

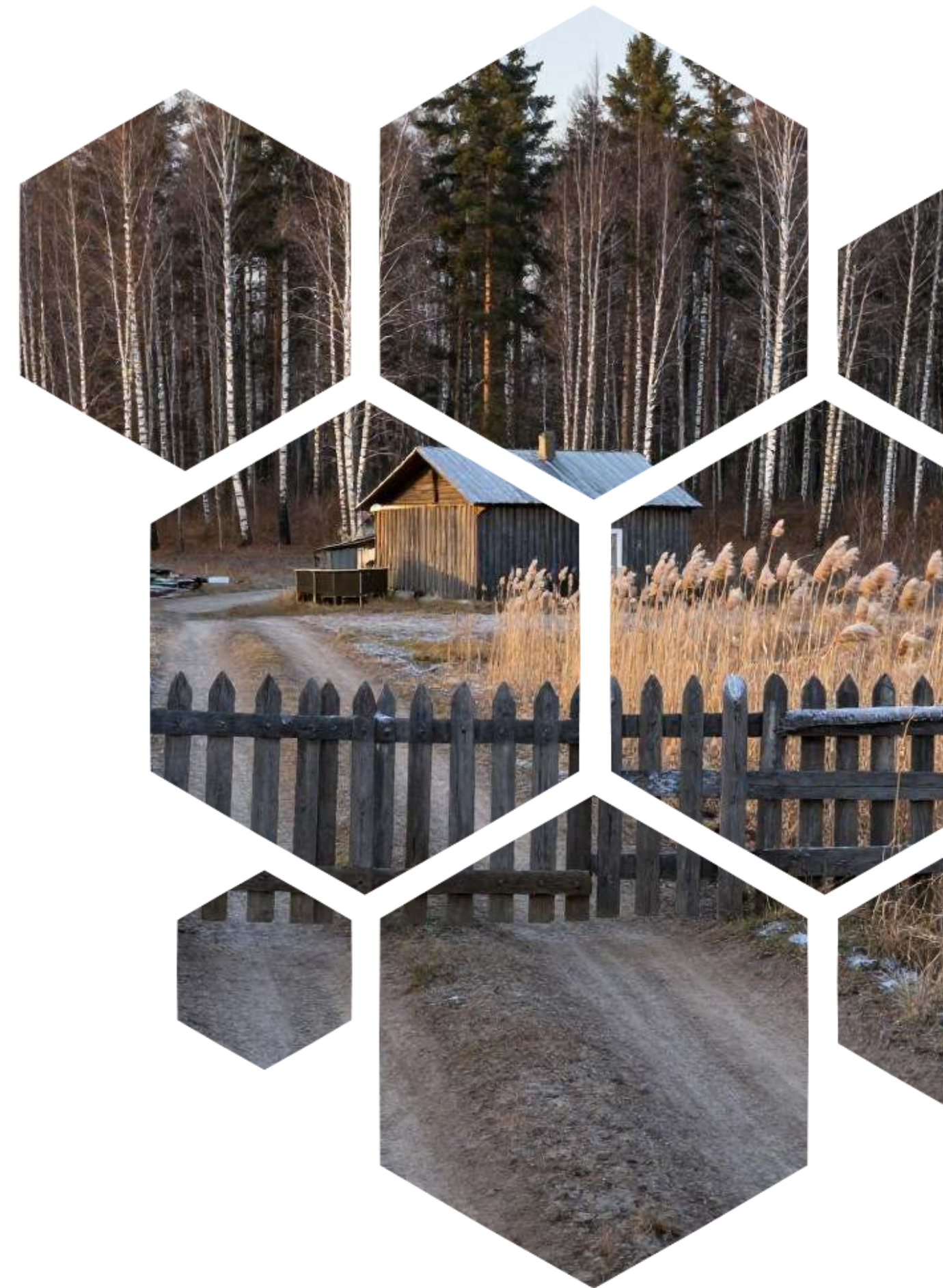
Изоляция и закон Харди— Вайнберга: как меняется генофонд популяции

Как изоляция изменяет генофонд
и запускает эволюционные процессы?



Почему эта тема важна в 11 классе

Популяционная генетика показывает, как наследственность работает на уровне групп особей. Закон Харди–Вайнберга даёт точку отсчёта, а изоляция помогает понять, почему реальные популяции изменяются и расходятся.



Популяция, генофонд и частоты аллелей

01

Популяция как единица

Популяция — это группа особей одного вида, длительно обитающих на одной территории и свободно скрещивающихся между собой. Именно на этом уровне удобнее всего изучать эволюционные изменения.

02

Что такое генофонд

Генофонд включает все гены и аллели популяции. Он отражает наследственный потенциал группы и показывает, какие признаки могут передаваться потомству в разных сочетаниях.

03

Аллели и их доли

Для одного гена частоты аллелей обозначают p и q . Их сумма всегда равна 1, потому что вместе они описывают всё наследственное разнообразие данного локуса.

04

Структура генотипов

Частоты генотипов AA , Aa и aa показывают, как распределена наследственная изменчивость. По ним можно судить, насколько часто скрываются рецессивные аллели в гетерозиготах.

05

Когда генофонд стабилен

Стабильность возможна при случайном скрещивании, большой численности и отсутствии миграции, мутаций, отбора и дрейфа. Без этих условий частоты неизбежно начинают меняться.

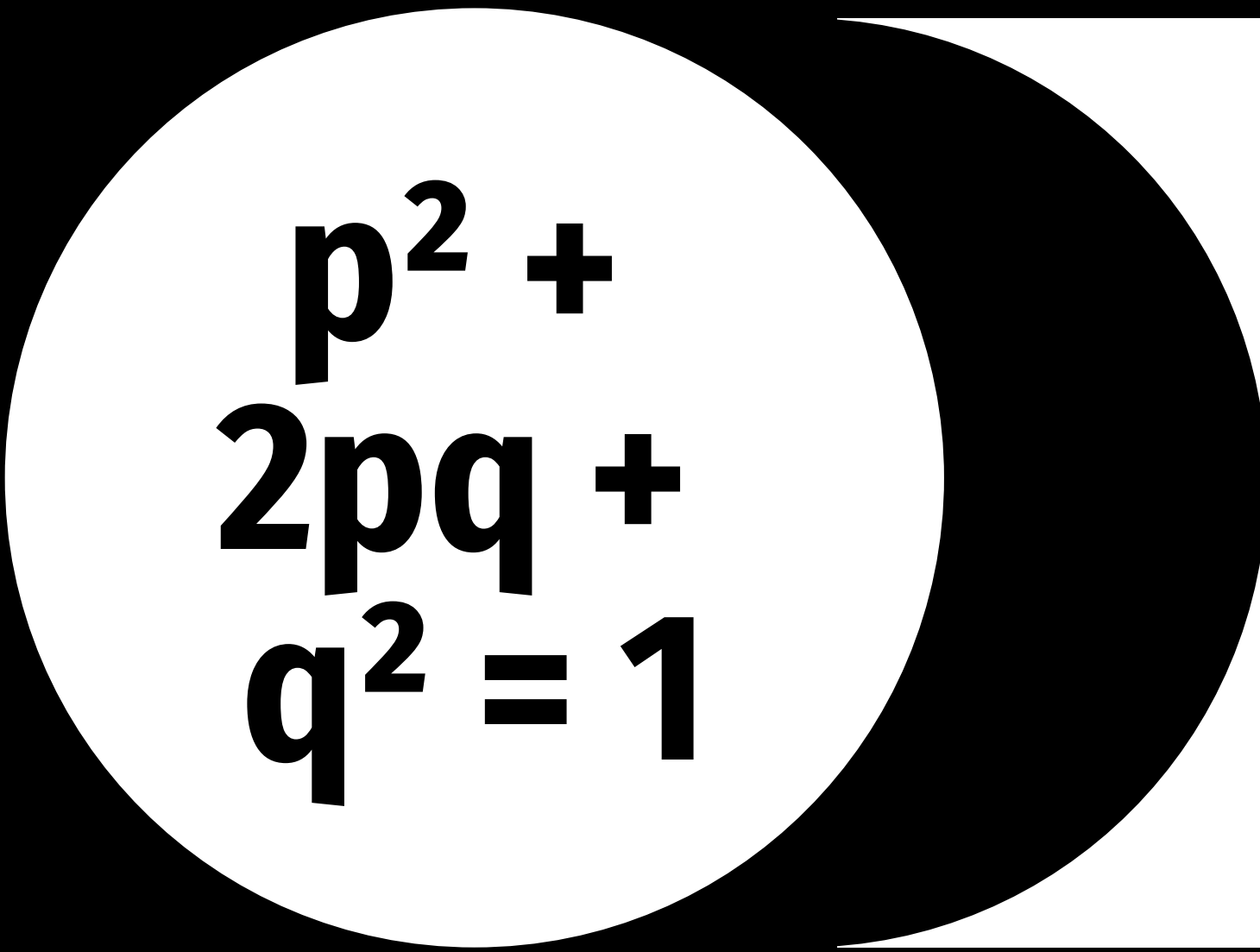
Условия равновесия Харди—Вайнберга

Идеальная популяция сохраняет постоянные частоты аллелей только при выполнении нескольких строгих условий.

Нарушение любого условия делает равновесие неустойчивым и изменяет частоты аллелей или генотипов.

Условие	Смысл
Случайное скрещивание	Равные шансы на спаривание
Большая численность	Слабые случайные колебания
Нет мутаций	Новые аллели не возникают
Нет миграции	Нет притока и оттока генов
Нет отбора	Одинаковая выживаемость

Классическая модель популяционной генетики


$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

По известным частотам аллелей можно вычислить ожидаемое распределение генотипов и сравнить его с наблюдаемым. Это помогает определить, действует ли на популяцию эволюционный фактор.

эта формула позволяет
предсказать частоты
генотипов
в равновесной
популяции

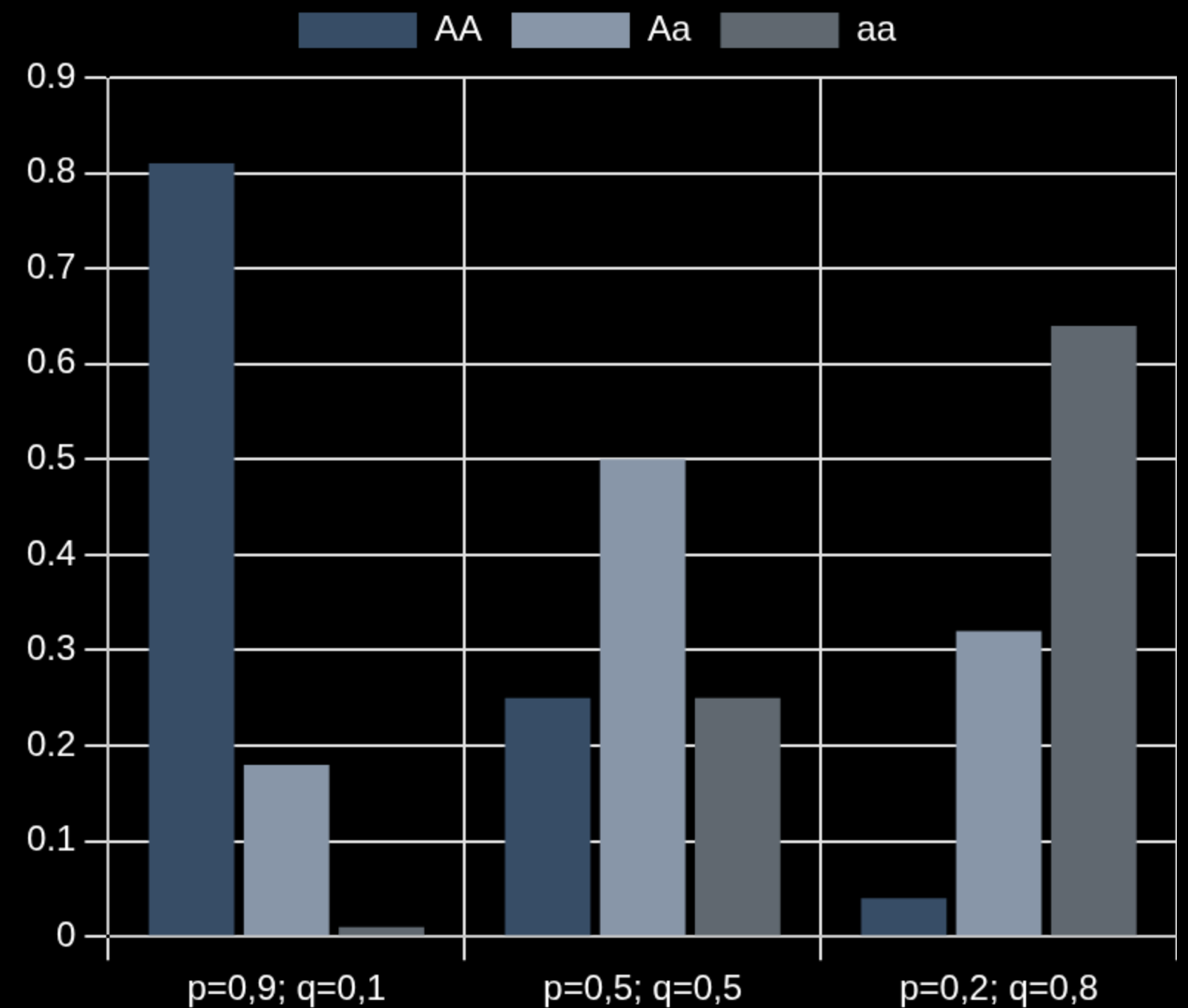
Закон Харди—Вайнберга, школьная популяционная
генетика

Как меняются генотипы при разных частотах аллелей

Чем выше доля рецессивного аллеля, тем заметнее растёт доля генотипа aa .
При равных частотах аллелей гетерозиготы встречаются чаще всего.

Редкий аллель может долго сохраняться в гетерозиготах, не проявляясь фенотипически, а значит — быть незаметным для отбора.

Расчёт по формуле Харди—Вайнберга



Изоляция как барьер для потока генов

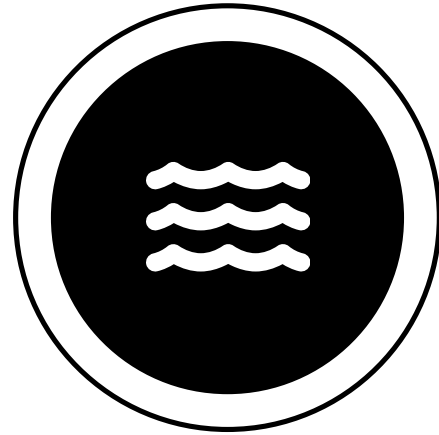


- **Смысл изоляции**
Изоляция ограничивает или прекращает обмен генами между популяциями одного вида. В результате группы особей начинают эволюционировать независимо и накапливают различия.
- **Географический барьер**
Физические преграды — море, горы, река, пустыня или ледник — мешают скрещиванию. Чем надёжнее барьер, тем меньше миграция особей между частями ареала.
- **Другие формы**
Помимо географической, выделяют экологическую, сезонную, этологическую и репродуктивную изоляцию. Все они уменьшают вероятность встречи и успешного размножения особей.
- **Эволюционный эффект**
Когда поток генов ослабевает, частоты аллелей в разных группах начинают расходиться. Это создаёт основу для дальнейшей генетической дивергенции.
- **Почему это важно**
Изоляция помогает объяснить, как из одной исходной популяции со временем формируются новые линии, а затем и новые виды.

От изоляции к различиям между популяциями

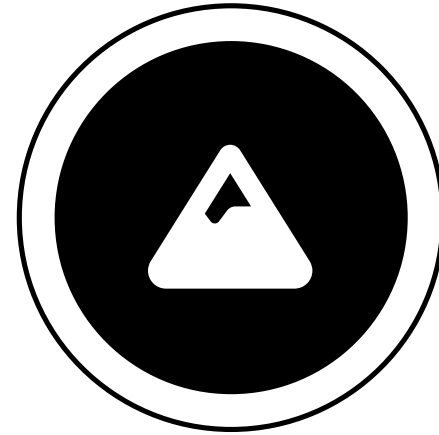
Последовательность показывает, как нарушение обмена генами меняет генофонд группы.

Географическая изоляция



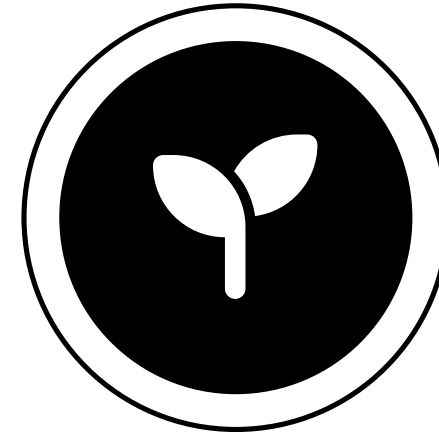
Водные преграды

Океаны, проливы и крупные реки разрывают ареал вида на части. После такого разделения особи разных групп всё реже встречаются и скрещиваются.



Горы и ледники

Горные цепи и ледники создают труднопреодолимые границы. Изолированные популяции быстро становятся малочисленными и сильнее подвержены случайным изменениям частот аллелей.



Новая территория

Когда на новый участок переселяется небольшая группа особей, она переносит лишь часть исходного генофонда. Это делает будущую популяцию генетически неполной.



Эффект основателя

У небольшой группы случайно закрепляются не все аллели исходной популяции. Поэтому потомки могут заметно отличаться от исходного населения уже с первых поколений.

Экологическая и сезонная изоляция

● Разные ниши

Экологическая изоляция возникает, когда особи одного вида живут на одной территории, но используют разные места обитания, пищу или условия освещения. Встречи между ними происходят реже.

● Разделение ресурсов

Даже небольшие различия в глубине водоёма, высоте яруса растений или типе корма снижают вероятность скрещивания. Так поддерживаются отдельные генетические линии.

● Разные сроки

Сезонная изоляция связана с несовпадением периодов размножения, цветения или нереста. Если сроки не совпадают, половые клетки не встречаются.

● Эволюционный результат

При отсутствии физического барьера такие различия всё равно уменьшают поток генов. Со временем популяции накапливают наследственные особенности и могут расходиться всё сильнее.

Репродуктивная изоляция и видообразование

01

Барьер до оплодотворения

До образования зиготы группы могут быть разделены разным брачным поведением, несовместимостью органов размножения или несинхронностью размножения. Такие различия резко уменьшают вероятность скрещивания между популяциями.

02

Барьеры после оплодотворения

Если зигота всё же образуется, гибриды могут оказаться нежизнеспособными или стерильными. Тогда обмен генами прекращается уже на следующем этапе, даже при внешнем сходстве родительских форм.

03

Накопление различий

При длительной изоляции в каждой группе накапливаются собственные мутации, закрепляются разные варианты признаков и усиливается действие отбора. Совместимость популяций постепенно снижается.

04

Результат для эволюции

Когда различия становятся устойчивыми, изолированные группы перестают свободно скрещиваться. Это один из главных путей видообразования, по которому от исходной популяции возникают новые виды.

Факторы, нарушающие равновесие популяции

▶ Реальные популяции постоянно отклоняются от идеальной модели, потому что на генофонд действуют несколько эволюционных факторов.

▶ Любое из этих воздействий нарушает равновесие Харди–Вайнберга; чаще всего в природе они действуют одновременно, поэтому идеальная модель служит только точкой сравнения.

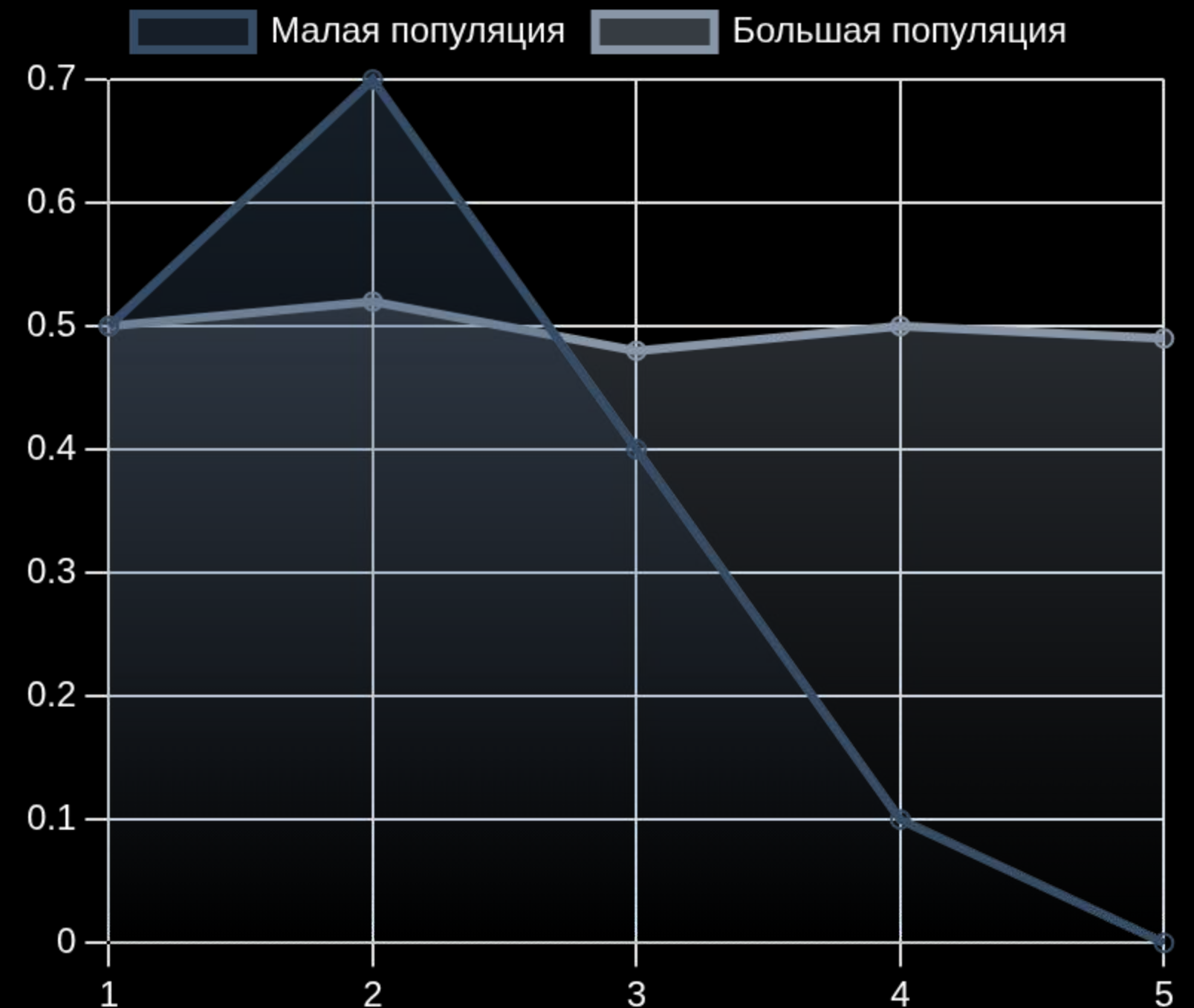
Фактор	Действие
Миграция	обмен аллелями
Отбор	закрепление выгодных
Мутации	новые аллели
Дрейф	случайные сдвиги
Скрещивание	меняет генотипы

Генетический дрейф в малых и больших популяциях

На графике показана судьба одного и того же аллеля в двух популяциях при одинаковых исходных условиях. Разница объясняется силой случайных колебаний.

Чем меньше численность, тем выше риск случайной утраты или фиксации аллеля. В больших популяциях дрейф заметно слабее и изменения идут медленнее.

Схематическая модель по принципам
популяционной генетики

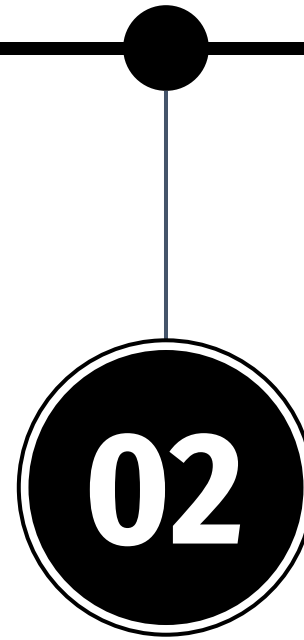


Эффект основателя и бутылочное горлышко



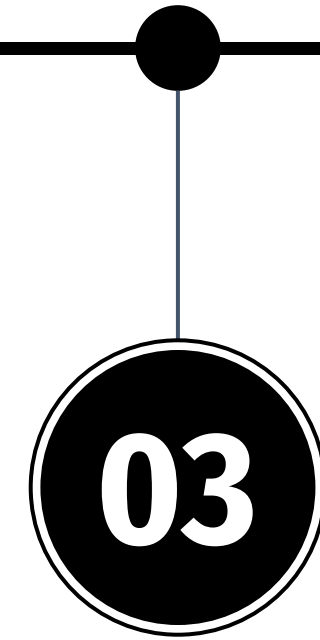
Новая территория

Небольшая группа особей заселяет новый участок. Их аллели случайно становятся основой будущего генофонда, поэтому он может заметно отличаться от исходной популяции.



Резкое сокращение численности

После катастрофы, эпидемии, охоты или разрушения среды обитания остаётся лишь малая часть популяции. Случайно выживают не все варианты генов, и разнообразие уменьшается.



Новый генофонд

В обоих случаях дальнейшее восстановление идёт уже на основе ограниченного набора аллелей. Для редких видов это особенно опасно, потому что снижается приспособляемость к изменениям среды.

Пример из природы: островные и изолированные популяции



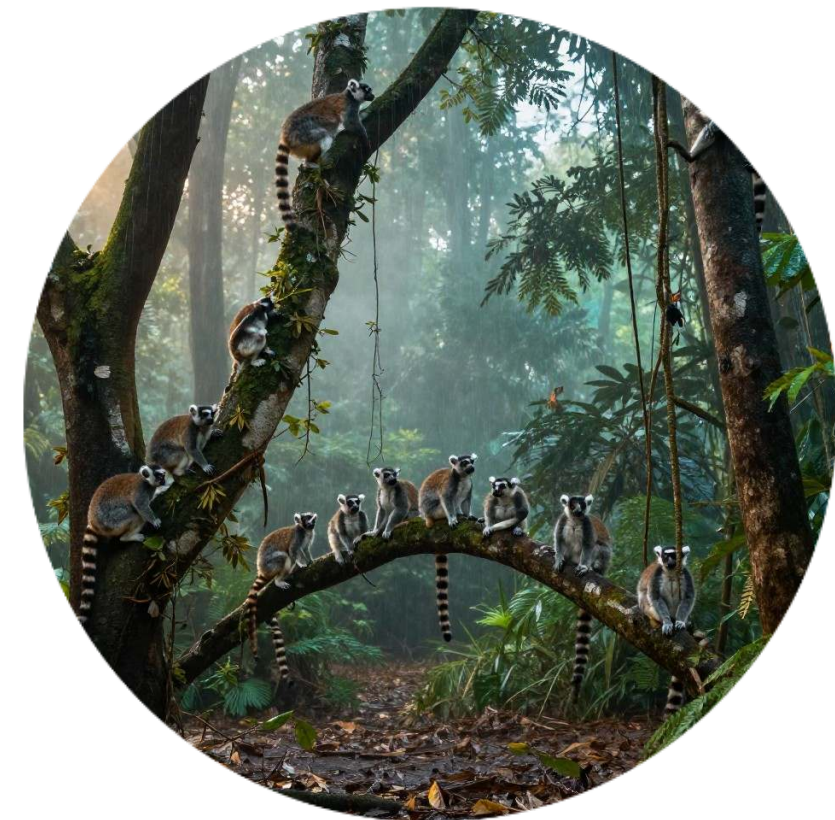
Вьюрки на разных островах

На Галапагосских островах дарвиновы вьюрки оказались разделены между разными островами и условиями питания. В итоге у них закрепились различия в форме клюва, размерах и способах добывания пищи, хотя происхождение у них общее.



Цихлиды: озёра как лаборатория эволюции

В африканских озёрах цихлиды образуют множество близких, но заметно различающихся форм. Изоляция по глубине, кормовой базе и месту обитания помогает показать, как быстро популяции расходятся при ограниченном обмене генами.



Лемуры Мадагаскара

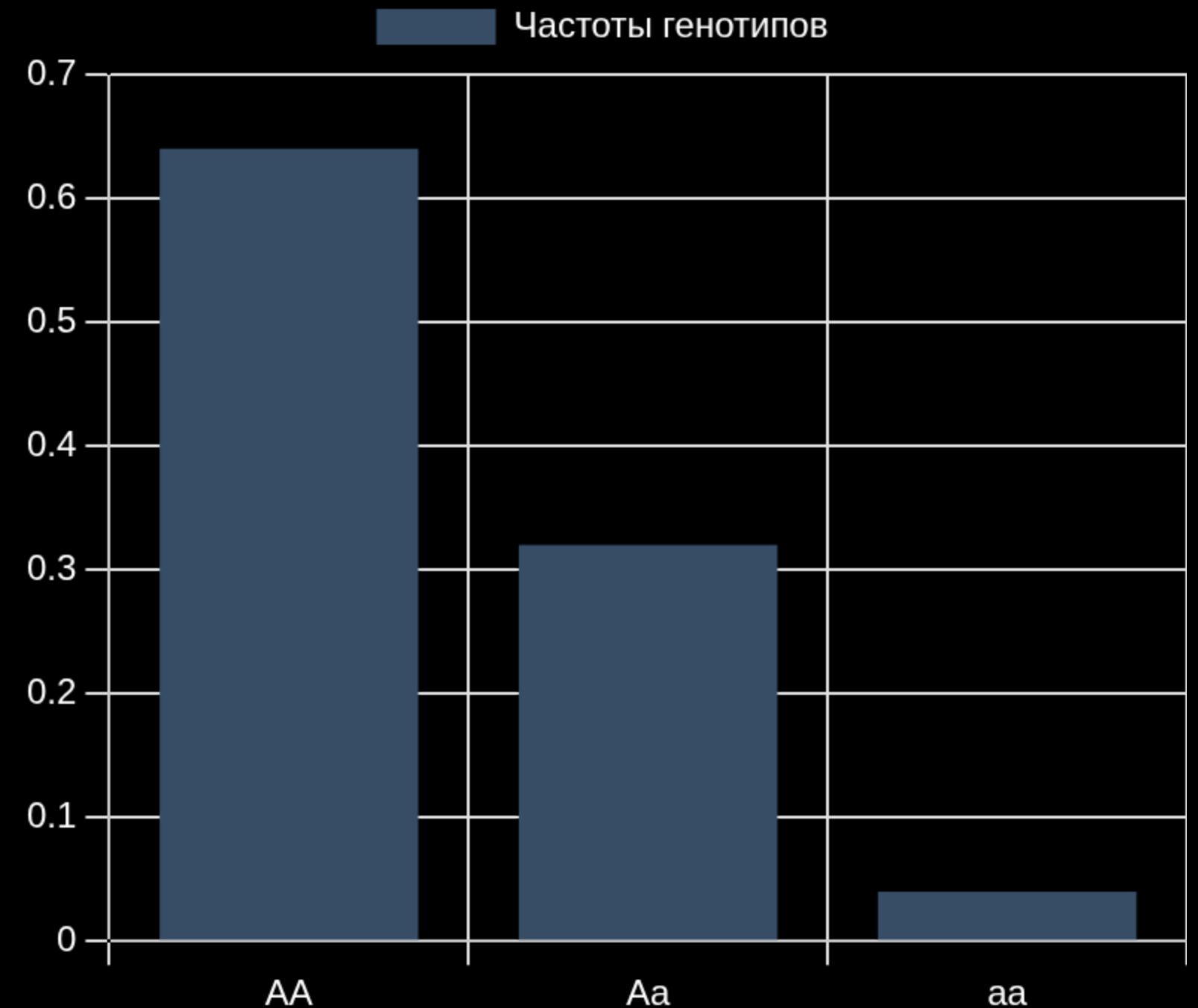
Мадагаскар надолго отделил лемуров от материковых популяций, и это привело к большому разнообразию видов. На иллюстрации можно показать островной ареал и группу животных, чтобы визуально подчеркнуть роль изоляции.

Пример расчёта по закону Харди—Вайнберга

Если рецессивный фенотип встречается у 4% особей, можно восстановить частоты аллелей и оценить скрытое носительство, не видимое по внешнему признаку.

Рецессивный аллель присутствует у многих носителей без проявления признака. Поэтому число гетерозигот часто значительно больше, чем число особей с рецессивным фенотипом.

Учебный пример по формуле $p^2 + 2pq + q^2 = 1$



Значение закона Харди—Вайнберга для человека



Как проверяют равновесие в выборке

Последовательность расчёта наблюдаемых и ожидаемых частот генотипов

Ключевые выводы об изоляции и равновесии

■ Изоляция сокращает обмен

Когда между популяциями уменьшается скрещивание, каждая из них начинает эволюционировать более самостоятельно. Это создаёт условия для накопления различий в генофонде.

■ Харди—Вайнберг как эталон

Закон описывает идеальное состояние, к которому можно сравнивать реальные данные. Он не отражает всю сложность природы, но даёт точную отправную точку для анализа.

■ Отклонения имеют причину

Несовпадение расчётных и наблюдаемых частот указывает на действие мутаций, отбора, миграции, дрейфа или неслучайного скрещивания. По отклонениям судят о процессах в популяции.

■ Теория и практика

Сопоставление модели с экспериментальными данными помогает проследить, как меняется генофонд во времени, и понять, почему одни признаки сохраняются, а другие исчезают.

Изоляция запускает эволюционное расхождение

Закон Харди—Вайнберга показывает, как выглядит идеальная популяция, а изоляция объясняет, почему реальные популяции от неё отходят. Именно так начинается путь к новым формам и видам.