

# Закономерности изменчивости: от ДНК до эволюции

От ДНК к эволюции: как возникает и сохраняется разнообразие.



# Почему изменчивость — ключ к разнообразию ЖИЗНИ

Изменчивость объясняет, почему особи одного вида не одинаковы и как популяции меняются во времени.



# Определение изменчивости и её виды

## Что называют изменчивостью

Изменчивость — это различия между особями одного вида и между поколениями. Она затрагивает строение, функции и поведение организмов, формируя разнообразие внутри популяций.

## Наследуемые изменения

Наследственная изменчивость передаётся через ДНК и сохраняется в потомстве. Она связана с мутациями и рекомбинацией, поэтому может становиться материалом для эволюционных изменений.

## Изменения под влиянием среды

Ненаследственная изменчивость возникает под влиянием условий среды в ходе развития. Она меняет фенотип, но обычно не затрагивает генетическую основу и не передаётся потомкам.

## Почему важны закономерности

Для эволюции важны не случайные отклонения сами по себе, а повторяемость их появления, распределения и сохранения. Именно закономерности изменчивости позволяют описывать направление отбора.

# Связь генотипа и фенотипа

## Потенциал признаков

Генотип задаёт набор возможных признаков, но не всегда определяет их окончательный вид. Один и тот же генотип может проявляться по-разному в разных условиях развития.

## Проявление в среде

Фенотип формируется как результат взаимодействия наследственности и среды. Поэтому рост, масса тела или окраска могут изменяться без изменения набора генов.

## Сложные сочетания факторов

Многие признаки полигенны: на них влияют сразу несколько генов и внешние факторы. Из-за этого границы между вариантами часто размыты, а значения распределены постепенно.

# Истории о появлении новых вариантов



## Ошибка в копии

В клетке происходит ошибка копирования ДНК, и в гене появляется новый вариант. Иногда это незаметно, иногда нарушает синтез белка, а иногда создаёт полезное свойство, например устойчивость к антибиотикам у бактерий.



## Изменённый признак

У животного меняется окраска шерсти, потому что мутация затронула участок, отвечающий за пигмент. Так появляются редкие формы, включая альбинизм, который ярко показывает, как изменение одного гена влияет на внешний вид.



## Перестройка хромосом

Хромосома перестраивается, и наследственный материал переносится в новое сочетание. Такие изменения могут быть вредными, но именно они иногда открывают путь к новым признакам и помогают популяции адаптироваться к условиям среды.

# Почему мутации дают разные последствия

## 1 Изменение без эффекта

Мутация в кодирующем участке может изменить белок прямо, но не всегда заметно для организма. Если замена не меняет аминокислоту или затрагивает несущественный участок, фенотип остаётся прежним.

## 2 Ослабление или преимущество

Если мутация нарушает важный ген или его регуляцию, признак ослабевает или исчезает. Но в другой среде та же особенность может оказаться выгодной и повысить выживание организма.

## 3 Контекст решает

Один и тот же тип мутации имеет разный результат в разных условиях. Значение определяют место в геноме, работа гена и среда, в которой проявляется признак.

# Рекомбинация и комбинативная изменчивость

## Кроссинговер

Во время кроссинговера гомологичные хромосомы обмениваются участками. В результате у потомков появляются новые комбинации аллелей, хотя сами гены уже существовали в популяции.

## Случайное распределение

При мейозе хромосомы расходятся независимо, и каждая гамета получает свой набор. Это резко увеличивает число возможных сочетаний признаков ещё до встречи половых клеток.

## Уникальность потомства

Случайное оплодотворение объединяет две разные гаметы, создавая уникальный генотип. Благодаря этому даже у близких родственников набор признаков не совпадает полностью.

# Ключевые механизмы эпигенетики



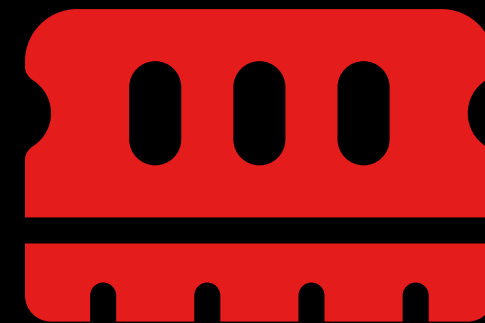
## Метилирование

Метилирование ДНК может снижать активность генов, не меняя их последовательность. Такой механизм помогает клеткам по-разному «настраивать» работу одинакового генома в процессе развития.



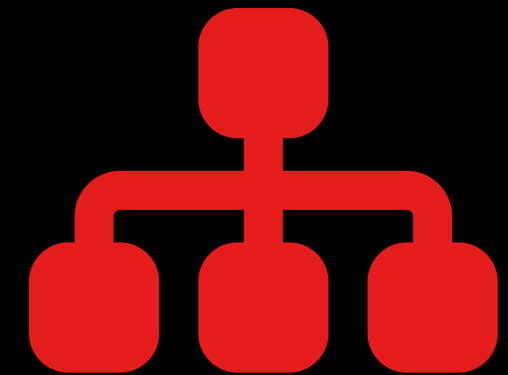
## Хроматин

Изменения в упаковке хроматина влияют на доступность генов для считывания. Если участок ДНК становится более открытым, ген активнее работает; если плотнее упакован — подавляется.



## Клеточная память

Клетки сохраняют информацию о том, какие гены должны быть включены или выключены. Эта память особенно важна при специализации тканей, когда из одного генома формируются разные типы клеток.



## Разные функции

Одинаковый геном может давать нервную, мышечную или эпителиальную клетку. Различие определяется не набором генов, а тем, какие из них активны в конкретный момент развития.

# Роль среды в проявлении признаков

## 1 Внешние условия

Питание, температура и освещённость влияют на скорость роста, окраску и развитие органов. Эти факторы не создают новый ген, но меняют то, как уже имеющийся признак проявляется.

## 2 Наглядные примеры

Классические примеры видны каждый день: загар у человека, сезонная смена окраски у животных, различие формы листьев у растений. Во всех случаях один генотип даёт разные фенотипы.

## 3 Реакция организма

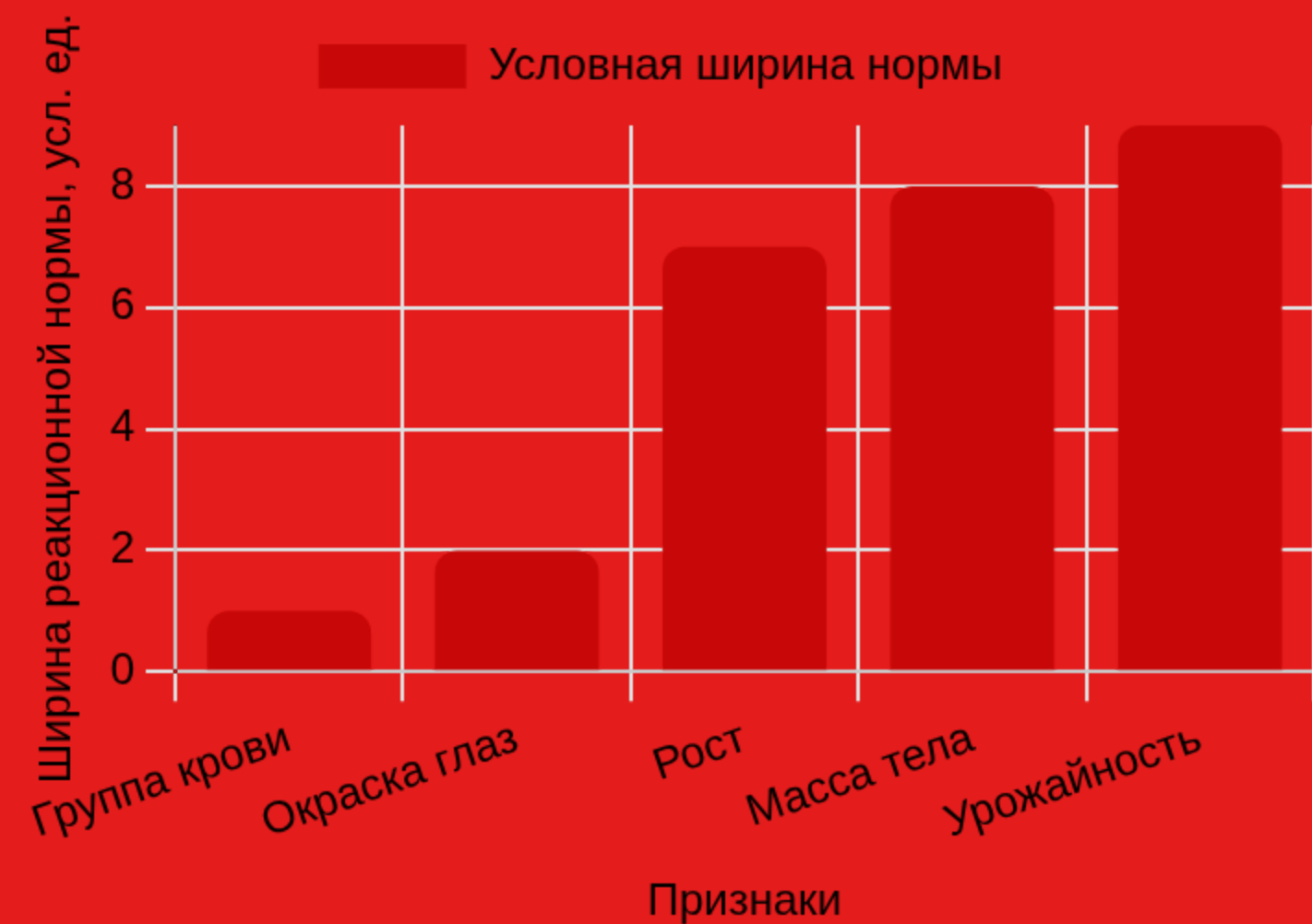
Фенотип можно представить как результат реакции организма на среду. Чем сильнее влияние условий, тем заметнее отклонения, хотя наследственная основа остаётся прежней.



# Реакционная норма: пределы изменчивости

У разных признаков генетический диапазон проявления заметно отличается.

Чем сильнее признак зависит от среды, тем шире его реакционная норма.



Учебная схема, условные значения для иллюстрации понятия реакционной нормы

# Дискретные и количественные признаки

## Чёткие категории

Признаки этого типа складываются в отдельные группы: либо есть группа крови, либо нет; либо есть рога, либо нет. Такие признаки удобно фиксировать и сравнивать между особями.

## Непрерывный ряд

Количественные признаки изменяются постепенно и образуют ряд значений. Рост, масса, число семян или размер листа редко разделяются на строгие классы, потому что зависят от множества факторов.

## Что важно в анализе

Для понимания наследования важно различать сами отклонения и их частоту. В биологии значимы повторяемые закономерности распределения признаков, а не единичные необычные случаи.

# Полигенная модель наследования

## 1 Сумма малых вкладов

Полигенный признак формируется не одним геном, а совокупностью нескольких локусов. Каждый аллель добавляет небольшой вклад, поэтому итоговый фенотип меняется плавно, а не скачком.

## 2 Роль среды

На результат одновременно влияет среда: питание, условия роста, освещённость, температура и другие факторы. Поэтому одинаковый генотип может проявляться по-разному у разных организмов.

## 3 Широкое распределение

Чем больше генов участвует в признаке, тем шире спектр возможных значений. Именно так распределяются рост человека, цвет кожи, артериальное давление и урожайность культур.

## 4 Почему модель важна

Полигенная модель объясняет, почему многие признаки нельзя свести к простому «да» или «нет». Она показывает связь наследственности, вариативности и непрерывного разнообразия в популяции.

# Условия равновесия

Сравнение теории и реальной популяции помогает увидеть, действует ли на неё эволюция.

Если условия соблюдены, частоты аллелей сохраняются; любое отклонение указывает на действие эволюционных факторов.

| Условие                     | Следствие                |
|-----------------------------|--------------------------|
| Большая популяция           | случайность<br>ослаблена |
| Скрещивание случайно        | генотипы<br>перемешаны   |
| Отбор, миграции,<br>мутации | отсутствуют              |

Модель Харди—Вайнберга, школьный курс популяционной генетики

# Примеры действия отбора



## Устойчивость в действии

В поле, где долго применяли один и тот же инсектицид, выживают немногие особи с устойчивым вариантом гена. Их потомки встречаются чаще, и через несколько поколений популяция меняется заметно.



## Окраска и среда

В загрязнённых городских районах отбор может поддерживать более тёмную окраску, если она помогает лучше маскироваться или выживать. Полезный вариант постепенно становится преобладающим в популяции.



## Адаптация к стрессу

При засухе или холоде сохраняются растения и животные, у которых признаки лучше подходят к стрессу. Так отбор не просто отбрасывает слабые варианты, а перестраивает весь спектр признаков.

# Основные формы дрейфа

## Случайные сдвиги

В маленькой группе частоты аллелей меняются не по «плану», а из-за случайности. Иногда редкий вариант закрепляется, хотя он не даёт преимущества; иногда полезный аллель исчезает.

## Эффект основателя

Когда новая популяция возникает от нескольких особей, в ней сохраняется лишь часть исходного разнообразия. Это эффект основателя, который сразу задаёт узкий генетический набор.

## Бутылочное горлышко

После резкого сокращения численности выживают немногие особи, и будущая популяция наследует их ограниченное разнообразие. Такой «бутылочный горлышко» повышает уязвимость к новым изменениям среды.

# Ключевые механизмы обмена генами



## Миграция

Миграция особей между популяциями приносит новые аллели и делает генофонд более разнообразным. Это особенно заметно там, где группы долго существовали изолированно.



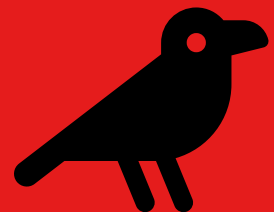
## Скращивание

При скрещивании между популяциями гены свободно переходят в новое сочетание. Такой обмен сглаживает различия и уменьшает риск потери редких наследственных вариантов.



## Перенос пыльцы

У растений поток генов часто связан с переносом пыльцы ветром, насекомыми или водой. Один успешный перенос может изменить наследственный состав целого участка.



## Расселение

У животных обмен генами происходит через расселение, сезонные перемещения и смешение групп. Даже несколько особей способны заметно повлиять на частоты аллелей.

# 2

**альтернативных варианта одного гена  
могут сохраняться в популяции,  
если их преимущества зависят от условий.**

Уже 2 разных аллеля одного гена могут сохраняться в популяции, если их преимущества зависят от условий. Так поддерживается генетическое разнообразие.

Учебная модель балансирующего отбора и гетерозиготности

# Как человек направляет изменчивость

## Отбор нужных вариантов

Селекция использует уже имеющуюся наследственную изменчивость: человек отбирает особей с нужными признаками и закрепляет их в потомстве. Так менялись формы собак, размеры зёрен и урожайность культур.

## Доместикация видов

Доместикация превратила дикие виды в сельскохозяйственные и домашние формы. У капусты, кукурузы и пшеницы отбор усилил крупноплодность, удобство выращивания и разнообразие форм.

## Опора на наследственность

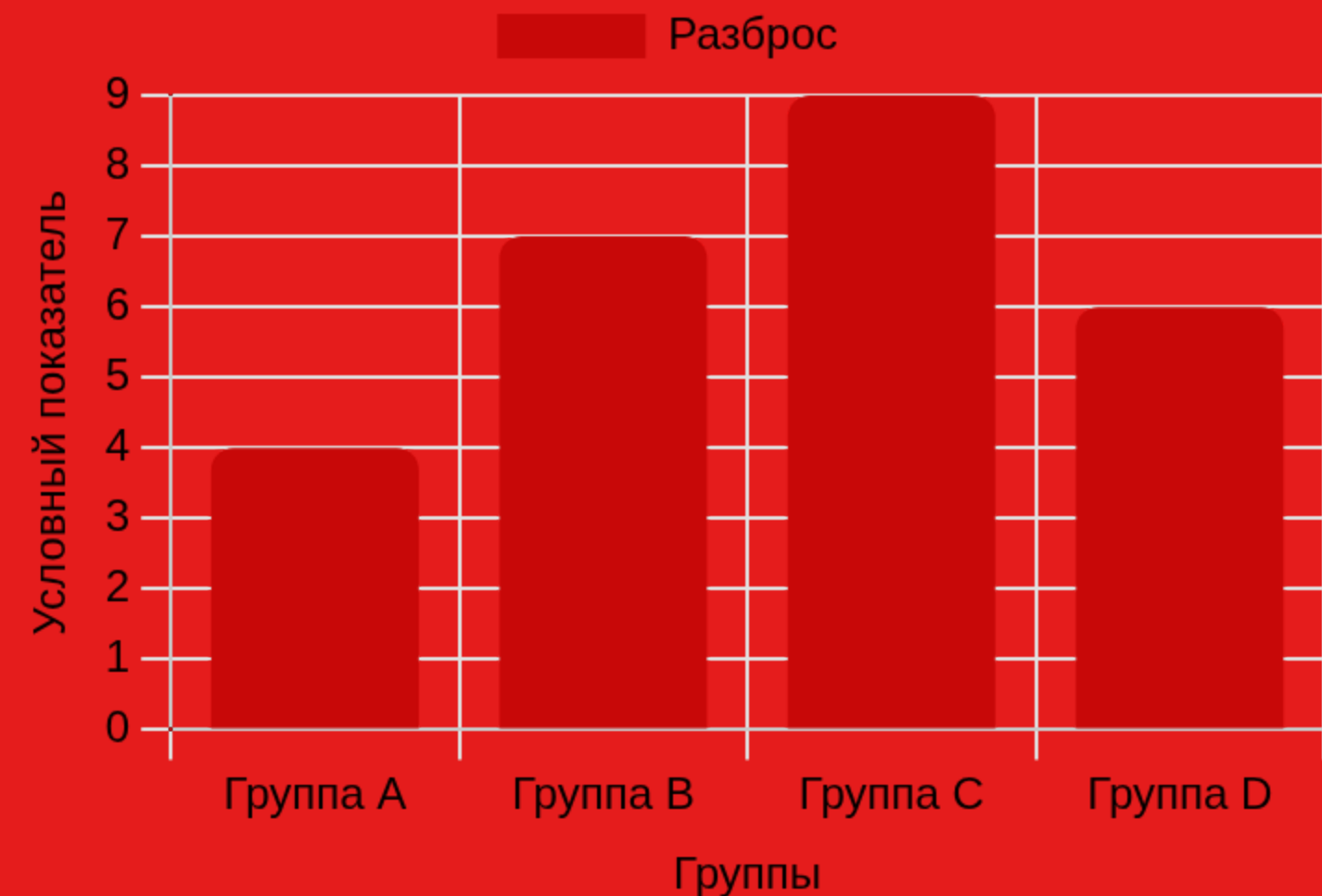
Искусственный отбор не создаёт признаки из ничего, а направляет уже существующую вариабельность. Поэтому успех селекции зависит от исходного генетического разнообразия породы или сорта.

# Сравнение распределения признака

На графике сравниваются две группы признака: у одной разброс меньше, у другой больше. Это помогает увидеть различие в однородности, даже если средние значения похожи.

Чем выше разброс, тем больше изменчивость в группе; поэтому одних средних значений недостаточно для биологического сравнения.

Учебный пример для иллюстрации разброса признака



# Что нужно запомнить

Изменчивость начинается в ДНК, усиливается при рекомбинации и проявляется через среду. Её сохраняют наследование, отбор и дрейф, а измерение помогает увидеть, как меняются популяции и адаптации.