

# Популяция как единица эволюции

Популяции — где рождаются эволюционные изменения и закрепляется разнообразие жизни.



# От наблюдений к популяционной генетике

Идея популяции прошла путь от описаний природных групп до строгой генетической теории. Работы Четверикова, Фишера, Холдейна и Райта показали, как статистика помогает объяснять эволюцию.



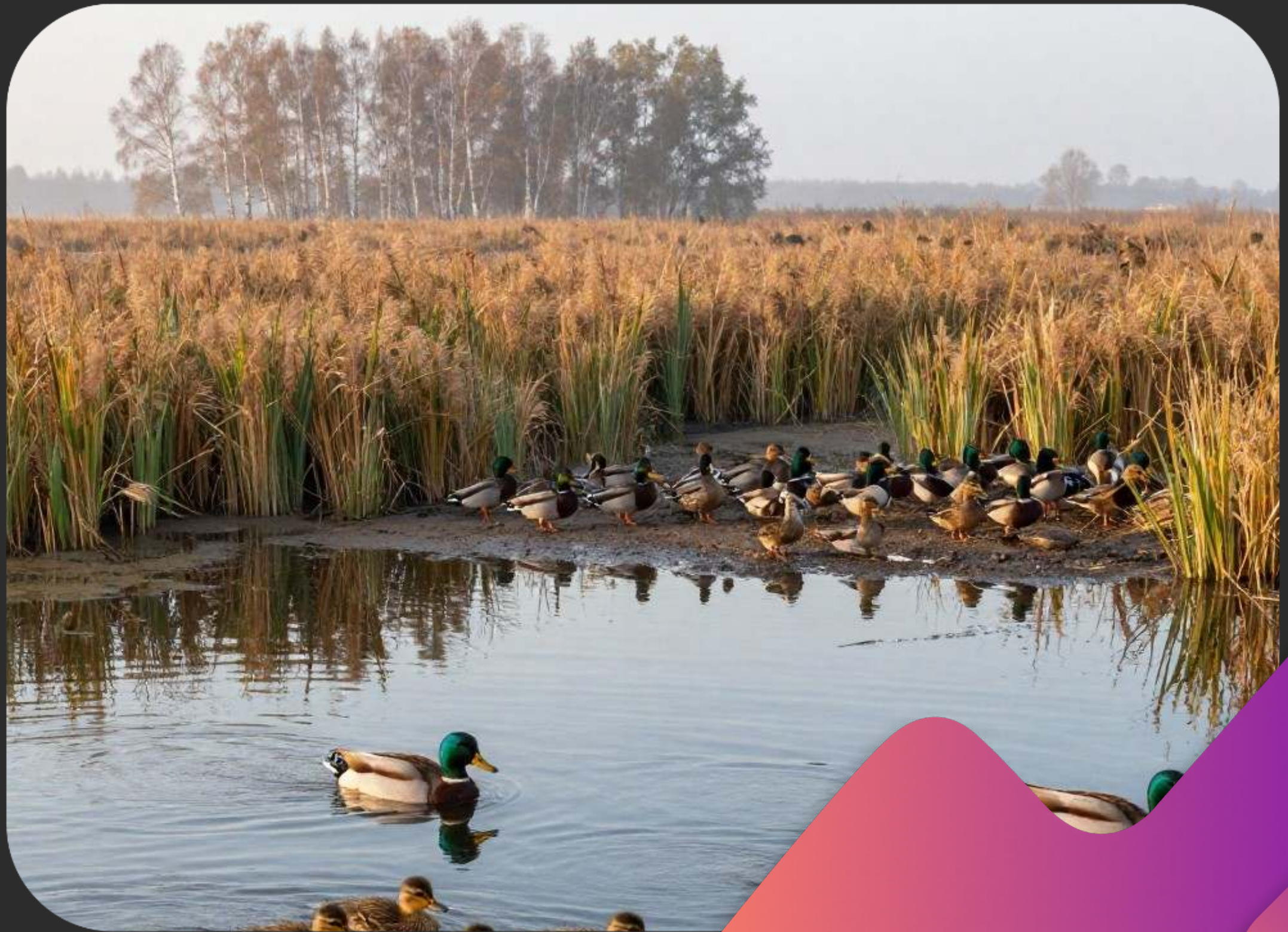
# Какие признаки показывают устройство популяции

## Численность и возрастной состав

Размер популяции и плотность определяют, насколько тесно особи связаны между собой. Возрастная структура показывает, много ли молодых, зрелых и старых особей, а значит — как будет меняться численность.

## Половое соотношение и миграции

Баланс самцов и самок влияет на успех размножения и скорость восстановления популяции. Миграции, наоборот, соединяют группы, поддерживают обмен генами и помогают заселять новые участки территории.



# Генетическая структура популяций: анализ и примеры

Генетическая структура показывает, какие аллели и генотипы преобладают в данной популяции. Эти частоты меняются под действием отбора, дрейфа и миграций, поэтому служат индикатором эволюционных сдвигов.

Система ABO хорошо иллюстрирует географические различия: в разных регионах мира одни группы крови встречаются чаще других. Такие различия связаны с историей расселения людей и локальными условиями отбора.

Сравнение генетических частот между популяциями позволяет отслеживать родство групп и уровень их изоляции. Для биологии это важный способ понять, как формируется наследственное разнообразие в масштабах вида.

# Ключевые проявления генетического полиморфизма



## Аллельное разнообразие

Полиморфизм означает, что в популяции одновременно существуют два и более варианта одного гена. Если их частота достаточно велика, признак не исчезает случайно и может участвовать в отборе.



## Берёзовая пяденица

Классический пример — светлые и тёмные формы у берёзовой пяденицы в Англии. Изменение окраски помогало маскироваться на фоне коры и по-разному выживать в условиях загрязнения.



## Человеческие популяции

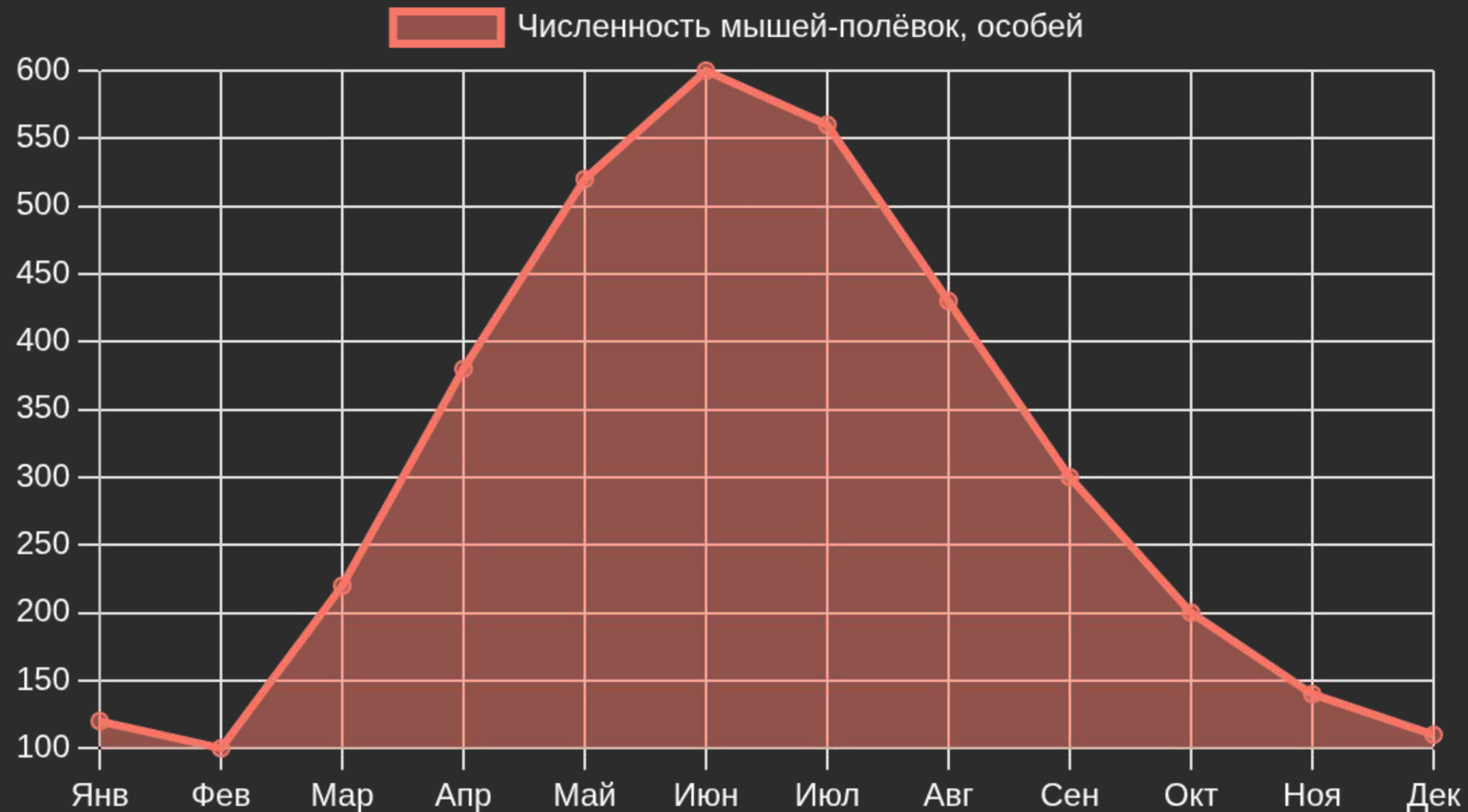
У человека к полиморфным признакам относятся системы АВО и резус-фактор. Их распространённость различается между группами населения и отражает историю миграций, браков и отбора.



## Растения и среда

У растений полиморфизм заметен в окраске цветков, форме листьев и устойчивости к стрессу. Такое разнообразие повышает шансы популяции пережить перемены климата, почвы и освещения.

# Динамика популяций: количественные изменения на примере



Учебный пример сезонной динамики численности мышей-полёвок; условные значения, отражающие годичный цикл.

Подъём численности усиливает конкуренцию за пищу и укрытия, а спад облегчает восстановление ресурсов. Для таких видов особенно важны скорость размножения и выживаемость молодняка.

Сезонные колебания выражены резко: летний рост сменяется зимним минимумом. Динамика указывает на зависимость популяции от кормовой базы и погодных условий.

# Демографические показатели байкальской популяции рыб

| Показатель  | 2022     | 2023     | 2024     |
|-------------|----------|----------|----------|
| Численность | 325 тыс. | 328 тыс. | 330 тыс. |
| Рождаемость | 22%      | 23%      | 23%      |
| Смертность  | 15%      | 14%      | 14%      |

Ежегодный мониторинг биологических ресурсов Байкальского региона

Три года наблюдений позволяют увидеть, как меняются основные демографические параметры популяции.

Численность растёт медленно, а рождаемость стабильно выше смертности. Это указывает на устойчивое состояние популяции при невысоком, но заметном приросте.

# Основные источники генетической изменчивости

Мутации возникают спонтанно и создают новые варианты генов. Чаще всего они нейтральны, но иногда дают полезный признак, который может стать основой адаптации в меняющейся среде.

При половом размножении гены родителей пересобираются в новых сочетаниях. Это увеличивает разнообразие потомства даже без появления новых мутаций и делает популяцию более разнородной в целом.

Миграции переносят аллели между популяциями и снижают изоляцию. Благодаря обмену особями редкие варианты могут сохраняться дольше, а различия между группами — сглаживаться.

# Как естественный отбор меняет состав популяции



## Преимущество в конкретной среде

Естественный отбор действует не абстрактно, а в данных условиях существования. Особи, чьи признаки помогают выжить и размножиться, оставляют больше потомков, поэтому полезные варианты становятся заметнее.

## Почему важна исходная вариативность

Чем богаче наследственное разнообразие, тем больше материала для отбора. Если признаки почти одинаковы, популяции сложнее быстро откликнуться на изменение климата, пищи или давления хищников.

# Как случайность меняет генетический состав



## Случайные колебания

Генетический дрейф не связан с пользой признака: частоты аллелей меняются случайно. Поэтому даже нейтральные варианты могут быстро стать редкими или, наоборот, полностью закрепиться.



## Особенно заметен в малых группах

Чем меньше численность, тем сильнее заметен дрейф. Одна удачная или неудачная случайность у нескольких особей может изменить генетический состав целой группы за несколько поколений.



## Изолированные островные виды

У изолированных островных видов дрейф часто приводит к закреплению редких мутаций и утрате части разнообразия. Это делает такие популяции особенно уязвимыми к внешним изменениям.

# Географические и биологические барьеры

## Когда популяции расходятся

Разрыв ареала рекой, горной цепью или расстоянием резко сокращает обмен генами между группами. В изоляции популяции постепенно накапливают различия и утрачивают способность свободно скрещиваться.

## Как формируются новые различия

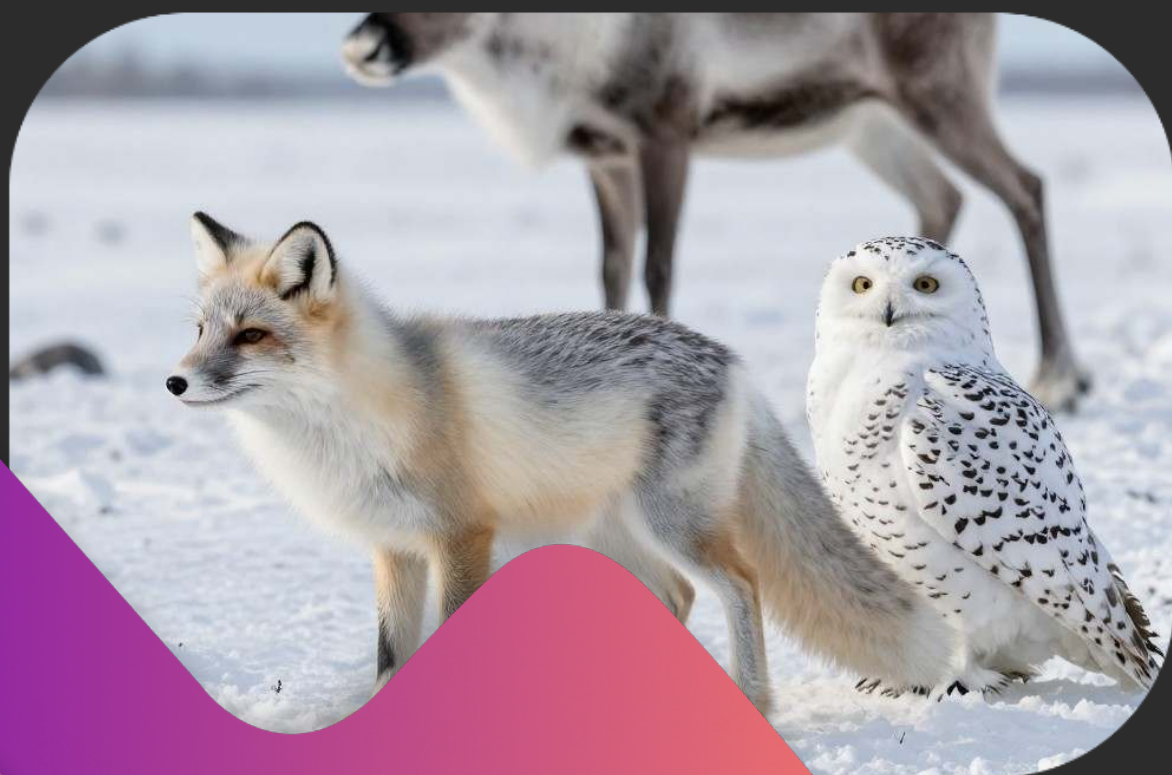
Даже при соседстве популяции могут не смешиваться из-за разных сроков размножения, брачных сигналов или строения органов. Так изоляция объясняет разнообразие галапагосских вьюрков.



# Как популяции приспосабливаются к среде

## Северные животные: защита от холода

У млекопитающих и птиц холодных регионов густой мех, плотное оперение и слой подкожного жира уменьшают потери тепла. Такие признаки помогают сохранять активность зимой и повышают шансы на выживание при резких перепадах температуры.



## Высокогорье: работа организма на пределе

В горах организму не хватает кислорода, поэтому отбор поддерживает признаки, помогающие его эффективнее использовать. У животных высокогорий это может быть усиленная свертываемость крови и более экономный режим работы тканей.



## Зимняя спячка как экономия ресурсов

Некоторые виды переживают неблагоприятный сезон, резко снижая обмен веществ и двигательную активность. Спячка позволяет не тратить энергию на поиск пищи, когда ее мало, и сохранять популяцию до весеннего подъема ресурсов.



# Как небольшой старт меняет генетический состав популяции

Новая популяция может начаться всего с нескольких особей, случайно покинувших исходную группу. Вместе с ними переносится лишь часть исходного набора аллелей, поэтому сразу возникает генетическая непохожесть.

Частоты признаков в маленькой группе меняются быстрее, чем в крупной, потому что случайность влияет сильнее. Из-за этого некоторые редкие аллели могут стать обычными, а другие исчезнуть уже в первых поколениях.

Хорошо известный пример — амеш-община в США. Долгая замкнутость и малое число основателей способствовали накоплению редких наследственных заболеваний и заметной генетической специфике сообщества.

# Что происходит при резком сокращении численности



## Резкое сужение состава

После катастрофы или массового истребления в живых остаётся лишь небольшая часть особей. Именно она формирует следующую популяцию, но уже с гораздо более бедным набором генов.



## Потеря редких вариантов

При малой численности случайность легко устраняет редкие аллели, которые могли быть полезны в будущем. Поэтому генетическое разнообразие падает быстрее, чем можно заметить по внешнему виду животных.



## Рост уязвимости

Низкая вариабельность делает популяцию менее устойчивой к болезням и изменениям среды. История северных морских котиков показывает, что даже восстановление численности не всегда возвращает прежнее разнообразие.

# Инструменты, с помощью которых биологи изучают популяции

## Метки, кольца и повторный учет

Чтобы понять, сколько особей живёт на территории, биологи помечают животных и затем проводят повторный отлов или визуальный учет. Кольцевание птиц позволяет не только оценить численность, но и проследить пути перемещений между сезонами.



## ДНК как источник точной информации

Генетические маркеры помогают увидеть различия между популяциями даже тогда, когда внешне они почти не отличаются. Анализ ДНК и секвенирование генома позволяют находить новые аллели, мутации и следы родства между группами.



## Компьютерные модели и прогнозы

Симуляции помогают проверить, как численность изменится при разной смертности, миграции или разрушении среды обитания. Такие модели особенно полезны, когда нужно заранее оценить риск исчезновения редкого вида и выбрать меры защиты.



## Спутники и маршруты миграций

GPS-трекеры дают возможность наблюдать за перемещениями животных почти в реальном времени. По этим данным ученые уточняют места зимовок, коридоры миграции и участки, которые особенно важно сохранить от хозяйственного освоения.



# Пути возникновения новых видов

При аллопатрическом видообразовании популяции разделяет физический барьер: море, горы или расстояние. После длительной изоляции они накапливают настолько разные признаки, что скрещивание становится невозможным или неэффективным.

Симпатрическое видообразование происходит внутри одного ареала, когда группы используют разные ресурсы, места обитания или брачное поведение. Барьер здесь не географический, а экологический или поведенческий.

У растений процесс может ускоряться за счёт гибридизации и последующего закрепления новых сочетаний признаков. Подобные механизмы особенно хорошо объясняют появление разнообразия у мадагаскарских лемуров.

# Примеры адаптаций человека в разных условиях среды

## Малярия и цена устойчивости

В районах, где малярия долго оставалась распространённой, естественный отбор поддерживал варианты гемоглобина, повышающие защиту от инфекции. Серповидноклеточная анемия показывает, что адаптивный эффект может сочетаться с серьёзными медицинскими рисками.



## Лактаза и история питания

У части европейских популяций сохраняется способность переваривать молоко во взрослом возрасте. Этот признак связывают с длительной культурной практикой скотоводства, когда людям с такой особенностью было легче получать дополнительный источник энергии и кальция.



## Жизнь на высоте

Народы Тибета и Анд приспособились к разреженному воздуху по-разному, но итог один — более эффективное снабжение тканей кислородом. Это пример того, как популяции человека отвечают на одинаковую среду разными генетическими путями.



# Почему популяции становятся уязвимыми



## Загрязнение среды

Токсичные вещества накапливаются в воде, почве и организмах, нарушая размножение и снижая выживаемость потомства. Постепенно популяция теряет устойчивость даже там, где число взрослых особей ещё выглядит достаточным.



## Утрата мест обитания

Вырубка лесов и застройка сокращают доступное пространство, а вместе с ним — пищевые ресурсы и укрытия. Популяции дробятся на маленькие изолированные фрагменты, которым труднее обмениваться генами.



## Разрыв миграционных путей

Дороги, плотины и изменения климата мешают сезонным перемещениям животных и растений. Если особи не могут достигать привычных участков размножения и кормления, численность начинает снижаться.



## Опасность для малых популяций

В небольших группах близкородственное скрещивание и случайные потери аллелей происходят особенно быстро. Это сокращает запас адаптаций и делает вымирание более вероятным при любом новом стрессе.

# Как сохраняют генетическое разнообразие в мире

## Криобанки и «запасной генофонд»

Семена, сперма и ооциты редких видов могут храниться в замороженном виде десятилетиями. Такие криобанки помогают сохранить наследственный материал даже тогда, когда природные популяции резко сокращаются или исчезают.



## Возвращение видов в природу

Реинтродукция позволяет вернуть редкие виды в районы, где они были утрачены. Программы восстановления европейского зубра и лошади Пржевальского показывают, что успех требует не только разведения, но и защиты среды обитания.



## Мониторинг на международном уровне

Учёт численности и состояния популяций ведут по единым методикам, чтобы сравнивать данные между странами. В таких программах участвуют международные структуры, включая ООН и IUCN, а результаты помогают согласовывать природоохранные меры.



# Популяция — основа эволюции и сохранения жизни

Именно в популяциях отбор закрепляет полезные изменения, а генетическое разнообразие становится ресурсом выживания. Поэтому изучение и охрана популяций — ключ к пониманию эволюции и устойчивости экосистем.