

Эволюционные запреты и предсказуемость ЭВОЛЮЦИИ

Эволюция: границы форм и повторяемость
биологических процессов.



Истоки и развитие идей о предсказуемости эволюции



Уже в трудах Дарвина появились вопросы об ограничениях эволюции. С развитием генетики и вычислительных методов XX века стало очевидно: эволюция не бесконечно вариативна, а направляется определёнными биологическими ограничениями и закономерностями.



ОСНОВЫ ПОНЯТИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО ЗАПРЕТА

01

Эволюционный запрет — комплекс факторов, мешающих реализации некоторых фенотипов в живых организмах, включая биологические, физические и экологические аспекты.

02

Эти запреты проявляются на разных уровнях: от молекулярных механизмов до морфологических и поведенческих особенностей, ограничивая возможные варианты развития.

03

Ограничения формируют своеобразный фильтр, который направляет эволюционные пути, определяя, какие адаптации действительно могут закрепиться в популяциях.

Категории и примеры эволюционных запретов

01

Нормативные запреты исключают появление новых органов без промежуточных стадий, например, отсутствие фотосинтетических животных в природе.

02

Функциональные запреты связаны с физическими ограничениями: например, гигантские насекомые не могут иметь лёгкие, аналогичные птицам.

03

Генетические запреты проявляются в невозможности закрепления определённых мутаций, потому что они вызывают летальные эффекты у носителей.

04

Экологические запреты ограничивают освоение новых сред, если виды не обладают необходимыми адаптациями для выживания в них.

Основные виды эволюционных запретов

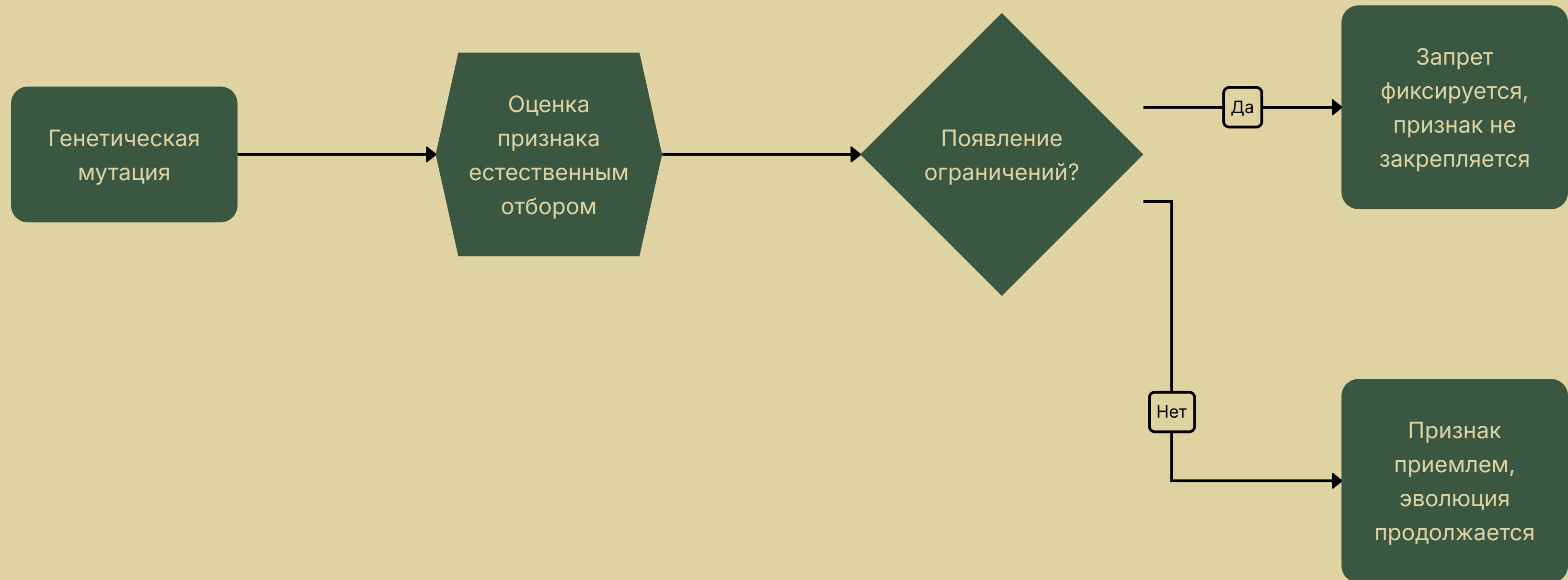
Таблица иллюстрирует виды запретов, примеры и причины их действия, подчёркивая независимость от окружающей среды.

Каждое ограничение обусловлено определёнными биологическими причинами и действует вне зависимости от среды.

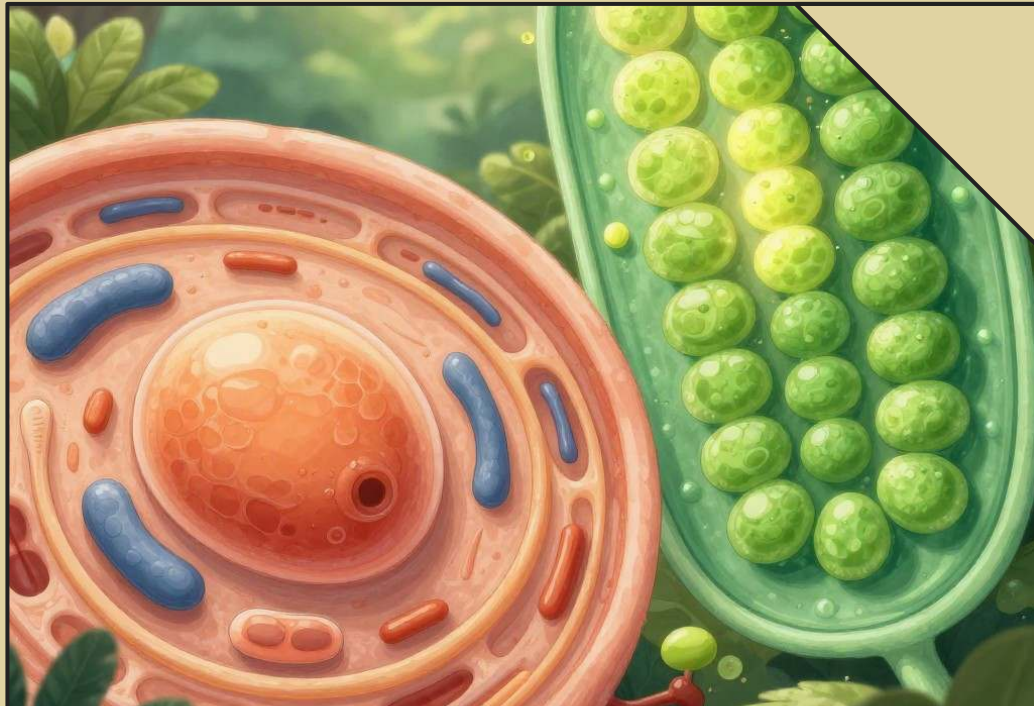
Вид запрета	Пример	Причина
Нормативный	Нет новых органов у млекопитающих	Развитие эмбрионов
Функциональный	Ограничение летучих мышей по размеру	Физика махающего крыла
Генетический	Летальные мутации	Смерть носителей
Экологический	Исключение грызунов на островах	Конкуренция / ресурсы

Схема формирования эволюционного запрета

✕ По этапам: от мутации до закрепления или утраты признака



Ограничения как ключ к пониманию недостижимых форм



Почему отсутствуют фотосинтетические животные?

Из-за исторической эволюционной истории клеток у животных фотосинтез так и не развился. Биохимические и анатомические ограничения не позволяют им освоить этот процесс.



Исторически сформировавшиеся барьеры развития

Многие потенциальные формы и функции просто не реализуются, поскольку ограничены генетическими и морфологическими рамками, сложившимися за миллионы лет эволюции.



Роль анатомических особенностей таксонов

Каждому таксону присущи свои ограничения, которые определяют, какие адаптации возможны, а какие — невозможны, формируя уникальные эволюционные траектории.

Теоретические модели предсказуемости в эволюции

Уникальность эволюционных признаков
Некоторые признаки возникают только в определённых линиях и не повторяются в других, подчёркивая уникальность развития.



Конвергентная эволюция
Независимое появление схожих адаптаций у разных таксонов, как, например, глаза осьминогов и позвоночных.



Смешанные модели
Совмещают элементы повторяемости и уникальности, демонстрируя сложность эволюционных процессов на примере крыльев разных животных.

Частота конвергентных признаков в разных группах



Наиболее высокое совпадение морфологических адаптаций наблюдается среди морских животных под давлением водной среды.



Данные подтверждают, что среда обитания существенно влияет на вероятность появления конвергентных признаков.



Эволюционные исследования, 2022

Число шейных позвонков у млекопитающих



Стабильность числа позвонков

Большинство млекопитающих обладают ровно семью шейными позвонками, несмотря на значительные размеры и образ жизни. Эта константа является примером сильного анатомического запрета.

Редкие исключения и их последствия

Исключениями служат ленивцы и ламантины, у которых число позвонков варьируется. Это сопровождается увеличением риска заболеваний и свидетельствует о жёстких физиологических ограничениях.



Почему у животных не возникло колёс: пределы органической организации

01

Колесо требует жёсткой неподвижной оси и постоянного соединения с тканями организма, что невозможно обеспечить в живых системах из-за отсутствия сосудистой и нервной интеграции вращающихся частей.

02

Эволюционные механизмы не способствуют появлению органа с формой колеса, так как сложные структуры должны развиваться постепенно, а колесо требует специфического неожиданного сочетания элементов.

04

Вирусные или бактериальные жгутики представляют собой вращающиеся структуры, но их микроскопический масштаб и простота исключают перенос принципа колеса на многоклеточные организмы.

03

Подвижные суставы и мышцы животных не способны создать вращательное движение в постоянной плоскости, необходимое для функционирования полноценного колеса как органа.

Влияние физических ограничений на эволюцию

01

Законы физики определяют максимальные размеры организмов: соотношение площади поверхности и объёма лимитирует обмен веществ и терморегуляцию у крупных животных.

02

Для полёта необходима высокая прочность костей и оптимальная аэродинамика, что препятствует появлению слишком крупных летающих видов из-за энергетических затрат и механических ограничений.

03

Примером служит максимальный размер вымерших птиц — аргентавис весил около 70 кг, что близко к верхнему пределу, установленному биофизическими возможностями и физиологией.

Генетические и молекулярные запреты

01

Некоторые комбинации генов не реализуются в природе из-за гибели организмов, вызванной нарушением жизненно важных процессов или несовместимостью белков.

02

Молекулярные механизмы ограничивают появление новых функций, поскольку отсутствие отдельных генов или путей обмена препятствует развитию новых метаболических процессов.

03

Генетическая консервативность поддерживает стабильность видов, предотвращая изменения, которые могут привести к летальным последствиям для популяции.

Конвергентная эволюция: примеры повторяемых адаптаций



Независимое возникновение сложных глаз

Головоногие моллюски и позвоночные эволюционировали сложные глаза независимо друг от друга. Несмотря на разные зачатки, их глаза функционируют схоже, демонстрируя физические основы оптики в биологии.



Появление схожих плавников у морских животных

Дельфины, акулы и ихтиозавры разработали обтекаемую форму тела и плавники независимо, что показывает адаптацию к водной среде и пример повторяющегося эволюционного решения.



**массовое пермское вымирание
открыло путь для новой
диверсификации млекопитающих
и кардинальных эволюционных
изменений.**

Крупные экологические и
геологические события формируют
уникальные эволюционные пути,
которые невозможно полностью
предсказать, влияя на направление
развития жизни на планете.

**252
миллиона
лет назад**

Эксперимент Ленски: эволюция на пробирке

01

Ричард Ленски наблюдал за бактериями *E. coli* десятилетиями, обнаружив сходные адаптации к условиям среды у большинства линий, что указывает на предсказуемость естественного отбора.

02

Однако только одна популяция смогла использовать новый источник пищи — цитрат, требуя уникального сочетания генетических изменений, иллюстрируя роль случайности в эволюции.



Преодоление эволюционных запретов: редкие прецеденты

01

Появление полноценно летающих насекомых с метаморфозом стало результатом длительной последовательной эволюции множества генетических мутаций и изменений за миллионы лет.

02

Адаптация к наземной жизни у ранних тетрапод произошла благодаря комплексным морфологическим и физиологическим изменениям, преодолевшим первоначальные водные ограничения.

03

Редкие уникальные события, такие как появление новых ферментов или структур, иногда позволяют обходить ограничения, создавая новые эволюционные возможности.

Технологии предсказания эволюционных процессов

01

Математическое моделирование помогает прогнозировать развитие популяций, учитывая различные параметры отбора и мутаций.

02

Компьютерные эволюционные симуляции позволяют воспроизводить различные сценарии эволюции, анализируя последствия генетических изменений.

03

Геномные данные большого объёма используются для выявления вероятных адаптаций и их возникновения в различных линиях.

04

Филогенетический анализ помогает определить эволюционные связи и вероятные пути возникновения новых признаков у организмов.

Дискуссии о предсказуемости эволюции: современные взгляды

01

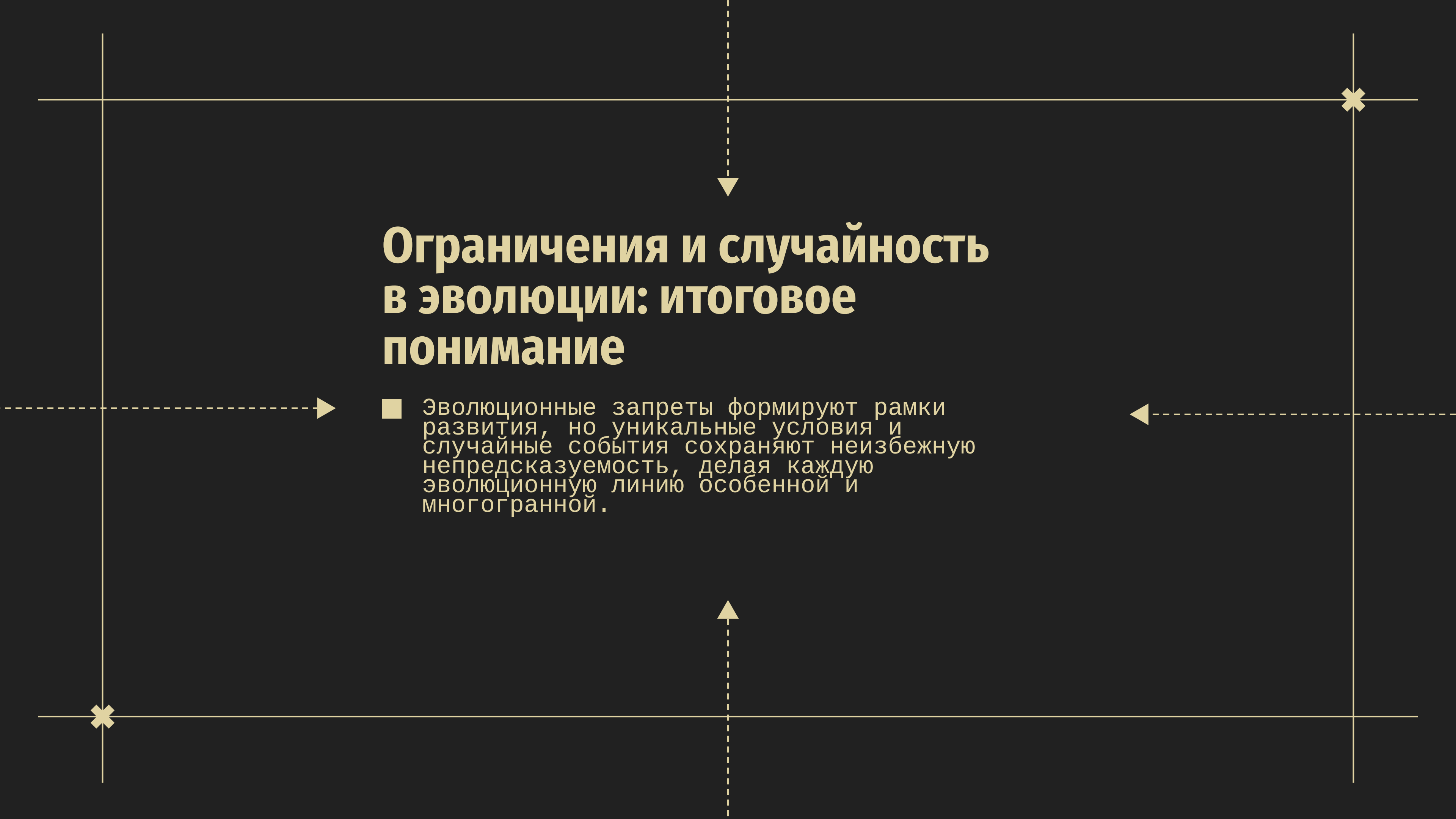
Универсалистская позиция подчёркивает ограниченность вариантов и повторяемость эволюционных решений в разных линиях и условиях.

02

Контингентность акцентирует уникальность исторических событий и непредсказуемость конкретных результатах эволюционного процесса.

03

Исследования показывают, что обе точки зрения актуальны, особенно различаясь на микро- и макроуровнях эволюции.



Ограничения и случайность в эволюции: итоговое понимание

- Эволюционные запреты формируют рамки развития, но уникальные условия и случайные события сохраняют неизбежную непредсказуемость, делая каждую эволюционную линию особенной и многогранной.