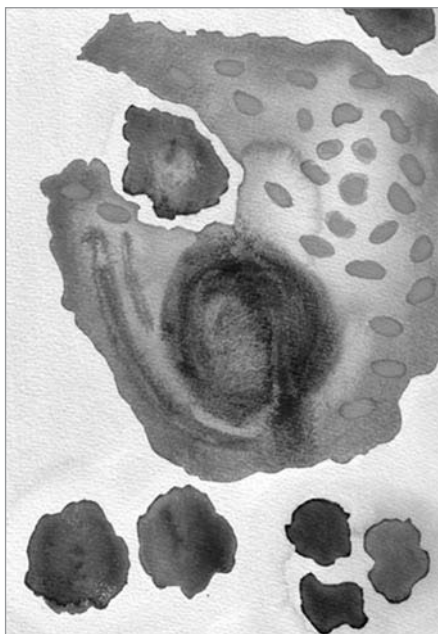


ЧАСТЬ 3

ИНСАЙДЕРСКАЯ СДЕЛКА¹

ОСНОВЫ СЛОЖНОСТИ



Бактерии царили на Земле два миллиарда лет. В процессе эволюции они достигли почти безграничного биохимического разнообразия, но так и не приобцились к тайне большого размера и морфологической сложности. Возможно, эволюция жизни на других планетах остановилась на этом же уровне. Здесь, на Земле, большие размеры тела и высокий уровень сложности стали возможны только после того, как процесс производства энергии переместился в митохондрии. Что же помешало бактериям делегировать производство энергии каким-нибудь внутренним структурам? Подсказкой послужит нам один любопытный факт: митохондрии эукариот вот уже два миллиарда лет упорно сохраняют свою ДНК.

Клетка, полная «всяких штучек».

Процесс производства энергии у эукариот приурочен к митохондриям

¹ Инсайдерские сделки — операции с ценными бумагами, основанные на конфиденциальной информации о компании-эмитенте.

Вот список слов, при одном упоминании которых поперхнется пивом любой эволюционный биолог: целесообразность, телеология, лестница восходящей сложности, недарвиновская эволюция. Все эти термины ассоциируются с религиозным подходом к эволюции — верой в то, что возникновение и дальнейшее усложнение жизни были предначертаны, а человечество занимает промежуточное положение между низшими животными и ангелами в великой «цепи бытия», восходящей к Творцу. Теперь среди сторонников этого подхода можно найти не только теологов, но и астробиологов. Действительно, отрадно думать, что физические законы Вселенной благоприятствуют возникновению жизни, а отсюда недалеко до мысли, что человеческое сознание было почти неизбежным следствием этих же законов. Я уже оспаривал это положение в начале книги, и мы снова вернемся к этой теме в третьей части, где идет речь о происхождении биологической сложности.

В первой части книги мы видели, что все сложные многоклеточные организмы состоят из эукариотических клеток, а бактерии за четыре миллиарда лет остались клетками-одиночками. Между бактериальными и эукариотическими клетками лежит огромная пропасть, и не исключено, что в других местах Вселенной жизнь не поднялась выше бактериального уровня организации. Мы видели, что эукариотическая клетка была плодом маловероятного союза бактерии и архея. Давайте теперь поищем первые ростки сложности. Какие именно особенности эукариотической клетки способствовали усложнению? Пусть это впечатление и обманчиво, но при взгляде на великое полотно эволюции *после* появления эукариотической клетки действительно возникает ощущение целенаправленности. Образ стремящейся к Богу цепи бытия, даже если он ложен, появился не на ровном месте. В этой части книги мы увидим, что семена сложности заронили в эукариотический мир митохондрии, ведь неуклонное усложнение жизни началось именно после их появления. Сложность не была предписана сверху. Она прорастала изнутри.

В знаменитой книге *Chance and Necessity* («Случайность и необходимость») Жак Моно — молекулярный биолог, убежденный атеист и лауреат Нобелевской премии¹ — обсуждает тему целесообразности. Бессмысленно говорить о сердце, пишет он, умалчивая о том, что это насос, функция которого — обеспечивать ток крови по кровеносным сосудам. Но говоря так, мы, по сути, имеем в виду, что сердце служит определенной цели. А если

¹ Нобелевская премия по физиологии и медицине 1965 г. совместно с Франсуа Жакобом и Андре Львовом.

мы скажем, что сердце возникло *для того, чтобы* обеспечивать ток крови, то окончательно впадем в телеологическую ересь, ведь тем самым мы припишем эволюционной траектории конечную цель. Тем не менее сердце вряд ли возникло для чего-то другого; если оно возникло не для того, чтобы обеспечивать кровоток, то просто чудо, что оно так прекрасно приспособлено для этой цели. Моно утверждал, что биология полна целесообразности и целенаправленности, и отрицать это было бы просто глупо, наша задача — это объяснить. Для этого мы должны ответить на следующий вопрос: как слепой случай — случайный механизм, не обладающий даром предвидения, — порождает совершенные и целесообразные биологические машины?

Ответ на этот вопрос дал Дарвин, и он гласит, как мы знаем: «естественный отбор». Слепой случай всего лишь создает случайную изменчивость в популяции. Отбор не слеп или, по крайней мере, не случаен: он отбирает организмы в соответствии с их общей приспособленностью к определенной окружающей среде («выживание наиболее приспособленных»). Такие организмы передают потомству свою успешную генетическую организацию. Любые изменения, которые улучшают способность сердца обеспечивать ток крови, будут переданы следующим поколениям, а любые изменения, которые этому препятствуют, будут отброшены. В каждом поколении (в природных условиях) выживают и успешно размножаются только несколько процентов особей в популяции, и это, как правило, самые удачливые или самые приспособленные ее члены. На протяжении многих поколений фактор удачливости компенсируется, так что естественный отбор оставляет наиболее приспособленных из наиболее приспособленных, неизбежно совершенствуя конкретную функцию до тех пор, пока другие факторы отбора не начнут действовать в другом направлении. Таким образом, естественный отбор действует как храповик, придающий направленность случайной изменчивости. То, что получается в результате, действительно похоже на лестницу восходящей сложности.

По большому счету биологическая приспособленность записана в генах, потому что только они передаются следующему поколению (ну, строго говоря, не только — еще передаются митохондрии). Действие естественного отбора на изменения генетической последовательности из поколения в поколение приводит к мелким усовершенствованиям, а в результате мы созерцаем головокружительный готический собор биологической сложности. Дарвин ничего не знал о генах, но с открытием генетического кода тут же стал понятен механизм возникновения случайной изменчивости в популяции: изменения последовательности «букв» ДНК за счет мутаций

могут менять последовательность аминокислот в белках, что может положительно или отрицательно сказываться на их функции (или никак не сказываться на ней). Подобная изменчивость может возникать за счет одних только ошибок при копировании генов. В каждом поколении возникает порядка нескольких сотен мелких изменений последовательности ДНК (а она состоит из нескольких миллиардов «букв»), которые могут влиять, а могут не влиять на приспособленность. Мелкие изменения действительно происходят, подкидывая сырье в топку медленного эволюционного процесса, каким представлял его себе Дарвин. Наблюдать этот процесс в действии мы можем, проанализировав постепенные расхождения генетических последовательностей разных видов на протяжении сотен миллионов лет.

Однако мелкие мутации — не единственный путь изменения генома (полной библиотеки генов организма), и чем дальше продвигается геномика (наука, изучающая геномы), тем менее важным представляется их значение. Для усложнения нужно, как минимум, больше генов — маленький бактериальный геном не мог бы кодировать человеческий организм и уж тем более не мог бы обеспечить бесчисленные генетические различия между разными людьми. В общем, при изучении разных видов просматривается корреляция между степенью сложности и числом генов (но не общим количеством ДНК). Откуда же берутся все эти «дополнительные» гены? Они возникают за счет удвоения существующих генов (или даже целых геномов), или за счет объединения двух и более разных геномов, или за счет распространения повторяющихся последовательностей ДНК (эти эгоистичные» на первый взгляд последовательности, многочисленные копии которых разбросаны по геному, впоследствии могут пригодиться для чего-нибудь полезного — я имею в виду полезного для организма в целом).

Ни один из этих процессов не является «дарвиновским» в строгом смысле слова, то есть не приводит к мелким постепенным улучшениям существующего генома. Речь идет о крупномасштабных изменениях количества ДНК — гигантских скачках через генетическое пространство, одномоментных кардинальных трансформациях генетических последовательностей (даже если они приводят к появлению не самих новых генов, а материала для них). Однако если отвлечься от масштаба изменений, в остальном этот процесс вполне согласуется с теорией Дарвина. Такие изменения генома по сути случайны, и в дальнейшем на них начинает действовать естественный отбор. Новые последовательности генов подстраиваются к выполнению новых задач за счет мелких изменений, накапливающихся из поколения в поколение. Короче говоря, если такие масштабные

изменения количества ДНК не порождают нежизнеспособных монстров, они вполне имеют право на существование. Если окажется, что от удвоения количества ДНК никакого особого проку нет, естественный отбор наверняка избавится от излишков. Чем больше «ненужной» ДНК будет «выброшено за борт», тем ниже окажется потолок потенциальной сложности организма, так как при этом пропадает материал, необходимый для образования новых генов, а сложным организмам, как мы знаем, нужно много генов.

Тут мы снова возвращаемся к лестнице восходящей сложности. Вспомним, как непохожи эукариоты и бактерии. Бактерии за четыре миллиарда лет остались бактериями: достигнув исключительного разнообразия и сложности в биохимическом плане, они не произвели решительно никакой истинной *морфологической* сложности. Если смотреть только на размер, форму тела и внешний вид, то можно сказать, что они вообще не изменились. Эукариоты же очень существенно усложнились за половину отведенного бактериям срока. У них возникли внутренние мембранные системы, специализированные органеллы, хитроумные клеточные циклы, заменившие простое деление клеток, пол, огромные геномы, фагоцитоз, хищничество, многоклеточность, дифференциация, большие размеры тела и, наконец, такие потрясающие инженерные решения, как полет, зрение, слух, эхолокация, мозг и сознание. Поскольку эти усложнения появлялись с течением времени, их вполне можно расположить в виде лестницы восходящей сложности. Итак, мы видим бактерии, с их почти бесконечным биохимическим разнообразием, но полным отсутствием тенденции к усложнению, и эукариот, довольно однообразных в биохимическом плане, но восхитительно непохожих друг на друга в том, что касается морфологии.

Убежденный дарвинист, которому указали бы на пропасть между бактериями и эукариотами, мог бы ответить: «Ну что вы, бактерии все-таки усложнились — разве не от них произошли первые эукариоты, которые, в свою очередь, дали начало всем тем организмам, исключительную сложность которых вы превозносите?» Это справедливо, но только в некотором смысле, и в этом-то вся загвоздка. Митохондрии, как я покажу чуть ниже, могли возникнуть только за счет эндосимбиоза — объединения двух геномов в одной клетке, гигантского скачка через генетическое пространство, — а сложные эукариотические клетки вообще не могли возникнуть без митохондрий. Подобная точка зрения основана на представлениях о том, что эукариотическая клетка сформировалась в процессе союза, который дал начало и митохондриям тоже, и что обладание митохондриями является, или являлось в прошлом, необходимым условием эукариотической при-

роды. Это представление расходится с традиционными взглядами на происхождение эукариот, поэтому я позволю себе в двух словах напомнить вам, почему это важно.

В первой части книги мы рассмотрели происхождение эукариотической клетки согласно взглядам Тома Кавалье-Смита — именно они лучше всего отражают традиционную точку зрения. Давайте вкратце перечислим основные пункты: прокариотическая клетка утратила клеточную стенку (возможно, под влиянием выделяемых другими бактериями антибиотиков), но выжила, так как уже имела внутренний белковый скелет (цитоскелет). Утрата клеточной стенки коренным образом изменила образ жизни и способ размножения клетки. У нее появилось ядро и сложный жизненный цикл. За счет цитоскелета она смогла двигаться и менять форму тела, как амеба, и перешла к новому, хищному образу жизни, заглатывая крупные пищевые частицы, например целые бактерии, путем фагоцитоза. Короче говоря, первая эукариотическая клетка приобрела ядро и эукариотический образ жизни за счет обычной дарвиновской эволюции. На относительно поздней стадии одна такая клетка случайно заглотила пурпурную бактерию, возможно паразита вроде *Rickettsia*. Оказавшиеся внутри бактерии выжили и постепенно превратились, опять же за счет обычной дарвиновской эволюции, в митохондрии.

Обратите внимание на две особенности этой теории: во-первых, ее явный «дарвиновский крен», так как факту союза двух разных геномов — по сути, недарвиновского способа эволюции — уделяется мало внимания; а во-вторых, то, что она умаляет значение митохондрий. Согласно этой теории, митохондрии «подключились» к полноценной эукариотической клетке и были утрачены во многих примитивных линиях (например, у *Giardia*). Они являются эффективным способом производства энергии, и не более того. Просто новой клетке взамен устаревшего моторчика поставили двигатель от «порше». По-моему, такой подход крайне плохо объясняет, почему все сложные клетки имеют митохондрии или, если посмотреть с другой стороны, почему митохондрии *необходимы* для эволюции сложности.

Теперь обратимся к водородной гипотезе Билла Мартина и Миклоша Мюллера, которую мы тоже обсуждали в первой части. Согласно этой радикальной гипотезе, тесные взаимоотношения между двумя очень разными прокариотическими клетками были изначально основаны на химической взаимозависимости. В конце концов одна клетка физически захватила другую, и в ней оказались два генома. Этот гигантский скачок через генетическое пространство породил многообещающего монстра, и он тут же подпал

под давление естественного отбора, которое привело к переносу генов «гостя» к хозяину. Принципиальный момент водородной гипотезы заключается в том, что примитивного эукариотического организма, который обладал ядром и вел хищный образ жизни, но не имел митохондрий, — никогда не было. Первый эукариот родился от союза двух прокариот, и это было абсолютно недарвиновским явлением. Маршрут был преодолен за один бросок без перевалочных пунктов.

Все это ставит с ног на голову наши обычные представления об эволюции как о ветвящемся древе жизни. В этом можно убедиться, посмотрев на древо жизни, изображенное русским биологом Константином Мережковским в 1905 г. (рис. 9). Древа жизни всегда вызывали много споров; особенно яростно их критиковал Стивен Джей Гулд, утверждавший, что после открытия кембрийского взрыва о традиционном древе жизни говорить просто нельзя. Кембрийский взрыв — это великое и по геологическим меркам очень быстрое увеличение биоразнообразия примерно 560 миллионов лет назад. Впоследствии большинство крупных ветвей были безжалостно обрезаны — целые типы животных вымирали без следа. Дэниел Деннет в своей книге «Опасная идея Дарвина» разносит в пух и прах якобы радикальные идеи Гулда, утверждая, что его вариант не отличается от прежних ничем, кроме деформации осей: вместо горделиво возвышающегося дерева мы имеем дело с низкорослым кустарничком, пустившим вверх несколько чахлах побегов. Но Мережковскому подобные упреки не грозят. Его эволюционное древо действительно перевернуто — новый домен жизни возникает за счет срастания, а не ветвления.

То, о чем я сейчас говорю, не является откровением. Все эти соображения на слуху, а симбиоз входит в традиционный эволюционный канон, даже если там ему отводится всего лишь роль механизма возникновения эволюционных новшеств. Например, Джон Мейнард Смит (великий ученый, к сожалению, недавно умерший) и Эрш Сатмари в интереснейшей книге *The Origins of Life* («Истоки жизни») сравнивают биологический симбиоз с мотоциклом — симбиозом велосипеда и двигателя внутреннего сгорания. Даже если считать симбиоз шагом вперед, довольно неуклюже шутят они, кто-то должен был сначала изобрести и велосипед и двигатель внутреннего сгорания. Так и в жизни: сначала естественный отбор создает части, а потом симбиоз творчески использует их. Итак, симбиоз лучше всего объясняется в терминах дарвиновской эволюции.

Все это справедливо, но затеняет тот факт, что некоторые коренные эволюционные новшества были возможны *только* за счет симбиоза. Продолжая метафору Мейнарда Смита и Сатмари, если велосипед и двигатель

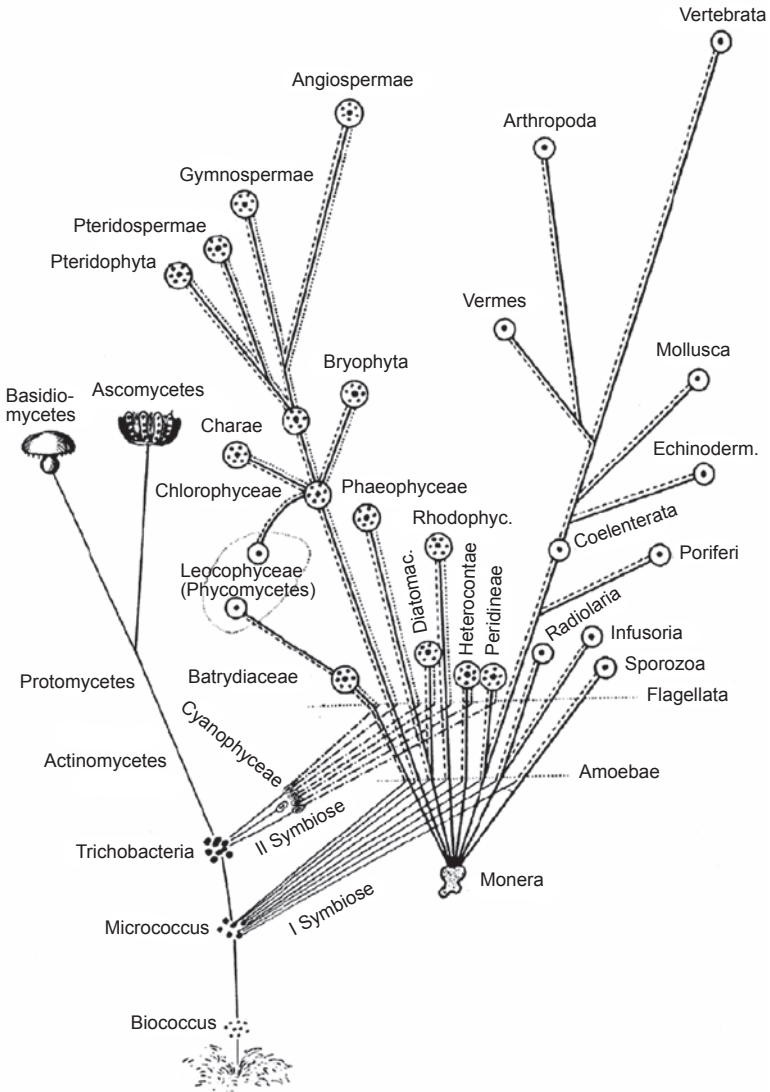


Рис. 9. Предложенное Мережковским инвертированное дерево жизни. Обычное «дарвиновское» дерево жизни всегда строго дихотомично: ветви ветвятся, но никогда не сливаются. Эукариотическая клетка произошла за счет эндосимбиоза. На дереве жизни это показано обратной бифуркацией: ветви сливаются, отчасти инвертируя дерево жизни