

ИГРА НА ВЫЖИВАНИЕ

Как естественный отбор
создаёт жизнь и меняет её правила



и
Родион Огневров

Родион Огневеров

**Игра на выживание: Как
естественный отбор создаёт
жизнь и меняет её правила**

<https://litres.ru/74602398>

SelfPub; 2026

Аннотация

Почему естественный отбор не создаёт совершенных организмов? И правда ли, что выживает сильнейший? Эволюция — не прямая дорога к прогрессу: её формируют наследственные различия, случайность и условия среды.

«Игра на выживание» показывает, как действуют отбор, дрейф генов и миграции; почему приспособленность — это вклад в будущее поколения, а не сила или долголетие; откуда берётся наследственная изменчивость и почему происхождение первых живых систем остаётся открытым вопросом. Вы узнаете о компромиссах адаптации, половом отборе, кооперации и паразитизме, видообразовании и проверке эволюционных гипотез. Отдельный взгляд — на человека, устойчивость к лекарствам и сохранение видов.

Книга адресована всем, кто хочет разобраться в эволюции без упрощённых мифов. Она поможет увидеть, как меняется жизнь — и как человеческие решения меняют условия отбора.

Книга создана с помощью ИИ. Обложка: GPT Image -
Лицензия

Содержание

Жизнь до отбора: наследование, изменчивость и происхождение первых живых систем	6
Правила игры: как работает естественный отбор	16
Выжить и оставить потомство: что на самом деле значит «приспособленность»	26
От мутации к признаку: откуда берётся наследственная изменчивость	36
Конец ознакомительного фрагмента.	41

Родион Огневеров
Игра на выживание:
Как естественный
отбор создаёт жизнь
и меняет её правила

Игра на выживание: Как естественный отбор создаёт жизнь и меняет её правила

Родион Огневеров

Жизнь до отбора: наследование, изменчивость и происхождение первых живых систем

Представьте берег молодой Земли. Не голубой шар с открытки, а неровную мозаику горячих источников, вулканических склонов, мелких водоёмов и тёмных океанских глубин. Вода просачивается сквозь трещины в породе, нагревается, растворяет минералы и возвращается наружу. У береговой лужи испарение сгущает раствор; дождь снова разбавляет его. Молекулы сталкиваются, распадаются, соединяются вновь. Среди них, возможно, однажды появляются такие, чьи структуры помогают создавать копии самих себя.

Мы не можем заглянуть в этот мир как очевидцы. Перед нами научная реконструкция: выводы из геологии, химических экспериментов, изучения живых организмов и физических законов. В ней много хорошо обоснованных деталей и всё ещё много неизвестного. Именно поэтому важно сразу разделить две загадки. Первая: как неживая химия породила системы, которые мы можем назвать живыми? Вторая: как уже существующая жизнь менялась со временем? Естественный отбор помогает ответить на вторую. Но чтобы ему было что отбирать, должны сначала возникнуть наследуемые различия.

Что происходило до первых организмов

Земля сформировалась около 4,54 миллиарда лет назад. К тому времени, когда могли появиться первые живые системы, планета уже успела остыть настолько, чтобы на ней существовала жидкая вода. Ранняя атмосфера не была похожа на современную: свободного кислорода, которым мы дышим, почти не было, а её точный состав остаётся предметом исследований. Одно, однако, можно сказать уверенно: древняя Земля не была ровной лабораторной колбой с одинаково тёплым «первичным бульоном».

Разные участки планеты предлагали разные условия. Ультрафиолетовое излучение достигало поверхности, вулканы поставляли газы и тепло, молнии могли запускать реакции. В глубине океана гидротермальные источники выбрасывали нагретые растворы, богатые минералами. Между такой жидкостью и окружающей водой возникали химические градиенты — различия в температуре, кислотности и составе веществ. Это не просто фон: градиенты могут давать химическим реакциям направление и энергию.

Некоторые учёные изучают, могли ли минералы концентрировать молекулы и помогать им соединяться. Поверхность глины или другого кристалла — не волшебная сборочная линия, но её структура способна притягивать определённые вещества и располагать их рядом. Другие исследователи рассматривают мелкие водоёмы, где чередование намокания и высыхания могло способствовать образованию длин-

ных молекул. Третьи сосредоточены на гидротермальных системах, где пористые минералы могли разделять химические среды и поддерживать устойчивые градиенты.

Ни один из этих вариантов пока не стал окончательным ответом. Возможно, ключевые стадии происходили в разных местах: одни вещества возникали в одном окружении, концентрировались в другом, а затем попадали в систему, где становилось возможным их копирование. Происхождение жизни — не детектив, в котором достаточно найти одну утерянную улику. Скорее, это расследование, в котором несколько правдоподобных маршрутов нужно проверить и сопоставить.

Одна из влиятельных гипотез называется «миром РНК». РНК интересна тем, что может одновременно хранить последовательность информации и, в некоторых случаях, ускорять химические реакции. В современных клетках молекула РНК участвует в переносе генетических инструкций, а важнейшая часть рибосомы — клеточной машины для сборки белков — сама имеет каталитическую РНК-основу. Значит, функции хранения и действия, которые сегодня часто разделены между ДНК и белками, в принципе могут сочетаться в одной молекуле.

Но слово «гипотеза» здесь существенно. Учёным ещё предстоит объяснить, как в условиях ранней Земли могли появиться нужные строительные блоки РНК, как они соединялись в подходящие цепи и как возникла система достаточ-

но точного копирования без уже существующих клеточных машин. Рассматриваются и другие возможности: более простые предшественники РНК, молекулярные сети, где разные реакции поддерживают друг друга, или сочетания наследственных молекул с минералами и простыми мембранами.

Три условия для начала отбора

Чтобы естественный отбор мог менять популяцию, нужны три вещи.

Наследование: особенности копии должны быть связаны с особенностями того, от чего она произошла. Если одна молекула помогает образовать похожую на себя молекулу, её свойства могут переходить дальше по цепочке.

Изменчивость: копии не должны быть абсолютно одинаковы. Различия могут возникать из-за ошибок при копировании, неодинакового состава молекул или изменений окружающей химической среды. В живых клетках мы называем многие наследственные изменения мутациями; на ранних этапах молекулярной эволюции механизм мог быть гораздо проще.

Различия в воспроизводстве: некоторые варианты должны оставлять больше копий, чем другие. Это может происходить потому, что они быстрее копируются, дольше сохраняются или лучше используют доступные вещества. В биологии такое различие называют неодинаковой приспособленностью, или различием в репродуктивном успехе.

Здесь легко ошибиться. Отбор — не награда за силу,

сложность или «полезность вообще». Свойство выгодно лишь в конкретных условиях. Молекула, которая быстрее копируется в тёплой среде, может оказаться неудачной после охлаждения. И отбору не нужны намерения: молекулы не стараются выжить. Одни варианты просто оставляют больше потомков, чем другие.

Мысленный эксперимент с двумя молекулами

Представим, что в небольшой системе есть два варианта молекулы-копировщика — А и Б. Пусть их поровну: по пятьдесят экземпляров. Это мысленный эксперимент, а не утверждение о том, что именно такие молекулы существовали на древней Земле.

В заданных условиях каждый вариант А в среднем даёт за цикл копирования 1,2 новых экземпляра, а вариант Б — один. Разница невелика: А не в двадцать раз быстрее, а всего на одну пятую. Но если это преимущество сохраняется и свойства передаются копиям, различия постепенно накапливаются. Через десять циклов в упрощённой модели получится примерно 310 экземпляров А и 50 экземпляров Б. А будет составлять около 86 процентов популяции, хотя начинала только с половины.

Посчитайте это сами: число копий А после десяти циклов пропорционально $(50 \times 1,2^{10})$, а число копий Б — (50×1^{10}) . В реальной системе такие числа зависели бы от множества обстоятельств: нехватки строительных блоков, распада молекул, случайных событий и ошибок.

Но главное видно даже в простой модели: небольшое наследуемое различие в воспроизводстве способно менять состав популяции.

Попробуйте мысленно изменить условие. Допустим, А копируется быстрее, но делает больше ошибок. Если ошибки редко портят полезные свойства, скорость может давать А преимущество. Если же большая часть копий теряет способность помогать своему воспроизведению, быстрый старт обернётся тупиком. Б, копирующийся медленнее, но точнее, может со временем стать более распространённым.

Иными словами, скорость без наследования ничего не гарантирует. Быстрый процесс, который каждый раз порождает совершенно иной и не воспроизводимый продукт, не накапливает результат. Не менее важна и изменчивость: если все копии во всём одинаковы, отбору нечего предпочесть. А если различия не влияют на число потомков, состав популяции может не меняться именно по этой причине.

Практическое упражнение. Возьмите два мысленных варианта любого самокопирующегося объекта — не обязательно молекулы. Для каждого запишите: что копируется, какие различия могут передаваться и почему один вариант оставит больше копий. Если на последний вопрос можно ответить только словами «он лучше» или «он сильнее», уточните условия: лучше при какой температуре, при дефиците каких веществ, при каком риске распада? Так становится заметно, что приспособленность — не ярлык, а результат вза-

имодействия признака со средой.

От химии к протоклетке

Как могла выглядеть дорога от отдельных молекул к системам, способным участвовать в эволюции? Удобно представить её не как доказанную последовательность событий, а как ряд задач, которые химическая система должна была решить.

Сначала некоторые реакции должны были создавать молекулы, подходящие друг к другу по форме или составу. Если продукт реакции ускорял её повторение или помогал собирать новые похожие продукты, возникал цикл с обратной связью. Такие циклы не обязательно сразу обладали наследственностью в современном смысле, но могли усиливать одни химические процессы по сравнению с другими.

Далее требовалось копирование, достаточно похожее на исходный образец. Неидеальное копирование создавало разнообразие, а сравнительно точное позволяло удерживать удачные сочетания свойств. Здесь появляется возможность молекулярного отбора: одни воспроизводимые варианты могли накапливаться, а другие исчезать. Точная граница между ранней химической самоорганизацией и полноценной эволюцией остаётся предметом обсуждения. Но принципиальный переход можно сформулировать так: различия должны начать передаваться между поколениями копий и влиять на число следующих копий.

Следующая трудность — изоляция. Если полезная мо-

лекула растворилась в огромном океане, её преимущества могли потеряться: вещества рассеивались, копии разделялись, продукты реакции уносило течением. Простая оболочка могла собрать молекулы в одном объёме. Некоторые жироподобные вещества в воде сами образуют пузырьки, похожие на мембраны. Такие пузырьки могли включать разные химические компоненты, защищать их от разбавления и создавать отдельные микросреды. Их называют протоклетками — не потому, что вопрос решён, а потому, что это правдоподобные кандидаты на промежуточные системы.

В лабораториях простые пузырьки из жирных кислот способны поглощать дополнительные молекулы этих веществ и увеличиваться; при определённых условиях они могут разделяться на более мелкие пузырьки. Это не означает, что исследователи уже воссоздали первую клетку. Перед возможной протоклеткой стояла трудная задача: связать внутреннее копирование наследственной молекулы с ростом и разделением оболочки. Если молекула хорошо копируется, но не попадает в «потомков» при делении, её преимущество может исчезнуть. Если пузырёк растёт, но внутри него нет системы, способной сохранять и воспроизводить полезные особенности, он останется временной каплей химии.

Предполагаемый переход поэтому не похож на внезапную сборку готовой клетки. Скорее, разные свойства могли возникать и соединяться постепенно: устойчивые химические циклы, молекулярное копирование, удержание ве-

ществ в ограниченном пространстве, использование доступной энергии. Какие этапы шли первыми, сколько было промежуточных вариантов и происходили ли они в одном месте, мы пока не знаем.

Где заканчивается происхождение и начинается эволюция

В земных породах находят признаки жизни возрастом не менее примерно 3,5 миллиарда лет. Некоторые свидетельства возможной более древней жизни обсуждаются, но их интерпретация сложна. К моменту, когда в геологической летописи уже различимы организмы, жизнь, по-видимому, успела пройти длинный путь изменений. Её самое раннее начало затерялось глубже — не только в древнейших слоях, но и в переходе, где химическая система ещё не стала тем, что большинство учёных уверенно назвало бы живым организмом.

Нет единственного простого теста, который мгновенно отделяет жизнь от неживого. Живые существа обычно поддерживают внутреннее устройство, используют энергию, воспроизводятся и передают наследственную информацию. Но у каждой границы найдётся пограничный случай: вирусы, например, несут наследственную информацию и эволюционируют, однако размножаться без клетки-хозяина не могут. Поэтому происхождение жизни лучше представлять не как пересечение ярко нарисованной черты, а как появление систем, всё больше похожих на те, в которых возможна эволю-

ция.

Разница между двумя загадками при этом остаётся принципиальной. Возникновение жизни спрашивает, каким образом могла появиться система с наследованием, изменчивостью и воспроизводством. Эволюция отвечает на вопрос, что происходит после того, как такие свойства уже существуют: какие варианты распространяются, какие исчезают и как популяции меняются во времени. Это связанные задачи, но решение одной не подменяет решение другой.

Можно запомнить эту связь через простое наблюдение за живым миром. У бактерий возникают наследственные различия; в определённых условиях одни из них помогают бактериям оставить больше потомков, чем другие. Это уже знакомая логика отбора, хотя механизм конкретного изменения может быть сложным. А вот чтобы объяснить происхождение первых систем, нужно отступить дальше — к химии, которая ещё не была жизнью, но могла постепенно создать её предпосылки.

Итак, естественный отбор не строит организм с нуля и не заглядывает в будущее. Он не знает, что клеткам когда-нибудь понадобятся глаза, а деревьям — семена. Он действует лишь там, где уже существуют копирование, наследуемые различия и неодинаковое воспроизводство. Всё остальное — огромная история перемен — начинается с этого скромного условия: одна версия оставляет чуть больше похожих на себя версий, чем другая.

Правила игры: как работает естественный отбор

Утро. На сухой траве у края поля два кузнечика — один почти сливается с соломенно-жёлтыми стеблями, другой темнеет на их фоне. Над ними мелькает тень. Птица хватается тёмного. Через минуту — ещё одного. К полудню светлых на участке по-прежнему больше.

«Природа выбрала лучших», — говорит наблюдатель.

Фраза звучит убедительно. В ней есть соперник, победитель и итог. Но именно здесь она начинает мешать: кажется, будто у природы есть замысел, список достоинств и рука, которая награждает подходящих. В действительности никакого судьи нет. Есть организмы с различающимися признаками, среда, в которой эти признаки имеют последствия, и потомки, которые в среднем наследуют часть родительских особенностей.

Чтобы увидеть механизм, проследим за одной популяцией — условной, но вполне правдоподобной. Представим, что на участке живут кузнечики разных оттенков. Птицам проще замечать тех, кто сильнее выделяется на фоне травы. Мы наблюдаем, что тёмных кузнечиков ловят чаще. Достаточно ли этого, чтобы заключить: естественный отбор увеличивает долю светлой окраски?

Пока нет. У нас есть любопытное наблюдение, но ещё не объяснение. Чтобы говорить об отборе, нужно проверить всю цепочку:

вариация → наследование → разница в размножении → изменение популяции.

Если выпало хотя бы одно звено, история может оказаться совсем другой.

Первое звено: в популяции есть различия

На поле не лежат две аккуратные стопки — «светлые» и «тёмные». Окраска образует разброс: одни насекомые чуть светлее, другие чуть темнее, у третьих заметны пятна или полосы. Важно не то, насколько разнообразны кузнечики вообще, а различаются ли они по признаку, связанному с шансом оставить потомство.

Откуда берётся разнообразие? Варианты генов возникают, например, из-за мутаций и перемешивания наследственного материала при размножении. Влиять могут и условия развития: питание, температура, влажность. Иногда похожие на наследственные различия появляются потому, что насекомые росли в разных условиях, а не потому, что у них разные наследственные варианты.

И вот здесь первая проверка. Если все кузнечики на участке одинаковы по окраске, птицам не из чего «выбирать» именно по этому признаку. Если различия есть, но они никак не сказываются на встрече с хищником, окраска не объяснит разницу в числе пойманных. Отбор не создаёт нужное

разнообразие по заказу. Он может изменить частоты уже существующих вариантов, если их носители оставляют неодинаковое потомство.

Проверка понимания: что должно появиться раньше — потребность в незаметной окраске или наследуемые различия, среди которых такая окраска может оказаться полезной? Сначала должны существовать различия. Потребность сама по себе не производит мутацию, нужную организму именно сейчас.

Второе звено: различие передаётся потомкам

Теперь спросим то, что легко упустить, засмотревшись на птиц: **что именно здесь наследуется?**

Может ли потомок светлого кузнечика с большей вероятностью быть светлым? Или окраска зависит главным образом от травы, на которой развивалось насекомое? Может ли мать передать потомству наследственный вариант, влияющий на выработку пигмента? Может ли сам оттенок быть связан с другими наследуемыми особенностями — например, с активностью или выбором места отдыха?

Полевой наблюдатель не обязан угадывать ответ. Его можно проверять. Например, сравнить потомство разных родителей, выращенное в похожих условиях. Ещё лучше — разделить кладки и выращивать потомков в нескольких одинаковых средах, чтобы не перепутать наследственность с влиянием места. Такие опыты не всегда просты, но логика проста: если различия исчезают, когда условия развития выров-

нены, значит, исходное наблюдение ещё не доказывало наследование. Если сходство родителей и потомков сохраняется, у окраски есть наследуемая составляющая.

Наследуемость не означает, что цвет записан в одном гене и передаётся без изменений, как готовая краска. Признак может зависеть от множества генетических вариантов и условий развития. Наследуемость — это вопрос о том, насколько различия между организмами в данной популяции и в данных условиях связаны с различиями, которые могут передаваться потомству. Она не превращает отдельного кузнечика в генетически предопределённую машину.

Здесь важно не перепутать две вещи. Особь может менять внешний вид за свою жизнь: например, темнеть после линьки или становиться менее заметной, выбирая другой участок травы. Это изменение не обязательно означает, что её генетический состав эволюционно изменился. А вот если наследуемый вариант, связанный с окраской, встречается в следующем поколении чаще или реже, меняется уже популяция.

Третье звено: носители признаков неодинаково размножаются

Допустим, исследователи отметили на участке по сто светлых и тёмных кузнечиков. После периода охоты птиц до размножения дожили 70 светлых и 45 тёмных. Если смотреть только на этот этап, кажется, что светлая окраска даёт преимущество.

Но выжить — ещё не значит оставить потомство. Пред-

ставим, что каждый из 70 светлых кузнечиков в среднем даёт двух потомков, доживших до выбранного учётом возраста. Получается 140 потомков. Если каждый из 45 тёмных даёт в среднем трёх потомков, это 135. В таком случае светлые всё ещё оставили чуть больше потомков, хотя разница уже невелика.

А теперь изменим только одно число: пусть тёмные доживают до размножения реже, но каждый из выживших в среднем производит достаточно потомков, чтобы общее число потомков этой группы стало больше. Тогда тёмный наследуемый вариант может участиться, несмотря на то что птицы чаще ловили тёмных кузнечиков.

Именно поэтому биологов интересует не медаль за долгую жизнь, а **репродуктивный успех** — вклад организма в следующие поколения. Для него имеют значение выживание, поиск партнёра, количество потомства, его выживание и дальнейшее размножение. Один только подсчёт пойманных насекомых не отвечает на вопрос, какая окраска оставила больше потомков.

Вот конкретный учебный итог нашего наблюдения. Вернёмся к первой версии: 70 светлых и 45 тёмных кузнечиков дожили до размножения, а среднее число учтённых потомков, достигших следующего этапа, оказалось одинаковым — по два на каждого. Тогда светлые оставили 140 потомков, тёмные — 90. Если потомки в среднем наследуют часть окраски родителей, доля светлого варианта возрастет.

Среди 230 учтённых потомков светлых будет около 61%, а не 50%, как в начале.

Числа здесь служат для объяснения, а не изображают результаты конкретного исследования. В природе подсчёт сложнее: потомки могут мигрировать, не все попадут в выборку, а число яиц ещё не равно числу особей, которые сами размножатся. Но принцип сохраняется: сравнивать нужно вклад в следующее поколение, а не только шансы пережить один опасный день.

Четвёртое звено: меняется популяция

Один кузнечик не «эволюционирует» из светлого в тёмного или наоборот потому, что птицы устроили за ним охоту. Отдельные организмы рождаются, растут и умирают; эволюционно меняются популяции — точнее, частоты наследуемых вариантов в них.

Если светлая окраска наследуется и её носители в этих условиях оставляют больше потомков, светлый вариант может стать обычнее в следующих поколениях. Это изменение не обязано быть мгновенным или полным. Тёмные кузнечики не должны исчезнуть: у них могут быть преимущества в других местах, сезонах или обстоятельствах. Сегодня поле сухое и светлое, завтра его затенит кустарник или выжжет пожар. Среда не выносит окончательный приговор признаку; она меняет последствия, которые этот признак имеет сейчас.

Мы прошли четыре звена. Теперь можно вернуться к громкой фразе «природа выбрала лучших» и перевести её

на язык механизма:

В этой популяции наследуемые варианты окраски различались. На данном участке кузнечики одного варианта чаще доживали до размножения и в среднем оставили больше потомков. Поэтому, если прочие условия не уравновесят эту разницу, данный вариант может стать распространённым в следующих поколениях.

Фраза длиннее — зато в ней нет тайного судьи.

Как отличить отбор от совпадения

Если за одну неделю на поле стало меньше тёмных насекомых, это ещё не доказывает отбора. Они могли случайно попасть в участок, где чаще охотились птицы; могли уйти в другое место; могли хуже попадать в учёт. А если выборка мала, несколько случайных потерь способны заметно изменить соотношение цветов.

Поэтому исследователь задаёт несколько неудобных, но полезных вопросов.

С чем сравнивали? Не только с тем, сколько особей поймано, а с тем, сколько каждого варианта было в начале и сколько дожило до размножения.

Повторяется ли результат? Если похожая связь между окраской, средой и размножением появляется на нескольких участках или в разные сезоны, объяснение отбором становится убедительнее. Повторение не гарантирует правоту, но снижает вероятность случайной истории.

Правда ли причина именно в окраске? Допустим,

тёмные кузнечики чаще активны на открытых участках. Тогда птицы могут чаще находить их из-за поведения, а цвет лишь сопутствует отличию. Или окраска связана с размером, а размер влияет на выживание. В таком случае отбор может идти по связанному признаку — или сразу по нескольким признакам.

Меняется ли наследуемый вариант в потомстве? Это ключевая проверка. Можно сравнить поколения, исследовать наследуемые различия и проследить, действительно ли потомки отличаются в ожидаемом направлении. Если выживаемость разных форм различается, но признак не наследуется, популяция может не приобрести устойчивого генетического сдвига.

Такая осторожность не ослабляет объяснение. Она отделяет его от красивого рассказа, который подходит к любому результату задним числом.

Три ловушки слова «лучше»

Первая ловушка — думать, будто организм меняется генетически в ответ на испытание. Кузнечик, которому повезло уцелеть, не передаёт своим детям «опыт встречи с птицей» как новое наследственное свойство. За жизнь особь может учиться, привыкать, менять поведение или расти в новых условиях. Но популяционная эволюция происходит, когда меняются частоты наследуемых вариантов между поколениями.

Вторая — считать, что потребность порождает полезную

мутацию. Наследственные варианты возникают без знания о том, что будет выгодно. Иногда новый вариант оказывается полезным в конкретной среде; часто он нейтрален, а иногда вреден. Отбор меняет его судьбу после появления, но не заказывает его заранее.

Третья — считать, что тот, кто выжил, обязательно «победил». Можно прожить долго, но не оставить потомства; можно выжить и размножиться, но иметь меньше потомков, чем другие. Даже заметное преимущество на одном этапе жизни может быть перекрыто недостатком на другом. «Сильнейший» в популярном пересказе — плохая замена понятию, которое измеряется не мускулами и не героизмом, а вкладом в последующие поколения.

И ещё одно уточнение: отбор не работает на благо вида. Он не планирует защитить кузнечиков как группу и не обещает, что вся популяция станет идеально приспособленной. Он проявляется через различия между организмами, оставляющими разное число потомков. Популяция может измениться даже тогда, когда это не делает её «лучше вообще», а лишь помогает некоторым наследуемым вариантам чаще передаваться в конкретных условиях.

Четыре вопроса для любой истории об отборе

Попробуйте применить схему к знакомому примеру — устойчивости бактерий к антибиотикам, окраске насекомых или срокам цветения растений. Не начинайте с вопроса «зачем организму понадобилось измениться». Начните с четы-

рѣх других:

- 1. Какие варианты уже различаются внутри популяции?**
- 2. Что именно из этих различий наследуется?**
- 3. Какие варианты оставляют больше потомков — не только чаще выживают?**
- 4. Меняется ли частота наследуемых вариантов в следующих поколениях?**

Если на один из вопросов пока нет ответа, это не повод отказываться от гипотезы. Это указание, какое звено нужно проверить.

Схема остаётся короткой: **вариация → наследование → разница в размножении → изменение популяции**. Она не обещает простых ответов, зато показывает, где искать причинную связь. Естественный отбор — не намерение природы и не награда за абстрактное совершенство. Это систематическое изменение наследуемых вариантов, возникающее потому, что их носители в определённых условиях оставляют неодинаковое число потомков.

Но как сравнить этот вклад? Что считать репродуктивным успехом, если один организм живѣт дольше, другой производит больше потомства, а третий оставляет меньше детей, но те чаще размножаются сами? Для этого понадобится разобрать понятие, которое часто переводят словом «приспособленность», — и понять, почему оно означает не просто умение выжить.

Выжить и оставить потомство: что на самом деле значит «приспособленность»

Представьте двух самок полёвки. Первая пережила несколько зим, осталась крепкой и осторожной, но оставила немного потомства. Вторая прожила куда меньше: рано принялась размножаться, принесла многочисленный выводок, и несколько её детёнышей сами стали родителями.

Кто из них был лучше приспособлен?

В обычном разговоре ответ может зависеть от того, что мы ценим: долгую жизнь, здоровье, осторожность или число детёнышей. Эволюционный ответ проще и строже: нужно выяснить, какой наследуемый вариант в данных условиях оставил больше потомков, способных продолжить размножение.

Не «кто сильнее?». Не «кто прожил дольше?». И даже не просто «у кого родилось больше детёнышей?». Счёт ведётся по всему пути — от выживания до того момента, когда потомки сами могут передать наследственный вариант дальше.

Слово с двумя значениями

В быту приспособленным называют того, кто легко справляется с обстоятельствами: здорового, крепкого, выносливого, умеющего найти выход. В биологии слово «приспособленность» — *fitness* — звучит почти так же, но означает не

оценку организма и не набор его достоинств. Это характеристика его репродуктивного вклада в будущие поколения.

Такое определение слегка провокационно. Оно отделяет эволюционный успех от всего, что человеку кажется успехом. Долголетие ценно не само по себе: оно имеет значение, если помогает оставить больше потомков или повысить их шансы. Сила полезна, если в конкретной среде она помогает добывать пищу, избегать врагов, находить партнёра или заботиться о потомстве. Здоровье важно, если влияет на воспроизводство. Ни одно из этих качеств не получает от природы отдельной золотой медали.

При этом приспособленность нельзя свести к одному вопросу: «Сколько детей родилось?» Между рождением и следующим поколением есть несколько узких проходов:

- организм должен дожить до возраста размножения;
- ему нужно получить возможность спариться или иным способом произвести потомство;
- потомство должно появиться на свет;
- оно должно выжить и достичь возраста, когда может размножаться;
- наследуемый вариант должен действительно передаться дальше.

Если на любом этапе результат близок к нулю, высокие показатели на остальных этапах могут не спасти ситуацию. Самка может произвести много потомства, которое погибнет в первые дни. Самец может прожить долго, но почти не

получить доступа к спариванию. А особь, которая уже оставила потомков, может жить ещё десятилетия — однако если её дальнейшая жизнь не влияет ни на размножение, ни на выживание родственников, сам факт долголетия мало что добавляет к её прямому эволюционному вкладу.

Счёт по всей цепочке

Посмотрим на две условные стратегии одного вида. Первая — «медленная»: особи чаще доживают до взрослого возраста и живут дольше, но размножаются скромнее. Вторая — «быстрая»: до размножения добираются реже, зато размножившиеся особи оставляют больше потомства. Это не данные о конкретных полёвках, а простая модель, позволяющая увидеть логику сравнения.

Начнём со 100 молодых самок каждого типа и посчитаем, сколько потомков в среднем доживёт до возраста размножения. Для простоты предположим, что условия спаривания у потомков обеих стратегий одинаковы и наследуемые различия передаются с одинаковой вероятностью.

Показатель

Стратегия А: медленная, долгоживущая

Стратегия Б: быстрая, менее долгоживущая

Доля молодых самок, доживших до возраста размножения
80%

55%

Доля взрослых самок, оставивших потомство

75%

95%

Среднее число потомков у размножившейся самки за жизнь

4

7

Доля потомства, достигшего возраста размножения

60%

50%

Потомки, дошедшие до возраста размножения, на 100 молодых самок

144

около 183

Расчёт для стратегии А: $100 \times 0,80 \times 0,75 \times 4 \times 0,60 = 144$.
Для стратегии Б: $100 \times 0,55 \times 0,95 \times 7 \times 0,50 \approx 183$.

У стратегии А выше выживаемость молодых, а каждое потомство имеет лучшие шансы дожить до взрослого возраста. Но стратегия Б компенсирует потери более высокой вероятностью размножения и большим числом потомков. В рамках заданной модели она оставляет больше будущих взрос-

лых особей.

Это ещё не означает, что «Б победила навсегда». Таблица показывает ожидаемый результат в определённых условиях и на выбранном отрезке поколений. В настоящей популяции число потомков случайно: одна самка может оставить много потомства, другая — ни одного. Поэтому приспособленность оценивают не по эффектной биографии отдельной особи, а по среднему в группе носителей наследуемого варианта.

И ещё одно уточнение: дожить до возраста размножения — не то же самое, что наверняка размножиться. В таблице одинаковая вероятность спаривания для потомков обеих стратегий заложена как упрощение. Если в действительности одним удаётся чаще находить партнёра, а другим — нет, нужно добавить этот этап в расчёт. Биологический счёт не становится бессмысленным оттого, что его трудно вести; просто следует честно отмечать, что именно мы посчитали.

Один поворот среды — и лидер меняется

Допустим, у стратегии Б повысилась смертность молодняка: из-за засухи, холодной весны или нового хищника до возраста размножения доживает не половина потомства, а лишь 35%. Тогда ожидаемый результат становится таким:

$$100 \times 0,55 \times 0,95 \times 7 \times 0,35 \approx 128.$$

У стратегии А по-прежнему около 144. Теперь преимущество у неё. Не потому, что долголетие вдруг стало «лучше» само по себе, а потому, что изменилось узкое место в

жизненном цикле. В одной среде важно произвести много потомства; в другой важнее, чтобы уже появившееся потомство пережило опасный период.

Вот почему приспособленность — не постоянный ярлык на организме, вроде «сильный» или «слабый». Это отношение между наследуемым вариантом и конкретными обстоятельствами. Среда — не только температура или количество осадков. В неё входят хищники, паразиты, доступность пищи, укрытия, конкуренты и плотность самой популяции.

Даже состав конкурентов может изменить результат. Пока стратегия высокой плодовитости редка, её носителям может хватать пищи и места для многочисленного потомства. Если она становится распространённой, молодых животных оказывается слишком много: корма на всех уже не хватает, и выживаемость падает. Преимущество, которое помогало варианту распространяться, способно уменьшиться именно потому, что этот вариант стал частым.

Среда меняется и со временем. В стабильные годы осторожная стратегия может хорошо окупаться, а после внезапной катастрофы преимущество получают раннее размножение и быстрый рост численности. Эволюционная история — не турнир с одной постоянной таблицей результатов. Скорее, это серия матчей на разных площадках, где меняются правила и соперники.

Есть и временная оговорка. Таблица сравнивает вклад за поколение, но не обязательно за одинаковое число лет. Ес-

ли стратегия Б позволяет размножаться раньше, её носители могут пройти через большее число поколений за тот же календарный срок. А если размножение отложено, такой вариант может уступить по скорости распространения, даже когда за всю жизнь одна особь оставляет немало потомков. Поэтому биологи уточняют, что именно сравнивают: вклад за поколение, скорость роста популяции или успех варианта за определённый период.

Важно также различать абсолютный и относительный результат. Популяция может сокращаться, но один наследуемый вариант — распространяться, если его носители сокращаются медленнее остальных. И наоборот: популяция может расти, но доля конкретного варианта в ней уменьшаться. Для естественного отбора решающее значение имеет не только число потомков, но и то, как оно соотносится с результатом конкурирующих вариантов.

Не существует универсально правильной стратегии

Долгоживущая стратегия часто связана с осторожным распределением ресурсов: меньше тратить на размножение сейчас, больше — на выживание, рост или будущие попытки. Быстрая стратегия может направлять больше ресурсов на потомство в ближайшем сезоне, принимая повышенный риск для самой особи или её детёнышей.

Такие компромиссы не означают, что природа сознательно выбирает между «разумным» и «расточительным». У организма ограничены ресурсы, а разные варианты распреде-

ления затрат имеют разные последствия. Но правило «больше детей всегда лучше» неверно так же, как правило «дольше жить всегда лучше».

Многие тихоокеанские лососи, например, после нереста погибают. Их стратегия не становится неудачной только потому, что взрослые особи не возвращаются к следующему сезону размножения. Если в данных условиях вложить ресурсы в одно массовое размножение оказывается успешнее, чем распределять их на многократные попытки, такая стратегия может сохраняться. У других видов выгодно размножаться снова и снова. Сама по себе долгота жизни не сообщает, какой вариант эффективнее.

И всё же выживание важно — иногда решающе. Без него часто не бывает ни спаривания, ни потомства. Но выживание — не конечный счёт, а один из этапов. Долгая жизнь может помогать родителям заботиться о детёнышах или родственниках. В таком случае вклад не ограничивается собственными потомками: помощь близким тоже может поддержать распространение общих наследуемых вариантов. Однако и тут важен не человеческий образ добродетели, а измеримое следствие: изменились ли шансы передачи наследственного материала в следующих поколениях?

Есть ещё одно различие: приспособленность особи и эволюционное изменение популяции — не одно и то же. Успешный организм может оставить много потомков, но если его особенности не наследуются, похожий успех не обязательно

будет повторяться у потомков. Если две особи различаются лишь потому, что одна росла в более тёплом месте и получала больше пищи, их различие само по себе ещё не говорит о наследственной эволюционной перемене. Естественный отбор меняет частоты наследуемых вариантов, а не награждает отдельную особь за удачную биографию.

Практика: задайте вопрос точнее

В следующий раз, услышав, что какой-то вид «лучше приспособлен», попробуйте заменить это выражение вопросом:

1. В какой именно среде сравниваются организмы?
2. На каком этапе жизненного цикла возникает преимущество: выживание, спаривание, число потомков или их выживаемость?
3. Сколько потомков в среднем оставляет каждый вариант — и сколько из них доживают до размножения?
4. Сравнивается ли успех за поколение или за определённый срок?
5. Насколько различие наследуемо, и кто именно служит конкурентом?

Можно сделать короткое упражнение. Возьмите любой пример — птицу с ярким оперением, растение с большим числом семян, животное, которое рано начинает размножаться. Сначала придумайте условия, в которых его особенность даёт преимущество. Затем измените один параметр: пусть станет меньше пищи, чаще появляются хищники или

меняется плотность популяции. Пересчитайте, какая часть потомства дойдёт до размножения. Если ответ поменялся, вы увидели приспособленность в её настоящем смысле: не как врождённый рейтинг, а как результат взаимодействия наследуемых особенностей и обстоятельств.

Приспособленность не говорит, какой образ жизни правильный, красивый или достойный восхищения. Она не обещает счастья, здоровья или долгой старости. Она задаёт узкий, но мощный вопрос: какой наследуемый вариант оставил больше продолжателей именно здесь и именно в эти времена? Чтобы ответить, нужно знать, чем различались организмы. А значит, следующим шагом придётся спросить: откуда вообще берутся различия, которые отбор может сохранить?

От мутации к признаку: откуда берётся наследственная изменчивость

На чашке Петри разыгрывается маленькая драма. Бактерии делятся, занимают питательную среду, строят невидимый город. Потом появляется антибиотик. Большинство клеток погибает. Но кое-где остаются колонии — будто микробы заранее поняли, какая беда грядёт, и срочно выработали защиту.

Это соблазнительная история: организм почувствовал опасность, изменился и спасся. Но в большинстве случаев природа работает иначе. Защита не возникает по заказу. Вариант, который помогает пережить антибиотик, мог появиться ещё до встречи с ним — случайно, без предвидения и без пользы для своей первой носительницы. Когда среда меняется, она не сочиняет нужный вариант, а словно включает прожектор: теперь различие, прежде незаметное, влияет на то, кто оставит потомство.

Чтобы понять эволюцию, важно проследить весь путь: от изменения в наследственном материале — до работы клетки, развития организма, заметного признака и, наконец, числа потомков.

Сначала появляется различие

Классический опыт биологов Макса Дельбрюка и Сальвадора Лурии показал, как различить две версии истории. Они выращивали множество независимых культур бактерий, а затем подвергали их воздействию вируса-бактериофага. Если бы устойчивость возникала только в ответ на встречу с вирусом, число выживших в разных культурах было бы примерно одинаковым. Но результаты сильно колебались: в одних культурах выживших почти не было, в других — множество.

Объяснение оказалось простым и важным. В некоторых культурах устойчивый вариант возникал рано, и его носители успевали размножиться, создав целое потомство похожих клеток. В других он появлялся поздно — или не появлялся вовсе. Различие возникало до столкновения с угрозой; угроза определяла, кому из различающихся клеток удастся продолжить линию.

Это не означает, что любой механизм устойчивости всегда заранее существует в виде готовой мутации. Бактерии могут получать гены устойчивости от других бактерий, а стресс иногда повышает общую частоту ошибок при копировании ДНК. Но даже если скорость изменений растёт, клетка не выбирает точную мутацию, которая непременно решит именно нынешнюю проблему. Возникают разные варианты, а отбор меняет их распространённость.

Слово «случайность» здесь тоже требует осторожности. Мутации не распределяются равномерно по каждой букве ДНК: некоторые участки изменяются чаще других, а хими-

ческие воздействия оставляют характерный след. Однако вероятность мутации не рассчитывает, какая из них окажется полезной организму в будущих условиях. Она случайна **относительно потребности.**

Что именно меняется

Мутация — это изменение наследственного материала. Иногда это замена одной «буквы» ДНК на другую. Иногда — выпадение или вставка нескольких букв. Возможны и более крупные события: удвоение участка хромосомы, перестройка её фрагментов, перемещение генетического элемента из одного места в другое. У бактерий важные изменения могут происходить также в небольших кольцевых молекулах ДНК — плаزمидах.

Источники мутаций разнообразны. При копировании ДНК клетка может ошибиться; обычно системы контроля исправляют большую часть таких ошибок, но не все. ДНК повреждают ультрафиолет, некоторые химические вещества и излучение. Генетические элементы, называемые транспозонами, способны менять своё положение и тем самым влиять на работу соседних генов. Иногда копия гена случайно дублируется. Одна копия продолжает выполнять прежнюю функцию, а другая со временем может изменить свою роль.

Отдельно важно: не всякая мутация передаётся следующим поколениям. Если изменение возникло в клетке кожи человека, оно может повлиять на эту клетку и её потомков — например, участвовать в развитии опухоли, — но обыч-

но не попадёт в яйцеклетку или сперматозоид. Для наследования у животных изменение должно попасть в клетки, дающие начало потомству. У бактерий, размножающихся делением, наследственной для следующей клетки может стать мутация в любой клетке линии. У растений граница между телесными и репродуктивными тканями устроена иначе, чем у животных, но общий принцип тот же: важно, окажется ли изменение в линии клеток, из которой образуются новые поколения.

Мутация не равна болезни и не равна улучшению. Она может мешать работе белка, почти не менять её или, в некоторых условиях, оказаться полезной. Иногда эффект зависит от среды: вариант, безразличный при одной температуре, становится существенным при другой. Иногда его цена и выгода распределены по разным признакам. Оценивать мутацию вне контекста — всё равно что судить о ключе, не зная, к какой двери он подходит.

Перетасовка — не то же самое, что новое изменение

У наследственной изменчивости есть и другой крупный источник — рекомбинация. Мутация меняет генетический текст. Рекомбинация переставляет уже имеющиеся фрагменты этого текста.

При образовании половых клеток родительские хромосомы могут обмениваться участками. Затем при оплодотворении соединяются наследственные наборы двух родителей.

Ребёнок получает не точную копию одного из них, а новую комбинацию вариантов. Это похоже на перетасовку колоды: сами карты могут остаться прежними, но на руках у игроков оказываются новые сочетания.

Такая перестановка важна. Допустим, в популяции уже есть варианты нескольких генов, влияющих на устойчивость к холоду. Рекомбинация может собрать их в новых комбинациях, среди которых одни окажутся удачнее других. Но обычно она не создаёт новую версию гена с нуля: она меняет сочетания существующих вариантов. Исключения и пограничные случаи есть — например, неравный обмен участками хромосом может приводить к дупликациям, — однако различие остаётся полезным: мутация вносит изменение, рекомбинация перемешивает материал.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.