

Геном. Автобиография вида в 23 главах

Автор:

Мэтт Ридли

Геном. Автобиография вида в 23 главах

Мэтт Ридли

civilization

Генетика развивается стремительно. Ее развитие часто сравнивают с революцией. Уследить за тем, как изменяются наши представления о жизни и наследственности, не успевает не только широкая публика, но и специалисты. Это порождает массу слухов и домыслов о страшных мутантах, которых коварные ученые штампуют в своих лабораториях, тогда как поразительные открытия новых методов диагностики и лечения генетических заболеваний, включая рак, остаются незамеченными или непонятыми. Книга Мэтта Ридли очень актуальна. Просто и доступно автор представил историю генетики от первых догадок до ошеломляющего прорыва, начавшегося с открытия структуры ДНК Уотсоном и Криком.

Мэтт Ридли

Геном: автобиография вида в 23 главах

Издание подготовлено при поддержке Фонда Дмитрия Зимина «Династия»

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2002 г. Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности Фонда – поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение. В рамках

программы по популяризации науки Фондом запущено несколько проектов. В их числе сайт elementy.ru, ставший одним из ведущих в русскоязычном Интернете тематических ресурсов, а также проект «Библиотека «Династии» – издание современных научно-популярных книг, тщательно отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена в рамках этого проекта. Более подробную информацию о Фонде «Династия» вы найдете по адресу: www.dynastyfdn.ru (<http://www.dynastyfdn.ru/>)

Благодарности

Сел писать благодарности и только сейчас осознал, сколько же людей я побеспокоил и оторвал от дел бесконечными вопросами, звонками и электронными письмами. И всюду я находил поддержку и чуткое внимание. Невозможно сейчас упомянуть каждого по имени, но я чувствую себя обязанным высказать искреннюю благодарность моим коллегам и верным помощникам: Биллу Амосу (Bill Amos), Розалинде Арден (Rosalind Arden), Кристоферу Бэдкоку (Christopher Badcock), Розе Бэддингтон (Rosa Beddington), Давиду Бентли (David Bentley), Рэю Бланшару (Ray Blanchard), Сэму Бриттану (Sam Brittan), Фрэнсису Крику (Francis Crick), Герхарду Кристофори (Gerhard Cristofori), Паулу Дэвису (Paul Davies), Барри Диксону (Barry Dickson), Ричарду Дурбину (Richard Durbin), Джиму Эдвардсону (Jim Edwardson), Мирне Гопник (Мурна Горник) (Anthony Gottlieb), Дину Хамеру (Dean Hamer), Нику Хасту (Nick Hastie), Бретту Холланду (Brett Holland), Тони Инграм (Tony Ingram), Мэри Джеймс (MaryJames), Хармке Каммингу (Harmke Ramming), Теренс Кэйли (Terence Kealey), Арнольду Левину (Arnold Levine), Колину Мерритт (Colin Merritt), Джеофрею Миллеру (Geoffrey Miller), Грэйму Митчисону (Graeme Mitchison), Андерсу Моллеру (Anders Moller), Оливеру Мортону (Oliver Morton), Киму Насмису (Kim Nasmyth), Саше Норрис (Sasha Norris), Марку Пагелу (Mark Pagel), Роуз Патерсон (Rose Paterson), Дэвиду Пенни (David Penny), Марион Петри (Marion Petrie), Стивену Пинкеру (Steven Pinker), Роберту Пломину (Robert Plomin), Энтони Пулу (Anthony Poole), Кристин Риис (Christine Rees), Джанет Россант (Janet Rossant), Марку Ридли (Mark Ridley), Роберту Саполски (Robert Sapolsky), Тому Шекспиру (Tom Shakespeare), Анцино Сильве (Ancino Silva), Ли Сильверу (Lee Silver), Тому Стахану (Tom Strachan), Джону Сулстону (John Sulston), Тиму Тулли (Tim Tully), Томасу Вогту

(Thomas Vogt), Джиму Уотсону (Jim Watson), Эрику Вишаусу (Eric Wieschaus) и Яну Вилмуту (Ian Wilmut).

Я признателен моим коллегам, работающим со мной в Международном центре жизни (International Center for Life) над воплощением в жизнь проекта «Геном человека». Без их поддержки и глубоких знаний в различных областях биологии и генетики мне вряд ли удалось бы написать эту книгу. Особо хочу поблагодарить Аластер Болле (Alastair Balls), Джона Берна (John Burn), Линду Колон (Linda Conlon), Яана Феллса (Ian Lells), Ирену Нигуист (Irene Nyquist), Нейла Сулливана (Neil Sullivan), Элспес Уиллс (Elspeth Wills) и многих других.

Некоторые разделы двух глав сначала были опубликованы в газетах и журналах. Я благодарен редакторам Чарльзу Муру (Charles Moore) из Daily Telegraph и Дэвиду Гутхарту (David Goodhart) из Prospect за оказанное содействие.

Мой агент Фелисити Брайан (Lelicity Bryan) – это само воплощение делового энтузиазма. А моя рукопись стала книгой только после того, как три литературных редактора безжалостно, но справедливо (теперь я это вижу), обошлись с моим текстом. Спасибо вам, Кристофер Поттер (Christopher Potter), Марион Маннекер (Marion Manneker) и Мартен Карбо (Marten Carbo).

Но кого я хочу поблагодарить с особым теплом и любовью, – это мою жену Аню Хурлберт (Anya Hurlbert).

Введение

Геном человека – полный набор генов, определяющих наш внешний вид и внутреннее строение, – упакован в 23 пары хромосом. Хромосомы нумеруют в порядке уменьшения их размера от самой большой (1-й), до самой маленькой (22-й) пары. Но из этого ряда выпадают половые хромосомы: у женщин – две большие хромосомы X, а у мужчин – одна X, а другая, маленькая, Y. По своему размеру хромосома X находится между 7-й и 8-й хромосомами, а хромосома Y – самая маленькая в геноме.

Само по себе число 23 не несет никакого биологического смысла. У многих видов, включая наших ближайших родственников – человекообразных обезьян, хромосом больше, у других видов их меньше. Группирование взаимосвязанных генов, или генов, выполняющих одинаковые функции, также совсем не обязательно. Вот почему однажды несколько лет назад, склонившись над своим ноутбуком, я был поражен репликой моего коллеги, эволюционного биолога Дэвида Хэйга (David Haig), о том, что ему больше всего нравится 19-я хромосома. «На ней собраны самые озорные гены», – сказал он. До этого я никогда не слышал о такой персонализации хромосом. Мне они всегда представлялись простыми наборами случайно подобранных генов. Но удачно брошенное замечание Хэйга прочно засело у меня в голове. Почему бы не написать историю генома человека, переходя от хромосомы к хромосоме и подбирая такие гены, которые воплощали бы «характер» каждой из них? Подобным образом написал автобиографию Примо Леви (Primo Levi), представив свою жизнь как периодическую таблицу Менделеева. Свою жизнь он разделил на главы в соответствии с тем, изучением какого химического элемента он занимался в это время.

Я стал представлять себе геном человека как своеобразную автобиографию. В геноме с помощью генетического кода записаны все превратности и достижения эволюции нашего вида, начиная с самых дальних глубин геологических эпох. У нас есть гены, которые практически не изменились с того времени, когда в кембрийской грязи зашевелилось первое живое одноклеточное существо. Одни гены появились, когда наши предки были червями, а другие – когда они стали рыбами. Некоторые гены зафиксировались в настоящем виде потому, что наши предки пережили эпидемию страшной болезни. А есть еще гены, с помощью которых можно проследить миграции людей по Земле за последние тысячелетия. Наш геном – это летопись вида, начатая четыре миллиарда лет назад и продолжающаяся до сегодняшнего дня.

Примо Леви (1919–1987) – итальянский химик, известный также своей литературной и общественной (антифашистской) деятельностью. Мэтт Ридли упоминает известную автобиографию Леви *Se Questo ? un Uomo* (Если это человек), переведенную на английский язык и изданную в США.

Я записал в столбик все 23 хромосомы и напротив каждой из них отметил определенную сторону человеческого бытия. Затем, перебирая ген за геном, я отыскивал те из них, которые соответствовали бы тематике, заданной для этой хромосомы. Сколько раз отчаяние охватывало меня, когда я не находил нужного гена или находил его не на той хромосоме. Я долго думал, как поступить с половыми хромосомами. Наконец решил поместить их после 7-й хромосомы по размеру хромосомы X. Вот почему последняя, 23-я, глава этой книги названа «Хромосома 22».

Боюсь, что мой подход к написанию книги может ввести читателя в заблуждение. Например, некоторые подумают, что хромосома 1 была первой в человеческом геноме, что совершенно неверно. Или что 11-я хромосома отвечает исключительно за становление человеческой личности, что тоже не так. В геноме человека насчитывается от 60 000 до 80 000 генов. Я не мог в этой книге рассказать обо всех генах, хотя бы потому, что на сегодняшний день описано только чуть больше 8 000 (но каждый год число известных генов возрастает примерно на сотню). Кроме того, многие гены были бы не интересны читателям, поскольку они играют скромную роль стрелочников на многочисленных перекрестках биохимических путей.

Цель книги состоит в том, чтобы провести быструю, но увлекательную экскурсию по геному человека с остановками у самых ярких достопримечательностей, которые наиболее полно могут рассказать нам о нашей истории. Мы с вами – счастливое поколение, которому впервые удалось раскрыть книгу человеческого генома. Благодаря возможности заглянуть в геном мы получили больше сведений о наших истоках, эволюции и природе, чем позволили это сделать все предыдущие научные открытия. Генетика наших дней революционизировала антропологию, психологию, медицину, палеонтологию и многие другие области науки. Я не утверждаю, что все в человеке определяется исключительно генами, но будет верно сказать, что гены так или иначе влияют на все стороны нашей жизни.

В этой книге приводятся многие факты, открытые в ходе выполнения проекта «Геном человека», хотя основную цель проекта – картирование всех генов на хромосомах – мы оставим в стороне. Проект еще не закончен, но без сомнений, до конца этого десятилетия мы увидим по крайней мере первый черновик генетической карты человека. Удивительно, как мало времени прошло от практически незнания до создания полного реестра всех генов. Я абсолютно уверен, что сейчас наступил переломный момент в истории нашей цивилизации.

Не принимаю никаких возражений! То, что было тайной жизни за семью печатями, в течение нескольких десятилетий стало явью. И мы – первое поколение, приоткрывшее завесу тайны. Мы с вами стоим на пороге новых потрясающих открытий, а также перед новыми загадками. Это и есть тема данной книги.

Краткий словарь терминов

В этом разделе я объясню в повествовательной форме смысл некоторых терминов, используемых в генетике. Бегло просмотрите раздел, а затем, когда в книге вам встретится непонятный термин, вернитесь к этому словарю. Количество терминов в современной генетике может привести любого в замешательство. Я приложил максимум усилий, чтобы предельно сократить использование терминов в этой книге, но без некоторых понятий обойтись невозможно.

Человеческий организм состоит примерно из 100 триллионов (миллион миллионов) клеток. Диаметр большинства из них не превышает десятой доли миллиметра. Внутри каждой клетки есть темное уплотненное тело, называемое ядром. Полный набор генов называется геномом. В ядре содержится два генома – один от матери, другой от отца. (Исключением являются половые клетки, содержащие только один геном, и красные кровяные клетки, вообще лишенные ядра.) Каждый геном содержит приблизительно 60 000-80 000 генов, собранных на разных хромосомах. (Как вы помните, у человека 23 хромосомы.) В действительности между генами материнского и отцовского геномов всегда есть некоторые отличия, в результате чего у одних людей глаза голубые, у других – карие. От родителя к ребенку передается только один геном, но до этого между материнскими и отцовскими хромосомами происходит обмен участками – рекомбинация.

Представим себе, что геном – это поваренная книга.

? Книга состоит из 23 глав, называемых хромосомами.

? Каждая глава содержит тысячи «рецептов» белков, называемых генами.

? Текст каждого рецепта состоит из «абзацев», называемых экзонами, которые прерываются не относящимися к рецепту «рекламными баннерами» – интронами.

? Текст «рецептов» написан «словами» – кодонами.

? Каждое «слово» состоит из «букв» – нуклеотидов.

В книге нашего генома миллиард «слов», т. е. в 5 000 раз больше, чем в этой книге, или в 800 раз больше, чем в Библии. Если я буду называть каждый нуклеотид генома со скоростью одно слово в секунду по 8 часов в день, на это уйдет столетие. Если записать геном человека в одну строку буква за буквой, отведя каждой по 1 мм, длина строки будет равна протяженности реки Дунай. Это гигантский документ, невероятная по своему объему книга рецептов приготовления всего, что есть в нашем организме. И при всем этом геном умещается внутри микроскопического ядра клетки, которое свободно разместится на кончике иголки.

Представление генома в виде книги – не простая метафора. Между ними много общего. Книга – это информация, записанная строкой дискретных знаков с заданным направлением чтения. Информация кодируется с помощью комбинаций ограниченного числа символов (алфавита), в результате чего образуется огромное число слов (лексикон). В геноме все происходит точно так же. Небольшое отличие состоит в том, что в русском языке текст всегда читается слева направо, а гены на хромосоме могут считываться в разных направлениях, но никогда – в обоих сразу. (В литературе геном еще часто сравнивали с копиркой. Но мне не нравится это сравнение, во-первых, потому что в наше время компьютеров уже мало кто знает, что такое копировальная бумага, а во-вторых – потому что это сравнение неправильно по своей сути. Лист бумаги с копиркой представляет собой двухмерную, а не линейную структуру, в которой информация не считывается, а передавливается.)

Еще одно отличие состоит в том, что слова в книгах могут иметь разную длину, а каждое «слово» генетического кода всегда имеет длину в три нуклеотида, которые обозначаются следующими буквами: А (аденин), С (цитозин), G (гуанин) и Т (тимин). Кроме того, текст генома записан не на бумагу, а инкрустирован в длинную полимерную цепь остатков сахара рибозы и фосфорной кислоты, известную как ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). Каждая хромосома представляет собой пару длинных (очень длинных) спирально закрученных

нитей ДНК, в которых буквы-нуклеотиды выглядят как боковые ответвления, обращенные друг к другу.

Геном – это очень «умная» книга. При благоприятных условиях она может самостоятельно копироваться и читаться без чьего-либо участия. Копирование генома называется репликацией, а считывание «рецептов» для приготовления белков – трансляцией. Репликация возможна благодаря важному свойству нуклеотидов – способности образовывать пары: А и Т тяготеют друг к другу, так же ведут себя G и C. В результате одноцепочечная молекула ДНК может быть затравкой для образования своей комплементарной копии: к нуклеотиду А прикрепляется нуклеотид Т, к Т – А, к G – C, а к C – G. Затем парные нуклеотиды сшиваются в новую цепь ДНК. Именно в виде двойной спирали исходной и комплементарной цепей ДНК представлена в хромосомах.

Копия комплементарной цепи ДНК возвращает нас к исходной последовательности нуклеотидов. Например, последовательность ACGT копируется в комплементарную последовательность TGCA, а та, в свою очередь, вновь копируется в ACGT. Благодаря этому ДНК может передаваться в неизменном виде из поколения в поколение, сохраняя записанную в ней информацию.

Трансляция – это более сложный процесс. Сначала на основе тех же принципов комплементарности нуклеотидов происходит копирование участка ДНК (транскрипция) в молекулу РНК. По химическому составу РНК лишь слегка отличается от ДНК. Это такая же линейная последовательность нуклеотидов, только вместо буквы Т (тимина) в ней используется буква U (урацил). Одноцепочечная молекула РНК, скопированная с ДНК, называется информационной РНК. Эта молекула сразу же подвергается сложным ферментативным изменениям, в результате которых из нее вырезаются интроны, а экзоны сшиваются в новую последовательность (сплайсинг информационной РНК).

Затем готовая информационная РНК захватывается в клетке микроскопическими тельцами – рибосомами, которые сами частично построены из РНК. Рибосома перемещается вдоль информационной РНК, преодолевая за шаг один кодон, и преобразует генетический код в букву другого алфавита, состоящего из 20 разных аминокислот. Аминокислоты подносятся к месту сборки с помощью небольших молекул транспортных РНК. (Для каждой аминокислоты существует своя транспортная РНК.) По мере продвижения рибосомы вдоль информационной

РНК растёт цепь присоединённых аминокислот, последовательность которых точно совпадает с последовательностью соответствующих кодонов в гене. После окончания трансляции всей информационной РНК цепь аминокислот сворачивается в трёхмерную структуру, форма и свойства которой полностью определяются последовательностью аминокислот. Так образуется новое химическое соединение – белок, или протеин.

Практически все, из чего состоит наш организм, от волос до гормонов, – это белки или продукты их химической активности. В свою очередь, каждый белок – это транслированный ген. Все биохимические реакции в организме проходят под контролем особых белков – ферментов. Даже процессы копирования и сборки молекул ДНК и РНК – репликация и транскрипция – тоже находятся под контролем белков. Белки принимают участие в регуляции считывания генов. Чтобы запустить транскрипцию, регуляторные белки прикрепляются к особым областям ДНК в начале гена – промоторам и энхансерам. В каждой ткани организма работают только строго определённые гены.

Во время репликации генов иногда происходят ошибки. Буква (нуклеотид) может быть пропущена или заменена другой буквой. Иногда целый фрагмент ДНК может быть удвоен, пропущен или развернут на 180°. Такие события называются мутациями. Большинство мутаций никак не проявляют себя. Например, если происходит замена одного кодона другим, кодирующим присоединение той же аминокислоты. (Четыре нуклеотида по три в каждом кодоне образуют 64 комбинации, которые кодируют только 20 аминокислот. Поэтому многие аминокислоты кодируются несколькими кодонами.)

Человечество накапливает примерно 100 новых мутаций за одно поколение. Может показаться, что это не так много, ведь в геноме человека более миллиона кодонов. Но даже одна мутация в неудачном месте может оказаться фатальной.

Нет правил без исключений.

? Не все гены человека находятся на его 23 хромосомах. Часть генов содержится внутри микроскопических клеточных включений, называемых митохондриями. Эти гены унаследованы ещё с тех времен, когда митохондрии были самостоятельно живущими микроорганизмами.

? Не все гены являются фрагментами молекулы ДНК. Гены некоторых вирусов записаны в молекуле РНК.

? Не все гены кодируют белки. Конечными продуктами некоторых генов являются молекулы РНК, в частности рибосомальные и транспортные РНК.

? Не всеми биохимическими реакциями управляют белки. В некоторых реакциях в качестве катализаторов выступают молекулы РНК.

? Не все белки кодируются одним геном. В построении некоторых белков участвуют несколько генов. И наоборот, один ген может кодировать несколько белков в результате альтернативного сплайсинга информационной РНК.

? Не все 64 кодона определяют аминокислоты. Три из них, называемые стоп-кодонами, означают конец трансляции.

? И наконец, не все фрагменты ДНК являются частями генов. Напротив, большая часть ДНК в хромосомах – это случайные последовательности нуклеотидов или многочисленные повторы, которые редко транскрибируются в информационные РНК или никогда не транскрибируются. Такая ДНК называется бессмысленной или эгоистичной.

Это тот минимум, который вам необходимо знать. Теперь можем приступить к экскурсии по геному человека.

От редактора перевода

Стремительное развитие генетики в последние два десятилетия называют не иначе как революцией. Начиная с 1990-х годов, когда в практику вошли новые методы амплификации (копирования участков хромосомы в лабораторных условиях) и секвенирования (расшифровки) ДНК, каждый год приносит больше открытий, чем было сделано за все предыдущие годы, начиная со старины Менделя. Генетика развивается столь стремительно, что уследить за тем, как изменяются наши представления о фундаментальных основах жизни и наследственности не успевают не только широкая публика, но и специалисты.

Это порождает массу слухов и домыслов о страшных мутантах, которых коварные ученые штампуют в своих лабораториях, тогда как поразительные открытия новых методов диагностики и лечения генетических заболеваний, включая рак, остаются незамеченными или непонятыми. Книга Мэтта Ридли очень актуальна. Просто и доступно автор представил историю генетики от первых догадок до ошеломляющего прорыва, начавшегося с открытия структуры ДНК Уотсоном и Криком. Ридли не ограничивается сухими фактами из научных публикаций. Он удивительно точно передает атмосферу неформальных научных дискуссий, когда ученые, не опасаясь критики строгих рецензентов, позволяют себе высказывать рискованные гипотезы и резко критиковать своих оппонентов. На английском языке книга вышла в свет в конце 1999 года, в канун нового тысячелетия. С тех пор прошло уже почти семь лет. Год 1999-й уже кажется историей. Одни гипотезы, о которых пишет Ридли, уже подтверждены экспериментально, другие оказались ложными. Тем не менее книга *Genome: the autobiography of a species in 23 chapters* по-прежнему занимает верхние позиции в рейтингах продаж по всему миру. В ней есть то, что не устаревает: дух научных открытий и история генетики, представленная со всем драматизмом споров, дискуссий, озарений одних ученых и черной завистью других.

Прошедшие семь лет принесли много новых открытий и изменили наши представления о тех вопросах, которые Ридли затронул в своей книге. Чтобы привести книгу в соответствие с уровнем знаний середины 2006 года, в текст добавлены врезки с упоминанием новых открытий и справочной информацией. Врезки выглядят так:

Изменения именно в гене *sonic hedgehog* привели к тому, что предки китов и дельфинов лишились задних конечностей (Thewissen J.G. et al. 2006. *Developmental basis for hind-limb loss in dolphins and origin of the cetacean body*/an. – PNAS, e-pub ahead of print).

Хромосома 1

Жизнь

Сначала было Слово. Слово обратило в свою веру доисторическое море и с его помощью стало беспрерывно копировать себя. Слово нашло способ трансформировать химические соединения таким способом, чтобы зациклить и зафиксировать слабые завихрения в беспрерывном потоке энтропии, зародив жизнь. Слово преобразовало безжизненную и пустынную поверхность планет в цветущий рай. И наконец, Слово вызрело в хитрую штуковину – мозг человека, который оказался способным постичь само это Слово.

Хитрая штуковина, которая находится в моей черепной коробке, каждый раз приходит в полное изумление, как только я начинаю думать о появлении и развитии жизни на Земле и о своем месте в этой жизни. Надо же было так случиться, что 4 млрд лет эволюции привели к тому, что в один счастливый день я появился на свет. Среди 5 млн видов, населяющих Землю, мне посчастливилось родиться наделенным сознанием. Среди 6 млрд людей на планете я был удостоен чести родиться в стране, где впервые удалось постичь это Слово. Я был рожден всего пять лет спустя и всего в двух сотнях миль от того места, где два представителя моего вида установили структуру ДНК и тем самым раскрыли величайший и на удивление простой секрет Вселенной. Можете надсмехаться над моей восторженностью. Считайте меня смешным материалистом, молящимся перед трехбуквенным акронимом. Но спуститесь со мной к первоистокам появления жизни из мертвой материи, и мне, я уверен, удастся вселить в вас безмерное очарование этим Словом.

«Поскольку земля и океаны, по-видимому, были заселены растительными организмами задолго до появления животных и многие семейства животных появились раньше других семейств, не можем ли мы заключить, что одна и только одна из нитей жизни была первоисточником всех остальных форм живых организмов на Земле?» – спрашивал в 1794 году поэт, врач и разносторонне образованный человек Эразм Дарвин (Erasmus Darwin. 1794. *Zoonomania: or the laws of organic life*. Vol. II, p. 244. Third ed. 1801. J. Johnson, London). Это прозрение, с учетом времени, в которое оно произошло, поразительно не только потому, что было высказано предположение о наличии единого источника всех органических форм жизни (эту идею через 65 лет разовьет в своей книге Чарльз – внук Эразма Дарвина), удивляет также использование странного словосочетания – «нить жизни». В основе жизни действительно лежит нить.

Но как нить может сделать что-то живым? Жизнь – это весьма скользкое и неуловимое понятие для тех, кто хочет дать ему определение. Живые организмы обладают способностью размножаться и способностью к упорядочению материи. У кролика рождаются кролики. Одуванчик дает жизнь одуванчику. Но кролик может делать другие не менее удивительные вещи. Он ест траву и преобразует хаос окружающего мира в собственные ткани, имеющие сложную организацию. Но ведь второй закон термодинамики гласит, что в закрытых системах развитие происходит в направлении от порядка к беспорядку. Нарушения закона не происходит, поскольку кролик не является закрытой системой. Кролику удается привести в порядок материю, из которой состоит его тело, только за счет расхода огромного количества энергии. Как удачно заметил Эрвин Шредингер (Erwin Schrodinger), живые существа «пьют упорядоченность» из окружающей среды.

Эрвин Шредингер (1887–1961) – лауреат Нобелевской премии в области физики. Он родился в Германии, долго жил в Австрии, но своими трудами прославился в Оксфорде (Англия), стоял у истоков открытия ДНК. Выше приводится – цитата из его книги *What is Life? (Что есть жизнь?)*.

Оба свойства живого реализуются только за счет наличия информации о том, как это делать. Способность к размножению становится возможной благодаря наличию плана построения нового организма. План построения крольчонка находится в яйцеклетке кролика. В свою очередь, способность к упорядочению материи с помощью метаболизма также основана на положительной информации – плане организации тканей и систем организма. Взрослый кролик с его способностями к размножению и метаболизму предопределен в нити ДНК яйцеклетки, точно так же, как пирог предопределен в рецепте поваренной книги. Эта идея перекликается с высказыванием Аристотеля в том, что «суть» цыпленка скрыта в яйце, а желудь наделен планом будущего дуба. Туманные представления Аристотеля об информатике, погребенные под наслоениями следующих поколений физиков-механиков, были возвращены к жизни в исследованиях современных генетиков. Как пошутил Макс Дельбрюк (Max Delbrück), греческих мудрецов следовало бы наградить Нобелевской премией посмертно за открытие ДНК (Campbell J. 1983. *Grammatical man: information, entropy, language and life*. Allen Lane, London).

Макс Дельбрюк (1906–1981) – родился в Берлине, но научную карьеру сделал в США. В 1969 году был удостоен Нобелевской премии за создание математической модели мутаций у микроорганизмов.

Нить ДНК – это письмо, записанное с помощью алфавита химических соединений, называемых нуклеотидами. Одна буква – один нуклеотид. Невероятно просто, даже не верится, что код жизни записан символами, которые мы можем свободно прочитать. Точно так же, как текст на английском языке, генетический код представляет собой строку символов. Так же, как в обычном тексте, символы алфавита совершенно равнозначны, а значение имеют лишь их комбинации. Более того, язык ДНК проще английского, так как генетический алфавит состоит лишь из четырех букв: А, С, G и Т.

Удивительно, как людям удалось постичь алфавит жизни? В первую половину XX столетия вопрос «Что такое ген?» не давал покоя биологам. Казалось, что человечество никогда не найдет ответа на этот вопрос. Давайте вернемся даже не в 1953 год, когда была открыта симметричная структура ДНК, а еще на 10 лет назад, в 1943 год. Те, кому суждено будет через 10 лет раскрыть тайну жизни, в это время работали совсем над другими темами. Френсис Крик (Francis Crick) разрабатывал морскую мину в лаборатории недалеко от Портсмута. В это же время Джеймс Уотсон (James Watson) только поступил в свои беспокойные 15 лет в Чикагский университет, решив посвятить свою жизнь орнитологии. Морис Уилкинс (Maurice Wilkins) участвовал в разработке атомной бомбы в США. Розалинда Франклин (Rosalind Franklin) изучала структуру каменного угля по программе правительства Великобритании.

В том же 1943 году в Освенциме Йозеф Менгель (Josef Mengele) как гротескную пародию на научные исследования ставит бесчеловечные эксперименты на близнецах. Менгель пытается разобраться в наследственности, но его теория евгеники оказалась тупиковой и бесплодной ветвью, отвергнутой будущей наукой.

В Дублине в 1943 году, бежавший от Менгеля и ему подобных, великий физик Эрвин Шредингер (Erwin Schrodinger) выступает в колледже Тринити с серией

лекций на тему «Что есть жизнь?». Он пытается обозначить проблему. Ему известно, что секрет жизни хранится в хромосоме: «Именно хромосомы... содержат что-то вроде кода, полностью определяющего будущее строение и развитие индивидуума, а также его функционирование в зрелом возрасте». Ген, по мнению Шредингера, настолько мал, что не может быть ни чем иным, как большой молекулой. Это прозрение затем вдохновит целое поколение ученых, включая Крика, Уотсена, Уилкинса и Франклин, на изучение проблемы, которая оказалась вполне решаемой. Подойдя столь близко к ответу, Шредингер сворачивает в сторону. Он полагает, что секрет передачи наследственности с помощью молекул лежит в его любимой квантовой теории и, увлекаемый этим наваждением, заходит в тупик. Секрет жизни не имеет ничего общего с квантовой теорией. Физика здесь ни при чем (Schrodinger E. 1967. What is life? Mind and matter. Cambridge University Press, Cambridge).

В Нью-Йорке в 1943 году шестидесятишестилетний канадский ученый Освальд Авери (Oswald Avery) завершает грандиозный эксперимент, доказывающий причастность ДНК к наследственности. Проведя серию сложных экспериментов, он показал, что бактерию, вызывающую пневмонию, можно трансформировать из безвредной формы в агрессивную, обработав некоторыми химическими препаратами. Авери доказал, что передача признака связана исключительно с очищенной ДНК. В научной статье он изложил свое открытие в столь осторожной форме, что суть открытия смогли понять лишь немногие, и то значительно позже. Лишь в своем письме брату, написанном в 1943 году, Авери позволил себе говорить более открыто: «Если мы правы, что, безусловно, пока еще не доказано, то из этого следует, что нуклеиновая кислота (ДНК) не только структурно необходима, но и является функционально активной субстанцией, определяющей биохимическую активность и специфические характеристики клеток. Другими словами, становится возможным посредством определенной химической субстанции целенаправленно изменять клетки и делать эти изменения наследуемыми. Это именно то, о чем генетики мечтали долгие годы» (Judson H. E 1979. The eight day of creation. Jonathan Cape, London).

Авери почти удалось раскрыть секрет жизни, но он все еще мыслит категориями химии. «Вся жизнь – это химия», – предположил в 1648 году Ян Баптиста ван Хельмонт (Jan Baptista van Helmont). «По крайней мере часть жизни – это химия», – сказал Фридрих Велер (Friedrich Wohler) в 1828 году, когда ему удалось синтезировать мочевины из хлорида аммония и цианида серебра, разрушив тем самым священную стену, разделяющую миры химии и биологии. До этого считалось, что мочевина – это присущее только живой материи вещество, которое невозможно синтезировать из обычных химических соединений.

Представление о том, что жизнь – это химия, справедливо, но скучно, как и высказывание по поводу того, что футбол – это физика. Жизнь с некоторой натяжкой можно представить как химию всего трех элементов – водорода, углерода и кислорода, на долю которых приходится 98 % живой массы. Но биология изучает такие сложные проявления жизни, как наследственность, – вот что их интересует, а не химический состав. Авери не может понять, что такого есть в химической молекуле ДНК, что могло бы объяснить явление наследственности. Ответ будет найден не в области химии.

В английском городе Блечли (Bletchley) в 1943 году засекреченный великолепный математик Алан Тюрин (Alan Turing) подошел к величайшему открытию – принципу работы вычислительной техники. Разобравшись в работе немецкой военной шифровальной машины Лоренца, Тюрин создает первый компьютер, названный им Colossus. В основу универсальной вычислительной машины Турина легла изменяемая и сохраняемая программа. Никто не осознал в то время, и даже сам Тюрин, что он, вероятно, ближе всех подошел к раскрытию секрета жизни. Наследственность – это изменяемая и сохраняемая программа, а метаболизм – универсальная машина. Их связывает между собой код – система абстрактных сообщений, которые могут быть записаны не важно в чем – в химических веществах, физических явлениях или даже в нематериальной форме. Основной секрет лежит в самовоспроизведении. Все, что может использовать ресурсы окружающего мира для копирования себя, – это форма жизни. А наиболее вероятной формой жизни может быть дигитальное сообщение – число или слово (Hodges A. 1997. Turing. Phoenix, London).

Термин digital на русский язык переводится как числовой код или сообщение, что не совсем верно, поскольку в основе кода могут лежать не только цифры, но любые дискретные символы – буквы, знаки, нуклеотиды.

В Нью-Джерси в 1943 году тихий и застенчивый филолог Клод Шеннон (Claude Shannon) раздумывает над идеей, которая ему пришла в голову в Принстоне (Princeton) несколько лет назад. Идея Шеннона состоит в том, что информация и энтропия являются обратными сторонами одной и той же монеты, и обе имеют тесную связь с энергией. Чем меньше энтропии в системе, тем больше в ней скрыто информации. Паровая машина может направить энергию угля в

механическое вращение вала только потому, что машина имеет большое информационное содержание, переданное ей конструктором. То же самое с человеческим телом. В голове Шеннона информационная теория Аристотеля соединилась с механикой Ньютона. Так же, как Турин, Шеннон имел лишь базовые представления о биологии. Но его идеи были гораздо ближе к секрету жизни, чем рассуждения химиков и физиков. Информационное содержимое системы под названием человеческое тело – это ДНК (Campbell J. 1983. Grammatical man: information, entropy, language and life. Allen Lane, London).

Вначале было Слово, и это слово было не ДНК. ДНК появилась позже, когда произошло разделение труда на биохимическую активность и хранение информации: метаболизм и репликацию. Но ДНК сохранила в себе отпечаток первого Слова, бережно пронеся его через все геологические эры до нашего дня.

Представим себе, что мы рассматриваем ядро человеческой яйцеклетки под микроскопом. Давайте расположим 23 хромосомы генома человека в ряд по размеру от самой большой слева до самой маленькой справа. Теперь максимально усилим увеличение микроскопа и сосредоточим внимание на самой большой хромосоме, которую мы исключительно ради удобства назовем первой. Все хромосомы имеют длинное и короткое плечо, разделенные перетяжкой центромером. На длинном плече хромосомы 1 рядом с центромером мы увидим многочисленные повторы из 120 букв (А, С, G и Т). Каждый повтор отделен участком случайно подобранных букв, за которым начинается новый повтор 120-буквенного текста. Всего таких повторов может быть около ста. Скорее всего, эти повторы как раз и являются остатками того самого первого Слова.

Данный повторяющийся «абзац» текста является маленьким геном и в то же время наиболее активным из всех генов человека. 120 букв текста копируются в небольшую молекулу, известную как 5S РНК. Эта молекула объединяется еще с несколькими белками и молекулами РНК, тщательно подогнанными друг под друга, в результате чего образуется рибосома— машина трансляции генов в белки, в том числе в те белки, которые осуществляют репликацию ДНК. Можно сказать, что белки – это средство копирования генов в новые гены, а гены – средство копирования белков в новые белки. Рецепты используются, чтобы приготовить пищу, а пища нужна для написания новых рецептов. Жизнь – это бесконечная череда преобразований двух типов химических соединений – белков и ДНК.

Белки воплощают в себе такие проявления жизни, как метаболизм, дыхание и поведение, а ДНК – наследственность, репликацию, размножение, пол – все, что биологи называют генотипом. Одно не может существовать без другого. Точно так же, как в примере с яйцом и курицей. Что было первым, ДНК или белок? Вряд ли это была ДНК, поскольку ДНК совершенно беспомощна, пассивный кусок компьютерной программы, неспособной к катализу химических реакций. Но это и не белок, поскольку белки – чистая химия, неспособная к самовоспроизведению. Так же трудно себе представить, чтобы ДНК могла самопроизвольно породить белок, или наоборот. Этот вопрос так бы мог и остаться непостижимой загадкой, если бы Слово не оставило своего едва заметного следа на нити жизни – молекулы РНК. Как и в случае с яйцом и курицей, мы можем предположить, что яйцо все же было раньше, поскольку динозавры, предки птиц, уже откладывали яйца. Так и в споре между белком и РНК все больше свидетельств в пользу того, что РНК предшествовала белкам.

РНК – это та химическая субстанция, которая связывает между собой ДНК и белки. Сейчас РНК используется в клетке главным образом как промежуточное сообщение для трансляции кода ДНК в последовательность аминокислот в белке. Но все меньше остается сомнений, что именно РНК была предшественницей обоих – белка и ДНК.

Слово было РНК. Существует пять свидетельств того, что РНК появилась раньше белков и ДНК.

1. Даже теперь химические ингредиенты молекулы ДНК получают путем модификации ингредиентов молекулы РНК. Например, буква Т (тимин), относящаяся к ДНК, синтезируется из буквы U (урацила) – принадлежащей РНК.
2. Многие ферменты для активации требуют присутствия небольших молекул РНК.
3. Кроме того, РНК в отличие от ДНК и белков способна к самокопированию без чьего-либо участия. Добавьте только в среду необходимые ингредиенты, и процесс пойдет.
4. Если внимательно рассмотреть биохимическую активность клетки, то окажется, что все основополагающие и реликтовые процессы происходят с участием РНК. Это РНК-зависимые ферменты считывают информацию с ДНК,

преобразуя ее в информационную РНК. Именно из РНК построены рибосомы, выполняющие трансляцию генетического кода в белок, при этом именно молекулы транспортных РНК вылавливают в цитоплазме аминокислоты и подносят их к месту сборки.

5. И наконец, РНК в отличие от ДНК выступает в качестве катализатора химических процессов, разрушающих или синтезирующих другие химические соединения, в том числе и саму РНК. РНК может вызывать собственное разрезание с последующим сшиванием свободных концов, а также катализировать удлинение собственной цепи.

Открытие этих примечательных свойств РНК, сделанное Томасом Сечем (Thomas Cech) и Сидни Альтманом (Sidney Altman), изменило наше представление об истоках жизни. Теперь наиболее вероятным кажется то, что самым первым геном была молекула РНК, объединяющая в себе свойства репликации и катализа, – Слово, потребляющее вещества из окружающей среды для копирования самого себя. Возможно, если синтезировать случайным образом молекулы РНК прямо в пробирке, можно получить соединение, которое по своим химическим свойствам будет соответствовать первоисточнику жизни. Примечательно, что молекулы РНК, отобранные в подобных экспериментах, всегда были весьма похожи по своему содержанию на текст гена 5S РНК, который находится вблизи центромера хромосомы 1.

В 1989 году за открытие свойств РНК Томас Сеч и Сидни Альтман были награждены Нобелевской премией.

Намного раньше первого динозавра, первой рыбы, первого червя, первого растения, первого гриба и первой бактерии на Земле царил мир РНК. Это было, вероятно, около 4 млрд лет тому назад. Нам неизвестно, как выглядел этот РНК-овый организм. Мы можем только предполагать, какой была химическая активность данного соединения, обеспечивающая его самовоспроизведение. Неизвестно, был ли прародитель у этого организма. Но мы можем быть уверены, что он был, поскольку на это указывают свойства современных молекул РНК (Gesteland R. E, Atkins J. E (eds). 1993. The RNA world. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York).

У этого РНК-ового организма были большие проблемы. РНК – крайне нестабильная молекула, разрушающаяся в течение нескольких часов. Любое эволюционное усложнение такого организма было под вопросом, так как информация быстро терялась в силу стремительного накопления ошибок. Единственным возможным направлением эволюции было направление в сторону создания более устойчивой молекулы ДНК с развитием системы считывания РНК с ДНК. Такой системой считывания могла быть проторибосома. Считывание информации должно было быть достаточно быстрым, так как РНК быстро разрушалась, но при этом аккуратным. Одновременное считывание трех нуклеотидов за один шаг, видимо, было компромиссом для достижения необходимой скорости и точности. Поиск нужного триплета облегчался в случае маркирования этих нуклеотидов, а в качестве маркеров, распознаваемых проторибосомами, использовались аминокислоты. Значительно позже у проторибосомы появилась дополнительная ферментативная активность сшивания маркеров в новый полимер – белок. В результате триплет стал кодом, обеспечивающим трансляцию последовательности нуклеотидов в последовательность аминокислот. Образовался новый, более сложный организм, в котором генетическая информация сохранялась в ДНК, метаболическая активность обеспечивалась белками, а РНК стала играть роль моста между ними.

Имя нашего общего предка – Лука (Luca – Last Universal Common Ancestor, последний вселенский общий предок). Как он выглядел и где жил? Предположительно, он выглядел как бактерия и жил в теплых лужах, возможно, в горячих источниках или морских заливах. В последнее время Луке стали отводить более мрачное место жительства, когда стало известно, что глубинные подземные и подводные камни обсеменены миллиардами литотрофных (живущих за счет преобразования химических соединений) бактерий. Тогда Луку поселили глубоко под землей, поближе к вулканической лаве, где его пищей были сера, железо, водород и углерод. Даже сейчас то, что мы понимаем под биосферой, – лишь вершина айсберга. По расчетам ученых девять десятых всего органического углерода сосредоточено глубоко под землей в виде термофильных бактерий, ответственных за образование природного газа (Gold T. 1992. The deep, hot biosphere. Proceedings of the National Academy of Science of the USA 89: 6045–6049; Gold T. 1997. An unexplored habitat for life in the universe? American Scientist 85: 408–411).

Впрочем, сейчас довольно сложно представить, как выглядели первые формы жизни на Земле. У большинства современных организмов гены передаются

только от родителей к детям, но так было не всегда. Например, бактерии могут передавать генетический материал друг другу от клетки к клетке. Вполне возможно, что ранее горизонтальный перенос генов был еще более распространенным явлением, включая целенаправленный поиск и захват нужных генов организмами. В клетках древних организмов должно было быть много маленьких хромосом, по нескольку генов в каждой, которые легко можно было потерять или передать. Исходя из этой гипотезы, Карл Воуз (Carl Woese) предложил рассматривать виды организмов как временные сообщества генов, нестабильные во времени. Гены, которые нашли свое прибежище в геноме человека, могли прийти к нам от разных видов. В таком случае бессмысленно искать единственного общего предка в далеком прошлом. Возможно, был не один Лука, а целое сообщество генетически разнородных организмов, свободно обменивавшихся друг с другом генами. Согласно Воузу, жизнь уходит к своим истокам многочисленными корнями, а не одним генеалогическим стволом (Woese C. 1998. The universal ancestor. Proceedings of the National Academy of Science of the USA 95: 6854-6859).

Тот древний мир можно представить как коммуну, в которой гены принадлежали всему сообществу организмов. Но, скорее, реальному положению вещей соответствует теория эгоистичных генов, согласно которой гены находились в состоянии жесткой конкуренции по отношению друг к другу и в организмах образовывали лишь временные союзы. С течением времени наиболее удачные сочетания генов закреплялись, и индивидуальный эгоизм генов заменялся коллективным трудом. Впрочем, пока это только гипотезы.

Но даже если предков было много, мы можем продолжить наши размышления о том, где они жили и как выглядели. Были ли они похожи на современные термофильные бактерии? Благодаря ряду работ трех исследователей из Новой Зеландии, опубликованных в 1998 году, становится понятным то, что наши представления о примитивности бактерий не совсем верны. Бактерии, с их простым строением клетки без ядра и с одной циркулярной хромосомой, скорее всего, не лежат в основе генеалогического дерева жизни. Традиционно древо жизни связывают с термофильными бактериями, которые и сейчас встречаются в термальных источниках.

По-видимому, автор имеет в виду археобактерии – живые ископаемые, населяющие горячие источники и другие экстремальные места обитания, непригодные для иных форм жизни.

Возникновение многоклеточных организмов связывают с объединением древних бактерий в сложные ассоциации. Но были ли наши предки такими же экстремалами, тяготевшими к извергающимся вулканам и горячим источникам? Давайте представим обратный ход эволюции. Первые организмы не были похожи на бактерии и не жили в горячих источниках и глубоководных вулканических кратерах. Вероятно, они больше напоминали современных протозоа – простейших одноклеточных животных вроде амебы, с геномом, фрагментированным в маленькие линейные полиплоидные (несколько одинаковых копий) хромосомы. Полиплоидия была важна для первых организмов, поскольку их системы репликации были несовершенны и допускали ошибки при копировании ДНК. Именно из-за несовершенства и неустойчивости биохимических систем эти организмы, скорее всего, предпочитали холодный климат, а не горячие источники. Многие ученые, как, например, Патрик Фортерр (Patrick Forterre), полагают, что бактерии появились на Земле намного позже и принципиально отличаются от тех первых организмов, которые изобрели форму жизни, основанную на взаимодействии белков и ДНК. Действительно, если первоисточником жизни была РНК, то в организмах бактерий разнообразие молекул РНК сведено к минимуму, особенно у микроорганизмов, живущих в горячих источниках. Но зато именно в нашем организме можно найти многочисленные реликтовые формы РНК, унаследованные нами от Луки. Бактерии в этом плане гораздо более «продвинуты».

Реликтовые РНК, эти молекулярные ископаемые, широко представлены у многоклеточных организмов. Многие из них являются мельчайшими молекулами, появляющимися в результате сплайсинга информационных РНК или существующими сами по себе, без определенных функций. Выделено много классов этих молекул: направляющие РНК, сброшенные РНК, короткие РНК ядра, короткие ядрышковые РНК и самовырезающиеся нитроны. У бактерий ничего подобного нет. Гораздо проще предположить, что эти элементы были утрачены бактериями, чем то, что они были приобретены в ходе эволюции высшими организмами. (В биологии принято отдавать предпочтение более простым гипотезам, если нет явных свидетельств в пользу более сложной гипотезы. Этот подход называется принципом бритвы Оккама (Occam's razor).)

Принцип назван так по имени философа XIV века Уильяма Оккама (William Occam, 1285–1349), впервые сформулировавшего его.

Бактерии избавились от многочисленных РНК, поскольку они крайне нестабильны и склонны к мутациям, особенно в экстремальных условиях с высокими температурами и низкими значениями кислотности. Дальнейшая эволюция бактерий шла в направлении упрощения организма, способствовавшего ускорению процессов репликации и размножения, что чрезвычайно важно для успешной конкуренции в эконисах их обитания. Но в клетках нашего организма реликтовые РНК (остатки уже давно не используемых механизмов, замененных более совершенными) все еще сохранились как напоминание о прежних формах жизни. В отличие от бактерий в эволюции многоклеточных организмов – грибов, растений и животных – тенденция к упрощению никогда не была доминирующей. Напротив, преимущество получали более сложные формы, обеспечивающие физико-химическую стабильность (гомеостаз) клеток, что и дало возможность сохраниться реликтовым молекулам РНК (Poole A. M., Jeffares D. C., Penny D. 1998. The path from the RNA world. *Journal of Molecular Evolution* 46: 1-17; Jeffares D. C., Poole A. M., Penny D. 1998. Relics from the RNA world. *Journal of Molecular Evolution* 46: 18–36).

За последние годы был достигнут значительный прогресс в изучении роли коротких молекул РНК, не кодирующих белки. Оказалось, что они играют чрезвычайно важную роль в регуляции биохимических процессов и экспрессии – (считывания) генов. Поэтому их нельзя считать реликтами.

Также оказалось неправдой то, что таких молекул РНК нет у бактерий. Их просто никто не искал, а когда стали искать, только в кишечной палочке нашли несколько сотен коротких регуляторных РНК (Hershberg R., Altuvia S., Margalit H. 2003. A survey of small RNA-encoding genes in *Escherichia coli*. *Nucleic Acids Research* 31:1813–1820).

Трехбуквенные слова генетического кода совершенно одинаковы у всех организмов. Так, CGA означает аргинин, а GCG – аланин у всех организмов: летучих мышей, жуков, водорослей и бактерий. Такой же код используется бактериями, ошибочно названными архебактериями, которые живут при температуре кипения воды в сернокислых вулканических источниках на дне Атлантического океана. Этот же код используют вирусы – мельчайшие бесклеточные живые организмы. Куда бы мы ни пошли в этом мире, каких бы ни взяли животных или растения, жука или одноклеточную амёбу, все живое на планете использует один и тот же генетический код. Жизнь едина и говорит на одном языке. (Все же существует некоторое незначительное варьирование кода – диалекты, присущие бактериям, многоклеточным и митохондриям.)

Теория о том, что архебактерии лежат в основе генеалогического дерева как современных эубактерий, так и многоклеточных, по-прежнему рассматривается как основная. Хотя, безусловно, это были не те архебактерии, которые – сейчас живут в вулканических гейзерах. Обособленное положение архебактерий по отношению к другим организмам также не вызывает сомнений.

Все это означает, что появление жизни на Земле произошло лишь однажды, что может быть использовано верующими как хороший аргумент в пользу божественного происхождения мира. Конечно, можно предположить, что жизнь зародилась не на Земле, а была занесена из космоса на инопланетном космическом корабле. Возможно также, что жизнь зарождалась многократно и было много альтернативных форм жизни, но в конкурентной борьбе выжили лишь Лука и его потомки. Но до раскрытия в 1960 году генетического кода не было никаких прямых доказательств того, что мы и морская водоросль – родственники, у которых был общий предок. Единство жизни на нашей планете – это теперь экспериментально доказанный факт. Эразм Дарвин был прав, когда говорил, что «одна и только одна из нитей жизни была первоисточником всех остальных форм живых организмов на Земле».

Обобщим то, что мы узнали о геноме из этой главы:

? жизнь едина и произошла от общего предка;

? первые формы жизни были основаны на РНК;

? и бактерии, и животные являются потомками древней формы жизни, которая существенно отличалась как от нас с вами, так и от современных бактерий. Скорее всего, это были крупные одноклеточные полиплоидные организмы с множеством линейных хромосом.

Не найдено никаких окаменелостей первых форм жизни на Земле, существовавших 4 млрд лет тому назад. Сохранилась только огромная книга живой природы – геном. Гены в каждой мельчайшей клетке вашего тела – это прямые потомки первых репликационных систем доисторических организмов, дошедшие до наших дней после более чем 10 млрд копирований и сохранившие в себе цифровые сообщения о первых днях жизни. Если в нашем геноме мы можем найти ответ на вопрос о том, как зарождалась жизнь, то как много нам может поведать геном о не столь отдаленных событиях нашей истории в последние сотни миллионов лет. В наших руках история человечества, записанная в цифровом формате и удобная для чтения с помощью компьютера.

В последние годы появились новые подтверждения того, что в основе первых форм жизни лежала РНК. Недавно была опубликована гипотеза, согласно которой первыми организмами с ДНК были вирусы, и именно в результате заражения этими вирусами первых организмов совершенно независимо друг от друга возникли три ветви жизни: бактерии, археобактерии и эукариоты (Forterre P. 2006. Three RNA cells for ribosomal lineages and three DNA viruses to replicate their genomes: a hypothesis for the origin of cellular domain. /WAS 103: 3669–3674).

Хромосома 2

Душа

В истории науки случалось, что ошибочное положение на долгие годы становилось прописной истиной только потому, что никто не удосужился его проверить. До 1955 года все ученые были твердо убеждены в том, что геном человека состоит из 24 пар хромосом. Ошибка произошла в 1921 году, когда техасец Теофилус Пейнтер (Theophilus Painter) сделал препаративные срезы семенников двух афроамериканцев и одного белого, кастрированных по решению суда за «слабоумие и антиобщественное поведение», зафиксировал срезы в химических препаратах и микроскопировал. Пейнтер долго пытался подсчитать скучившиеся хромосомы в сперматоцитах несчастных мужчин и наконец решил, что их 24. «Я пришел к убеждению, что это число верно», – скажет он позже. Интересно, но другие ученые затем повторяли подсчеты, используя разные методы, и тоже сходились во мнении, что хромосом 24.

В течение 30 лет никто не осмелился опровергнуть этот «очевидный факт». Одна группа ученых прервала исследование клеток печени человека, поскольку им удалось насчитать только 23 пары хромосом в клетках. Другой ученый разработал метод разделения хромосом, но не стал оспаривать число 24. И только в 1955 году, когда индонезиец Джо-Хин Тью (Joe-Hin Tjio) переехал из Испании в Швецию, в лабораторию Альберта Левана (Albert Levan), ошибка была обнаружена. Тью и Леван, используя более современную технику, четко насчитали 23 пары хромосом. Не поверив самим себе, они взялись за фотографии, опубликованные в старых книгах по генетике человека, но и там насчитали только 23 пары. Воистину, нельзя найти более слепого человека, чем тот, который не хочет видеть! (Kottler M. J. 1974. From 48 to 46: cytological technique, preconception, and the counting of human chromosomes. *Bulletin of the History of Medicine*. 48: 465-502).

В самом деле, удивительно, что у человека не 24 пары хромосом. У шимпанзе 24 хромосомы, столько же у гориллы и орангутанга. Среди человекообразных обезьян мы – исключение. Наиболее неожиданное и очевидное отличие человека от человекообразных обезьян, которое можно увидеть под микроскопом, состоит в том, что у нас на одну хромосому меньше. Причина, и это сразу же было установлено, не в том, что одна из хромосом затерялась, а в том, что две обезьяньи хромосомы в человеческой клетке слились в одну. Хромосома 2, вторая по размеру в геноме человека, появилась в результате слияния двух средних хромосом обезьян. Это стало очевидным, когда сравнили чередование темных полосок на хромосоме 2 и на хромосомах обезьян.

В своем послании в Академию наук Ватикана 22 октября 1996 года Папа Иоанн Павел II (John-Paul II) писал, что между предковыми формами обезьян и современным человеком лежит «онтологический разрыв» – момент, когда Бог вселил душу в животного предка. Таким образом, католическая церковь нашла способ примириться с теорией эволюции. Вполне вероятно, что онтологический разрыв с животным миром произошел именно тогда, когда слились воедино две хромосомы обезьяны. Значит, гены души должны лежать где-то посередине хромосомы 2.

Тем не менее наш вид нельзя считать вершиной эволюции. У эволюции вообще нет вершин, и нет такого понятия, как эволюционный прогресс. Естественный отбор представляет собой непрерывный процесс изменения форм живых организмов для достижения оптимального соответствия с текущими физическими и биологическими условиями среды обитания. Бактерии, населяющие горловины черных курильщиков – подводных кратеров, извергающих едкие газы на дне Атлантического океана, прошли такой же путь эволюции от нашего общего предка Луки, как и банковский клерк, а возможно, и более длинный путь, учитывая несоизмеримо большую скорость размножения.

То, что данная книга посвящена геному человека, не означает, что это самый лучший геном. Хотя, безусловно, человек уникален в этом мире, поскольку у него в голове находится самый сложный компьютер на планете. Но сложность сама по себе не является целью эволюции. Все другие виды также уникальны. Тем не менее в этой главе я постараюсь объяснить, что является отличительной особенностью нашего вида от всех других. Хотя в истории эволюции жизни на Земле главе о возникновении безволосых обезьян в африканской саванне следовало бы отвести всего несколько строк, для нашего вида это событие имело чрезвычайно важное значение. Что же стало отправной точкой, откуда пошло развитие человека?

С точки зрения эволюции человек, безусловно, стал удачным решением. До этого не было ни одного крупного животного, столь плотно населившего Землю. Нас больше 6 млрд, что в сумме дает около 300 млн тонн живого веса.

Конкурировать с нами по численности могут только одомашненные животные – коровы, куры и овцы, а также комменсалы: воробьи и крысы. Как с этим контрастирует число горных горилл, которых осталось не больше тысячи! Даже в те времена, когда человеческая цивилизация не разрушала среду их обитания, горных горилл было едва ли в десять раз больше.

Более того, наш вид проявил удивительные способности к заселению самых различных мест обитания. В условиях холода и жары, сухости и влажности, высокогорья и низин, вблизи моря и в глубине пустыни – всюду человек находил способ выжить. Из животных, расселившихся по всем континентам, кроме Антарктиды, можно назвать только скопу (*Pandion haliaetus*), сипуху (*Tyto alba*) и розовую крачку (*Sterna dougallii*), да и то эти птицы привязаны лишь к строго определенным местам обитания. Конечно, такой ошеломительный успех таит в себе опасность экологической катастрофы, которая может произойти довольно скоро. Согласитесь, для самого успешного вида мы довольно пессимистичны.

Следует заметить, что нашему успеху предшествовала череда неудач и поражений. Большинство человекообразных обезьян исчезли с лица Земли 15 млн лет тому назад, уступив место другим, более приспособленным обезьянам. Еще до этого, 45 млн лет назад, наш отряд приматов почти полностью был вытеснен со всех мест обитания более успешными грызунами. Предки всех млекопитающих, первые синапсидные тетраподы, 200 млн лет назад проиграли в состязании с динозаврами. 360 млн лет назад кистеперые рыбы проиграли в сражении с лучистыми рыбами, а еще раньше, 500 млн лет назад, в кембрийский период, первые хордовые не выдержали конкуренции с членистоногими, сохранив лишь тупиковую ветвь иглокожих. Мы добились успеха не по воле судьбы, а вопреки ей.

Спустя 4 млрд лет после возникновения Луки появилась новая форма жизни, которую Ричард Давкинс (Richard Dawkins) назвал машиной выживания, – крупные организмы, наделенные телами, состоящими из большого числа клеток. Они намного успешнее справлялись с разворотом физико-химических процессов в сторону меньшей энтропии и с репликацией собственных генов. Возникновению этих существ предшествовал длительный период проб и ошибок, процесс, называемый естественным отбором. Триллионы новых тел были построены, опробованы и допущены к продолжению потомства, если они соответствовали все ужесточающимся критериям выживания. На первых этапах конкуренты старались выработать наиболее эффективные биохимические пути метаболизма: лучшим организмом был тот, который наиболее быстро и с наименьшими затратами энергии преобразовывал химические соединения окружающей среды в ДНК и белки. Эта фаза продолжалась примерно 3 млрд лет, в течение которых жизнь на Земле представляла собой бесконечную борьбу за выживание между разнообразными амебоподобными существами. Три миллиарда лет одноклеточные существа жили, рождаясь и умирая день за днем. Казалось бы, достаточно, чтобы реализовать все варианты развития.

Но эволюция на этом не завершилась. Примерно миллиард лет назад довольно неожиданно возник мир принципиально новых многоклеточных организмов. По меркам геологических эпох этот всплеск разнообразия, называемый кембрийским взрывом, произошел стремительно, в течение всего 10–20 млн лет. Возникло огромное количество организмов разных форм и размеров: снующие трилобиты длиной до полуметра, слизкие черви еще большей длины, огромные фестончатые водоросли. Одноклеточные организмы все еще преобладали, но крупные и бесконечно разнообразные многоклеточные «машины выживания» осваивали все новые и новые ниши. В эволюции многоклеточных наметилась стабильная тенденция к усложнению. Хотя в истории Земли было много примеров регресса, в частности, связанного с бомбардированием планеты крупными метеоритами, искореняющими на какое-то время наиболее развитые организмы, в целом животный мир более поздних эпох отличался тем, что предковые формы имели более сложное строение тела. Особенно явно тенденция к усложнению просматривается в эволюции мозга. Мозг становился сложнее и больше на протяжении всех геологических эпох. У животных кайнозоя, с наименьшим мозгом, показатели все же превосходили рекордные показатели мезозоя, но средний размер мозга в мезозое был значительно больше, чем у палеозойских образцов. Эгоистичные гены для удовлетворения своих амбиций нашли способ построения такого тела, которое не только могло выдерживать неблагоприятное воздействие окружающей среды, но и целесообразно действовать. Теперь если над генами нависнет угроза замерзания в зимнюю пургу, они смогут рассчитывать на то, что созданное ими тело совершит какой-то разумный поступок, например мигрирует на юг или построит укрытие.

От нашего бездыханного прошлого миллиарды лет назад перенесемся в не столь отдаленные дни – на 10 млн лет назад. Уже намного позже того, как своего расцвета достигли насекомые, рыбы, динозавры и птицы, на Земле появились существа с самым большим мозгом (относительно массы тела) – человекообразные обезьяны. Доподлинно известно, что в это время по крайней мере два вида человекообразных обезьян обитали в Африке. Хотя не исключено, что их было больше. Одним из этих видов была предковая форма гориллы, а другой вид являлся общим предком шимпанзе и нас с вами. Предок гориллы поселился на высокогорных склонах центральноафриканских вулканов, изолировав себя от остальных человекообразных обезьян. В течение последующих 5 млн лет произошло разделение другого вида обезьян на шимпанзе и людей. Это стало известно, потому что данные события запечатлены в нашем геноме.

Еще в 1950 году великий анатом Дж. З. Янг (J. Z. Yang) мог сомневаться в том, произошли люди от человекообразных обезьян или это была совершенно иная ветвь эволюции приматов, отделившаяся от общего ствола уже 60 млн лет назад. Он не соглашался с другими учеными, которые полагали, что орангутанг ближе всего стоит к людям (Yang J. Z. 1950. *The life of vertebrates*. Oxford University Press, Oxford). Зато теперь мы абсолютно убеждены не только в том, что результатом последнего пересечения с обезьянами был наш общий предок именно с шимпанзе, но мы также знаем, что это разветвление произошло 5-10 млн лет назад. Поскольку мутации в генах происходят с определенной постоянной частотой, сравнивая гены, мы можем точно определить, как давно разделились два вида. Во всех исследованных генах, белках и нитронах наблюдаются большие отличия между гориллой и шимпанзе, чем между шимпанзе и человеком. Эти исследования проводили методом гибридизации, суть которого состоит в том, что чем больше общего между образцами ДНК, тем при большей температуре происходит диссоциация ДНК в растворе.

Впрочем, откалибровать молекулярные часы таким образом, чтобы они показывали точную дату эволюционного события, весьма сложно. Поскольку человекообразные обезьяны живут долго и к размножению приступают уже в зрелом возрасте, их молекулярные часы тикают довольно медленно. (Мутации, передаваемые поколениям, накапливаются только во время размножения при образовании яйцеклеток и сперматозоидов.) Нет четкой формулы, по которой можно было проводить калибровку частоты мутаций исходя из продолжительности жизни. Более того, следует признать, что в разных генах ход часов отличается. Одни гены спешат и указывают на то, что пути развития человека и шимпанзе разошлись уже давно, другие, например гены митохондрий, свидетельствуют о тесном родстве наших видов. Поэтому время появления людей указывается в пределах от 5 до 10 млн лет (Arnason U., Gullberg A., Janke A. 1998. *Molecular timing of primate divergences as estimated by two non-primate calibration points*. *Journal of Molecular Evolution* 47: 718-727).

Уже после написания этой книги в Кении были обнаружены наиболее древние останки предков человека, датируемые 7 млн лет, что подтверждает расчетные данные, полученные в результате сравнения геномов человека и шимпанзе.

Если не считать слияния двух хромосом в хромосому 2, остальные различия в геномах шимпанзе и человека весьма незначительны. А в хромосоме 13 вообще не было найдено никаких отличий. Если навскидку взять любой «абзац» в геноме шимпанзе и сравнить его с соответствующим «абзацем» в геноме человека, мы найдем лишь несколько отличных «букв», в среднем одну на 100 знаков, т. е. на 99 % мы неотличимы от шимпанзе. При этом сходство с гориллой как человека, так и шимпанзе составляет только 97 %. Другими словами, мы вместе ушли от гориллы, но шли разными путями.

Но как это возможно? Ведь отличие человека от шимпанзе огромно. Шимпанзе покрыт волосами, имеет другое строение черепа и всего тела, другие конечности, не обладает речью. Трудно найти хоть что-то в шимпанзе, что было бы на 99 % таким же, как у нас. Но так ли это? По сравнению с чем? Если взять пластилиновые модели мышей и вылепить из одной шимпанзе, а из другой человека, то придется вносить одни и те же изменения. Шимпанзе и человек будут еще более подобными, если отправной точкой считать амебу. В обоих случаях мы имеем тридцать два зуба, пять пальцев на каждой из четырех конечностей, два глаза и одну печень. В обоих случаях есть волосяной покров, сухая кожа, позвоночник и три маленькие косточки в среднем ухе. По отношению к амебе или, лучше, оплодотворенной яйцеклетке, человек и шимпанзе действительно подобны на 99 %. Нет ни одной косточки в теле шимпанзе, которой не было бы у человека. Нет ни одного химического соединения в мозге шимпанзе, которого не было бы в мозге человека. Иммунная, пищеварительная, кровеносная, лимфатическая и нервная системы построены у нас однотипно. Даже ядра мозга у нас совершенно одинаковы. Что касается строения мозга, то это был последний рубеж обороны противников теории происхождения человека от обезьяны. Викторианский анатом сэр Ричард Оуэн (Richard Owen) утверждал, что уникальным образованием в основании мозга человека является гиппокамп, который отсутствует у обезьян, и именно он является вместилищем души и свидетельством божественного происхождения. Он не нашел гиппокамп в свежепрепарированных мозгах горилл, привезенных из Конго путешественником Полем дю Шэллу (Paul du Chaillu). Незамедлительно последовало опровержение Томаса Хаксли (Thomas Huxley). «Нет, у обезьян его нет», – упирался Оуэн. «Да нет же, есть», – настаивал Хаксли. Короче говоря, «дело о гиппокампе» дошло в 1861 году до бранной перепалки в викторианской Англии и нашло отражение в сатирическом издании Punch (Петрушка) и в новелле Чарльза Кингсли (Charles Kingsley) The water babies (Дети воды). Спор давно вышел за пределы анатомии. Хаксли говорил: «Я не ставлю своей целью загнать человеческое достоинство ниже собственной подошвы и не думаю, что это произойдет, если признать, что у человекообразных обезьян тоже есть

гиппокампа. Но мне хочется вымести поганой метлой человеческое тщеславие» (Huxley T. H. 1863/1901. *Man's place in nature and other anthropological essays*, p. 153. Macmillan, London). В отношении гиппокампа Хаксли был прав.

Таким образом, между нами и нашим общим предком с шимпанзе, проживавшим когда-то в Африке, не более 300 000 поколений. Если вы возьмете за руку свою маму, а она возьмет свою, и так далее в глубь поколений, то получится живая цепь людей протяженностью от Нью-Йорка до Вашингтона, в конце которой будет стоять «недостающее звено» – наш общий предок с шимпанзе. Пять миллионов лет – это большой промежуток времени, но эволюция измеряет время не в годах, а в поколениях. Бактерии потребуется всего 25 лет, чтобы получить столько же поколений.

Как выглядело это «недостающее звено»? Выстроив в ряд найденные окаменелости предков современного человека, ученые вплотную подошли к ответу на этот вопрос. Наиболее близко к развилке дорог находится, видимо, маленький получеловек-полуобезьяна ардипитек (*Ardipithecus*), скелет которого датируется 4 млн лет. Хотя некоторые ученые считают ардипитека «недостающим звеном», скорее всего, это не так. Уж слишком его тазовые кости приспособлены к прямохождению. Довольно трудно предположить, что, исходя от гориллы, в процессе эволюции ардипитек достиг такого совершенства, которое затем вновь было утрачено у шимпанзе. Окаменелости «недостающего звена» должны быть на пару миллионов лет моложе. Но исходя из того, как выглядит ардипитек, можно представить внешний вид «недостающего звена». Мозг у него был меньше, чем у современного шимпанзе. Он проворно мог передвигаться как на двух, так и на четырех ногах. Его рацион напоминал рацион шимпанзе: в основном фрукты и стебли растений. Самцы должны были быть крупнее самок. Нам, людям, очень трудно не полагать, что наш общий предок с обезьяной больше походил на шимпанзе, чем на нас. Возможно, шимпанзе опротестовали бы такой подход, тем не менее факты свидетельствуют о том, что действительно наш вид претерпел значительно более существенные изменения.

Как и все другие человекообразные обезьяны, «недостающее звено» было лесным животным, имеющим дом где-то в ветвях плиоценового леса. Но в какой-то момент времени популяция была разделена пополам. Мы можем это предположить, поскольку именно разделение популяций служит отправной точкой видообразования. Каждая дочерняя субпопуляция постепенно приобретает все новые и новые морфологические и генетические черты. Линией

раздела могли стать горы, или широкая река (так, река Конго отделяет шимпанзе от их разновидности – бонобо), или как раз в это время образовавшийся рифтовый разлом земной коры, в результате которого отделилась восточноафриканская популяция обезьян, оказавшаяся отрезанной от тропических лесов в засушливой саванне. Французский палеонтолог Ив Копен (Yves Coppens) в шутку назвал это событие «историей восточного побережья». По другой версии популяция разделилась на южную – шимпанзе, и североафриканскую, а линией раздела стала пустыня Сахара. Можно также предположить, что наводнение или прорыв Гибралтара отделили популяцию обезьян на средиземноморском острове, где им пришлось научиться бродить вдоль берега в поисках рыбы и моллюсков. Теорий много, но пока нет четкого доказательства достоверности ни одной из них.

Каким бы ни был механизм изоляции, мы можем предположить, что наши предки составляли небольшую изолированную группу, тогда как предки шимпанзе были преобладающей расой. Мы можем это предположить, поскольку, судя по данным популяционной генетики, известно, что наш вид «прошел сквозь горлышко бутылки», т. е. в недавней истории наших предков был момент, когда популяция находилась на грани вымирания из-за малочисленности особей. В истории шимпанзе такого момента не было. Поэтому случайное варьирование генома в популяции шимпанзе намного больше, чем варьирование у разных рас людей (Rogers A., Jorde R. B. 1995. Genetic evidence and modern human origins. *Human Biology* 67: 1-36).

Давайте предположим, что эта маленькая группа особей сохранилась на острове. Изоляция балансирующей на грани исчезновения группы привела к близкородственному скрещиванию, что в свою очередь вызвало эффект генетического дрейфа. (Этот эффект проявляется в том, что в малых популяциях частота возникновения и накопления мутаций существенно возрастает.) Именно в такой ограниченной популяции могла закрепиться мутация слияния двух хромосом. Эта мутация привела теперь уже к генетической изоляции вида, поскольку здоровое потомство не могло родиться от двух родителей с разным числом хромосом. Эта граница уже никогда не могла быть преодолена, даже после слияния островной популяции с материковой. Межпопуляционные гибриды должны были быть бесплодными. (По этическим соображениям эксперименты по скрещиванию шимпанзе и человека никогда не проводились, но появление потомства действительно маловероятно.)

Параллельно происходили другие существенные изменения в анатомии предков человека. Скелет изменился таким образом, что стало возможным прямохождение на двух ногах, которое в большей степени подходило для перемещения на значительное расстояние по открытой равнинной местности. Напротив, способ передвижения обезьян больше подходит для оседлого образа жизни в лесу или на холмистой местности. Стала также изменяться кожа. Волосяной покров сокращался, и появилось обильное потоотделение в жаркую погоду, что совершенно не свойственно другим человекообразным обезьянам. Эти изменения вместе с сохранившейся шапкой волос на макушке и системой возвратно-теплообменных вен на голове говорят о том, что наши предки больше уже не жили в тени и туманах экваториального леса, а ходили прямо под палящим экваториальным солнцем (Boaz N. T. 1997. Eco homo. Basic Books, New York).

Можно дальше обсуждать изменения в экологии, которые привели к таким разительным отличиям в строении скелета, но основной вывод мы можем сделать уже сейчас: наши предки были изолированы в довольно сухой, равнинной местности, покрытой травой. Эта среда обитания нашла наших предков, а не они ее. Примерно в то время, когда произошло разделение предков человека и шимпанзе, действительно, во многих областях Африки джунгли сменила саванна. Чуть позже, примерно 3,6 млн лет назад, произошло извержение вулкана Садиман, который находится на территории современной Танзании. На свежесыпавшем пепле четко отпечатались следы трех гоминидов лаетоли, которые куда-то шли с юга на север по своим делам. Впереди шла наиболее крупная особь, средняя особь отставала всего на шаг, а чуть левее семенила маленькая особь. На полпути они остановились и посмотрели на запад, а затем продолжили свой путь. Окаменевшие следы рассказали небольшую историю о наших вероятных предках, людях лаетоли, которые уже в те времена уверенно передвигались прямо на двух ногах.

Но до сих пор нам известно очень мало. Были люди лаетоли мужчиной, женщиной и ребенком или мужчиной и двумя женщинами? Чем они питались? Где жили? Восточная Африка становилась все более сухой по мере того, как в рифтовые долины переставал поступать влажный воздух с запада. Вряд ли люди пришли сюда в поисках менее дождливого климата. Напротив, нам необходима вода. Наше свойство обильно потеть на жаре, адаптация пищеварительного тракта к перевариванию разнообразной пищи, в том числе и рыбы, и даже наше стремление к отдыху на морском или речном берегу и умение плавать говорят о том, что для наших предков всегда предпочтительнее был влажный климат. Окаменевшие останки наших предков следует искать у берегов древних рек и

озер.

В какой-то момент древние люди превратились в хищников. Несколько новых видов людей появились уже после того, как лаетоли оставили свои следы на пепле. Одним из широко известных видов являлись австралопитеки. Возможно, они были потомками лаетоли, но точно не нашими предками. Это была травоядная ветвь гоминидов. Генетика мало может рассказать о них, поскольку они вымерли, не оставив потомков. Сведения об австралопитеках были получены в результате изучения их окаменелых останков. Этим занимались семья Лики (Leakey), Дональд Йохансон (Donald Johanson) и другие антропологи. Если не считать огромных челюстей, австралопитеки были мелкими созданиями. Они были меньше и глупее, чем шимпанзе, но ходили прямо на двух ногах. Их огромные челюсти имели мощную мускулатуру. Они постоянно что-то жевали, вероятно, траву и другую грубую растительность и поэтому утратили клыки, которые мешали жевать жесткую пищу из стороны в сторону. В какой-то момент они исчезли, примерно около миллиона лет назад. Вполне возможно, что их съели предки современного человека.

Наши непосредственные предки были более крупными существами – примерно такого же роста, как современные люди, или даже чуть выше. Об этом свидетельствует известная находка мальчика из Нариокотоме, обнаруженная Аланом Уолкером (Alan Walker) и Ричардом Лики (Richard Leakey) и датированная 1,6 млн лет (Walker A., Shipman P. 1996. The wisdom of bones. Phoenix, London). В это время предки людей уже используют каменные орудия в качестве замены утраченным клыкам. Они удивительно приспособлены для того, чтобы убивать и поедать беззащитных австралопитеков. В мире животных следует опасаться двоюродных братьев. Львы убивают леопардов, волки убивают койотов. Наши головастые разбойники были вооружены каменным оружием и ходили на охоту группами. Небольшое преимущество в борьбе за существование наставило наших предков на путь, который привел их к ошеломительному эволюционному успеху. С этих пор мозг становится все больше и больше. Один любознательный математик подсчитал, что каждые 100 000 лет мозг увеличивался на 150 млн нервных клеток – один из примеров бесполезной статистики, которыми изобилуют проспекты для туристов. Большой мозг, мясной рацион, медленное развитие с длинным детством. (Даже во взрослом возрасте у людей стали сохраняться черты, присущие детям: голая кожа без волосяного покрова, уменьшенные челюсти и высокий лоб.) Все эти признаки развивались параллельно. Без мяса требующий протеинов большой мозг становился слишком дорогой роскошью.

Кінець ознакомительного фрагмента.

Купити: https://tellnovel.me/ridli_mett/genom-avtobiografiya-vida-v-23-glavah

надано

Прочитайте цю книгу цілком, купивши повну легальну версію: [Купити](#)