

Генетические ОСНОВЫ ЭВОЛЮЦИИ

Как наследственность меняет жизнь видов



Почему генетика объясняет эволюцию



Дарвин описал отбор, но механизм наследования раскрылся позже. Мендель, структура ДНК и популяционная генетика превратили эволюцию в изучаемый процесс, где видны мутации, дрейф, миграция и отбор.

Наследственная изменчивость как основа эволюции

01

Разные аллели

Наследственная изменчивость начинается с различий в аллелях. Именно они создают разнообразие признаков, на которое может «сработать» естественный отбор и которое передаётся потомкам.

02

Кроссинговер

В профазе I мейоза гомологичные хромосомы обмениваются участками. Это меняет сочетания аллелей, не создавая новых генов, но резко увеличивая число вариантов потомства.

03

Независимое расхождение

При мейозе хромосомы расходятся в гаметы случайно и независимо друг от друга. Поэтому даже у одних родителей могут формироваться миллионы генетически разных комбинаций.

04

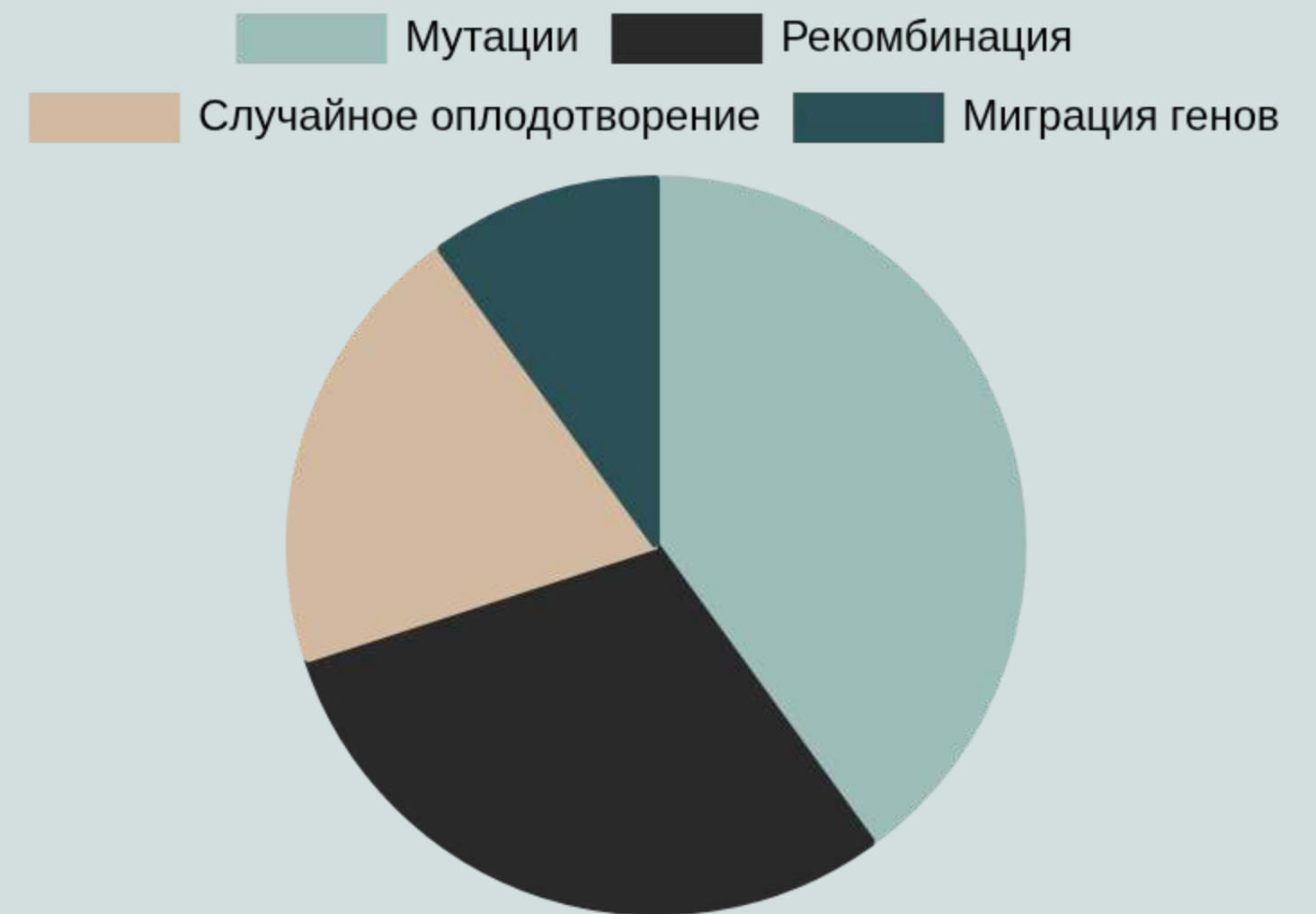
Половое размножение

Случайное слияние гамет усиливает разнообразие ещё сильнее. Чем выше наследственная вариативность в потомстве, тем больше вероятность появления признаков, полезных в конкретной среде.

Источники генетического разнообразия

Диаграмма показывает разные пути поддержания изменчивости: одни создают новые аллели, другие перераспределяют уже существующие варианты.

Все источники работают совместно, но только мутации формируют принципиально новые аллели, а остальные усиливают их сочетания и распространение.



Мутации как источник новых аллелей



01

Когда меняется одна буква ДНК

Генная мутация может затронуть всего один нуклеотид, но иногда этого достаточно, чтобы изменить белок и свойства организма. Чаще такие изменения нейтральны или вредны, однако именно так возникают новые наследственные варианты.



02

Редкий плюс для выживания

Полезные мутации встречаются гораздо реже, чем нейтральные. Но в особых условиях они дают заметное преимущество: например, у бактерий так формируется устойчивость к антибиотикам, а у части людей — наследственные особенности защиты от малярии.

Рекомбинация и независимое наследование

Обмен участками



Кроссинговер в профазе I мейоза меняет участки между гомологичными хромосомами. В результате у потомков возникают новые сочетания уже существующих аллелей, повышающие разнообразие наследственных признаков.

Случайное распределение



Независимое расхождение хромосом в мейозе создаёт огромное число комбинаций генов в гаметах. Этот механизм работает каждый раз при образовании половых клеток и заметно увеличивает вариативность потомства.

Не новые гены, а новые сочетания



Рекомбинация не создаёт новые гены, но перемешивает имеющиеся варианты. Благодаря этому полезные признаки могут объединяться в одном генотипе быстрее, чем при накоплении одних только мутаций.

Роль в эволюции



Чем больше генетических комбинаций появляется в поколении, тем выше вероятность, что среда «отберёт» наиболее удачные. Поэтому рекомбинация ускоряет эволюционные изменения, не нарушая наследственности.

Формы генетической изменчивости

Сравнение показывает, какие изменения наследуются и действительно могут накапливаться в популяциях.

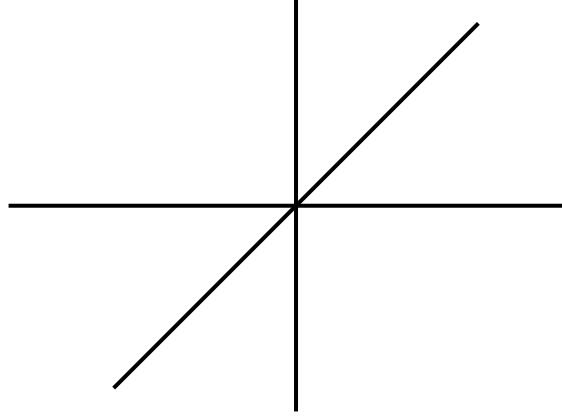


Эволюционное значение имеют только наследственные изменения. Модификационная изменчивость важна для жизни особи, но не меняет генофонд популяции.



Вид	Источник	Наследуется	Значение
Мутационная	Изменение ДНК	Да	Даёт новые аллели
Комбинативная	Новые сочетания аллелей	Да	Усиливает разнообразие
Модификационная	Влияние среды	Нет	Не закрепляется

Популяция как единица эволюции



01

Не особь, а группа

Эволюционные изменения происходят не в отдельном организме, а в популяции. Именно в ней накапливаются различия, которые со временем меняют общий генофонд.

02

Частота аллелей

Для описания эволюции важно, как часто встречается каждый аллель. Этот показатель показывает, какой генетический вариант преобладает и как он меняется от поколения к поколению.

03

Действие факторов

Отбор, дрейф, миграция и мутации по-разному влияют на популяцию. Одни аллели становятся более распространёнными, другие исчезают, а третьи приходят извне.

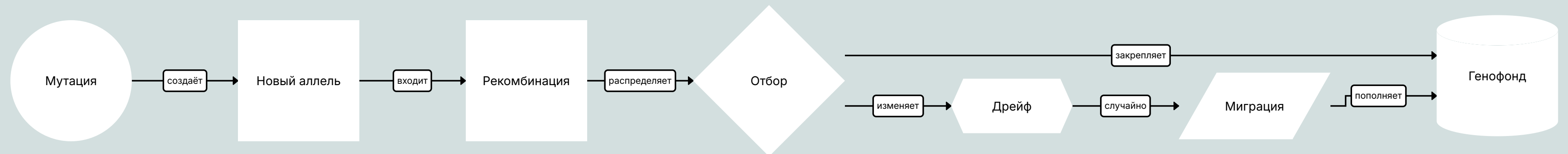
04

Итог во времени

Через несколько поколений популяция может заметно отличаться от исходной. Так эволюция становится измеримым изменением наследственного материала, а не абстрактной идеей.

Как меняются частоты аллелей

Схема показывает, как разные эволюционные процессы одновременно изменяют генофонд популяции.

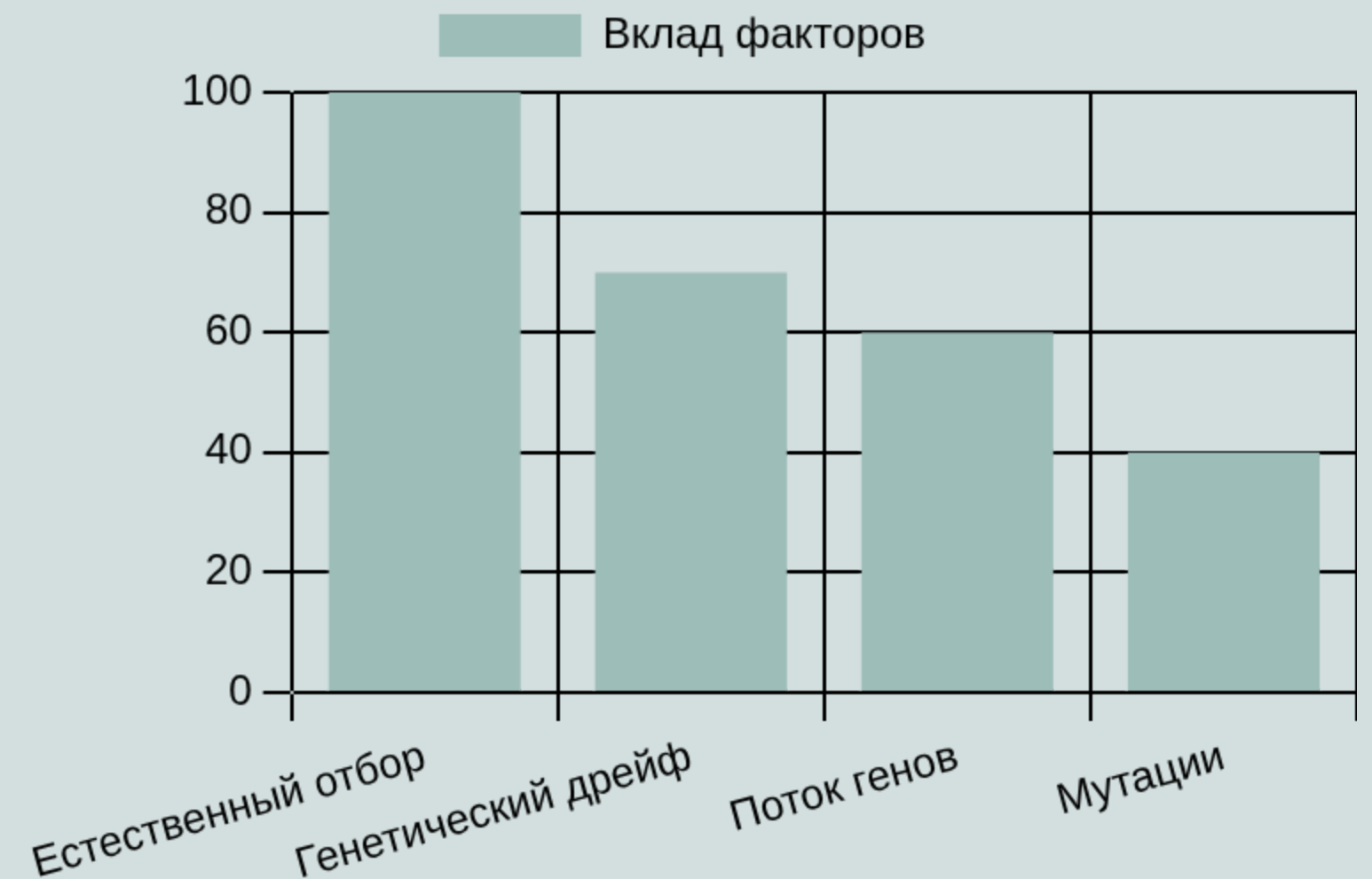


Движущие силы эволюции в популяциях

Разные факторы не заменяют друг друга: одни направляют изменения, другие создают случайность или новые варианты.

Отбор задаёт направление, дрейф усиливает случайные колебания, поток генов связывает популяции, а мутации постоянно пополняют наследственный материал.

Схематическое ранжирование факторов по биологической роли, без эмпирической шкалы.



Естественный отбор на генетическом уровне

01

Действие на фенотип

Естественный отбор «видит» не гены напрямую, а проявляющиеся признаки особи. Однако выживают и оставляют потомство чаще те организмы, чьи аллели лучше работают в данных условиях среды.

02

Изменение частот аллелей

Если признак повышает приспособленность, соответствующий аллель постепенно становится более распространённым в популяции. Неблагоприятные варианты, напротив, уменьшают свою долю, потому что их носители оставляют меньше потомков.

03

Пример индустриального меланизма

У берёзовой пяденицы тёмная форма получила преимущество в загрязнённых районах, где стволы деревьев темнели. Маскировка снижала риск поедания, и частота тёмного аллеля заметно возросла.

Генетический дрейф и эффект основателя



Случайность вместо отбора

Генетический дрейф — это случайное колебание частот аллелей, не связанное напрямую с полезностью признака. Он особенно заметен там, где численность особей невелика, а выборка генов ограничена.

Эффект основателя

Когда новую территорию заселяет небольшая группа особей, её генофонд отражает лишь часть исходного разнообразия. В дальнейшем редкие аллели могут исчезнуть или, наоборот, стать неожиданно обычными.

Бутылочное горлышко

После катастроф, эпидемий или массового истребления численность резко падает, и выжившая группа несёт обеднённый набор аллелей. Поэтому восстановленная популяция часто остаётся генетически менее разнообразной.

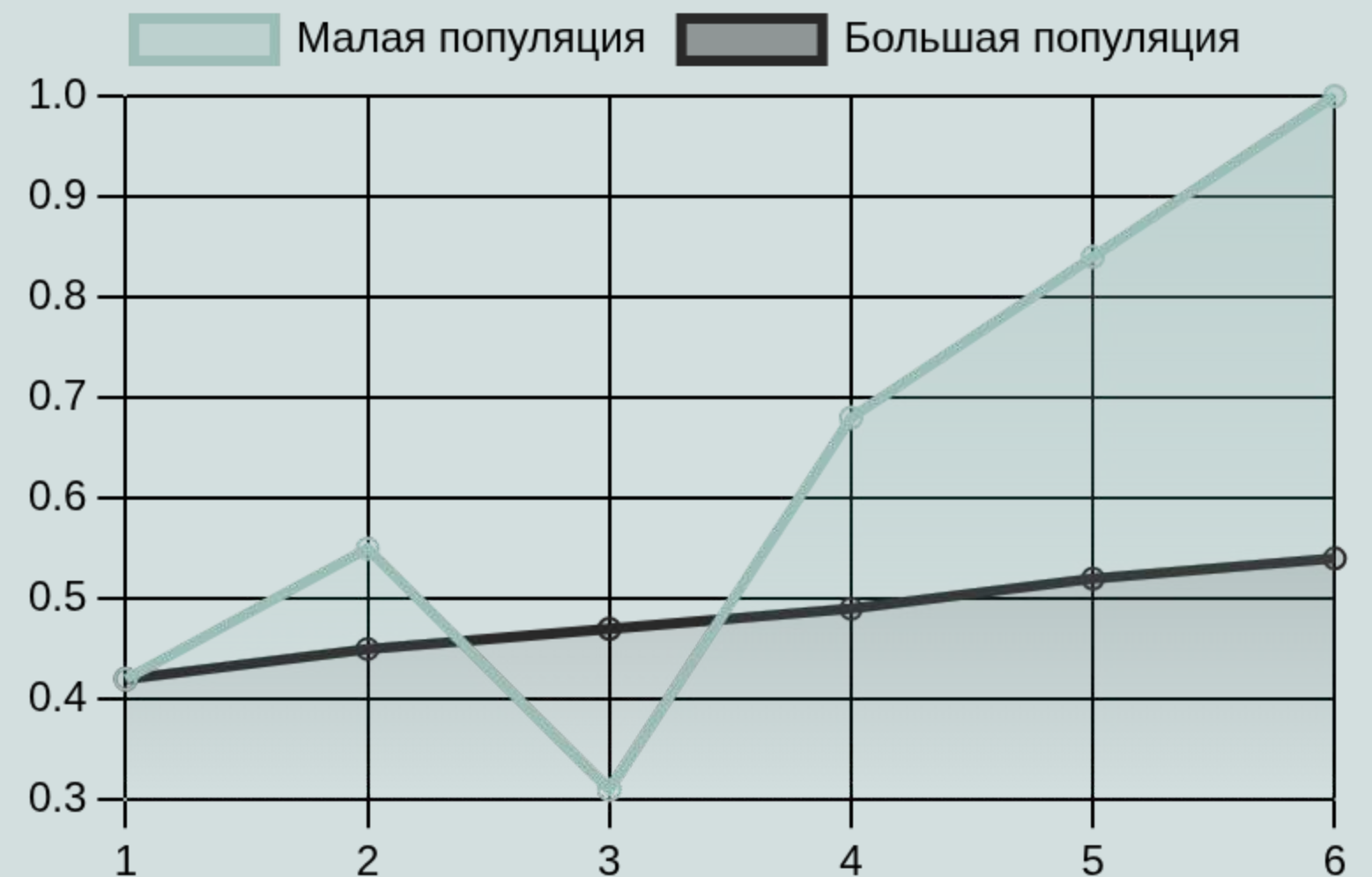
Почему это важно

Дрейф может усиливать различия между популяциями даже без сильного отбора. У гепардов и некоторых островных видов снижение разнообразия делает виды более уязвимыми к изменениям среды.

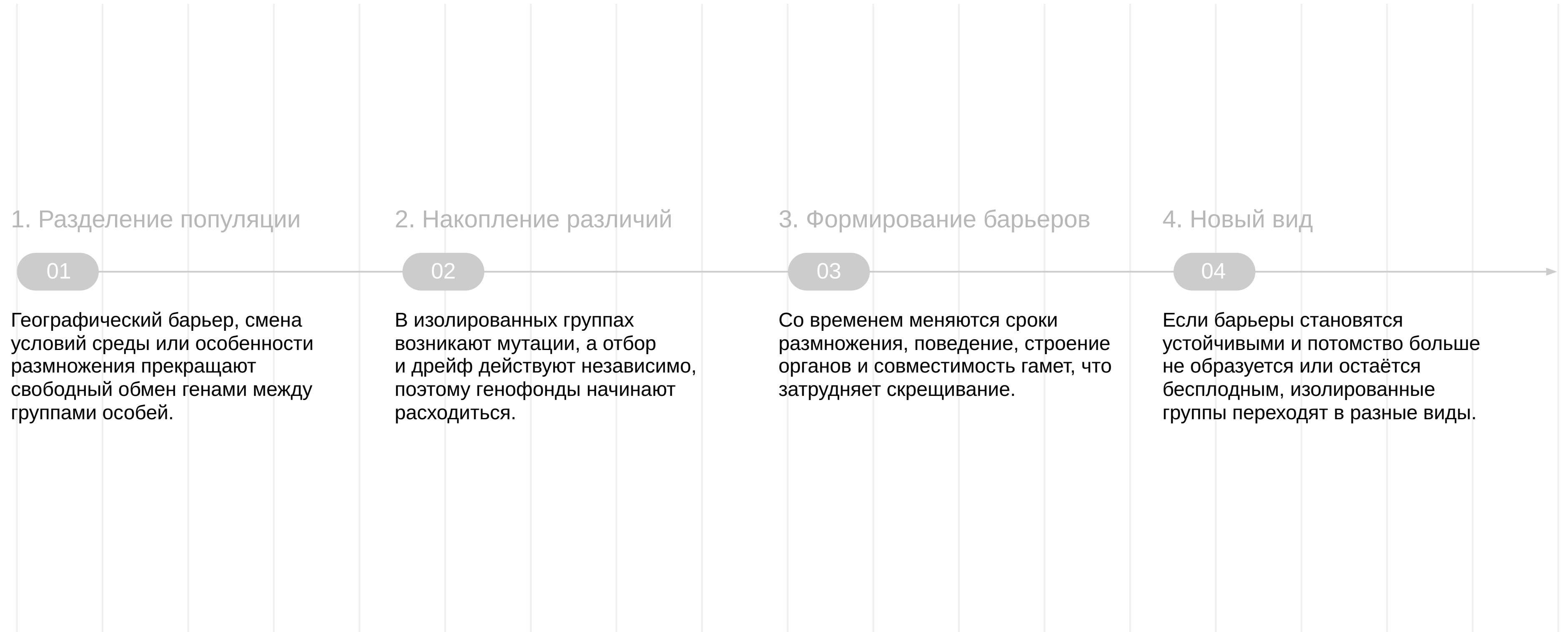
Дрейф в малых и больших популяциях

На графике показана не конкретная природная система, а типичная динамика частоты аллеля. Шкала иллюстрирует, как размер популяции влияет на силу случайных колебаний.

В малых популяциях дрейф может быстро закрепить случайный аллель. В больших популяциях частоты меняются медленнее, поэтому случайность выражена слабее.

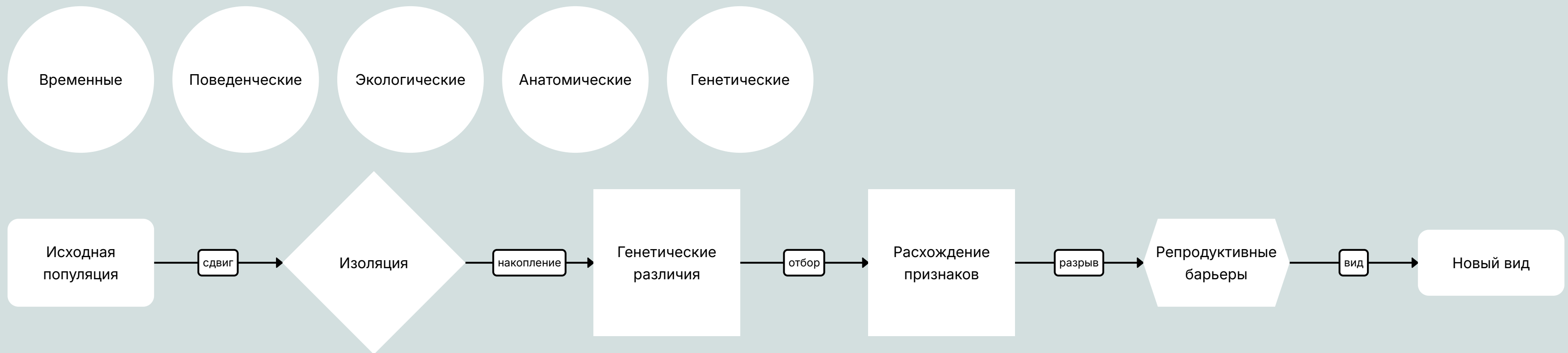


Изоляция и видообразование



Путь от популяции к новому виду

Схема отражает последовательность популяционных процессов, приводящих к репродуктивной изоляции и видообразованию.



Репродуктивные барьеры

Тип барьера	Пример	Результат
Предзиготический	Разные сроки размножения	Скрещивание не происходит
Предзиготический	Несовместимость гамет	Оплодотворение неудачно
Постзиготический	Мул	Бесплодное потомство

Таблица показывает, какие механизмы препятствуют скрещиванию до и после образования зиготы, и как это влияет на сохранение обособленности видов.

Предзиготические барьеры предотвращают образование гибридов, а постзиготические снижают их жизнеспособность или плодовитость. Оба типа поддерживают разделение видов.

Молекулярные доказательства эволюции



Сходство последовательностей

Сравнение ДНК позволяет оценить родство организмов по числу различий. Чем меньше расхождений в нуклеотидной последовательности, тем ближе общий предок и тем недавнее разделение линий.



Универсальный код

Генетический код почти одинаков у всех живых организмов, что указывает на общее происхождение. Это одно из самых сильных свидетельств единства жизни на Земле.



Гомологичные гены

Сходные гены у разных видов часто выполняют близкие функции и имеют общий источник. Их сравнение помогает проследить эволюционные связи даже между очень разными организмами.



Псевдогены

Псевдогены — это «сломанные» копии генов, утратившие функцию, но сохранившие следы прежнего строения. Они особенно ценны как молекулярный архив общего происхождения видов.

Геном человека и родство с другими приматами

Высокое сходство ДНК



Сравнение геномов показывает, что ДНК человека и шимпанзе совпадает более чем на 98%. Это говорит о сравнительно недавнем расхождении их эволюционных линий.

Общие функциональные гены



У человека и других приматов обнаруживаются сходные гены, связанные с развитием мозга, иммунитетом и обменом веществ. Такие совпадения подтверждают общее происхождение и родство групп.

Сравнение хромосом



Даже при различиях в числе и строении хромосом можно увидеть соответствующие участки, унаследованные от общего предка. Поэтому геномные сравнения дополняют данные анатомии и палеонтологии.

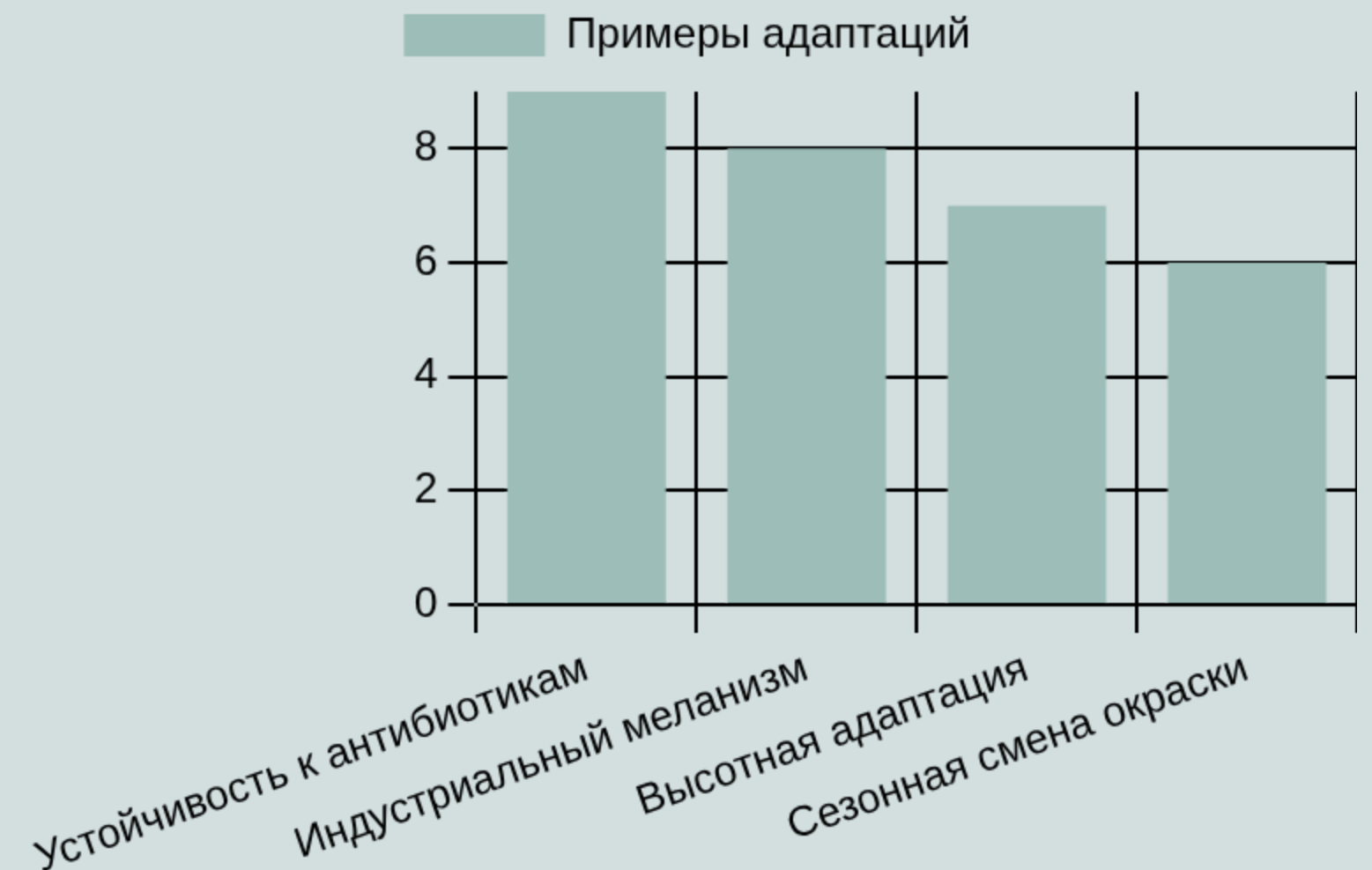


Как генетика объясняет адаптацию

Показанные примеры относятся к разным группам организмов, но механизм один: отбор сохраняет наследственные варианты, которые повышают выживание и успешность размножения в конкретной среде.

Адаптация не возникает мгновенно. Она развивается из уже существующей изменчивости, а отбор увеличивает частоту полезных аллелей в популяции.

Схематическая подборка классических примеров адаптации в школьной биологии



Эволюция становится измеримой



Генетика показывает, как мутации, рекомбинация, отбор, дрейф и изоляция меняют популяции во времени. Благодаря этому эволюцию можно не просто описывать, а проверять на уровне ДНК и видов.