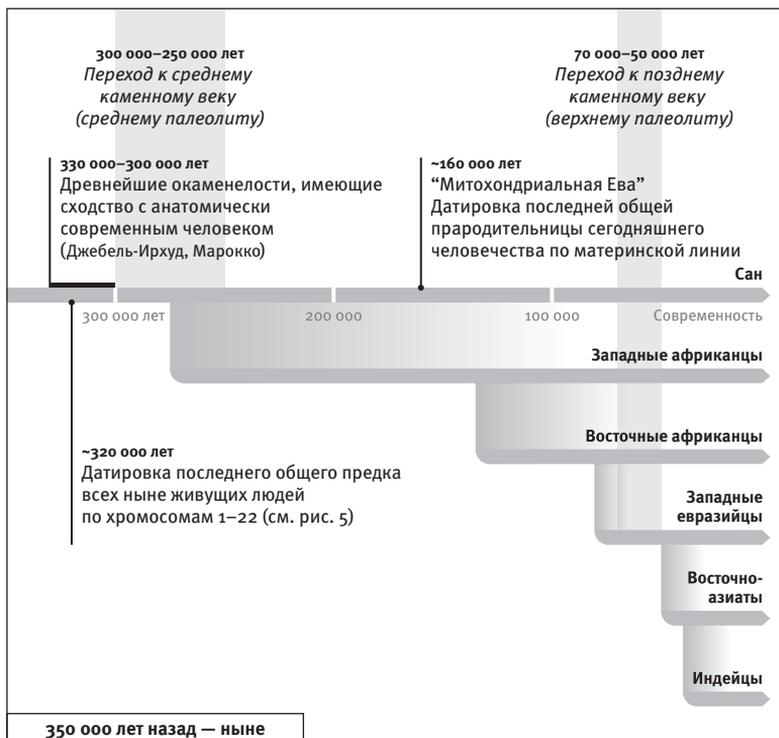
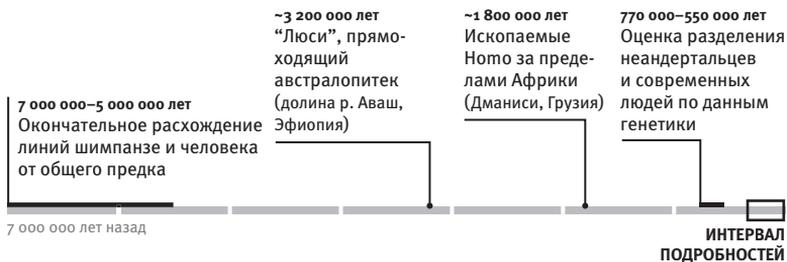


ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Ранняя история нашего вида

Возраст современных людей



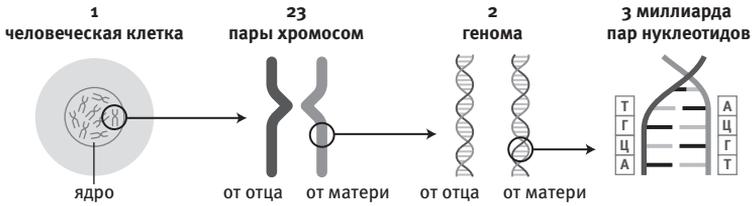
Глава 1

Как геном объясняет, кто мы такие

Поворотный момент в человеческой изменчивости

Чтобы понять, почему вообще человеческую историю можно изучать с помощью генетики, нужно представлять себе, как в геноме кодируется информация (а геном мы определим как полный набор генетических “букв”, унаследованный от родителей). В 1953 году Фрэнсис Крик, Розалин Франклин, Джеймс Уотсон и с ними Морис Уилкинс открыли, что человеческий геном записан на двоянных последовательностях, состоящих из цепочек химических строительных блоков, так называемых нуклеотидов, их в последовательности около 3 млрд — значит, в сумме 6 млрд. Нуклеотидов всего четыре типа. Их можно представить в виде букв алфавита: А (аденин), Ц (цитозин), Г (гуанин), Т (тимин)¹. То, что мы называем “ген”, — это крошечный фрагмент таких цепочек, обычно он длиной около тысячи букв, и на генах, как по клише, идет сборка белков, выполняющих в клетке основную работу. Между генами на цепочке расположена некодирующая ДНК, иногда ее называют “мусорная ДНК”. Порядок букв-нуклеотидов можно прочесть с помощью машин, реагирующих на химически индуцированные световые импульсы, исходящие от того или иного нуклеотида; эти

Гены можно представить как последовательность букв



Различия в этих последовательностях могут быть результатом ошибок



Рис. 3. Геном состоит из нуклеотидов, которые можно представить в виде букв А — аденин, Ц — цитозин, Г — гуанин, Т — тимин; в человеческом геноме около трех миллиардов пар таких букв. В двоенных геномах примерно 99,9 % этих букв одинаковые, но оставшаяся 0,1 % имеет различия, отражающие накопленные со временем мутации. По этим мутациям можно судить, насколько родственны два человека друг другу, и получить очень точную информацию о прошлом.

световые импульсы регистрируются по мере продвижения вдоль последовательности ДНК. Четыре нуклеотида испускают свет разного цвета, и по цвету можно определить, какая буква — А, Т, Г или Ц — сканируется компьютером.

Естественно, большинство биологов интересуется информацией, закодированная в генах, но есть и другая сторона дела — различия между последовательностями. Источником различий могут быть ошибки при копировании геномов (эти ошибки мы знаем как мутации), произошедшие в какой-то момент прошлого. Именно эти различия, появляющиеся с частотой одна на тысячу “букв”, генетики и исследуют для расшифровки нашей истории. На три миллиарда букв в обычных неродственных геномах приходится около трех миллионов различий. Если на том или ином участке генома

плотность различий повышена, значит, этот участок генома принадлежал более далекому общему предку, потому что мутации в геноме накапливаются примерно с одинаковой скоростью. Следовательно, плотность различий служит своего рода биологическим стоп-кадром, фиксирующим время, прошедшее от того или иного ключевого события.

Первые чудеса исторической генетики открыли на базе изучения митохондриальной ДНК. Это крошечная часть всего генома — одна двухсоттысячная часть, — которая наследуется только от матери к дочери, к внучке и т. д. В 1987 году Алан Уилсон с коллегами секвенировали митохондриальную ДНК (то есть прочитали ее последовательность) нескольких сотен людей со всего света. Сравнив мутации в этих ДНК, команде Уилсона удалось для людей в выборке построить генеалогическое дерево по материнской линии. И вот что они обнаружили: мутации самой древней ветви этого дерева, то есть отделившейся от общего ствола раньше всех, выявляются только у людей, живущих южнее Сахары. Отсюда они предположили, что предки современного человечества жили в Африке. Зато все неафриканское человечество происходит от ветви, отошедшей от общего ствола позже всех². Эти выводы стали важной частью теории об африканских предках современных людей. В ней великолепно соединились данные археологии, генетики и морфологии скелетов, которые все вместе говорят о том, что предки современных людей жили в Африке несколько сотен тысяч лет назад. Зная скорость накопления мутаций, Уилсон с коллегами подсчитали, что последний общий предок всех линий, а точнее, общая прародительница, “митохондриальная Ева”, жила где-то 200 тысяч лет назад³. Согласно наиболее правдоподобным новейшим уточнениям, эта цифра составляет 160 тысяч лет, но нельзя забывать, что и она, как и все другие генетические датировки, неточна, потому что реальная скорость появления мутаций у человека остается в известной степени неопределенной⁴.

Эти цифры очень порадовали — существование столь недавнего общего предка позволяло сбросить со счетов мультирегиональную гипотезу, согласно которой теперешнее человечество, населяющее различные части Африки и Евразии, унаследовало многие черты от *Homo erectus*, расселившихся по всему миру очень давно, около 1,8 млн лет назад. *Homo erectus* — это вид людей, у которых мозг на треть меньше нашего и которые производили простые грубые каменные орудия. В рамках мультирегиональной гипотезы предполагается, что потомки *Homo erectus* эволюционировали параллельно в Африке и Евразии, дав начало популяциям, существующим на этих территориях и поныне. И если она верна, то митохондриальные последовательности ныне живущих людей должны были разойтись те самые 2 млн лет назад, когда люди *Homo erectus* распространились по миру. Но генетические данные не укладывались в эту гипотезу. И то, что все современные люди имеют общую митохондриальную прародительницу с датировками в десять раз моложе, означает, что нынешнее человечество происходит от африканских предков, покинувших Африку гораздо позже.

Если обратиться к антропологическим данным, то сценарий будет выглядеть следующим образом. Самые ранние скелетные остатки “анатомически современного” человека — то есть с признаками, попадающими в диапазон изменчивости сегодняшнего человечества, и в особенности это касается выпуклого свода черепной коробки — датируются приблизительно 200–300 тысячами лет назад, и все они из Африки⁵. Если опираться на достоверные данные, за пределами Африки на Ближнем Востоке анатомически современный человек появился не раньше 100 тысяч лет назад, и до отметки в 50 тысяч лет следы его присутствия очень и очень редки⁶. Резкая смена типов каменных орудий тоже указывает на рубеж 50 тысяч лет, когда происходили какие-то исключительные изменения. Этот рубеж маркирует в Западной Евразии наступление верхнего палеолита, как его называют археоло-

ги, а в Африке соответствующий рубеж именуется поздним каменным веком. После этого перехода технологии производства каменных орудий стали совсем другими, и они менялись каждые несколько тысяч лет, что несравнимо с прежним черепашным темпом. От того времени осталось гораздо больше артефактов, раскрывающих духовную и культурную жизнь людей: бусины из страусиной скорлупы, полированные каменные браслеты, краски для тела из рыжей охры (это оксид железа) и первое в мире изобразительное искусство*. Древнейшая известная статуэтка датируется возрастом 40 тысяч лет — это вырезанный из мамонтового бивня “человек-лев”, найденный в пещере Холенштайн-Штадель в Германии⁷. А 30-тысячелетние рисунки доледниковых животных на стенах пещеры Шове во Франции и сегодня считаются примером выдающегося искусства.

Резкое ускорение в смене картин жизни, которое мы видим в археологической летописи моложе 50 тысяч лет, отражено и в популяционной истории. Населявшие Европу неандертальцы, которых считают “архаичными” (архаичными в том смысле, что признаки их морфологии не попадают в диапазон изменчивости современных людей), после этого рубежа вымерли, сдав свои последние оборонительные позиции в Западной Европе где-то 41–39 тысяч лет назад, примерно через 8 тысячелетий после прихода туда современных людей⁸. Смена популяций произошла повсюду в Евразии, а также в Южной Африке — там, судя по имеющимся данным, люди оставляли обжитые территории, на их месте появлялись носители культур позднего каменного века⁹.

* В 2018 году уран-ториевым методом удалось заново датировать наскальные рисунки из трех пещер Юго-Восточной Испании (Ла-Пасьега, Мальтравиесо и Ардалес); датировки наиболее древних рисунков составили 65 тысяч лет. Это на 20 тысяч лет раньше любых кроманьонских рисунков. Эти и некоторые другие данные подтверждают, что символизм существовал у неандертальцев вне связи с символизмом современных людей. См.: HOFFMANN ET AL., 2018, *Science*, 359, p. 912–915, HOFFMANN ET AL., 2018, *Science Adv.*, 4, eaar5255. (Прим. перев.)

Напрашивается логичное объяснение, что причиной всех этих изменений стало расселение популяций линий современных людей, среди чьих предков была и “митохондриальная Ева”. Они практиковали изготовление новых сложных изделий, и они же по большей части замещали прежнее население повсюду, куда бы ни пришли⁹.

Манящий образ генетического переключателя

Когда в 80–90-х обнаружилось, что генетика может в какой-то степени рассудить конкурирующие гипотезы о происхождении человека, то сразу появились радужные надежды, что именно в рамках генетики можно получить простые ответы на все вопросы. Некоторым даже казалось, что генетика способна на нечто большее, чем просто дать фрагмент доказательств в пользу гипотезы расселения современного человека из Африки и с Ближнего Востока 50 тысяч лет назад. А может, вообще причиной расселения людей из Африки стали изменения в генах? Тогда получится объяснение ускорения хода археологической летописи, простое и красивое, записанное всего четырьмя буквами в ДНК.

Ричард Клейн стал тем антропологом, который и выдвинул эту идею: поведенческие инновации, отличающие нас от наших предков, могут объясняться неким генетическим изменением. Он говорил, что революция позднего каменного века в Африке или позднепалеолитическая в Евразии — а это около 50 тысяч лет назад, — когда богато проявились признаки поведения современного человека*, связана с распространением одной мутации, повлиявшей на работу мозга, отсюда и новые орудийные технологии, и сложное поведение.

* Имеется в виду: сложные составные орудия, ритуальное поведение, включая погребения, символизм и искусство. (*Прим. перев.*)

Согласно клейновской теории, такая мутация должна была стать триггером для становления определенного полезного признака, такого как символический язык. Клейн полагал, что современное поведение появилось только после этой мутации, а до того люди были к нему просто не способны. В подтверждение этой теории можно привести примеры по другим видам, когда небольшое число генетических изменений приводит к ярким адаптациям: так, мексиканскому дикому растению теосинте с маленькими колосками потребовалось всего пять мутаций, чтобы стать той кукурузой с огромными початками, которую мы видим на полках сегодняшних супермаркетов¹⁰.

Едва появившись, теория Клейна тут же подверглась принципиальной критике. Среди серьезных оппонентов отмечу Салли Макбрерти и Элисон Брукс, показавших, что каждый из признаков, которые у Клейна характеризуют отличительное для современных людей поведение, появился в Африке или на Ближнем Востоке на десятки тысяч лет раньше перехода к верхнему палеолиту (или позднему каменному веку)¹¹. Но даже если и так и никакой из признаков нельзя считать новым, Клейн все же подчеркнул кое-что очень важное. Признаки современного поведения после рубежа в 50 тысяч лет становятся многочисленными и неоспоримыми, что поднимает вопрос о вкладе биологии в эту революцию.

В период всеобщей веры во всемогущество генетики, будто она способна дать простые ответы на великие загадки, появляется Сванте Пэабо. Он начал свою работу в лаборатории Алана Уилсона, когда там только-только открыли “митохондриальную Еву”, а потом, став изобретателем почти всех приемов, подготовивших революцию древней ДНК, прочитал геном неандертальца. В 2002 году Пэабо с коллегами исследовали мутации в гене FOXP2 в линиях людей и шимпанзе и обнаружили две мутации, различающие их. В итоге решили, что вот они, кандидаты на роль триггера крупных

изменений, произошедших 50 тысяч лет назад. За год до того медики выяснили, что мутации в этом гене приводят к нарушениям речи — пациенты не могут справиться со сложным языком и грамматическими правилами, хотя другие когнитивные функции у них в норме¹². А Пэабо со своей группой показал, что белок, кодируемый FOXP2, очень консервативен: на протяжении сотни миллионов лет эволюции, разделяющей мышей и шимпанзе, этот ген оставался неизменным. Но в человеческой линии после ее размежевания с линией шимпанзе появилось сразу две мутации в этом гене, что означает ускорение его эволюции именно в человеческой линии¹³. Позже в лаборатории Пэабо была выращена мышь со встроенным работающим человеческим вариантом гена FOXP2. Мышь была во всех отношениях обычной, но только пищала по-особенному, а это согласуется с тем, что данный ген влияет на звуковую функцию¹⁴. Конечно, две мутации не могли вызвать все те изменения, которые происходили 50 тысяч лет назад, потому что неандертальцы тоже несут эти две мутации¹⁵, но группа Пэабо выявила и третью мутацию, определяющую, когда и в каких клетках ген FOXP2 будет синтезировать свой белок. И эта третья мутация есть у всех ныне живущих людей, но отсутствует у неандертальцев, так что именно она и стала претендовать на роль эволюционного игрока в процессе становления современного человека после его отделения от неандертальцев сотни тысяч лет назад¹⁶.

Так или иначе, вне зависимости от функции FOXP2 у современных людей, именно поиском генетической базы становления современного человека Пэабо обосновывал работы по секвенированию геномов древних людей¹⁷. В серии статей, вышедших между 2010 и 2013 годами, где разбирались прочтения полных древних геномов, в том числе и неандертальских, Пэабо указал сотню тысяч участков ДНК, по которым все современные люди отличаются от неандертальцев¹⁸. И в этом списке мутаций наверняка прячутся какие-то очень

важные, но мы еще не умеем как следует в них разбираться, что еще раз подчеркивает нашу общую проблему — в вопросах чтения генома мы пока сущие дети. И если мы уже научились расшифровывать отдельные слова — мы знаем, как последовательность “букв” ДНК преобразуется в белки, — то смысл целых предложений пока нам неведом.

Открою печальную правду: примеры мутаций, подобных FOXP2, то есть частота которых увеличилась только у современного человека и функция которых известна, можно по пальцам пересчитать. И в каждом из таких случаев знания добывались в упорной многолетней битве, аспиранты и специалисты выводили с помощью геной инженерии мышей и рыбок... Так что потребуется что-то вроде эволюционного Манхэттенского проекта, чтобы проверить функцию каждой мутации, отличающей нас от неандертальцев. Мы, как представители своего вида, просто обязаны запустить такой Манхэттенский проект по эволюционной биологии человека. Но даже если мы его запустим и выполним, результаты, как я предвижу, будут настолько сложны — ведь человеческое в нас складывается из очень и очень многих отдельных генетических изменений, — что мало кто сможет понять их суть. По моему мнению, на уровне молекулярных механизмов вряд ли найдется когда-нибудь логически красивое и эмоционально удовлетворительное объяснение поведенческим новшествам современных людей.

Пускай изучение одного-двух участков генома не может дать содержательного объяснения эволюции поведения современного человека, но вот что удивительно: достижения геномной революции позволили осветить другую часть проблемы — историческую. Анализируя весь геном целиком — не только митохондриальную ДНК или Y-хромосому, которые дают нам короткие временные отрезки, но всю историю предков, записанную в геноме, — мы начали набрасывать новую картину нашего пути к тем нам, которыми мы теперь

