



Второй закон Менделя: закон расщепления признаков

Как признаки наследуются через поколения и почему они снова расщепляются?



Как Мендель открыл закон расщепления

Эксперименты Грегора Менделя с горохом показали: наследование подчиняется повторяющимся числовым закономерностям, если анализировать большие серии потомства, а не отдельные случаи.



Основные генетические понятия темы

Ген

Ген — участок ДНК, связанный с формированием определённого признака. Он несёт информацию, которая участвует в развитии наследуемых свойств организма.

Аллели

Аллели — разные варианты одного гена. Они определяют, каким именно будет проявление признака у потомка, если организм получает их от родителей.

Доминантность

Доминантный аллель проявляется в фенотипе даже в паре с другим вариантом, а рецессивный виден только при отсутствии доминантного аллеля.

Сочетания аллелей

При моногибридном скрещивании для одного признака возможны генотипы АА, Аа и аа. Именно их сочетания определяют дальнейшее расщепление.

Гомо- и гетерозиготы

Гомозигота имеет одинаковые аллели, а гетерозигота — разные. Это различие особенно важно, когда по внешнему виду скрыт генетический состав.

Опыт Менделя на горохе: от родительских форм к F2

Чистые линии

Мендель скрещивал растения с альтернативными признаками, взятые из чистых линий. Это позволяло точно отслеживать, какие свойства передаются потомству.

Единообразие F1

В первом поколении все гибриды имели жёлтые семена, хотя один из родительских признаков не исчезал, а лишь не проявлялся внешне.

Скрытый рецессивный признак

Зелёный вариант не был утрачен: он сохранялся в наследственном материале гибридов F1 и мог проявиться у потомков следующего поколения.

Появление F2

При получении второго поколения рецессивный признак снова обнаруживался, что показало: наследование идёт не через смешение, а через передачу аллелей.



Как возникает расщепление признаков во втором поколении

Схема показывает передачу аллелей при моногибридном скрещивании и случайное сочетание гамет во втором поколении.

3:1

— таково классическое
фенотипическое
расщепление во втором
поколении при полном
доминировании.

Эта пропорция показывает, что
доминантный признак проявляется
чаще, но рецессивный сохраняется
и снова возникает у части потомков.

Классический опыт Г. Менделя на горохе

Генотип	Доля	Фенотип
АА	25%	доминантный
Аа	50%	доминантный
аа	25%	рецессивный

Генотипы и фенотипы в поколении F2

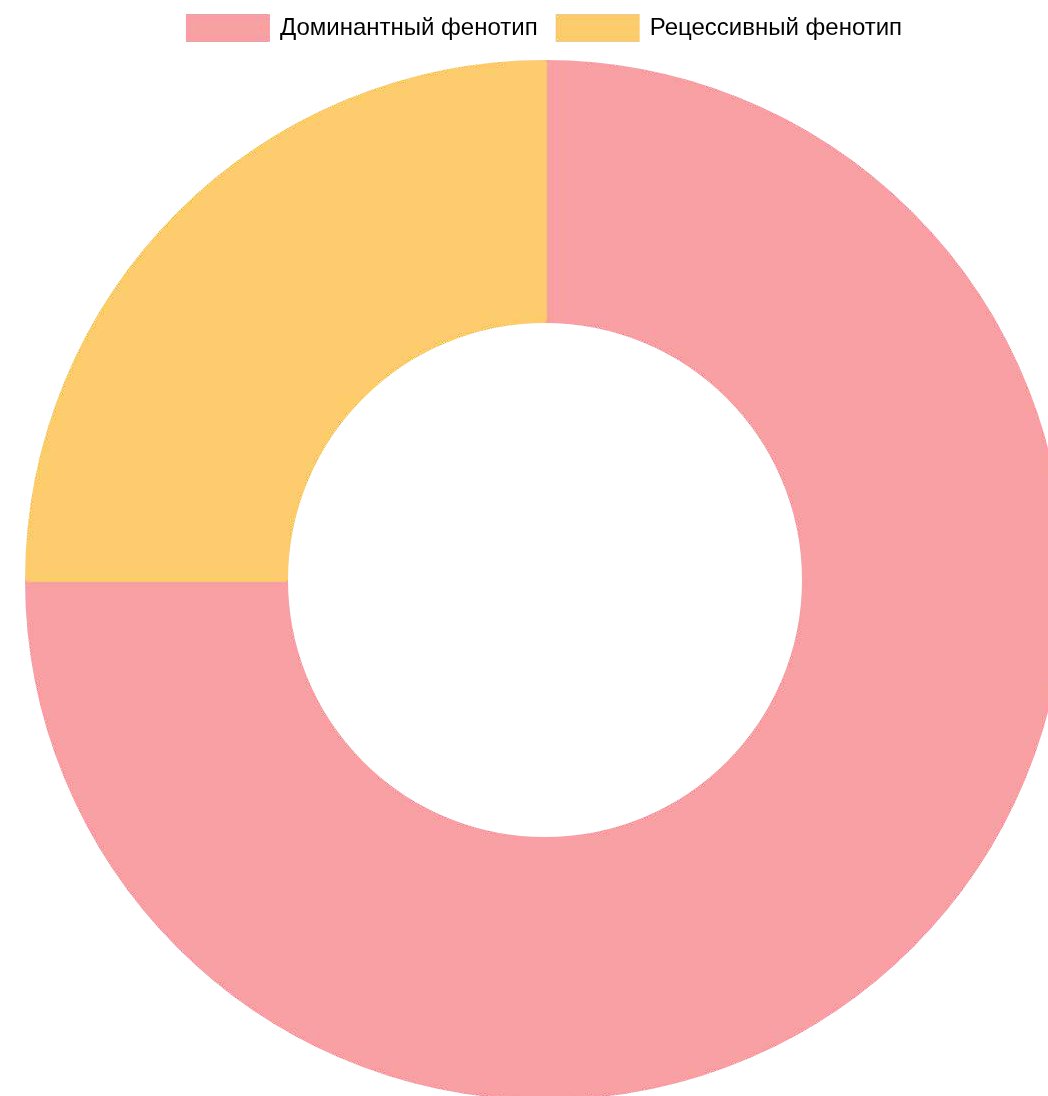
Таблица показывает, как генетические комбинации превращаются в наблюдаемые признаки при полном доминировании.

По генотипу соотношение равно 1:2:1, а по фенотипу — 3:1, потому что гетерозигота внешне проявляет доминантный признак.

Соотношение признаков в поколении F2

Диаграмма подчёркивает, что доминантный вариант встречается чаще, однако рецессивный не исчезает и проявляется у части потомков.

Распределение 75% к 25% отражает классическое фенотипическое расщепление 3:1 при полном доминировании.



Классическая схема моногибридного скрещивания

Генотипическое и фенотипическое расщепление

Генотипическое соотношение

Генотипическое расщепление описывает набор наследственных комбинаций. Для скрещивания $Aa \times Aa$ оно равно 1 AA : 2 Aa : 1 aa .

Фенотипическое соотношение

Фенотипическое расщепление показывает только внешне наблюдаемые признаки. При полном доминировании оно составляет 3 доминантных потомка к 1 рецессивному.

Почему они различаются

Разница возникает потому, что гетерозигота Aa фенотипически неотличима от доминантной гомозиготы AA , хотя их генетический состав различен.

Почему рецессивный признак не проявляется в F1

Генотип гибридов

01

Все особи первого поколения получают генотип Aa. В их клетках присутствуют оба аллеля, но для внешнего проявления признака этого недостаточно.

Доминантный аллель

02

Аллель A подавляет проявление альтернативного варианта, поэтому у гибридов F1 виден только доминантный признак, хотя рецессивный остаётся в наследственности.

Скрытое наследование

03

Рецессивный аллель не исчезает и не утрачивается. Он передаётся дальше вместе с доминантным, ожидая сочетания с таким же рецессивным аллелем.

Проявление в следующих поколениях

04

Когда два рецессивных аллеля встречаются в генотипе aa, признак становится видимым снова. Именно так скрытое наследование раскрывается во втором поколении.

Мейоз и образование гамет закона

Разделение хромосом

В мейозе гомологичные хромосомы расходятся по разным клеткам, поэтому каждая гамета получает только один аллель из пары. Так наследственный материал не смешивается, а передаётся дискретно.

01

02

Гетерозигота Аа

Если организм имеет генотип Аа, то во время образования гамет один аллель попадает в половину половых клеток, а второй — в другую половину. Соотношение получается равным: 50% А и 50% а.

03

Редукционное деление

Именно редукционное деление уменьшает число хромосом вдвое и делает возможным последующее восстановление полного набора при оплодотворении. Без этого этапа аллели не распределялись бы по гаметам.

04

Случайное оплодотворение

Когда гаметы сливаются случайно, сочетания аллелей возникают по вероятности, а не по заранее заданному порядку. Поэтому у потомства появляются разные генотипы, включая рецессивные варианты.



Цитологическая основа второго закона Менделя

Локализация аллелей

Аллельные гены занимают одинаковые локусы в паре гомологичных хромосом, поэтому каждая наследственная пара существует как единая структурная система.

После оплодотворения

Гаметы содержат только по одному аллелю, но при слиянии восстанавливается парность генов. Новый организм снова получает две наследственные копии признака.

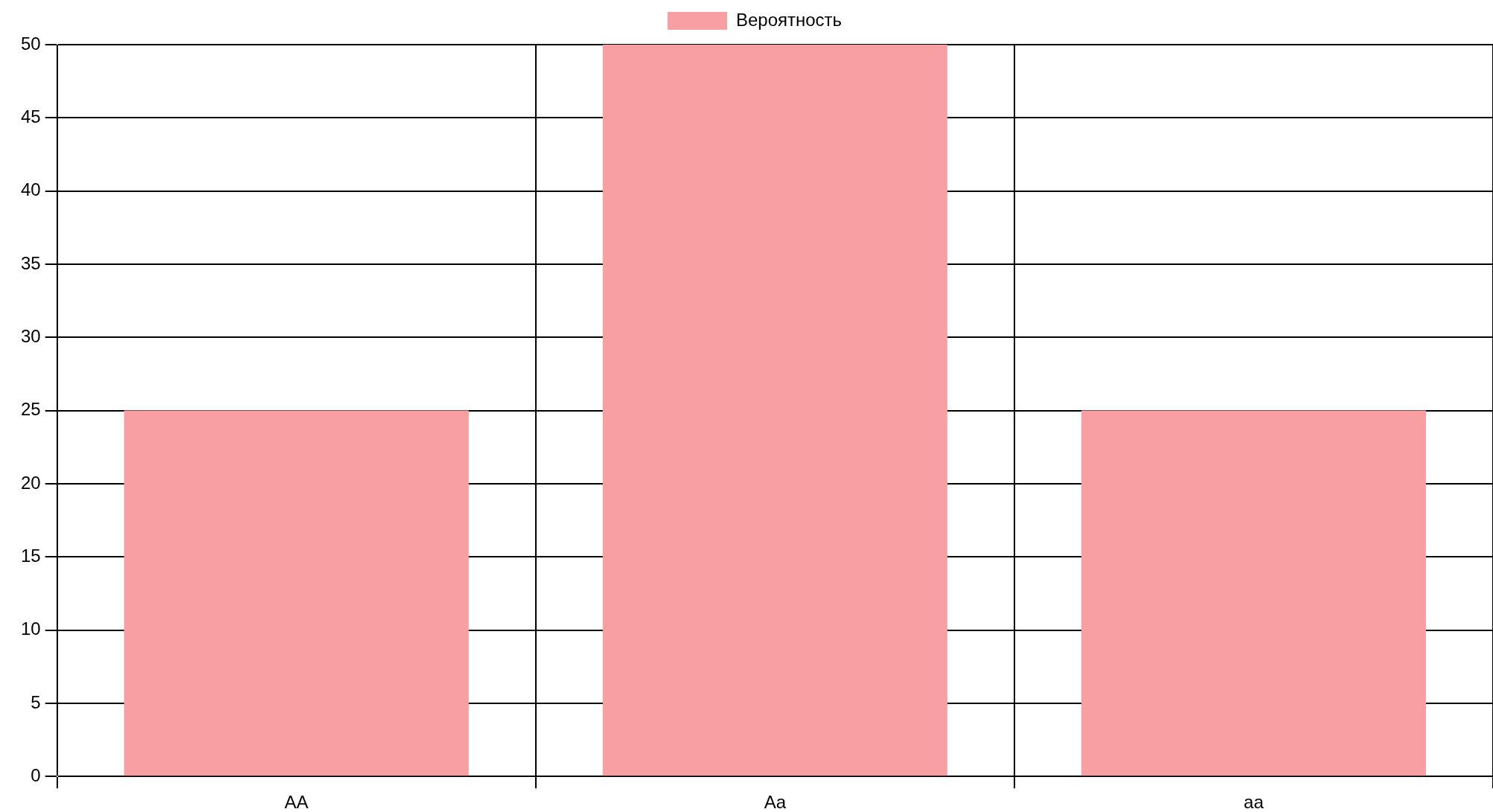
Анафаза I мейоза

В анафазе I гомологичные хромосомы расходятся к противоположным полюсам клетки. Вместе с ними разделяются и аллели, которые они несут.

Вероятности при скрещивании $Aa \times Aa$

Схема показывает, что каждая комбинация гамет возникает независимо, а вероятность генотипа определяется перемножением вероятностей отдельных аллелей.

Распределение 25%: 50%: 25% подтверждает генотипическое расщепление 1:2:1 при полном доминировании.



Теоретическая схема скрещивания $Aa \times Aa$ по второму закону Менделя.

Классические пары альтернативных признаков у гороха

Мендель выбрал признаки, которые легко различить визуально и удобно подсчитать в потомстве.

Чёткий контраст вариантов сделал эти признаки удобными для статистического анализа наследования.

Признак	Доминантный	Рецессивный
Форма семян	гладкие	морщинистые
Цвет семян	жёлтые	зелёные
Цвет цветков	пурпурные	белые
Высота стебля	высокие	карликовые

Почему результаты Менделя оказались точными

Большие выборки

Мендель изучал не единичные случаи, а множество растений в каждом опыте. Большой объём наблюдений уменьшал влияние случайности и позволял увидеть повторяющиеся соотношения признаков.

Повторяемость опытов

Одинаковые результаты появлялись в разных сериях скрещиваний, что сделало выводы надёжными. Закономерность подтверждалась не одним примером, а устойчивым совпадением многих наблюдений.

Статистический подход

Исследователь считал потомство по категориям и сравнивал числа, а не только описывал внешний вид растений. Такой метод позволил обнаружить скрытые числовые отношения в наследовании.

Условия, при которых проявляется соотношение 3:1

Схема показывает, какие биологические условия должны совпасть, чтобы в F2 сохранилось классическое фенотипическое расщепление.

Где закон расщепления помогает на практике



Скращивание растений под контролем

Селекционер может заранее оценить, какие признаки появятся у потомства, если известны генотипы родителей. Это помогает планировать скрещивания и выбирать линии с нужными свойствами, не полагаясь только на внешний вид растений.



Анализ родословных

В медицинской и школьной генетике закон расщепления используют, чтобы проследить передачу рецессивного признака через поколения. На схеме родословной видно, как признак может «пропускать» одно поколение и проявляться позже.



Прогноз наследования у животных

При разведении животных закон Менделя помогает рассчитать вероятность появления окраски, формы шерсти или других признаков. Схема скрещивания делает прогноз более точным и удобным для практического отбора.

Ограничения и исключения из классического правила

01

Неполное доминирование

Если доминантный аллель не полностью подавляет рецессивный, гетерозигота имеет промежуточный фенотип. В этом случае привычное соотношение 3:1 по внешнему виду уже не сохраняется.

02

Кодоминирование

При кодоминировании оба аллеля проявляются одновременно, а не скрывают друг друга. Поэтому фенотип гетерозиготы отличается и от одной, и от другой гомозиготы.

05

Влияние среды

Даже при одинаковом генотипе проявление признака может зависеть от условий среды. Поэтому фенотип не всегда полностью отражает генетическую комбинацию.

03

Сцепление генов

Если гены расположены близко друг к другу в одной хромосоме, они наследуются не независимо. Тогда ожидаемое менделевское расщепление может заметно изменяться.

04

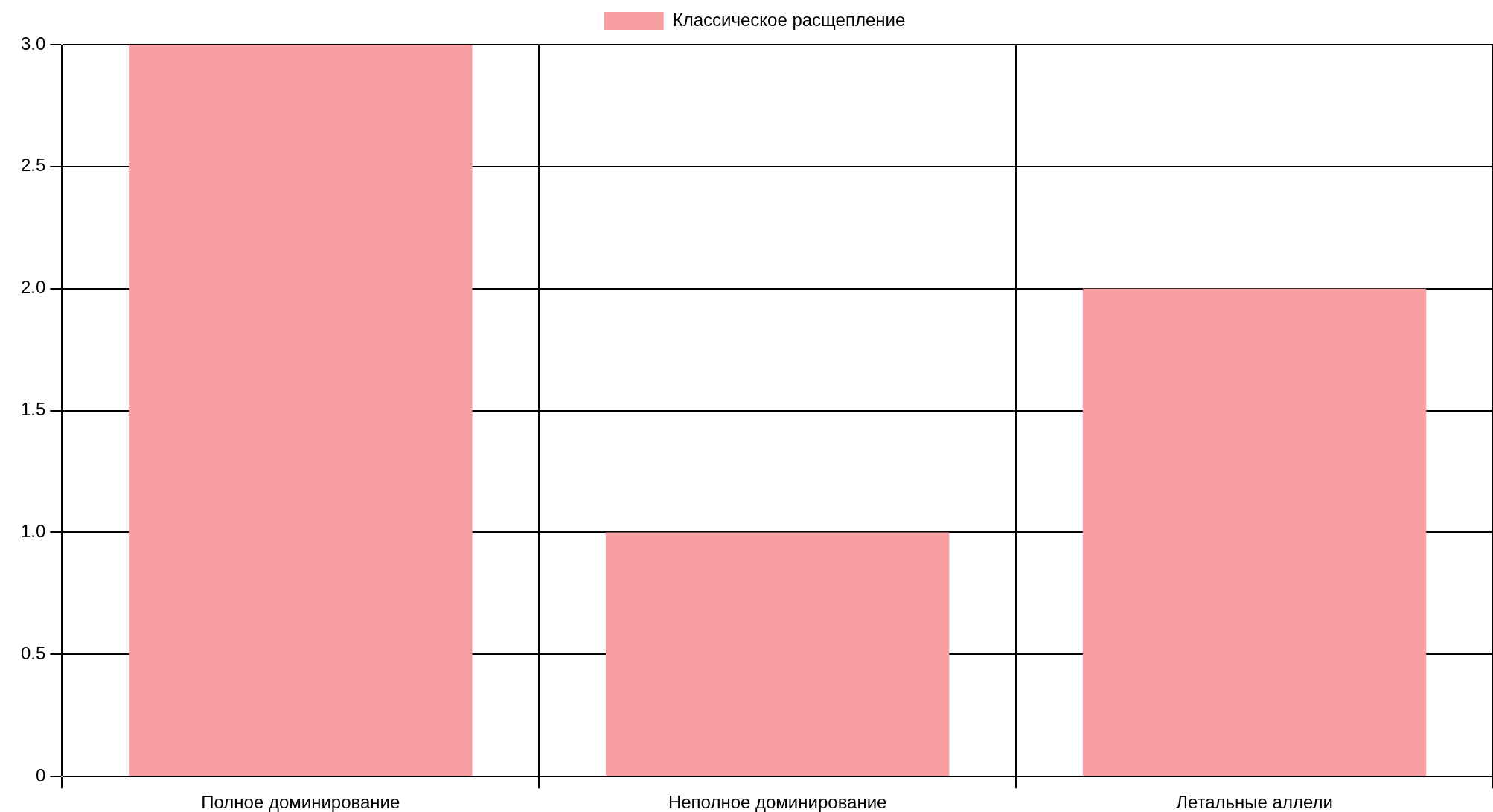
Летальные аллели

Некоторые генотипы нежизнеспособны и не доживают до подсчёта потомства. Из-за этого реальные числовые соотношения в поколении F₂ отклоняются от классической схемы.

Сравнение классического расщепления и отклонений от него

Диаграмма подчёркивает, что одно и то же скрещивание может давать разные фенотипические пропорции в зависимости от характера взаимодействия аллелей.

Классическое 3:1 — частный случай; при изменении типа доминирования или жизнеспособности генотипов соотношения меняются.



Обобщение классических менделевских схем и их известных отклонений в генетике.

Наследование подчиняется вероятности, а не смешению

Второй закон Менделя показывает, что признаки передаются через отдельные аллели, которые расходятся при образовании гамет и вновь сочетаются случайно. Именно поэтому во втором поколении возникают устойчивые соотношения 3:1 и 1:2:1.