети соскользнули на пару ступеней вниз по эволюционной лестнице, напоминая низшую форму жизни,

монголов. Японский друг однажды сказал мне, что в его стране эта же болезнь называется английскими чертами. Сама идея смешна. Синдром Дауна связан с ошибкой в передаче конкретной хромосомы, которая есть у всех групп человечества и даже у шимпанзе.

История рас, больше, чем что-либо другое, иллюстрирует недостатки биологии. Биологи говорили — или кричали — о расах в течение многих лет. Здесь сочетались невежество и уверенность. Политики воспринимают ученых менее серьезно, чем сами ученые, но история научного расизма, как ее называли, была безжалостной.

Я всегда чувствовал определенное сострадание к тем, чья способность презирать своих ближних ограничивается цветом кожи их жертв. Генетика не имеет — и не должна иметь — ничего общего с суждениями о достоинствах чьих-то ближних. В этом смысле биология рас не имеет никакого отношения к расизму, который всегда рад перекрутить любой научный факт в своих порочных целях. Гены показывают, что внутри человечества нет никаких отдельных групп. Этот факт может быть обнадеживающим, но должен быть излишним. Полагаться на ДНК в установлении морали опасно. Наука развивается. Она узнает больше, и теории меняются. Наши взгляды на биологию человека изменились, и могут измениться снова. То же самое должно быть верно в отношении прав человека. Не нужно забывать, где кончается биология и начинаются принципы.

Человечество можно разделить на группы многими способами, по культуре, по языку и по расе — это обычно означает, по цвету кожи. Каждое разделение в некоторой степени зависит от предрассудков и, поскольку они не перекрываются, может привести к путанице. В 1987 году секретарша из Вирджинии подала в суд на своего работодателя за дискриминацию, так как она была черной. Она проиграла дело на том основании, что, поскольку у нее были рыжие волосы, она должна быть белой. Затем она работала на черного работодателя и, не устранившись своего предыдущего опыта, привлекла его к суду, за то, что он подначивал ее, потому она была белой. Она снова проиграла, поскольку суд установил, что она не могла быть белой, так как ходила когда-то в школу для черных.

Нации тоже отличаются тем, как они определяют свое расовое родство. В Южной Африке хотя бы один африканский предок, даже в далеком прошлом, когда-то означал изгнание из белой расы. На Гаити наоборот. Папа Док провозгласил свою страну белой, так как почти у всех когда-то был европейский предок, хоть кожа могла быть и темной. Другие страны разработали тонкие различия на основании цвета кожи. В Латинской Америке когда-то различали более двадцати рас. Потомки испанцев и индейцев были метисами, потомки метисов и испанцев — кастизо, испанцев и негров — мулатами, мулатов и испанцев — мориско, мориско и испанцев — альбино, альбино и испанцев — торнатрас, и так далее, длинной, въедливой и субъективной чередой.

Предполагалось, что расы различны, так как они происходят от разных предков. Популярными кандидатами были сыновья Ноя, Хам, Сим и Иафет. Антропология начала с поиска прекрасных примеров расовых типов для каждой из линий. Африканцев, европейцев и азиатов рассматривали как отдельные типы человечества. Возможно, исследователи думали, что каждая раса когда-то была чистой и незагрязненной линией, защищенной на своей прародине. Только в наше время эту чистоту запятнали скрещиваниями. Расовые смешения были противоречивыми (исключения разрешались лишь при крайней необходимости, как в ситуации, когда святые Косма и Дамиан с божьей помощью пересадили черную ногу белому пациенту).

Если нынешние народы — это запутанная смесь того, что когда-то было группой чистых рас, может быть все еще возможно выделить совершенных представителей первоначальных групп. Эта бездоказательная идея водила кругами человеческую биологию на протяжении веков в тщетных попытках найти категории, по которым можно было бы классифицировать людей. Ее ранние годы прошли в бесполезных поисках человеческой родины и путей миграции. Центром поиска архетипа был Гарвардский университет. В музее археологии и этнологии Пибоди когда-то стояли две достаточно скромные обнаженные статуи. Они были сделаны на основе проведенных в 1930 году измерений десятков студентов и студенток. Утверждалось, что были вычислены средние величины, и можно было создать образ идеального студента Гарварда — высшей формы человеческого существа. Остатки этой философии сохранились в конкурсе Мисс Мира, чьи судьи пытаются, и безуспешно, найти объективное определение идеальной женщины.

Расовые типы, как правило, определяют по черепам. Слово "кавказец" отражает утверждение, что череп, который лучше всего представляет белых людей, пришел с Кавказских гор, так что — возможно — белая раса распространилась с тех далеких твердынь. Годы были потрачены впустую на измерение черепов, вместо того чтобы подумать о том, что могло сделать их разными. Наиболее популярным критерием был черепной индекс, соотношение длины и ширины головы. Десятки тысяч черепов из разных уголков мира были измерены в попытке разобраться в расе своих предков.

Работа была безрезультатной. Нет вообще никаких доказательств, что существует, или когда-либо существовал, народ, все представители которого имели бы один и тот же черепной индекс. Что еще хуже для бедных краниометристов, форма черепа детей американских иммигрантов изменилась по сравнению с черепами их родителей в сторону людей, уже проживающих здесь. Их форма в любом случае зависит от естественного отбора. Народы жарких территорий, настолько далеких друг от друга как Африка и Малайя, имеют схожую форму черепа, отличную от черепов скандинавов или эскимосов. Даже если у них разные корни, они со-

шлись примерно на одинаковой форме. Естественный отбор подразумевает, что одинаковые головы не доказывают общей родины.

Различия между группами казались настолько очевидными, что ученые не замечали своих собственных результатов. Сэмюэль Джордж Мортон в своей книге "Американские черепа" (1830) представил измерения сотни черепов. Различия были ясны, думал он: у кавказцев были более крупные черепные коробки, чем у монголов и малайцев, которые в свою очередь были более одаренными, чем африканцы и европейцы. Когда же образцы были измерены повторно, современными инструментами, различия исчезли. Результаты Мортон были связаны с умалчиванием некоторых групп, которые не соответствовали его идее, смешением мужчин и женщин, а также неспособностью правильно сделать поправку на различия в размерах тела.

Тем не менее, первые исследователи питали огромную уверенность к важности формы черепа. Такие измерения были использованы нацистами в попытках отсортировать людей еврейского происхождения. Француз Жорж Ваше де Лапуж, который написал в 1887 году: "Я убежден, что в следующем веке миллионы пережут друг другу горло из-за одного или двух градусов черепного индекса", — оказался более прав, чем он опасался.

Расы также можно классифицировать по языку. Термин "ариец", получивший такую зловещую окраску, исходил из идеи о талантливых людях, ариях, которые мигрировали со своей родины где-то на востоке, принеся с собой свое наследие и свой язык. Французский писатель Джозеф Гобино, отец современной расистской идеологии, в своем "Эссе о неравенстве человеческих рас" (1854) писал, что "Все великое, плодотворное и благородное в работе человека на этой земле порождено великой арийской семей". Он убедил себя в том, что арии распространились, чтобы основать культуры Древнего Египта, Рима, Китая и даже Перу, и что "все цивилизации происходят от белой расы".

Знаменитое путешествие Тура Хейердала через Тихий океан в поисках основателей цивилизаций Полинезии, возможно, восходит к Гобино. Это привело к целому ряду попыток проследить исторические связи между культурами (например, кельтов и инков) с общим поклонением солнцу, массивными каменными памятниками и мумиями. Все должны были происходить от арийцев, которых часто отождествляют с древними египтянами.

Антропология изучает движение людей, генов и культур. Когда-то считалось, что все это одно и то же. При наблюдении за согражданами даже антропологу становится очевидным, что не все принадлежат к одному расовому типу: люди выглядят по-разному. Разница обычно предполагает классификацию, а отсюда всего малый шаг к оценочным суждениям. Ранние эволюционисты не стеснялись. Блюменбах, который ввел термин "кавказец", был рад показать, на чьей стороне его симпатии. Частью его определения было "самая красивая раса людей. Приро-

да была щедрой на красоту женщин, которую мы не встретим в других местах. Я считаю, невозможно смотреть на них без любви". Даже Руссо вовсе не предполагал, что благородный дикарь был черным.

Девяносто процентов названий, которые дали себе племенные народы, означает "люди", "единственные люди" или "лучшие люди", то есть, мы люди, а другие не совсем. Индейцы сиу Северной Америки, как ему казалось, являются исключением. В буквальном переводе "sioux" — змея или враг. На самом деле, это название дало им соседнее племя (и оно было подхвачено первыми французскими поселенцами). Сами сиу называют свое племя "лакота" — люди.

Идея, что человечество было разделено на различные родословные линии разных сортов, привела к катастрофическим последствиям. Привязка философии и политики нацистов к антропологии, и желание вернуться в ушедшие времена чистых рас, понятно. Gesellschaft für Rassenhygien (Общество расовой гигиены) было основано в 1905 году. К 1908 году все смешанные браки в немецкой Юго-Западной Африке (ныне Намибии) были аннулированы, а те, кто в них состоял, лишены гражданства. Сам Геккель, апологет "Происхождения видов", писал, что "морфологические различия между двумя общепризнанными видами — например, между овцами и козами — гораздо менее важны, чем между готтентотами и людьми Тевтонской расы". Его философия закончилась несчастьем.

Связи между биологией и политикой различий, возникшие еще до Гитлера, не были разорваны и через много лет после его смерти. До 1913 года статуя Свободы действительно радушно встречала, как говорит ее посвящение, разнородные массы людей, добивавшихся свободы. В своей книге 1916 года "Конец великой расы", благозвучный американец, Мэдисон Грант, вторил многим из своих товарищей, когда жаловался, что чуждые расы были привиты на национальном расовом дереве. По совету биологов президент Кулидж был вынужден сказать: "биологические законы говорят нам, что некоторые разошедшиеся народы не будут смешиваться или сливаться. Представители нордической расы сами успешно размножаются. С другими расами получается ухудшение с обеих сторон".

После определенного генетического лоббирования в 1924 году был принят первый закон об иммиграции. Он устанавливал ограничения, гарантирующие, чтобы этнический состав США оставался таким, каким он был в конце девятнадцатого века. Для каждой страны была разрешена квота в два процента от числа их граждан, представленных в Соединенных Штатах в 1890 году (когда большинство людей этой страны были с Британских островов, Скандинавии и Германии). Закон очень хорошо предохранял от жителей Восточной Европы и оставил многих людей на милость другого эксперимента по расовой гигиене, который там вскоре начался. Он был отменен лишь в 1966 году. За теорией чистых рас тянется длинный хвост. Ее призрак пока не исчез. Венгерская политическая партия вы-

ступала против прав цыган в девятых годах, поскольку они "неблагополучная группа, к которой законы естественного отбора были неприменимы".

Генетика, наконец, предоставила инструменты для проверки теории чистой расы. Само слово "раса" недостаточно определенное. Оно охватывает социальные и политические, а также биологические критерии. Иногда, пытаясь избежать трудностей, его заменяют и используют термин "этническая группа". Такие группы могут определять сами себя. Шотландцев практически не существовало, пока они не были изобретены королем Георгом IV, который в 1822 году посетил Эдинбург и, одетый в стюартовский килт и телесного цвета колготки, одарил шотландцев национальной самобытностью, которой они не знали, что обладали. Понадобилось всего лишь воображение Вальтера Скотта, придумавшего их исконную культуру, чтобы появился новый и мощный миф. Он был основан на килте, который, как сказал Маколей: "до возникновения Содружества рассматривался девятью шотландцами из десяти как одежда воров". Кельты, более крупная структурная единица, к которой шотландцы питают приверженность, сами по себе являются иллюзией. Кельтская культура, характеризующаяся артефактами, найденными при раскопках в южной Германии, была присвоена французами и немцами, вместе с кельтской окраиной как утверждением национального достоинства. На самом деле, торговля сделала больше для распространения кельтской цивилизации, чем секс или завоевания.

Для этнического самосознания важно, что мы думаем о том, к какой группе принадлежим. Для генов это не так просто. Возможно, те, что принимаются во внимание, наиболее заметны. В конце концов, люди склонны выбирать себе пару с таким же цветом кожи, как и у них самих, и это может быть важно, когда речь идет об особенностях расы. Теория чистых рас выдвинула определенные утверждения о человеческих группах; что они произошли от ряда различных предков. Если это так, и сама их внешность представляет собой следы этой истории, то все расы должны быть различны по большинству генов, а не только по генам цвета кожи или формы волос.

На что похож генетический атлас? Сопровождается ли перемена в цвете кожи — результатах работы примерно дюжины генов — параллельными тенденциями в десятках тысяч генов, которые строят человека? Ответ на этот вопрос достаточно очевиден, нет.

Каждый может видеть глобальные тенденции в цвете кожи, форме волос и так далее. Существует множество менее очевидных схем, но что за ними стоит, совершенно неизвестно. Некоторые настолько очевидны, что почти просятся, чтобы их обосновали на языке отбора. В Англии ген группы крови В встречается редко, менее чем у одного человека из десяти. В Центральной России и Западной Африке, напротив, он широко распространен, и до трети населения являются носителями этого варианта. В системе репродукции брак между положительным мужчиной

и отрицательной женщиной может быть опасен, когда кровь матери оказывает противодействие крови ее еще не родившегося ребенка, но отрицательный резус распространен в Европе и Африке (хотя и редок в других местах). Должно быть, когда-то он имел некоторое преимущество, что позволило ему распространиться вопреки этому проигрышу.

Даже те, кто наделен богатым воображением, вынуждены объяснять некоторые другие тенденции с точки зрения отбора. Большинство людей на Западе имеют липкую ушную серу, но у большинства азиатов она слоистая и сухая. И почему большинство индийцев могут попробовать на вкус горькое вещество PROP, тогда как африканцы не могут, и чем вызвано то, что узоры отпечатков пальцев настолько сильно различаются по всему миру?

Ничто из этого не находит объяснения, но поскольку современная медицина основывается на генетике, мы пришли к довольно неожиданной позиции, когда знаем больше о моделях изменчивости у человека, чем у любого другого животного. Сотни функциональных генов и тысячи вариаций в некодирующей части ДНК были нанесены на карту. Частота большинства из них отличаются от места к месту. Вырисовывающаяся картина довольно сильно отличается от взглядов, поддерживаемых теми, кто верит, что человечество можно разделить на различные расы. Выясняется, что человек является самым неинтересным млекопитающим, едва меняющимся от места к месту. Тенденции в физической внешности не сопровождаются тенденциями в других генах. Вместо этого, вариации в каждой системе более или менее независимы. У нас был бы другой взгляд на расы, если бы мы устанавливали их по группам крови, с маловероятным союзом между армянами и нигерийцами, которые могли бы презирать народы Австралии и Перу, не имеющих группы В. География генов показывает, что люди из разных мест не сильно отличаются, и что цвет кожи мало говорит о том, что находится под ней.

Предположим, что народы всего мира можно оценить по разнообразию, которое они содержат. Это должна быть достаточно легкая задача; ведь все народы варились бы в супе, который как раз бы заполнил озеро Уиндермир. Все множество различий можно распределить между индивидами, странами и расами, чтобы посмотреть, как они распадаются. Этот анализ, основанный на сотнях генов десятков народов, показывает, что около 8/10 общего разнообразия во всем мире происходит из различий между людьми одной страны: скажем, между двумя англичанами или двумя нигерийцами. Еще от пяти до десяти процентов связано с различиями между странами, например, народами Англии и Испании, Нигерии и Кении. Остальные — общегенетические различия между "расами" (например, между африканцами и европейцами) — не намного больше, чем между различными странами в Европе или в Африке. ДНК несет простое сообщение, что вместилище большинства вариаций — отдельные люди. Расы, если их определять по

цвету кожи, это не более реальное понятие, чем нации, свойства которых зависят лишь от недолгой общей истории.

Мнение, что человечество делится на ряд отдельных групп, является неправильным. Древняя приватная родина на Кавказе — колыбель белой расы — это миф, как и ее аналоги в Египте или Перу. Если после глобальной катастрофы выжила бы только одна группа, албанцы, папуасы или сенегальцы, большинство человеческого разнообразия сохранилось бы. Люди — однообразные существа, потому что эволюционировали довольно недавно. Последовательность ДНК показывает, что различия между расами составляют меньше одной пятидесятой от различий между человеком и шимпанзе.

Для других животных расы значат больше. Генетические различия между популяциями улиток двух соседних пиренейских долин намного больше, чем различия между австралийскими аборигенами и европейцами. Для улиток в биологическом плане есть смысл быть расистами, но люди должны признать, что они принадлежат к однородному, гомогенному виду.

Тот факт, что гены можно использовать для определения различий между людьми (как используется цвет кожи африканцев и европейцев), едва ли важен для того, насколько они отличаются. В конце концов, судмедэксперт может отличить двух братьев, подозреваемых в совершении преступления, по образцу крови, хотя у них наполовину общая наследственность. Даже один-единственный ген может быть надежным индикатором. Если пятно крови на месте преступления содержит серповидноклеточный гемоглобин, он почти уверен, что подозреваемый имеет африканское происхождение, но если он несет ген муковисцидоза (не встречающийся среди африканцев), то полиция должна искать европейца. Результаты исследований не меняет тот факт, что у африканцев и европейцев большая часть генов общая.

Вопрос различаемости и различий вызывает споры среди юристов. Фингерпринты ДНК крайне изменчивы. Делались уверенные заявления о том, что они революционизируют криминалистику. В одном американском суде обвинение оценило вероятность ошибки как один к семисот тридцати восьми миллионам миллионов. Единственный след ДНК — кровь, сперма или даже слюна, выплюнутая на чью-то рубашку при близком разговоре с предполагаемым преступником — и подозреваемый будет определен. Казалось бы, здесь и спорить не о чем. Доводы настолько убедительны, что иногда судьи даже отказывались заслушивать показания со стороны защиты.

Теперь жизнь выглядит слегка мрачнее. Конечно, даже если тест безошибочен, люди, которые его делают, допускают ошибки. Бывали очевидные провалы (например, ошибки при маркировке образцов). Другие технические проблемы также могут привести к трудностям.

Окрашенные полосы образцов при сравнении подбираются и сравниваются на глаз. Глаз — ненадежный инструмент, оставляющий много возможностей для ошибок. Присяжные, будучи типичными представителями населения в целом, плохо понимают в вероятностях (именно поэтому национальная лотерея делает это хорошо), и чаще признают человека виновным, если сказано, что вероятность случайного совпадения между обвиняемым и образцом составляет 0,1 процента, чем если называется (то же самое) число один из тысячи. Эти аргументы являются сутью любого правового спора и ничем не отличаются от разногласий о других судебных методах, которые попадают в заголовки газет. Тем не менее, судебная генетика сталкивается с более глубокой проблемой, которая возникает из эволюционной истории.

Фингерпринты ДНК состоят из коротких последовательностей, которые повторяются в сообщениях снова и снова. Количество повторов и положение, в котором они встречаются, варьируется от человека к человеку. Образец с места преступления сравнивается с образцом, взятым у подозреваемого и других людей из состава невиновных доноров. Почти как на опознании, свидетели выделяют преступника из группы людей, о которых известно, что они это преступление не совершали.

В первые годы фингерпринтинга ДНК ФБР создала контрольную группу доноров, состоящую из белых офицеров полиции. Для некоторых присяжных, если фингерпринт подозреваемого был больше похож на фингерпринт с места преступления, чем на фингерпринт каждого члена контрольной группы, дело казалось бесспорным.

Такой простой подход наталкивается на эволюционную проблему. Если свидетель видел, скажем, белого человека, совершающего преступление, а затем на опознании должен был выделить предполагаемого преступника из ряда чернокожих, это вызвало бы вопросы среди юристов. Этническая группа любого подозреваемого должна соответствовать группе, с которой он сравнивается.

Фингерпринтинг ДНК быстро развивается. Образцы фингерпринта людей африканского происхождения несколько отличаются от образцов европейцев (хотя общее расовое отклонение для этого отличительного признака не намного больше, чем для ферментов и групп крови, при этом девять десятых от общего разнообразия вызвано различиями между отдельными людьми). Представьте себе черного подозреваемого, которого ошибочно обвиняют в совершении преступления, на самом деле совершенного другим черным человеком. Его фингерпринт ДНК сравнивают с оставленным на месте преступления, а также с фингерпринтами контрольной группы белых. Генетическое расхождение между черными и белыми означает, что ДНК невинно подозреваемого может быть больше похожа на ДНК преступника, чем на ДНК любого европейца, и невинный человек будет признан виновным.

Это привело к разногласиям в мире ДНК-дактилоскопии, и это правильно. В США, где смертная казнь в отдельных штатах широко распространена, это вопрос жизни и смерти. В американских судах есть правило, что научные доказательства могут быть отклонены, если они не являются общепринятыми в научном сообществе. Апелляционный суд отвергает обвинения в убийствах и изнасилованиях, потому что они не отвечают правилу, что фингерпринтинг ДНК должен быть "общепринятым". Теперь ученые вырвались вперед благодаря исследованиям индивидуальных различий в последовательностях ДНК, которые настолько обширны, что расовые различия не идут с ними ни в какое сравнение. Тем не менее, история с генетикой и юриспруденцией служит еще одним напоминанием, что объективные знания могут быть скоро захвачены теми, кто имеет субъективное представление о том, как они должны использоваться.

Люди из разных уголков мира могут отличаться, но идея чистых рас является мифом. Многие в истории генетики рас, области, формированию которой способствовали некоторые из самых выдающихся ученых своего времени, было предубеждением, замаскированным под науку; классический пример того, как не должна использоваться биология, чтобы помочь нам понять самих себя. Большинство биологов сегодня чувствуют, что моральные вопросы, поднятые нашей собственной биологией — расизм, половые стереотипы и утверждение, что эгоизм, злоба и национализм обусловлены генами — это вопросы этики, а не науки, и что наука не имеет ничего общего с тем, как мы относимся к своим товарищам. Хотя факт, что генетика раскрывает некоторые различия между народами мира, может утешить либеральное сознание, это не имеет отношения к вопросу о расизме, который является моральным и политическим.

В результате, тех, кто обнаруживает неприязнь к той или иной расе, не очень убеждают научные аргументы. Однажды, когда я преподавал в Ботсване, я читал лекцию о расах. Класс рад был узнать, что они были почти такими же, как белые южноафриканцы, которые их так презирали. В конце лекции мне задали только один вопрос. Конечно, сказал студент, то, что вы говорите, не может быть верно в отношении бушменов, они от нас явно отличаются.

Признаюсь, я впал от этого в некоторое отчаяние, но это было полезным напоминанием, что, хотя биология может многое рассказать о нашем происхождении, она ничего не говорит о том, кто мы есть. Мрачная история расовой генетики укрепляет это убеждение.

## Глава пятнадцатая.

### ПРИКЛАДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

В настоящее время эволюция сама по себе является практической дисциплиной, хотя многие, кто ею пользуются, не понимают, что они делают. Изобретатели когда-то использовали подход, близкий к принципам мира природы. Небольшие подправления в технических новинках и в жизни; и это может быть путем к неожиданному результату. Точно так же, как инженеры, которые проектировали каменные орудия и паровые двигатели без понимания физики, первые фермеры вывели новые сельскохозяйственные культуры без знания наследственности вообще. Прагматизм, как всегда, ведет к прогрессу.

В настоящее время специалисты по бетону или металлу используют другой подход. Они разрабатывают то, что нужно, применяя столько научных теорий, сколько необходимо. Прикладная биология, от сельского хозяйства до медицины, переняла этот подход только в последние несколько лет, и начался прогресс, такой же, как у транспорта со времен паровоза Стивенсона. Для биологии новая эра пара (хотя и не космическая) наступила.

Слияние менделизма и дарвинизма сделало сельское хозяйство гораздо более продуктивным. Количество пищи на душу населения во всем мире выросло, несмотря на величайший демографический взрыв в истории. В развивающихся странах еще есть возможности для прогресса, поскольку половина всего урожая теряется из-за сорняков (количество, которое в Европе последний раз наблюдалось в средние века), а болезни могут привести к потере всего урожая. В Африке же такой прирост населения, что — вопреки мировой тенденции — количество продовольствия, производимого на душу населения, уменьшается. Сельскому хозяйству третьего мира предстоит пройти еще долгий путь, прежде чем оно наверстает упущенное. Во многом виновата общая слабость экономики, но некоторые из неудач сельского хозяйства объясняются отсутствием технологий, используемых в других местах.

Дарвин или Мендель чувствовали бы себя как рыба в воде в большинстве современных сельскохозяйственных исследований. В Иллинойсе в 1904 году начался эксперимент, в котором в каждом поколении выбиралась кукуруза, наиболее богатая маслом. Работа еще продолжается, и, спустя сто поколений, количество масла выросло в сто раз без каких-либо признаков замедления прогресса.

Такая простая прикладная эволюция может приводить к замечательным результатам, и любой скотовод может это подтвердить. "Зеленая революция" ступила на генетический путь. Своими успехами она обязана скрещиванию новых и

продуктивных пород риса и пшеницы, выведенных дарвиновским путем, и других линий, с более жесткими и более короткими стеблями. Были затронуты всего несколько генов. Карликовые сорта были скрещены с другими, с жесткими стеблями. Их потомки были скрещены с сортами, содержащими гены высокой урожайности и быстрого роста. Были выбраны растения, которые объединили в себе лучшие качества своих родителей, и процесс продолжался в течение нескольких поколений. Половое размножение — генетическая рекомбинация — выполнило работу фермеров, создав новые комбинации генов. Это решило главную проблему тропического сельского хозяйства, тенденции риса и пшеницы расти высокими, когда используются удобрения, но полежать при сильном ветре. Один простой прием преобразил аграрный сектор Индии и Китая. В пятидесятых годах намеренный обмен генами дал шестикратное повышение урожайности, цифра такая же огромная, как при возникновении сельского хозяйства десять тысяч лет назад.

Другие примеры дарвиновских улучшений предполагают увеличение потока сырья, которое их подпитывает. Повредив ДНК, можно создать новые гены, готовые к использованию проторными технологами. Производство пенициллина когда-то упиралось в крошечные количества антибиотика, создаваемые грибом в огромных чанах. Разведение наиболее продуктивных штаммов дало стократное его увеличение. Следующий шаг был гораздо больше: мутации, вызванные радиацией и химическими веществами, привели к новому поколению антибиотиков, никогда не встречавшихся в природе.

Еще лучший способ пополнить топливо для селекции — импортировать гены из других видов. Одним из успехов была новая культура тритикале, гибрид пшеницы и ржи. Она может расти в сухих местах и приносит пользу сельскому хозяйству в местах с низким количеством осадков (таких как американские Великие равнины). Это демонстрирует доходы, которые могут принести даже скромные инвестиции в перенос генов от одного вида к другому. Другой подход — обратиться к диким родственникам культивируемых растений, как это было сделано с пшеницей, которую скрещивали с дикими травами, содержащими гены, полезные в сельском хозяйстве.

Стандартный сельскохозяйственный метод разведения от лучших — эволюция в явном виде — имеет свои пределы, которые быстро достигаются. Многие сельскохозяйственные культуры и животные не могут эволюционировать дальше, потому что израсходовали свои генетические резервы и не имеют источника, из которого их можно пополнить. Ограничения налагает половое размножение: тот факт, что для создания новых существ с новой комбинацией генов родители должны спариться. Несмотря на случайные ошибки в растительном мире, существует строгий биологический контроль за тем, кто с кем спаривается. Партнеры должны быть разного пола, но одного и того же вида. Допускаются некоторые небольшие исключения (тритикале — одно из них); но для рекомбинации генов, в

природе или в сельском хозяйстве, половое размножение неизбежно. Этот закон значительно понизил амбиции эволюционных инженеров, потому что гены, которые могли бы быть полезны для улучшения одной формы, заперты внутри другой.

Само сельское хозяйство началось с одного небольшого нарушения сексуальной конвенции. Фермеры улучшали природу с помощью вырубки деревьев, чтобы позволить растительности процветать. Растения, которые никогда обычно не встречались, оказались рядом, и время от времени появлялись гибриды. Они содержали комбинации генов, никогда не встречавшиеся прежде. Этот процесс продолжается. Многие прибрежные участки вокруг Британии покрыты жесткой травой, гибридом между местным видом и видом, завезенным из Америки. Новая комбинация генов добивалась лучших результатов в суровых условиях, чем любой из родителей, и стала сорняком.

Хромосомы показывают, что современная пшеница возникла, когда скрестились два вида травы (каждый из которых до сих пор используется в пищу на Ближнем Востоке). Как и на побережье, новый гибрид был более продуктивным, чем любой из его родителей. Вскоре еще одна трава скрестилась с новым рекомбинантом, улучшив его еще больше. Это был предшественник всех миллиардов колосков пшеницы, растущих сегодня. Первые фермеры перенесли хромосомы, гены и ДНК из одного вида в другой. Они были первыми генными инженерами.

Теперь наука сделала половое размножение общепринятым. Молекулярная биология позволяет генам перемещаться между линиями, которые были когда-то совершенно чужды друг другу, создавая рекомбинантную ДНК не совместными усилиями мужских и женских организмов, а минуя неудобства воспроизводства в целом. Гены могут быть перенесены почти откуда угодно и куда угодно. Наконец, ДНК может использоваться там, где это необходимо, откуда бы она ни была взята. Биологические правила были нарушены, и наступила новая эра сельского хозяйства.

Генная инженерия началась с бактерий, чей спектр сексуальных интересов достоин одобрения. Они обмениваются информацией многими способами; поглощая голую ДНК в процессе спаривания, довольно похожем на тот, что происходит у высших животных, и за счет использования третьей стороны или вирусов. Это "инфекционное наследование" (предполагающее, что венерические заболевания развились до появления секса) было нарушено наукой. Проектируемый ген (который может быть взят из бактерии, растения или человека) с помощью различных технических приемов помещают в отрезок вирусной ДНК. Модифицированный вирус с попутчиком затем используется, чтобы заразить нового хозяина. Если повезет, то реципиент будет пользоваться пересаженной ДНК как своей собственной, и каждый раз при делении создавать ее копию. Можно будет создать огромное число дубликатов спроектированного гена — и большое количество

всего того, что он производит; настоящих человеческих протеинов, лекарств или других продуктов.

Пересечь глубокую сексуальную пропасть между бактериями и всей остальной жизнью оказалось неожиданно легко. Инсулин когда-то извлекали из поджелудочной железы свиней. Человеческий ген был перенесен в бактерию, и теперь можно создавать большое количество чистого белка. Гормон роста человека — когда-то получаемый из гипофиза умерших, о чем было много споров — тоже теперь создается таким же образом. Это позволяет избежать мрачной и неожиданной проблемы. Несколько пациентов подхватили нервное дегенеративное заболевание от трупов, которые несли вирус. Теперь ген фактора VIII также был вставлен в бактерию, и пациенты были излечены его продуктом.

Генную инженерию также можно использовать для лечения инфекционных заболеваний. Дженнер мог использовать вирус коровьей оспы для вакцинации против человеческой (эксперимент, который был бы отвергнут сегодня даже самым мягким Комитетом по этике), потому что у этих вирусов были общие антигены, намек на особенности, распознаваемые иммунной системой, лежащие в основе ее реакции. В результате антитела против коровьей оспы защищают против оспы человеческой. Коровья оспа сама по себе может привести к проблемам, и даже современные вакцины имеют небольшой риск реакции на чужеродный белок. В любом случае, от многих заболеваний, (таких как проказа) вакцинация не помогает, потому что трудно вырастить их возбудителей в лаборатории.

Умная инженерия обходит эту проблему. Гены, производящие антиген, берут у возбудителя болезни и вставляют в безвредные бактерии, что позволяет избежать риска заражения, поскольку гены вирулентности были отключены. Антигены из нескольких источников могут быть введены одному хозяину, чтобы создать одну вакцину против многих инфекций. Используется модифицированный штамм сальмонеллы (которая в естественном состоянии может вызвать пищевое отравление). Эта бактерия, с добавленными в нее антигенами, процветает в течение короткого времени в кишечнике, и, убедив реципиента, что он был заражен, гарантирует, что антитела были созданы.

Есть некоторые простые приемы. Растения могут делать свои копии из нескольких клеток, таким образом, многие растения могут быть порождены от одного без полового размножения. Трудно улучшать деревья путем селекции из лучших, потому что это занимает очень много времени. Вместо этого ткани улучшенного образца разбивают на отдельные клетки. Копии этого супер-дерева можно вырастить, создав за одно поколение супер-лес. Таким же образом, натуральная ваниль, когда-то извлекаемая огромной ценой из тропической орхидеи, была заменена идентичной ванилью, химически создаваемой культурами клеток, выращенных на ботаническом аналоге агропромышленных ферм.

Реальные перспективы для сельского хозяйства открывает внесение генов из одного вида в другой. Один из вирусов вызывает что-то вроде растительного рака: ткани перестают отождествлять себя с растением, и оно вырастает искаженным. Этот вирус корневого рака хорошо собирает чужеродные гены и был использован, чтобы перемещать их в новых хозяев. Первое трансформированное растение, штамм табака, было создано в 1984 году, при полном отсутствии общественного интереса. Через десяток лет томатное пюре из модифицированных растений поступило в продажу без особых споров. Однако затем среди населения началась паника, и был придуман ярлык "пицца Франкенштейна", собирая вокруг себя различных сумасбродов, бездоказательно утверждавших, что такие продукты были вредны для здоровья.

Частично проблема возникла из-за слова "инженерия", которое звучит более угрожающе, чем "одомашнивание", использовавшееся первыми генными инженерами. Частично виновата осторожность самих биологов. Тридцать лет назад они объявили мораторий (от которого вскоре отказались) на новые эксперименты, пока не были разработаны правила безопасности. Самое главное, люди всегда подозрительно относились к техническому вмешательству, идее, что наука может преодолеть все проблемы. От использования ядерной энергии до "Конкорда", оптимизм инженеров часто оказывался недолгим. Для соответствующих компаний общественный интерес (подпитываемый их собственными мягкими заверениями в безопасности и простой заносчивостью при отказе маркировать модифицированные продукты) оказался настоящей проблемой. Monsanto делает многие вещи (хотя компания теперь изменила свое название, чтобы скрыть этот факт), но стала синонимом предполагаемой попытки отравления народа. Отрасль столь встревожена, что установила абсурдные стандарты безопасности. В одном из проектов использовались гены бразильских орехов, помещенные в соевые бобы, чтобы обеспечить их определенными аминокислотами. Поскольку их не хватает в странах третьего мира, это могло спасти тысячи детей. Вместо этого проект был заброшен, так как некоторые, очень немногие, люди страдают аллергией на сами орехи. Новое растение могло убить одного или двух американцев в год. Результаты исследования были встречены как победа зеленых. Другие ложные обвинения включают предполагаемую опасность устойчивости к антибиотику канамицину, используемому, чтобы помочь различать, какие модифицированные растения содержат чужеродную ДНК. Канамицин не используется в медицине, широко распространен в природе, и в генетических манипуляциях его все равно перестают употреблять. Тем не менее, канамицин был использован в качестве палки для битья тех, кто стремился увеличить производство продовольствия.

Другие претензии, более весомые, чем вся эта лженаука, основаны на опасениях по поводу будущего среды или самого фермерства. Многим людям не нравится современное индустриальное сельское хозяйство (несмотря на его произво-

дительность), и генетически модифицированные продукты, без сомнения, помогают им добиться своего. Также, говорят оппоненты, нет смысла манипулировать пшеницей, чтобы добавить горе зерна одно зернышко, или чтобы согнать крестьян с земли в города. Зеленая революция сама вынудила индийских крестьян покинуть земли, когда крупные компании получили контроль над производством семян.

Почти то же самое произошло полвека назад на американском Среднем Западе. В 1930-х были созданы новые штаммы гибридной кукурузы благодаря скрещиванию вместе двух линий. Их продажи контролировали синдикаты, манипулирующие ценами и разорявшие мелких фермеров. Свою роль сыграл другой коммерческий ход. Производитель не мог использовать свои собственные семена на следующий год, потому что гибридное растение производит новые и неблагоприятные комбинации среди своих потомков. Модифицированные семена несут такую же опасность пожать гроздь экономического гнева. Немногие фермеры могут торговаться с организацией, обладающей монополией на продажу стойких к гербицидам растений — и соответствующих гербицидов. Эти компании пригрозили подать в суд на тех, кто посадит новые семена в следующем году, не купив новых (в свою очередь, иски подали клиенты, разочарованные их урожайностью, и другие, чьи сельскохозяйственные культуры были загрязнены модифицированной пылью). Новая "терминаторная технология" предохраняет модифицированные растения от образования семян и — как на Среднем Западе — вынуждает тех, кто их использует, покупать новые запасы для каждого урожая.

Как это часто бывает в генетике, биотехнология обещала гораздо больше, чем было достигнуто (особенно в странах третьего мира, где было получено мало прибыли). Некоторые ГМ-культуры дают более низкие урожаи, чем другие, что заставило некоторых фермеров от них отказаться. Их использование вызвало такое возмущение, что реализация их потенциала может задержаться надолго. Тридцать миллионов гектаров земли было засеяно ГМ-культурами в 1998 году, и миллионы китайских фермеров использовали модифицированный хлопок. Это так встревожило общественность (и так завысило цену семян), что, по крайней мере, на Западе после этого площади были уменьшены.

В основном шумиха касалась экономики и эмоций, а не науки. Наука же в этой суете скорее приобрела, чем потеряла. Чего может добиться генетическая модификация растений, учитывая эти возможности?

Некоторые технологии направлены на увеличение диапазона мест, в которых может расти определенная культура, используя гены, которые делают их устойчивыми к соленой почве, или высокой температуре, или нехватке воды, или которые позволяют расти большую часть года. Зеленая Революция запустила естественную мутацию, которая заставила растения расти менее высокими, чем обычно. Теперь ответственный за это ген (который мешает растениям реагировать

на гормоны роста) клонирован и может быть введен в другие культуры, вызывая мгновенные крутые изменения в неожиданных местах.

Другие гены могут бороться с биологическими врагами. Многие организмы производят натуральные пестициды, поскольку постоянно подвергаются риску атаки. Такие гены из одного вида можно перенести в другой, чтобы сократить использование ядохимикатов. Много пестицидов, используемых на фермах с исключительно органическими удобрениями, вырабатывается из бактерии *Bacillus Thuringiensis*, которая смертельна для многих насекомых. Гены токсинов уже были введены в хлопок, уменьшив количество химикатов, используемых на полях. Схожая уловка — вставить ген, который делает растение устойчивым к искусственным гербицидам. "Раундап" в основном используют фермеры, выращивающие сою. У стойких к "Раундапу" растений (составляющих около трех четвертей всех генетически модифицированных культур) есть ген, который разрушает этот химикат, так что его можно распылять по полю, чтобы убить сорняки, но оставить нетронутым урожай. Растения можно даже "привить", введя несколько генов их вирусных врагов. Когда вирус нападает, он использует оборудование растения для производства своих копий. Если в растении уже есть части собственной структуры вируса, механизм нарушается, и атака проваливается. В рис и перец ввели гены резистентности к вирусу, а в картофель и бананы — гены, которые противодействуют паразитическим червям, хотя все это еще не использовали на фермах.

Мы выращиваем растения, потому что они производят полезные вещи, пищу, например. Поскольку в большинстве растений не хватает некоторых аминокислот трудно оставаться здоровым на строгой вегетарианской диете. Много можно сделать, если внести в них нужные гены, и большие надежды возлагаются на "золотой рис", содержащий в себе новый ген витамина А (дефицит которого приводит к тому, что полмиллиона детей из третьего мира слепнут каждый год). Некоторые пищевые продукты, такие как брокколи, содержат противораковые вещества, и ответственную за это ДНК можно ввести другим видам. Растения могут использоваться даже в качестве биологических фабрик, с перспективой использования картофеля для получения антител или других белков крови. Рис уже может создавать человеческий белок, используемый для лечения кистозного фиброза и других легочных заболеваний.

Другие виды можно заставить производить натуральные масла для использования в пластике или топливе. Другой вариант — вмешиваться в ДНК деревьев, чтобы уменьшить твердость древесины и сократить количество энергии, необходимой для ее превращения в бумагу. В ближайшей перспективе — синий хлопок и черные гвоздики. Есть большие надежды, что сельскохозяйственные инженеры внесут гены, которые позволят культурам создавать свои собственные удобрения. Клевер развил компромиссное соглашение с некоторыми бактериями. Эти микро-

организмы берут азот из воздуха и переводят его в форму, которую может использовать растение. Взамен они получают питание и защиту. Фермеры уже давно применяют комбинацию травы и клевера, которая более продуктивна, чем выращивание их по отдельности. Поместив азотофиксирующий ген в культуру, можно было бы намного уменьшить потребность в удобрениях. Потенциальные выгоды огромны. Все это может означать, что растения могут преобладать в диете, и что животные утратят былое значение, когда им на смену придет, возможно, лосось со вкусом банана.

Разработка такой новой культуры требует больших затрат, и исследования, конечно, ведутся с учетом будущей прибыли. Она, как транзистор или пылесос, должна быть защищена. Первый известный патент был выдан в 1421 году во Флоренции архитектору Филиппо Брунеллески на изобретение баржи с подъемным устройством, используемой для транспортировки мрамора. Идея, что изобретатель нуждается в защите, распространилась, и — несмотря на попытки обойтись без этого в таких местах, как Китай — в настоящее время является общепринятой. Этот закон работает, и без него капитализм бы не развивался.

А как быть с идеей патентования жизни (или, по крайней мере, генов)? Она кажется почему-то неправильной, но охранное свидетельство было продано задолго до появления ДНК-технологий. В 1970-х годах это дало возможность защитить сельскохозяйственные сорта растений, и в 1980 году Верховный суд США дал зеленый свет патенту на микроорганизм, чьи гены были изменены для уничтожения разливов нефти. Такие организмы были результатом многих лет работы тех, кто их продал, реально претендуя на статус изобретений, в юридическом смысле, а не просто открытий, которые не могут быть запатентованы.

Что касается жизни, граница между естественным и изобретенным вскоре была размыва. Могут ли быть запатентованы сами гены? В конце концов, они эволюционировали и не являются продуктами человеческого изобретательства. Несмотря на многочисленные аргументы, тысячи генов сейчас защищены законом. В законе по-прежнему неясно, насколько далеко может распространяться такое право, и агрессивные попытки запатентовать сегменты ДНК, даже не зная, что они делают, потерпели неудачу. Патентование, однако, никуда не делось. Оно может быть, как и сам капитализм, несправедливым, но, как его экономическая система, кажется неизбежным.

Вызывает интерес не этика, а то, кто владеет этими патентами. "Биопиратство" — это кража генов из стран третьего мира. Здесь замешаны большие суммы. Семь из двадцати пяти лучших лекарств в мире получены из натуральных продуктов; аспирин — из ивовой коры, препарат для снижения уровня холестерина — из японских грибов, а циклоспорин, мощное противораковое средство, из их норвежского аналога. Эти страны извлекли выгоду из таких лекарств, но винкристин и винбластин, разработанные в 1960-х годах для лечения лейкемии, делают

из мадагаскарского розового барвинка. Эта бедная страна ничего не выиграла от торговли, приносящей миллионы дохода (хотя если бы получила патент, то могла бы). А как насчет противораковых химических веществ, обнаруженных в азиатских кораллах, или продукта, в две тысячи раз слаще сахара, создаваемого западно-африканским деревом? Если эти гены клонировать, они будут стоить миллионы — но кто ими владеет? Некоторые компании довольно откровенны в своих попытках сорвать прибыль с древних знаний. Рис басмати — это ароматный (и дорогой) сорт, который уже давно используется в Индии и Пакистане. Оба правительства были возмущены, обнаружив, что в 1998 году корпорация Risetec Corporation of Texas подала патентную заявку на его семена — и, словно сыпля соль на рану, эти семена собрали американские ученые, участвующие в поисках новых генов, которые могли бы помочь накормить страны третьего мира.

Сам Запад действует сомнительно в отношении своих же граждан. В 1997 году Патентное ведомство США отвергло попытку запатентовать активный компонент куркумы в качестве средства для заживления ран, так как оно давно используется как народное средство в Индии. Действительно, страна сама же на этом обожглась. Ферменты, используемые в полимеразной цепной реакции, берут из бактерий, собранных в горячих источниках в Йеллоустонском национальном парке. Швейцарская компания, владеющая этим патентом, зарабатывает сто миллионов долларов в год на авторских правах, в то время как федеральное правительство (владелец источника и, предположительно, бактерии) не получает ни цента. Теперь парковая служба взимает сотни тысяч долларов в год (плюс гарантированную долю в прибыли) с любой компании, которая хочет исследовать ДНК на ее земле. Хотя утверждения о богатстве тропической природы могут быть преувеличены — в конце концов, лишь одно из пятидесяти тысяч растений, испытанных Национальным институтом рака США, дало полезное лекарство — третий мир, понятно, разгневан. Теперь он борется. Амазонские племена используют кожу некоторых лягушек как источник яда для своих дротиков. Это вещество является болеутоляющим, если используется в небольших количествах, и американская компания стремится его запатентовать. Но, возражают правительства Эквадора и Венесуэлы, не было ли это открытие сделано их народами, и не должна ли, по крайней мере, какая-то часть прибыли к ним вернуться? Американцы не согласны (и недовольны венесуэльцами, которые положили конец любительскому коллекционированию лягушек).

Все это коммерция, и об этом хорошо знают те, кто изучает историю как золотодобычи, так и генодобычи. Как и большая часть шумихи вокруг модифицированных культур, она лежит за пределами науки. Тем не менее, самой науке есть что сказать о последствиях новых технологий. Не все из этого обнадеживает.

Наиболее распространенным является страх утечки проектируемых форм и новой чумы, выпущенной в мир. У биологов есть несколько стандартных средств

защиты от этой проблемы. Модифицированные организмы, вероятно, будут менее приспособленными, чем те, чей геном не был изменен. В конце концов, если ген дает своим носителям преимущество, можно ожидать, что оно бы уже эволюционировало. Большинство сельскохозяйственных животных и растений не могут выжить вне фермы, и поэтому улицы не полны разбойничающих овец или картофеля. То же самое верно для бактерий и вирусов. Детям вводят живые вирусы полиомиелита, которые были "ослаблены", чтобы сделать его менее опасным. Анализы сточных вод показывают, что этот живой вирус постоянно сбегает. Это ключ к его успеху: даже дети, чьи родители не позволяют делать им прививки, подвергаются воздействию вирусов, выделяемых их привитыми друзьями. Ослабленный вирус никогда не выживает в дикой природе, но зависит от притока вновь прививаемых детей. Если все изобретенные организмы настолько слабы, есть не слишком много причин для беспокойства.

Тем не менее, не стоит забывать, что каждое домашнее животное где-то является вредителем. Кошки уничтожили многих птиц в Новой Зеландии. Козы во многих местах вредят еще больше, дикие свиньи — везде в субтропиках, и даже лошади могут наносить вред в калифорнийских пустынях. Растения еще более разрушительны. Все знают о кактусе "колючая груша" в Австралии, но симпатичное желтое южноафриканское садовое растение, сметанное яблоко, наносит там еще больший ущерб.

Зарвавшийся биолог может утверждать — и утверждает — что мы знаем достаточно, чтобы не повторять таких ошибок. Биологи также отмечают, что многое из того, чем занимается инженерия, вполне естественно. Рекомбинантная ДНК создается каждый раз, когда сперматозоид встречается яйцеклетку; виды — не фиксированные структуры, они эволюционируют один из другого, и — часто в бактериях, а иногда и в растениях — они даже обмениваются генами естественным путем. Производится огромное количество бактерий, одно только человечество выделяет десять с двадцатью двумя нулями этих мельчайших существ каждый день. Поскольку многие мутации являются генетически новыми и редкими, и из-за капризов размножения, должно быть, содержащиеся в них гены занесены другими видами. Ни один из них не распространился, и кишечные бактерии в основном не опасны.

Вирусы обнадеживают меньше. Большинство эпидемий гриппа, прокаты- вающихся по миру каждую зиму, начинаются в Китае, когда человеческий вирус гриппа подхватывает гены от диких птиц. Только когда они переходят от уток и свиней к нам, новые комбинации вызывают проблемы, но они являются полезным напоминанием о нашей уязвимости перед редкими случаями в отдаленных местах.

Разрешение на использование модифицированных организмов надолго задержалось из-за таких опасений. В Калифорнии посевы повреждает мороз. Когда

воздух охлаждается, очажки льда на листьях появляются вокруг природных колоний бактерии *Pseudomonas*. Этот скучный образ жизни вызывает один бактериальный ген. Иногда он меняется в результате мутации, образуя штамм "ice-minus", который наносит меньше вреда. Теперь искусственные бактерии ice-minus распыляют на растения и уменьшают повреждения от мороза, вытесняя местные бактерии. Ген был перенесен из природных бактерий, вырезан участок, и вставлена измененная ДНК. Хотя эти бактерии, в некотором смысле, не являются модифицированными вообще, так как гены происходят из своего же вида, проект вызвал бурю негодования. Это раздражало аграрных исследователей. Они отмечают, что правовой контроль не позволяет переносить ДНК из сорняков в посевы, что имело место, когда была создана первая пшеница. После множества баталий разрешение было дано.

В ходе судебного дела выяснилось, что военные уже игрались с калифорнийской бактерией. Они хотели узнать, как лучше заражать людей. В 1950-х годах огромное количество бактерий *Serratia marcescens*, тогда считавшихся безвредными, распыляли над Сан-Франциско, чтобы посмотреть, как они распространяются. Теперь известно, что *Serratia* может заразить тех, кто уже ослаблен болезнью, и что ряд таинственных инфекций в то время были связаны с этим микробом. Даже природная бактерия, которая, казалось бы, не оказывает никакого вредного воздействия, похоже, опасна, если ее поместить в необычные условия.

А что, если новый ген просочится из своего вида и в другой? Гены устойчивости к гербицидам можно занести от культурных растений к их сорными сородичами. Для такого растения как картофель, без диких видов в Старом Свете и в Северной Америке, это маловероятно, но у рапса и сахарной свеклы в Великобритании и у подсолнечника в Соединенных Штатах много местных родственников, с которыми они могли бы гибридизироваться. В местах, где сурепка и рапс растут близко друг от друга, не менее одного семени из ста являются гибридными, и многие растения, которые из них появляются, совершенно здоровы. Ген устойчивости к "Раундапу" перешел в гибриды и прекрасно работает, не оказывая видимого влияния на выживание. Устойчивая к опрыскиванию сурепка — возможно, первый из многих устойчивых сорняков — может появиться в ближайшем будущем. Гены животных тоже могут блуждать в нежелательных местах. С ферм сбегало столько рыб, что генетическая структура североатлантического лосося уже повреждена скрещиваниями между выращиваемыми на фермах и местными популяциями. Некоторые планируют перенести гены антифриза от антарктических рыб к их теплолюбивым родственникам, чтобы выращивать их в более холодных и более плодородных водах. Что может произойти, если сбегавшие тропические рыбы гибридизуются с местными?

Выпустить на волю модифицированные существа — значит играть с неизвестным и, следовательно, неизбежно идти на риск. Некоторые ученые полагают,

что он настолько мал, что его не стоит принимать во внимание. Они все еще находятся в фазе технологического абсолютизма. Доверьтесь нам, говорят они; но подобно инженерам, которые разработали ядерную энергетику или осушили болота Флориды, или подобно Бурбонам, они не забыли этих успехов, и их ничему не научили ошибки истории.

Такие энтузиасты игнорируют природу объекта своего исследования. Они утверждают, что возможность нечаянного появления монстра не больше, чем у телевидения создать его из случайной комбинации электронных деталей. В этом они повторяют знакомые аргументы креационистов, что шансы того или иного органа, такого сложного как глаз, возникнуть без божественного вмешательства такие же, как шансы урагана, пронесшегося над фабрикой, собрать самолет.

Для самолетов это верно. Те, кто устанавливали стандарты безопасности для первых экспериментов по генной инженерии, требовали, чтобы риск рассчитывался таким же образом, как на заводе Boeing; если вероятность отказа клапана номер один — один к тысяче, а клапана номер два такая же, то общая вероятность отказа сразу двух — один к миллиону. Такие расчеты для риска модифицированного вируса, используемого против гусениц, измениться так, чтобы быть похожим на соответствующий вирус, поражающий людей, свидетельствуют, что опасность составляет один к бесчисленным миллиардам.

Такие цифры, казалось бы, точные, не имеют смысла, ибо естественный отбор собирает почти невозможные вещи, и не мгновенными и невероятными прыжками, а крошечными и посильными шагами. Только когда эта неправдоподобность была достигнута, мы замечаем, что может сделать эволюция. Спроектированные организмы, как любое другое существо, развиваются, чтобы приспособиться к своим новым условиям и, несмотря на уверенность их проектировщиков, некоторые из них вызовут проблемы. Низкий риск — это не его отсутствие. Вопрос экономический — перевесит ли выгода затраты? Это неизвестно для генетически модифицированных организмов, поскольку эксперимент еще не был реализован. Тем не менее, существует прецедент в другой хваленой части биологической инженерии.

DDT начали производить в конце Второй мировой войны для борьбы со вшами. Он имел потрясающий успех. Оптимисты использовали инженерный подход: с деньгами и технологиями можно добиться чего угодно. Однако биологическая надменность скоро одержала победу над технической элегантностью.

После победы над вшами DDT распыляли на малярийных комаров. Скорая победа казалась неизбежной. Количество инфицированных снизилось на Цейлоне с миллионов до десятков. Неудачи начались, когда распространился ген сопротивляемости. Контратака была столь эффективна, что малярия свирепствовала с ещё большей силой, чем прежде, и Всемирная организация здравоохранения признает, что "История кампаний по борьбе с малярией — это летопись преувели-

ченных ожиданий, за которыми рано или поздно приходили разочарования". Паразиты также пресекают попытки стереть их с лица земли, и во многих местах лечение малярии теперь бесполезно, поскольку болезнетворный организм развил средства борьбы с ним. Мутация и естественный отбор помогли обеим сторонам выжить.

У паразитов есть множество тактик. Хлорохин был разработан в 1940 году. Сорок лет назад его использовали почти везде. В 1960-е резистентность к нему появилась в Юго-Восточной Азии и Южной Америке, и в настоящее время распространилась в тропическом мире. Одно из средств защиты напоминает механизм, используемый раком для борьбы с лекарствами. Производится огромное количество белка-переносчика, и лекарство выкачивается из клетки в пятьдесят раз быстрее нормального темпа. Также появились гены, которые придают устойчивость к другим препаратам, иногда к нескольким одновременно. Военный институт Уолтера Рида в США проверил более чем четверть миллиона соединений в поисках новых противомаларийных лекарств. Пригодными оказались только два. Одним из них был мефлохин, и в Таиланде почти все паразиты сейчас к нему устойчивы. Медицина теперь обратилась к последнему средству, и ничего нового в обозримом будущем не видно. В результате врачи возвращаются к хинину и к экстракту полыни (который впервые был использован в Китае тысячу лет назад), токсичным и не очень эффективным методам лечения.

История генной инженерии, на момент написания этих строк, может показаться не слишком отличающейся от истории войны против насекомых, где эволюция одерживала победу после начальных неудач. Но все не так мрачно. Для некоторых целей инсектициды поработали хорошо, и продолжают выполнять свое назначение. Без них не было бы никакой зеленой революции, вши все еще могли бы разносить сыпной тиф по более бедным частям Европы, и малярия убивала бы гораздо больше, чем это происходит сегодня. Со временем, экономика, несомненно, восторжествует над истерией, когда дело дойдет также до генетически модифицированных растений. Триумф изобретательности не будет безоблачным. Что касается новых попыток проектировать природу, только в одном можно быть уверенным — природа ответит неожиданным образом. Поскольку живые организмы в ответ на новые посягательства будут эволюционировать, генные инженеры, в отличие от тех, кто строит мосты, должны столкнуться с перспективой, что их новые игрушки будут сопротивляться.

## Глава шестнадцатая.

### СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЕТЕЙ

Генетики никогда не пользуются нецензурными словами, но все чаще слышат их в свой адрес. Название этой главы взято из подзаголовка великого произведения Мэри Шелли. Ее монстр используется снова и снова, чтобы поносить усилия ученых. Франкенштейн чуть не получил шотландскую супругу, поскольку его создатель отправился на Оркнейские острова, чтобы сделать женщину для своего первого творения. Он уничтожил ее в последний момент: "Даже если бы они покинули Европу и поселились в пустынях Нового Света, уже одним из первых результатов того сочувствия, которого жаждал демон, были бы дети, и раса дьяволов распространилась бы на земле, сделав само существование человеческого вида сомнительным, полным лишений и страха. Имел ли я право, ради собственной выгоды, наложить это проклятие на будущие поколения?"

Два столетия спустя, в двухстах милях к югу, в Скоттиш-Бордерс, родилась овечка, которая, согласно заметке в газете "New World", сразу превратилась в хищницу и пожирала своих товарищей по стаду. Она стала самой известной овцой в истории. Долли не была проклятием, а имела мягкий характер (хотя, подобно некоторым биологам — не говоря уже о своих создателях — она с блеянием устремлялась вперед каждый раз, когда видела камеру). Воспроизведение без секса попало в заголовки. На самом деле, подобное проделывалось и ранее, но общественность этим не очень интересовалась, даже когда в 1985 году гены из зародышевой клетки овцы были введены в другую яйцеклетку и выращена клонированная овечка.

Долли была другой. Ее рождение в 1997 поразило исследователей, потому что ее гены были взяты из взрослой клетки, которую заставили впасть в младенчество и начать все заново. С тех пор было много других клонированных млекопитающих — овец, мышей, коров и коз — и еще больше находятся в процессе клонирования. Яйцеклетка, из которой была создана овца Трейси, была спроектирована, чтобы производить в молоке дорогое лекарство, и вскоре могут появиться коровы, дающие грудное молоко. У самой Долли есть дочь, Бонни, произведенная традиционным половым путем, а потомки Трейси и ее товарищей могут разрастись в фермерские стада, стоимостью в миллионы.

А что насчет идеального клона? Люди издавна выбирали партнеров, но теперь впервые появился шанс сделать наиболее совершенный выбор, выбрать ребенка по своему образу. Что из этого выйдет — не совсем понятно (напишет ли клонированный Моцарт "Дон Жуана"?), и не совсем понятно, зачем кому-то это делать; но хор общественности против этого. Всемирная организация здравоохра-

нения называет процедуру клонирования "противоречащей неприкосновенности человека и морали", а Европейский парламент убежден, что клонирование ... не может ни при каких обстоятельствах быть оправданным или допущенным любым обществом, потому что это — серьезное нарушение основных прав человека и противоречит принципу равенства людей, поскольку это разрешает евгенический и расистский отбор человеческого рода, оскорбляет человеческое достоинство и требует экспериментирования на людях, тогда как Ватикан уверен, что это "противоречит нравственному закону", поскольку это — "противоречит величию человеческого деторождения и супружеского союза". Политики возбуждаются, когда видят возможность пиара, но создатель Долли — чьи взгляды заслуживают уважения — называет клонирование человека "опасной затеей; ненужной и вообще отвратительной" (что не останавливает семь процентов американцев, которые, согласно одному опросу, были бы счастливы клонировать себя).

Клонирование, однако, это всего лишь последний этап в манипулировании нашей репродуктивной техникой. Большинство людей готовы согласиться на прерывание беременности по генетическим причинам; и, несмотря на опасения по поводу модифицированных растений и животных, ничего не имеют против генной терапии, которая рано или поздно осуществится. Тем не менее, вмешательство в следующие поколения путем проектирования искусственной яйцеклетки или спермы, или с помощью клонирования — это, похоже, уже слишком.

Еще до Долли половая технология начала бурно развиваться. Спрос высок. Каждая шестая супружеская пара страдает от бесплодия, и выкидыши происходят примерно в одинаковой пропорции при всех беременностях. По меньшей мере, миллион людей рождены путем искусственного оплодотворения, и к 2005 году может быть еще столько же тех, кто был зачат в пробирке. Действительно, шансы на репродуктивный успех в таком сосуде выше, чем при попытке иметь ребенка с помощью более традиционных средств. Теперь такие методы начинают изменять практику генетики.

Многие врожденные болезни, от фенилкетонурии до муковисцидоза, можно с определенным успехом лечить. Такое лечение борется с симптомами, вместо того, чтобы устранить фундаментальную причину — не более того, что медицина делает при большинстве заболеваний. Генная терапия дает надежду на излечение. В своем чистом виде она дает надежду на замену дефектного участка ДНК нормальным аналогом и добирается до самого источника проблемы. Идея мощная: и никто из тех, кто признает необходимость пересадки сердца и легкого, не может быть против идеи замены куска нуклеиновой кислоты. Какими бы ни были обещания, генотерапия, к сожалению, не смогла их выполнить.

В принципе, эта работа должна быть если не легкой, то, по крайней мере, осуществимой. ДНК могут быть вставлены в клетки в культуре разными способами. Копии, созданные в лаборатории, внедренные с помощью вируса или окутан-

ные в оболочку жира, воспринимаются клеткой как свои собственные. Рабочие гены могут быть внедрены в клетки даже выстрелами золотых шариков, покрытых ДНК из крохотного пистолета. Двадцать лет назад были большие надежды, что такие технологии могли бы совершить революцию в медицине. Было много заявлений об успехах, но только одно получило серьезное подтверждение. Тяжелый комбинированный иммунодефицит является наследственной недостаточностью иммунной системы, которая возникает из-за отсутствия некоторых ферментов. Детей с этим заболеванием сохраняют в пластмассовом боксе для снижения вероятности заражения и делают пересадки костного мозга и инъекции фермента, чтобы помочь их защитной системе. Клетки, которые испытывают недостаток в ключевом белке, были 'вылечены' соответствующей ДНК. Несколько детей были вылечены с помощью такой клеточной инженерии. Они еще живы и даже ходят в школу. Поскольку большинству из них также давали вытяжки фермента, еще не бесспорно, что улучшением своего здоровья они обязаны генной инженерии.

Каким бы ни был успех, все другие заявления были преждевременны. Были подвергнуты лечению приблизительно двести пациентов с муковисцерозом, и лучшим результатом было небольшое и временное улучшение симптомов. Технология имеет и свои риски. Одному американскому пациенту с заболеванием печени вводили генно модифицированный вирус, вызывающий простуду, в результате чего он умер. Многие другие не выжили при испытаниях (хотя большинство из них уже были безнадежно больны). Некоторые из наиболее часто встречаемых заболеваний вылечить будет трудно. Лечение серповидноклеточной анемии требует воздействия на очень малое количество клеток глубоко внутри костного мозга, так как именно они, а не эритроциты, производят дефектный гемоглобин. Для таких болезней как мышечная дистрофия, возможно, потребуется доставить ген прямо к миллионам отдельных мышечных клеток и гарантировать, что он включен на нужный уровень активности.

Молекулярную биологию можно было бы использовать в медицине многими другими способами, к некоторым из которых приклеился ярлык 'генотерапия'. Клетки могут быть спроектированы так, чтобы нести гены, которые разрушают раковые клетки или предотвращают их деление. Может быть, можно ввести ДНК, которая стимулирует защиту собственной иммунной системы в самих раковых клетках, заронив в них семена их собственной гибели. Другая прекрасная идея состоит в том, чтобы вставить в такие клетки гены, преобразующие лекарственные препараты, а затем лечить их веществами, которые распадаются на яды — но только в раковых клетках. Выявление последовательности ДНК дефектного гена также открывает перспективу создания "антисмысловой" нуклеиновой кислоты, которая связывается с генетическим сообщением и блокирует его, чтобы выключить гены, которые работают некорректно. Это все в будущем.

Новая биология вселяет большие надежды на улучшения в диагностике. Молекулярные исследования могут обнаружить мутации задолго до того, как проявятся их признаки. Раковые клетки часто развивают необычные антигены на своей поверхности, поскольку включены новые гены. Это может дать возможность узнать форму нужного белка и подобрать пару, которая встраивается в соответствующее место. Это не только покажет, где находится поврежденный участок, но, если препарат присоединен, направит лечение точно на цель.

Инженерия может сделать еще больше: в теории, ее можно использовать для лечения еще не родившихся поколений. У мышей это уже удалось. Гены, встроенные в сперматозоид или яйцеклетку, могут передаваться следующему поколению. Зародышевая линия мышей была изменена. Такие "трансгенные мыши" являются ценными инструментами исследования. Если ввести гены болезни человека, мышью можно использовать для изучения симптомов (хотя они могут отличаться от тех, что встречаются у самих людей), а также мыши могут использоваться для тестирования препаратов. Трансгенные мыши были созданы для изучения серповидно-клеточной анемии и других наследственных болезней, как и трансгенные свиньи с некоторыми генами, изменяющими клеточные поверхности у человека. Их органы — сердце и почки — имеют нужные для трансплантации размеры, и поэтому больше подходят для человека-реципиента. Такие свиньи выглядят как свиньи, но для нашей иммунной системы напоминают человеческое существо. Поддельное сердце еще не использовалось для трансплантации, но вскоре такое возможно. Поскольку более ста пятидесяти тысяч человек умирают в Великобритании каждый год только потому, что невозможно найти соответствующий орган, это может стать актуальным для медицины.

Каждое лечение должно работать по правилам. Каждый имеет права на собственное тело и может решить, стоит ли соглашаться на лечение. Та же логика может быть применена к генам. Замена поврежденной ДНК, если она станет возможной, не сильно отличается от пересадки почки, и человек, который ее получает, должен сделать такой же выбор. Изменение генов в сперматозоиде или яйцеклетке отличается тем, что оно изменяет судьбу тех, у кого нет возможности выбора. Многие считают, что по этой и по другим причинам зародышевая терапия является неприемлемой, и они попытались добавить к Всеобщей декларации прав человека утверждение, что каждый человек имеет право на генетическую конституцию, которая не должна меняться.

Учитывая, что любое медицинское улучшение, вероятно, изменит гены будущих поколений, это утверждение кажется слишком всеобъемлющим, и неудачи сегодняшней генной терапии отбрасывают эту идею в область спекуляций. Однако, другой ряд технологий, которые когда-то казались невозможными — в отличие от самих генных манипуляций — оказался удивительно простым. Их потен-

циальное применение на людях вызвало бурю возмущения; но в этом нет ничего нового.

Внеутробная генетика позволяет контролировать деторождение. Она варьируется от искусственного оплодотворения и суррогатного материнства до терапии зародышевой линии и клонирования. Ее внедрение было встречено с ужасом (и британских детей, рождённых путем донорской инсеминации, определяли как незаконнорожденных из-за возражений епископов), но большинство людей, в конечном итоге, ее признали. Однако, как выразился Раскольников в "Преступлении и наказании": "Ко всему-то подлец-человек привыкает!" Философы говорят о 'факторе неприязни', автоматическом отвращении к вмешательству в наше воспроизводство. Сорок лет назад именно на этих основаниях в Великобритании считалось незаконным сохранение зрения путем пересадки роговицы мертвого человека. Философия, кажется, не очень поможет слепым.

Первое зарегистрированное искусственное оплодотворение было проведено в восемнадцатом столетии шотландским анатомом Джоном Ханрером, использовавшим шприц, чтобы оплодотворить женщину от мужа, у которого был деформированный пенис. С тех пор помогать работе природы стало обычным делом. Искусственное оплодотворение вне тела пришлось ждать до 1978 года, когда сперматозоиды встретились с яйцеклеткой в пробирке, чтобы произвести Луизу Браун. Эта технология не так проста, как кажется, поскольку из потенциальных матерей нужно извлечь яйцеклетки на нужном этапе развития, но, несмотря на это, примерно одна из четырех попыток завершается успехом. После гормонального лечения яйцеклетки всасываются из яичника тонкой иглой и оплодотворяются соответствующей спермой. Это не обязательно происходит сразу же, так как яйца можно заморозить для дальнейшего использования. После нескольких делений оплодотворенная яйцеклетка возвращается в матку; либо собственной матери, либо, если та имеет репродуктивные проблемы, в матку матери-волонтера. Часто используют несколько яйцеклеток (что иногда приводит к рождению нескольких детей), и иногда шар из развивающихся клеток проверяют, не несет ли он генетическую аномалию, прежде чем продолжить дальше. В Британии примерно один новорожденный из ста является ребенком из пробирки, и таких детей в мире сегодня около полумиллиона.

Часто проблема заключается в мужчине. Возможно, его сперма такого низкого качества, что не может проникнуть в яйцеклетку. Иногда она даже совершенно не в состоянии двигаться и не может выйти из яичек. В таких случаях сперму можно извлечь иглой и ввести головки сперматозоидов в яйцеклетку. Оплодотворение закончено, яйцеклетка имплантируется или замораживается для дальнейшего использования. Некоторые же полагают, что, учитывая увеличение генетических повреждений у детей пожилых родителей, было бы разумно, чтобы женщина замораживала образец своей яйцеклетки, будучи подростком, чтобы

обеспечить здоровье будущих детей. Для мужчины эта задача была бы еще проще.

Все это привело к разногласиям (в том числе по вопросу о том, кому может принадлежать сперма мертвого мужчины), но это становится частью медицинской практики, с сотнями клиник, доступных по всему миру. Генетику часто привлекают, чтобы проверить оплодотворенную яйцеклетку на дефекты. Суррогатное материнство тоже стало обычным явлением, так как первая оплодотворенная яйцеклетка была пересажена неродственной женщине в Исландии в 1989 году. Это несет некоторые неприятные напоминания о социальной реальности. Почти в каждом случае суррогатная мать более бедная и менее образованная, чем женщина-донор яйцеклетки (что не удивительно, при стоимости в Соединенных Штатах до \$ 50 000 за беременность). Для всех этих процедур фактор неприязни был забыт, но для клонирования остается.

Я пишу это как клон и сын клона, и один из немногих британских граждан, имеющих право на кровосмешение. Конечно, клон: мы все одни из них, поскольку миллиарды клеток, из которых мы состоим — каждая из них — является копией оплодотворенной яйцеклетки, которая нас создала, воспроизведенной без помощи секса. Моя мать, между прочим, является близнецом (одним из примерно двухсот тысяч в Великобритании), так что другой человек имеет одинаковые с ней гены. Ее сестра-близнец (ее клон) в свою очередь имеет дочь, которая юридически является моей двоюродной сестрой, но в генетическом плане — единоутробной сестрой. Этот вопрос никогда не поднимался, но у нас нет юридических препятствий для вступления в брак, хотя она является моей близкой родственницей.

Моя мать и тетя — разные люди, так почему мы боимся клонов? Клонирование, в конце концов, широко распространенное явление. Необычным является именно половое размножение — заставить две клетки слиться, чтобы сделать одну — это, в некотором смысле, антитеза воспроизводства (которое, в своей клоновой версии, подразумевает разделение одной клетки на две). Многие живые существа, от грибов до ящериц, обходятся без него (и даже индеек можно заставить откладывать яйца без помощи самцов). Картофель является клоном, и животные могут, в принципе, размножаться таким же образом. Возьмите эмбрион на начальных стадиях, разделите его на части, и каждый из них может вырасти в идентичного близнеца. Такое успешно проводили с макаками-резус и, несомненно, могли бы также сделать с людьми. Овец и коров разделяли на стадии восьми клеток, что давало (пока) не более пяти идентичных потомков. Коровы из одного стада могут сильно отличаться по количеству молока, которое они дают, и поскольку это занимает несколько лет на поколение, гораздо более эффективно клонировать чемпионку, а не спаривать ее с каким-нибудь предпочтительным быком. В 1990-е годы этот метод был использован селекционерами в Соединенных Штатах. Он потерпел неудачу, так как телята, как правило, по некоторым причинам,

развивались гораздо крупнее, чем обычно, и умирали или требовали дорогостоящего рождения кесаревым сечением.

Клонирование типа Долли является более сложным, с переносом ядер между клетками, но, в конце концов, это просто другая форма репродуктивных технологий. Она следует традициям великого итальянского биолога Спалланцани, который искусственно оплодотворил суку в 1782 году. Само клонирование — выращивание организма из яйцеклетки, содержащей чужой набор генов — началось в 1950-е годы с лягушек. У них ленивые эмбрионы, потому что лягушачьи яйца так нафаршированы питанием, что они делятся на несколько тысяч клеток, прежде чем используют какой-либо из своих собственных генов. Поэтому их яйца вряд ли заметят вставку другого куска ДНК, ведь они хорошо развиваются до того, как им понадобится генетическая информация. У овец проходит всего четыре клеточных деления — эмбрион в 16-клеточной стадии — прежде чем включатся их гены, в то время как у людей ДНК становится активной после трех делений, у свиней после двух, а у мышей еще до начала клеточных делений. Эта небольшая задержка может объяснить, почему овец оказалось легче клонировать, чем это предполагает работа с мышами (которые упорно не принимали чужеродных генов).

Помимо простого тщеславия или неприязни к противоположному полу, клонирование может помочь бесплодным людям. Например, мужчина не может производить сперму: и одно из его клеточных ядер можно вставить в яйцеклетку жены, чтобы сделать клон. Или один из партнеров имеет генетическую болезнь и предпочитает использовать гены другого, чтобы избежать риска для ребенка. Есть также различные эксцентричные идеи об армии из клонированных копий того или иного диктатора. Будут ли они подчиняться приказам, это другой вопрос, но любой клонированный ребенок, идентичный своему родителю, скорее всего, испытает определенное разочарование, если не сможет оправдать ожидания.

Все эти вероятные сценарии в настоящее время запрещены законом — или неосуществимы. Весь этот ажиотаж вокруг того, что могло бы быть сделано, должен сдерживаться реализмом. Клонирование, даже овец — сложное дело. Сначала нужно взять яйцеклетки, которые должны обеспечить подготовку ядра. Его сливают с яйцеклеткой, потерявшей свое ядро, бьют электрическим разрядом — в манере Франкенштейна — и помещают в половые пути другой овцы. Тех, что проходят это испытание, затем переносят в самую суррогатную мать. Долли была единственной удачей из трехста экспериментов, большинство клонированных коров, овец и мышей родились мертвыми или уродливыми. Для людей, в настоящее время, перемещение клеточных ядер просто слишком опасно. Даже в этом случае кажется почти бесспорным, что клонирование, по крайней мере, в одной форме, станет частью медицинской практики.

В начале 1980-ых было установлено, что клетки мышинных эмбрионов могли сохраняться живыми в лаборатории, и что некоторые, вместо того, чтобы пройти путь к взрослой жизни, остались навсегда молодыми: готовыми развиваться в любую ткань, если их к этому побудить. Они сохранялись как вечные подростки в течение максимум десяти лет. Методика включает определенную хитрость с различными факторами роста, добавленными в культуру. Эти эмбриональные стволовые клетки, как их называют, когда их вводят в другой развивающийся эмбрион, с удовольствием развиваются в клетки крови, нервов и так далее; или, если оказываются в нужном месте, в сперматозоиды или яйцеклетки. Реципиент растет как химера; смесь клеток с различными генами — по сути, мышшь с четырьмя родителями.

Человеческие эмбрионы тоже содержат стволовые клетки, но так как их получают из дополнений, сделанных после оплодотворения в пробирке, их использование вызвало споры. Они могли быть полезными в создании кожи для пострадавших от ожогов, замены поврежденных нервных клеток людей с болезнью Паркинсона, или даже при производстве целых органов, или для пересадок, или замены старой ткани на новую. Большинство болезней в наше время является следствием старости; и, учитывая потенциал таких клеток в борьбе с болезнями сердца, раком и так далее, больше половины человечества могла бы извлечь выгоду из их использования.

Нервные клетки из эмбрионов, вставленные в мозг пациентов с болезнью Паркинсона, могут облегчить симптомы их медленных движений и ригидности: похоже, такие незрелые клетки, могут изменить свои свойства, адаптировавшись к взрослому мозгу, в котором они оказались. Даже у взрослых есть стволовые клетки в таких частях тела, которые часто восстанавливаются, вроде крови, мышц или печени. Такие клетки могут быть перенастроены выполнять новые и совершенно разные функции. Из стволовых клеток мозга или мышц, при некоторой стимуляции, будут создаваться клетки крови, в то время как костный мозг еще более гибок, поскольку его стволовые клетки могут превращаться в мозг, печень и мышцу. Внедрение взрослых стволовых клеток из костного мозга здорового пациента может укрепить кости детей с наследственными повреждениями скелета, и тот же подход может снизить тяжесть симптомов у людей, страдающих болезнью Хантингтона. Возможно, можно помочь другим поврежденным тканям, затронутым болезнью Альцгеймера или диабетом. У мышей клетки нормального эмбриона вводились мутантным животным, у которых не хватало части изолирующей оболочки вокруг определенных нервов (структур, повреждаемых при рассеянном склерозе), восстанавливая недостающий материал. Такие клетки, введенные в парализованных крыс, восстанавливают движение. Стволовые клетки встречаются редко в костном мозге, примерно, одна на десять миллиардов — и не все новости хороши; у мышей такие клетки, введенные во взрослых, могут превратиться в

опухоли, и может быть, необходимо добавить ген самоубийства, чтобы уничтожить их, если они станут опасными. Их высокая гибкость может вызвать проблемы — кто, в конце концов, хочет, чтобы у него в мозгу выросли зубы?

Если стволовые клетки себя оправдают, начнется новая эра медицины. Возможно, все будут хранить запас замороженных клеток, взятых при рождении, в ожидании, что они будут необходимы позже, для восстановления органа, который выйдет из строя из-за возраста или болезни. В более скромных масштабах, у каждой больницы должна быть возможность заполнить морозильник такими клетками, взятыми у тысяч различных людей, в надежде, что одна из них подойдет какому-то будущему пациенту, который не сохранил свои собственные. Даже если надежда на новые органы не сбудется, их можно спроектировать так, чтобы сделать стойкими к препаратам против рака, или чтобы любого, кому не повезло заболеть в более позднем возрасте, можно было лечить с помощью больших доз, и его кроветворная способность поддерживалась материалом, сохраненным в замороженной юности.

Химеры, созданные с помощью стволовых клеток, иногда используют их, чтобы сделать не печень или мозг, а сперму или яйцеклетки. Тогда все потомство химеры похоже на стволовые клетки родителя, и, если этот организм был модифицирован, будет нести встроенный ген. Это сыграло решающую роль в истории Долли. Замечательное животное, Долли, в конце концов, была просто овцой. Добавляя небольшую долю ДНК, миллионы клеток в чашке для культивирования можно вынудить заграбастать чужой ген и, если повезет, заставить его делать свою работу. Вставка таких измененных стволовых клеток в организм другого животного делает у млекопитающих то, что раньше было возможно только с бактериями. Преемница Долли, Полли, была клонирована из клеток, которые содержали человеческий ген белка крови, отсутствующего при одной из форм гемофилии, прикрепленный к выключателю белков овечьего молока. Таким образом, можно преобразовать клетки овцы, и из одного спроектированного животного можно вырастить целое стадо. Возможно, много их не понадобится: тысяча животных может удовлетворить мировой спрос на фермент, используемый для помощи пациентам с эмфиземой, но каждое из них может быть оценено во многие тысячи долларов.

Широкая публика обладает впечатляющей способностью к скуке; и многие методы, используемые, чтобы манипулировать генами и производить животных без секса, становятся обыденными. В 1998 году Швейцария, где начинается готическая сказка Франкенштейна, провела референдум о том, следует ли запретить вообще генную технологию, включая электрическое слияние. Это движение потерпело неудачу, и исследования продолжились. Возможно, клонирование себя через несколько лет будет стандартной медицинской технологией.

Отрывок, написанный в 1818 году, о первом швейцарском эксперименте генной инженерии: "С тревогой, почти переходящей в агонию, я собирал вокруг себя инструменты жизни, которыми я мог бы заронить искру бытия в безжизненную вещь, которая лежала у моих ног. Уже был час ночи, дождь зловеще барабанил по стеклам, и моя свеча почти догорела, когда в проблесках почти погасшего света я увидел, что тусклый желтый глаз существа открыт; оно тяжело дышало, и судорожное движение пробежало по его конечностям." Он читается лучше, чем его современный эквивалент: "Рождение ягнят из дифференцированных эмбриональных и взрослых клеток укрепляет предыдущее предположение, что, заставляя донорские клетки оставаться пассивными, будет возможно добиться нормального развития среди большого разнообразия дифференцированных клеток." Сообщение о происхождении Долли, пожалуй, не перекликается с Мэри Шелли; но оно знаменует начало эры, которую будут упрекать в самой готической из фантазий. А что бы подумал духовный предок Долли, этот неудавшийся шотландский клон, невеста Франкенштейна?

## Глава семнадцатая.

### ЭВОЛЮЦИЯ УТОПИИ

Одна из причин, почему научная фантастика столь скучна, состоит в том, что она почти вся одинакова. Монстры могут отличаться, но не сюжеты. То же самое верно для большинства воображаемых Утопий. От "Войны миров" до "Планеты обезьян", появляется инопланетная форма жизни, одолевает человечество и погибает из-за своих собственных недостатков. В большинстве романов о будущем игнорируется один из немногих предсказуемых аспектов эволюции — ее непредсказуемость. Ни один динозавр не мог предположить, что потомки животных, подобных землеройке, которые путались у него под ногами, скоро придут ему на смену, и шимпанзе, которые превосходили людей численностью сто тысяч лет назад, огорчились бы, увидев, что их близкие родственники теперь процветают, в то время как их потомки — вымирающий вид.

Эволюция всегда надстраивается над своими недостатками, вместо того, чтобы начинать все заново. Отсутствие великого плана — это то, что делает жизнь столь приспособляемой, а людей — величайших конъюнктурщиков — столь успешными. Этот прагматический подход означает, что предположения о будущем эволюции сомнительны. Как говорил Гегель, величайший урок истории в том, что она никого ничему не учит.

В самых ранних утопических романах Томаса Мора общества будущего весьма отличались от современных писателю. У них могли бы быть золотые ночные горшки; но на том воображение заканчивалось. Люди, которые мочились в них, были во многом подобны тем, которые предпочитали этот металл копить. После Дарвина Утопия эволюционировала: общество осталось тем же, но вместо этого изменились люди. Многие из самых известных утопических романов сводят свое видение будущего к Дарвину. Сэмюэл Батлер, автор романа "Едгин" (в первой версии названного "Дарвин среди машин"), разделивший образование — школу Шрусбери и Кембридж — с этим великим человеком, сам был увлеченным эволюционистом (хотя и антидарвинистом). "О дивный новый мир" Олдоса Хаксли во многом обязан своим сюжетом его биологическому брату Джулиану и их дедушке Томасу Генри Хаксли, бульдогу Дарвина. Герберт Уэллс — чья Утопия в "Машине времени" была основана на эволюционной теме человеческого рода, распавшегося на два вида — сам написал биологический учебник с Джулианом Хаксли; и, как мы знаем, Джордж Бернард Шоу, автор пьесы "Назад к Мафусаилу", был последователем Гальтона и появлялся вместе с ним на публике.

Иногда связь между утопическим романом и евгеникой очевидна. Шоу считал, что "если мы хотим определенного типа цивилизации, мы должны истребить

людей, которые в нее не вписываются". Герберт Уэллс, в своем научном видении грядущего мира, (ныне мализвестном) "Предвидении воздействия прогресса механики и науки на человеческую жизнь и мысль", опубликованном в 1901 году, выступал в защиту эвтаназии для "слабых и чувственных" и геноцида "для грязно-белых и жёлтых людей, которые не обладают потребной дееспособностью". Многие утопии не были бы удобными местами для тех, кто был бы вынужден в них жить.

Эта книга была рассказом о том, как человечество эволюционировало по тем же самым правилам, которые способствовали развитию менее амбициозных существ. Люди, конечно, не просто обезьяны с большой буквы. У нас есть два уникальных свойства: знать прошлое и планировать будущее. Оба таланта гарантируют, что наши перспективы зависят от намного большего, чем гены. Тем не менее, отталкиваясь от биологической истории, можно сделать некоторые предположения о том, каким может быть эволюционный прогноз.

Один пессимистичный, но точный прогноз предполагает вымирание. Примерно один человек из двадцати, живших когда-либо в истории, живет сегодня, но лишь один из тысячи различных видов животных и растений сохранился поныне. Наш вид переживает свой подростковый возраст, примерно сто пятьдесят тысяч лет, что в несколько раз меньше, чем возраст наших родственников. Его кончина, будем надеяться (несмотря на успехи ядерной физики) далека, и мы можем, по крайней мере, задуматься о том, что может произойти до этого.

Правила эволюции просты и неизменны. Они подразумевают появление новых генов путем мутации, их проверку естественным отбором и случайные изменения, хотя некоторые из них, как окажется, не могут быть переданы. Размышления о будущем каждого процесса являются предсказанием человеческой эволюции. Будет ли Утопия похожа на свои вымышленные аналоги; продолжим ли мы эволюционировать так же быстро, как после нашего появления, или же наша эволюция прекратится?

Люди уже вмешивались в свое биологическое наследие, с тех пор как они появились на земле. Каменные орудия, сельское хозяйство и частная собственность — все это влияло на общество и, в свою очередь, на гены. Многие люди обеспокоены тем, что следующая фаза истории будет фазой, когда генетики будут планировать будущее. Это потребует слишком больших знаний. Спонтанное изменение — случайная эволюция — будет гораздо значительнее, чем любая сознательная попытка спроектировать собственную биологию.

Даже самые решительные усилия врачей, генетических консультантов или генных терапевтов окажут лишь небольшое влияние на будущее. Частично причина в целительной силе физического влечения: в желании людей иметь детей по причинам, которые не имеют ничего общего с наукой. Остальное — вопрос арифметики. Для рецессивных заболеваний, значительно больше генов скрыты в

нормальных людях, чем в больных — в сто раз больше для муковисцидоза и в тысячи раз для более редких болезней. Что бы ни случилось с теми, кто получил две копии — умрут ли они в младенчестве или из-за прерывания беременности, или будут вылечены с помощью генной терапии — для будущего это более или менее несущественно. Социальное давление на генетических несчастливцев снизилось. В 1950-ых лишь небольшое меньшинство хондродистрофических карликов нашло себе супруга, но теперь более восьмидесяти процентов из них женаты, больше, чем когда либо при тех же самых обстоятельствах. Они часто имеют детей, но, несмотря на это, у большинства новорожденных эта болезнь появляется — как это всегда было — из-за новой мутации.

По этой же причине многие наследственные заболевания появляются заново в каждом поколении. Означает ли это, как утверждают многие антиутописты, что эволюционное будущее в опасности из-за увеличения частоты мутаций? Г. Дж. Мёллер, который получил Нобелевскую премию за открытие мутагенного действия радиации, сам написал мрачный роман будущего "В ночи", в котором жизнь была омрачена накоплением генетических повреждений. Возможно, современная цивилизация, с ее сомнительными преимуществами ядерной радиации и отравляющих химических веществ, приведет к повреждению нашего генетического наследия. Конечно, такие вещи действительно изменяют ДНК, но очевидные угрозы, такие как искусственная радиация и отходы промышленного производства, оказывают меньшее влияние, чем естественные источники, такие как радонный газ, который просачивается из гранита, и ядовитые вещества, содержащиеся в плесневелых продуктах. Атомная электростанция в Селлафилде, в северной Англии, является одной из самых грязных в западном мире (и Северное море — наиболее радиоактивный ее водоем). Само название станции мутировало из Колдер-Холл в Виндскейл и в Селлафилд, в слабой попытке успокоить подозрение общественности. По сравнению с другими источниками радиации ее воздействие незначительно. Завятые потребители моллюсков, собранных около сливной трубы (а их не так много), получают почти столько же лишней радиации, как и те, кто летает из Лондона в Лос-Анджелес и назад четыре раза в год, подвергаясь воздействию космической радиации.

На частоту мутаций оказали значительное влияние менее заметные изменения. По крайней мере, в западном мире, изменение возраста, в котором люди рожают детей, предполагает, что количество повреждений ДНК будет снижаться. Частота мутаций повышается с возрастом, и этот эффект ускоряется с течением лет. В основном мутации (за исключением хромосомных мутаций, большинство которых настолько разрушительны, что не переходят в следующее поколение) происходят у мужчин. Частота мутаций у отцов в тридцать пять лет ненамного превышает частоту мутаций у восемнадцатилетних, но после прохождения этого момента середины жизни уровень повреждений взмывает вверх (до разницы

в двадцать раз, если сравнивать пенсионеров и школьников). Чем более старые отцы, тем больше у них генетических повреждений.

Люди теперь живут намного дольше, чем в прежние времена, позволяя мутациям сказываться на высоком проценте населения. Эпидемия рака в современном мире ограничена пожилыми людьми. Клетки, которые дают начало сперматозоидам или яйцеклеткам, также подвержены разрушительному воздействию возраста, поэтому пожилые родители с большей вероятностью будут иметь дефективных детей. Любое изменение в возрасте воспроизводства, следовательно, влияет на частоту мутаций. Если количество пожилых родителей растет, будет больше наследственных изменений, если оно уменьшается, их станет меньше. Социальный прогресс привел именно к такому сдвигу. Общая картина, которая применима к большей части третьего мира, а также развитых стран, трудноуловима и неожиданна.

До недавних улучшений в здравоохранении большинство детей умирало в юном возрасте. Родители начинали рожать детей, когда сами были молодыми, и продолжали до самой смерти или менопаузы. На протяжении всей истории в среднем пара имела двоих детей, или немного больше, как остается и поныне. Эта цифра теперь достигается по-новому: не возможностью дюжины рождений, сопровождаемых десятью смертями в младенчестве, а приблизительно двумя запланированными и здоровыми потомками.

Снижение детской смертности означает, что родители меньше вынуждены рожать детей в качестве страховки от старости. Контрацепция позволяет родителям отсрочить рождение их первого ребенка (сегодня в Великобритании в среднем до достижения двадцати лет), а затем быстро пополнить семью. Большинство людей вскоре после этого останавливаются. В результате, хотя возраст, в котором родители рожают первое потомство, увеличился, число пожилых матерей и отцов снизилось. Совсем недавно, в 1920-х годах, среднестатистическая англичанка начинала свою последнюю беременность далеко за сорок; этот возраст снизился почти на десять лет. Случайные рождения женщинами значительно старшего возраста с помощью современных технологий (самая пожилая оказалась на середине шестого десятка) так редки, что несущественны.

Мужчины старше тридцати пяти лет являются наиболее уязвимой группой, но данные для мужчин труднее собирать, чем для их партнерш. Мужья и жены, как правило, по крайней мере, примерно, одного возраста, так что, если не учитывать некоторых возрастных (и анонимных) любовников, эти цифры для женщин содержат большую часть информации по мужчинам. Аристотель советовал девочкам выходить замуж в восемнадцать, а мужчинам в тридцать семь. Хотя разница в возрасте между супругами меньше, чем по Аристотелю, мужья, как правило, на три-пять лет старше своих жен.

Изменения в половой модели стали наиболее очевидными в послевоенной Европе. В Великобритании, Польше и Швейцарии доля матерей старше тридцати пяти — и, следовательно, отцов старше сорока, группы наибольшего мутационного риска — снизилась с примерно двадцати процентов в 1950 году менее чем до пяти процентов в 1985 году. В том году в тогдашней Восточной Германией всего одна мать из пятидесяти была в возрасте старше тридцати пяти лет, что, вероятно, гораздо меньше, чем когда-либо в истории. В Ирландии влияние церкви и большое количество молодых людей, которые проводили время, работая за границей, еще несколько лет назад подразумевали, что единственным средством контроля над рождаемостью было воздержание. Большинство ирландцев не женилось до тридцати или даже позже, и до недавнего времени почти одна треть всех матерей (и более высокая доля отцов) была в критическом возрасте, что более чем в два раза выше, чем в Европе. Сейчас это число намного ниже (хотя все еще выше среднего). Эта тенденция несколько изменилась за последние два десятилетия, и число матерей в возрасте за тридцать пять увеличилось с его низшей точки, примерно одного к двадцати.

Общая картина остается ясной: пожилые матери (и отцы) более редки, чем в большей части прошлого. Это, безусловно, окажет влияние на частоту мутаций. Синдром Дауна (в десять раз более частый среди матерей старше сорока пяти, чем у подростков) в три раза более распространен в Пакистане (где почти нет планирования семьи), чем в Великобритании, потому что пакистанские матери старше, чем британские. В отношении мужчин, в Великобритании частота мутаций у них примерно в полтора раза выше, чем ожидалось бы, если бы все отцы были моложе тридцати, но в Пакистане этот показатель в три раза ниже. На данный момент, по крайней мере, это выглядит, как будто частота мутаций у людей снижается. Продолжится ли эта тенденция, не ясно, но она вызывает опасения по поводу новой расы мутировавших монстров.

Мутация является топливом эволюции, но, насколько можно видеть, эволюция редко его исчерпывает. Естественный отбор, однако, является его двигателем и, как большинство двигателей, часто ускоряется и замедляется, сообразно изменяющимся обстоятельствам.

Отбор — неуловимый процесс, и трудно спрогнозировать, каким может быть его будущее. Природа всегда сулит, как это часто было и прежде, неприятные последствия. Появление вируса СПИДа свидетельствует об опасности, что такое может случиться снова. Тем не менее, по крайней мере, в западном мире, некоторые из самых больших проблем возникли из-за контроля инфекционных заболеваний. Как только болезнь исчезает, судьба генов, которые с ней боролись, изменяется. Киприоты страдают от наследственной анемии, бета-талассемии, потому что она защищала их предков от малярии. Болезнь в настоящее время исчезла с острова, а распространенность носителей талассемии постепенно снижается

на несколько процентов в каждом поколении. Со временем, и, учитывая успехи в области здравоохранения, то же самое произойдет и со многими другими генами, которые сопротивляются инфекции в других регионах мира. Скоро они останутся только как немые и исчезающие свидетельства древнего прошлого.

Жизнь детей также стала лучше. Это важно, ведь изменения в выживании взрослых, существенные для отдельных людей, не сильно важны для отбора, потому что они убивают тех, кто уже передал свои гены. Для эволюции имеет значение смерть до воспроизводства. То, что происходит с остальными из нас, более или менее неважно. История одного наследственного признака, веса новорожденных, показывает, насколько эффективным может быть улучшение условий в раннем возрасте для снижения влияния естественного отбора.

При рождении выгодно иметь средний вес. Младенцы, весящие ниже нормы, само собой разумеется, выживают хуже, чем другие. Однако младенцы, весящие больше нормы, также более вероятно умрут в первые несколько недель. В 1930-ых приблизительно половина младенцев умерли на первом году жизни, потому что имели вес выше или ниже идеального. Различие всего в один фунт имело большое значение. Так как вариация этого признака отчасти генетическая, естественный отбор работал против генов крайностей веса при рождении, как это, несомненно, было изначально с момента возникновения нашего вида.

Сейчас такого отбора почти нет. Улучшенное выхаживание предполагает, что только младенцы, весящие гораздо меньше нормы или намного больше среднего, находятся в зоне риска. Интенсивность отбора снизилась более чем на две трети с 1950-х годов. В настоящее время риск невелик даже в том случае, когда ребенок на килограмм больше или меньше среднего веса. То, что когда-то было мощным фактором эволюции, исчезает.

Улучшение ухода за детьми также изменило соотношение полов в том возрасте, когда люди начинают выбирать партнера. При рождении немного больше мальчиков, чем девочек. У мальчиков, однако, было меньше шансов выжить из-за опасностей детства, что приводило к почти точному балансу полов в поздние подростковые годы. Теперь мальчики выживают почти так же хорошо, как девочки, так, что в будущем будет небольшой, но заметный избыток молодых мужчин, которые ищут свою вторую половинку. Если (и многие оспаривают эту идею) различия между мужчинами и женщинами в размерах или во внешнем виде обусловлены половым отбором, возможно, в ближайшие годы этот аспект нашей эволюции будет (в отличие от большинства его составляющих) прогрессировать, чтобы дать поколение более высоких, более волосатых, более сексуальных мужчин.

Есть лучшие способы изучения перспектив отбора, чем просто множить примеры того, как он работает. Естественный отбор действует только на различиях. Если бы все доживали до зрелого возраста, находили себе партнера и имели

одинаковое количество детей (все равно сколько, одного, двоих или десять), он не мог бы работать. Нам не нужно знать, какие задействованы гены, чтобы оценить, насколько важным может быть отбор. Простые изменения в картине рождений и смертей демонстрируют свое влияние в прошлом, настоящем и, возможно, в будущем.

В богатых странах значительно уменьшились различия между семьями по количеству выживших. Это значительно уменьшает силу эволюционного двигателя. Десять тысяч, даже двести лет назад, борьба за существование значила очень много. Скелеты из пещерных захоронений показывают, что лишь немногие доживали более чем до двадцати. Если древняя плодовитость была похожа на плодовитость современных племенных групп, каждая женщина имела около восьми детей, большинство из которых умерли в детстве. Девять десятых своей эволюции человеческое общество походило на деревенскую школу, с большим количеством младенцев, множеством подростков и несколькими, вероятно измотанными, выжившими взрослыми. Почти каждая смерть была потенциальным сырьем для отбора, поскольку затрагивала кого-то достаточно молодого, кто имел надежду на передачу своих генов. Сегодня девятью из десяти новорожденных британских детей доживают до восемнадцати лет, так что отбор, действующий через смерть детей, что было когда-то его основным режимом работы, практически исчез.

Только в последние несколько лет люди живут так долго, как могут. Впервые в истории большинство людей умирает старыми, возможно, настолько старыми, насколько это позволяет биология. В прошлом столетии продолжительность жизни возросла с сорока семи до семидесяти шести лет. Сейчас прогресс прекратился, по крайней мере, для некоторых социальных классов. В США в 1979 году белая женщина шестидесяти пяти лет могла рассчитывать прожить еще от пяти до восемнадцати с половиной лет. В 1999 году этот показатель был почти таким же. В Великобритании, даже если бы все инфекционные заболевания и все случайные смерти были бы устранены постановлением правительства, средняя продолжительность жизни выросла бы немногим более чем на год. Существуют еще возможности для прогресса из-за классовых различий в состоянии здоровья. Ребенок, родившийся у чернорабочего в Великобритании, может рассчитывать прожить на восемь лет меньше, чем ребенок, родившийся в семье квалифицированного работника, различие, которое, к нашему национальному позору, до недавнего времени увеличивалось. Несмотря на классовые эффекты, перспективы на какое-либо резкое увеличение продолжительности жизни туманны. Джордж Бернард Шоу был неправ. Мы не вернемся к Мафусаилу.

Это важно для эволюционного будущего. Увеличение числа стариков означает, что сегодня больше людей умирает по генетическим причинам, чем в прежние времена (в основном потому, что меньше людей погибают от насилия или

инфекций), но, как это ни парадоксально, это также означает, что отбор слабее. Гены, убивающие людей — это гены рака или болезней сердца, которые проявляются в конце жизни. Те, кто умирает, уже передали свое наследие. Естественный отбор намного менее силен в таких генах как эти, чем в тех, которые убивают молодежь.

Другие изменения в балансе рождения и смерти также уменьшают его возможности. Немногие современные народы так же плодовиты, как были когда-то. Гуттериты в Северной Америке стремятся иметь как можно большие семьи по религиозным причинам, но даже они, живя фактически в здоровом обществе, не часто имеют более десяти детей. На протяжении большей части истории, когда семьи такого размера были обычным явлением, у людей было столько потомков, сколько было возможно. Только в последнее время это число стало уменьшаться.

Новая модель существования (с меньшим количеством детей, чем когда-либо ранее, но с большим количеством людей, живущих, пока не остановятся их биологические часы) возникла примерно двадцать поколений назад, по сравнению с шестью тысячами поколений, прошедших с тех пор, как мы впервые появились на земле. В результате, эволюция изменила свой образ действий. Отбор в настоящее время больше воздействует на плодовитость, чем на выживание.

Разница в плодовитости среди семей резко увеличилась, когда контроль рождаемости стал популярен. Высшие сословия признали эту идею задолго до низов. Она прижилась у французской аристократии, и число детей в браке сократилось с шести до двух всего за сто лет. Викторианцы отличались своей плодовитостью. Сама Виктория в этом преуспела, и у мистера Куиверфула (мистера Большая семья) в "Барчестерских хрониках" Троллопа была дюжина детей, тогда как другие священнослужители благоразумно ограничивали свои собственные семьи двумя или тремя. Теперь, когда контроль над рождаемостью широко распространен, различие между семьями снизилось снова, но отбор по вариациям в количестве родившихся детей впервые в истории сильнее, чем отбор по количеству выживших. В результате, эволюционная судьба наших генов зависит больше от того, сколько детей мы желаем иметь, чем от возможности их выживания.

Все основные факторы отбора — болезни, холод или голод — воздействуют на выживание, а не на плодовитость. Сдвиг этого баланса может запустить новые и непредсказуемые эволюционные факторы. Возможно, более важными станут наследственные вариации в возрасте деторождения, поскольку те, кто рожают детей в более молодом возрасте, втискиваются в большее количество поколений, чем те, кто задерживают рождение своего первого ребенка. Наблюдается снижение возраста, в котором девушки становятся половозрелыми (хотя, в противоположность этой тенденции, западные женщины теперь выходят замуж на пять лет позже, чем полвека назад). Как это на них отразится, трудно сказать. Хорошее общее правило в биологии заключается в том, что никто не получает бесплатный

обед: успех на одном жизненном поприще должен быть оплачен поражением на другом. Эксперименты на дрозофилах показывают, что переход от высокой выживаемости к высокой рождаемости предполагает компромисс — те, кто производят много яиц, умирают молодыми. То же самое может произойти с людьми.

Все это споры о мелочах. Очевидно то, где естественный отбор отступил. Современная Индия — это показ в миниатюре того, как эволюция потеряла свой шанс формировать человеческие признаки. Континент охватывает широкий диапазон культур, от почти диких племен Кая до богатых горожан. Он воплощает в себе историю социальных изменений в рождении и смерти за последние несколько тысяч лет. Различия между людьми различных групп в шансах на выживание и в количестве детей показывают, что естественный отбор потерял 80% своего потенциала среди среднего класса горожан по сравнению с их соотечественниками, которые по-прежнему ведут племенной образ жизни.

Каким бы ни было ослабление (возможно, временным), нет никаких причин считать, что естественный отбор изменит свою тактику. Вместо того чтобы начинать все заново, находя идеальное решение для каждой конкретной задачи, он будет, как всегда, надстраиваться на наших недостатках. История дает мало оснований надеяться, что эволюция будет выступать как фактор человеческого совершенствования. Она никогда не сделает человечество сверхчеловеческим.

Сырье эволюции и её движущая сила на исходе и, как следствие, скорость изменений замедляется. Еще одно изменение в современном обществе неизбежно повлияет на наши перспективы. Оно связано с географией браков.

В течение большей части истории почти каждый должен был жениться на соседской девочке (или выходить замуж за соседского мальчика), потому что у них не было выбора. Общество базировалось на малочисленных группах или изолированных деревнях, и браки заключались в пределах группы. Во многих местах население было устойчиво в течение многих лет и, в результате, стало весьма близкородственным. Почти никто не передвигался. ДНК из мозга индейцев, утонувших в торфяной трясине во Флориде, показывает, что у людей, которых разделяет тысяча лет, почти одинаковые гены. Миграция была незначительна, и индейцам ничего не оставалось, как жениться на своих родственниках.

Такая картина сохранялась в большинстве стран Запада еще несколько лет назад и все еще сохраняется во многих частях мира. В большинстве мест она меняется. Увеличение браков вне группы — самое серьезное изменение в демографической истории развитых стран мира. Эффект становится все сильнее и сильнее, и вскоре он окажет большее влияние на генетическое здоровье, чем все, что в состоянии сделать медицина. Это также замедляет темпы эволюционного прогресса.

Некоторые общества когда-то поддерживали браки с посторонними людьми. В Османской империи талантливые люди рождались благодаря поощрению

браков между людьми из разных стран. Их дети считались "плодами объединения двух различных видов деревьев; большими и сочными, как королевские груши". В Южной Америке после прихода испанцев произошло то, что захватчики охарактеризовали как "завоевание женщин". Парагвай — место неудавшегося генетического эксперимента Элизабет Ницше — был известен как Рай Мохаммеда, где у каждого испанца было двадцать или тридцать индейских женщин. Губернатор оправдывал это, говоря, что "уважение, выказанное богу рождением метисов [детей смешанной расы, которые были воспитаны как христиане], больше, чем грех, совершенный этим деянием".

Аутбридинг, как правило, не является следствием целенаправленной политики. В основном он возникает, как и многие биологические явления, формирующие человеческие признаки, как побочный продукт социальных изменений. Центральную роль играют города и транспорт, поскольку предлагают более широкий круг потенциальных партнеров, чем в дни сельского уединения.

На Эолийских Островах недалеко от побережья Италии в 1920-ых четверть браков заключались между двоюродными или троюродными родственниками. Это число сократилось до одного из пятидесяти (и в Италии в целом сейчас составляет менее одного процента). Британия, с ее отсутствием крестьянства, живущего на своей собственной земле, всегда была более аутбредной, чем большая часть Европы, но увеличение аутбридинга можно увидеть и здесь, при поразительном снижении количества браков между кузенами с викторианских времен.

В других странах картина не такая простая. Некоторые общества поощряют браки между родственниками по экономическим причинам. Они до сих пор часто встречаются в индийских деревнях, где до половины всех союзов может быть между двоюродными братьями и сестрами или дядями и племянницами. Действительно, в Великобритании среди пакистанских иммигрантов уровень родственных браков выше, чем на их родине, возможно, из-за социальной изоляции. Почти половина британских пакистанцев репродуктивного возраста состоят в браке с двоюродными родственниками, и их доля выше, чем среди их родителей.

Грубый, но эффективный способ узнать, насколько родственны чьи-то предки, это спросить, как далеко друг от друга они родились. Если они родом из одной деревни, они могут быть родственниками, но если они родились за сотни километров друг от друга, это гораздо менее вероятно. Почти все сегодняшние расстояния между местами, где родились супруги, больше, чем расстояния, разделяющие места рождения их родителей. В свою очередь, современные отцы и матери почти наверняка родились дальше друг от друга, чем их собственные родители. В девятнадцатом веке в графстве Оксфордшир среднее расстояние между местами рождения партнеров по браку составляло меньше десяти миль. Теперь, более пятидесяти. В Соединенных Штатах это несколько сотен, так что большинство американских супружеских пар практически не родственны друг другу. Все

это показывает, насколько народы мира начинают сливаться. Наиболее важным событием в современной человеческой эволюции стало изобретение велосипеда.

Потребуется много времени, прежде чем смешивание завершится: приблизительно пятьсот лет, чтобы выровнять генетические различия между Англией и Шотландией — и, возможно, еще больше, чтобы избавиться от их культурных контрастов. Хотя до однородности далеко, тенденция обязательно будет иметь эволюционный эффект. Больше не будет большого числа детей с двумя копиями дефектной части ДНК, потому что их родители родственники. Подумайте о половом акте между африканской рабыней и белым рабовладельцем в ранней Америке. Есть вероятность, что каждый из них несет одну копию определенных дефектных генов. Самым распространенным отклонением у белых является муковисцидоз, у чернокожих — серповидно-клеточная анемия. Только дети, которые унаследуют две одинаковые копии, пострадают от врожденной болезни. Поскольку муковисцидоз неизвестен африканцам, а серповидно-клеточная анемия белым, ребенок от черно-белого брака застрахован от обеих.

Во многих частях мира иммигрантские общины сливаются с местными народами. Представьте себе, что десятая часть населения Британии была бы иммигрантами из Западной Африки (где каждый пятнадцатый является носителем гена серповидно-клеточной анемии) и свободно вступала в браки с местными жителями. Количество носителей серповидно-клеточности в следующем поколении нового смешанного британского населения возрастет в семь раз. Заболеваемость серповидно-клеточной анемией (которая требует две копии поврежденного гена, по одному от каждого родителя), сократится до девяноста процентов по сравнению с предыдущей ситуацией в обеих группах, рассматриваемых вместе. Большинство детей родились бы от родителей, представляющих два разных народа, один из которых — британский партнер — не является носителем серповидно-клеточного гена. Уровень местной британской проблемы, муковисцидоза, снизился бы на одну шестую.

Эта модель расовых смешений является упрощенной, но не лишенной оснований. Сейчас в Великобритании приблизительно один брак из тридцати — между людьми неевропейского происхождения; но втрое больше — между неевропейцем и кем-то, чьи предки родились на Британских островах. Гены темнокожих американцев свидетельствуют о том, в течение нескольких сотен лет имели место браки между американцами африканского и европейского происхождения. Эффект будет более быстрым в Великобритании, где межрасовые браки гораздо более приемлемы, чем в Новом свете. Такие изменения могут ознаменовать начало эпохи генетического благополучия. Увеличение аутбридинга означает, что рецессивные гены все чаще и чаще будут партнерами нормальных копий, которые скрывают их эффекты. Социальные изменения затмят усилия ученых улучшить

генетическое здоровье. Со временем смешанное население достигнет нового равновесия, и многие скрытые гены проявятся вновь, но это займет тысячи лет.

Случайная эволюция сформировала гены малых и изолированных народов, таких как буры в Южной Африке и жители острова Тристан-да-Кунья. В нашем новом мобильном мире шансы бутылочного горлышка и того, что эволюция будет происходить случайно, действительно невелики. Третья часть дарвиновского механизма — случайные изменения — как и два другие, потеряла большую часть своей силы.

Большим эволюционным событием прошлых трех столетий стал демографический взрыв. Ко времени первых американских колонистов население мира стало вдвое больше, чем во время первого Рождества Христова. С тех пор население увеличилось, достигнув шести миллиардов. Для всех живых существ эволюция — более медленный процесс, чем изменения в распределении или достатке. Многие виды вымирают прежде, чем получают возможность отреагировать на экологические проблемы. Для нас некоторая экологическая катастрофа (вероятно, эйнштейновский взрыв, а не мальтузианское хныканье) может означать, что рассуждения о каком-либо генетическом будущем неуместны.

Это будущее, если оно будет, будет зависеть от локальных вариаций темпов роста населения. Улучшение здравоохранения и последующее увеличение численности населения всегда предшествуют снижению количества детей, которое родители предпочитают иметь. Задержка объясняется недавним демографическим взрывом. Утверждения, что население мира удвоится в течение века, оказались слишком паническими. В большинстве мест переход к новому миру — нескольким здоровым детям — произошел быстрее, чем даже по самым оптимистичным прогнозам.

Во времена первых колонистов в Америке европейские гены извлекли пользу от прироста населения. Белые заполнили мир, в то время как количество черных и азиатов осталось более или менее одинаковым. Теперь это соотношение изменилось. Население быстрее всего растет в Африке. Большинство европейских стран не поддерживает уровень собственного населения, среднее число детей в семьях в Италии и Испании значительно ниже уровня воспроизводства. Более девяноста процентов прироста приходится на развивающиеся страны, прежде всего на Африку. По оценке ООН, более чем девяносто процентов роста населения будет в этих регионах. Африка не показывает признаков снижения рождаемости. Число детей на одну женщину в Восточной Азии уменьшилось с 6,1 до 2,7 с 1960 по 1990 год; но в Африке цифры в те годы были 6,6 и 6,2. К 2050 году треть населения земного шара может быть африканского происхождения. Призрак СПИДа бросает тень сомнения на это количество, но любое различие в относительном темпе роста различных групп само означает эволюционное изменение. В прошлом, например, во время аграрной революции увеличение населения привело к

массовой миграции. Несмотря на политические барьеры, на пути передвижения в современном мире, будущие утописты могут быть коричневыми.

Тем не менее, большинство социальных изменений объединяют усилия, чтобы замедлить человеческую эволюцию. Мутация, отбор и случайные изменения потеряли большую часть своей силы. В результате, биология будущего не будет сильно отличаться от биологии прошлого. Экономический рост и прогресс в области медицины может даже означать, что люди находятся почти в конце своего эволюционного пути, так близко от биологической утопии, как они, вероятно, добивались. К счастью, никто из читающих эту книгу не доживет, чтобы увидеть, прав ли я.