

Сделано Ильясом Сакимовым на основе Campbell  
Biology

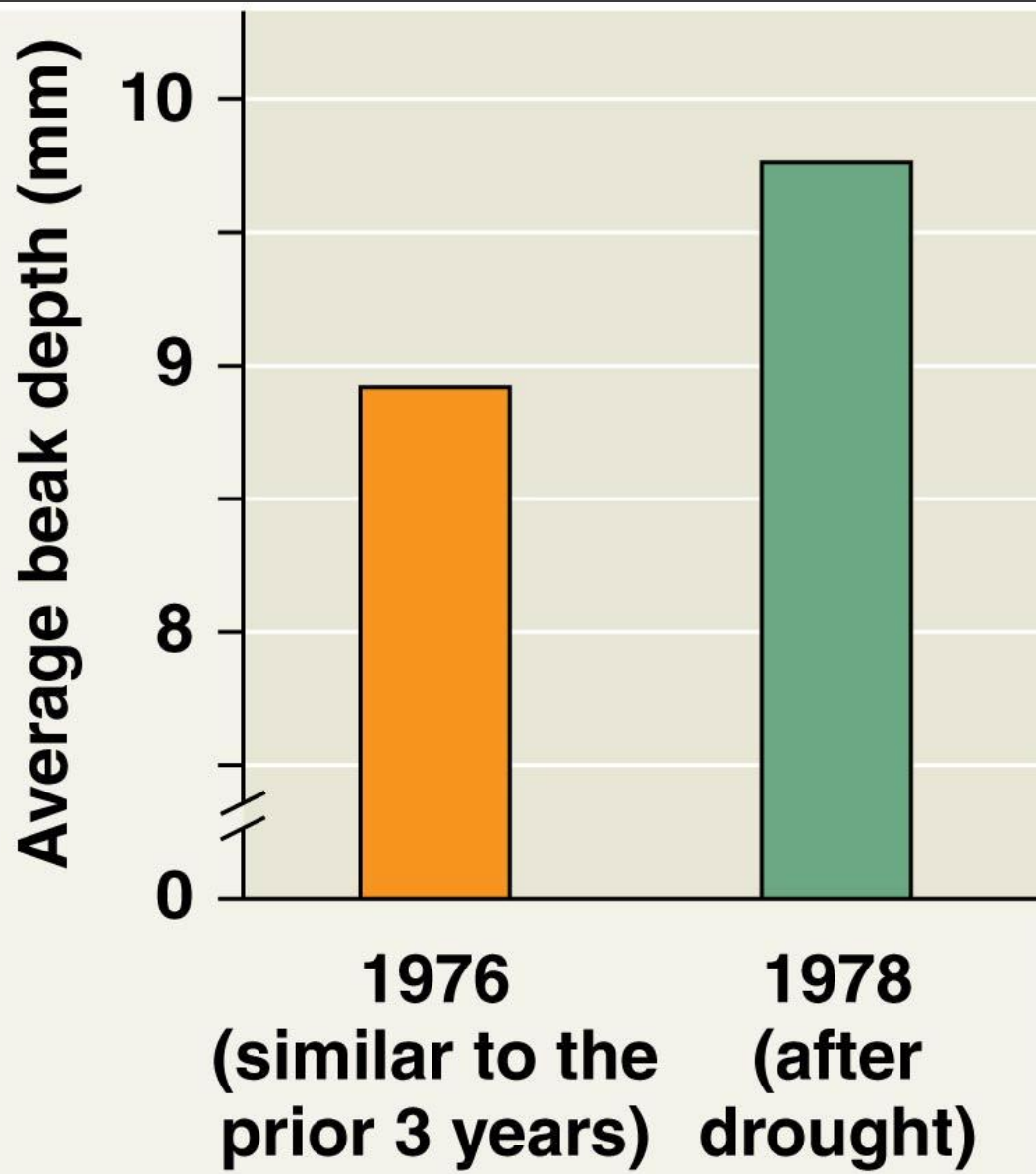
- ◎ Естественный отбор
- ◎ Наследственность
- ◎ Изменчивость
- ◎ Ген – аллель
- ◎ Частота

# МИКРОЭВОЛЮЦИЯ



- ◎ **Виды не эволюционируют,**
- ◎ **популяции эволюционируют.**
- ◎ Пример зябликов на Галапагоских островах:
- ◎ *Geospiza fortis* (Средний земляной вьюрок),
- ◎ засуха 1977 года,
- ◎ Из 1200 особей выжили только 180 с толстыми клювами.





- ◎ **Микроэволюция** изучает изменения частоты аллелей на протяжении многих поколений.
- ◎ Три механизма изменения частоты аллелей:
  - ◎ Естественный отбор
  - ◎ Дрейф генов
  - ◎ Поток генов



Наследственная изменчивость

# **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ**

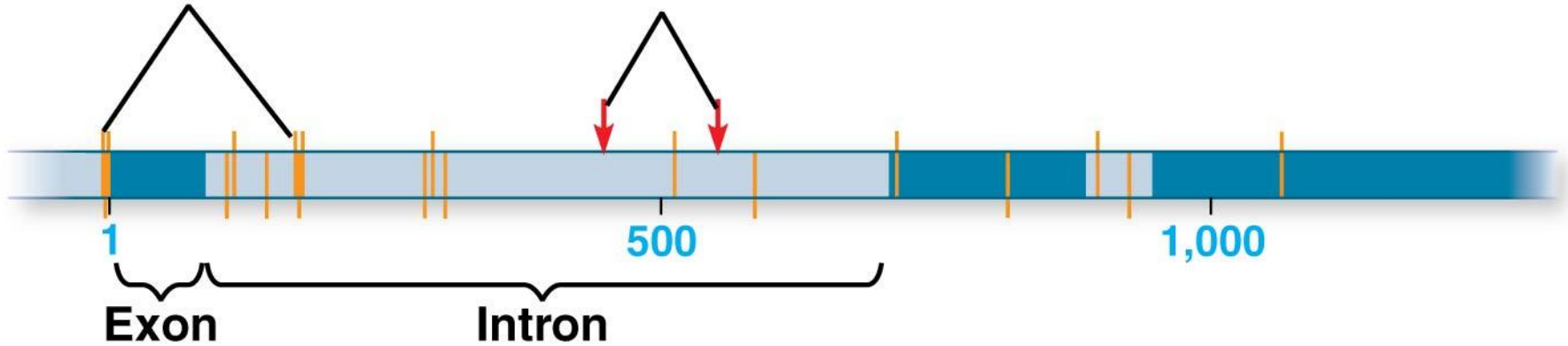
- Организмы в популяции отличаются друг от друга по признакам (фенотипически) – примеры...
- В основе этих отличий лежат гены - генетические вариации.
- **Дискретные признаки** проявляются в виде определённых вариантов (или-или).
- **Количественные признаки** проявляются в виде континуума вариаций.
- Примеры...



- ⦿ Изменения в последовательности ДНК не всегда приводят к фенотипическим изменениям.
- ⦿ Почему?
- ⦿ Какие могут эти изменения?

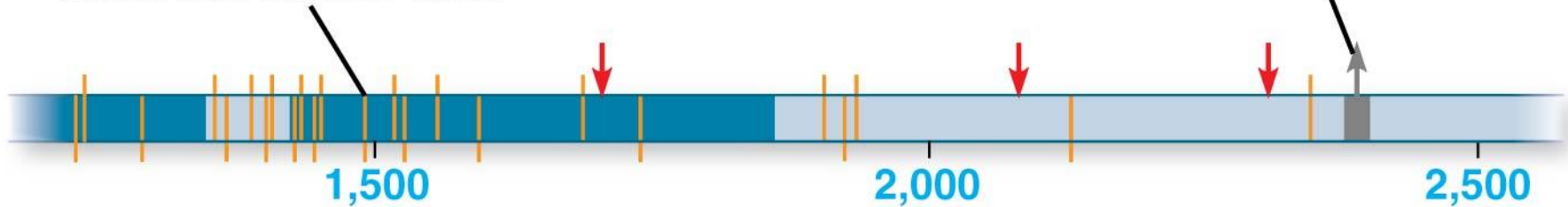
**Base-pair substitutions**

**Insertion sites**



**Substitution resulting in translation of different amino acid**

**Deletion**



- ⦿ Не все фенотипические изменения являются результатом изменений в генах, т.е.
- ⦿ не все из них передаются по наследству.
- ⦿ Примеры.....

(a)



(b)



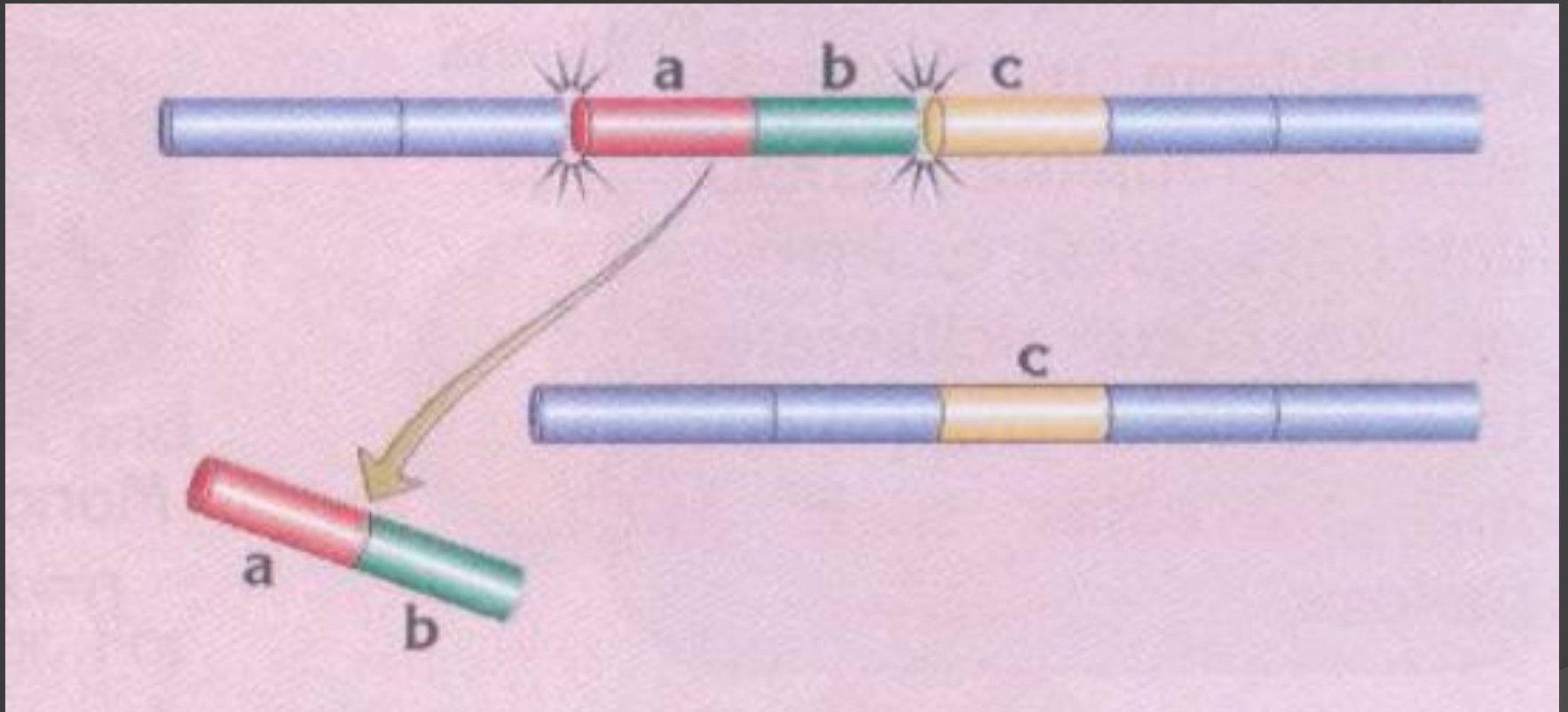
# Источники генетических вариаций (?)

## Образование новых аллелей:

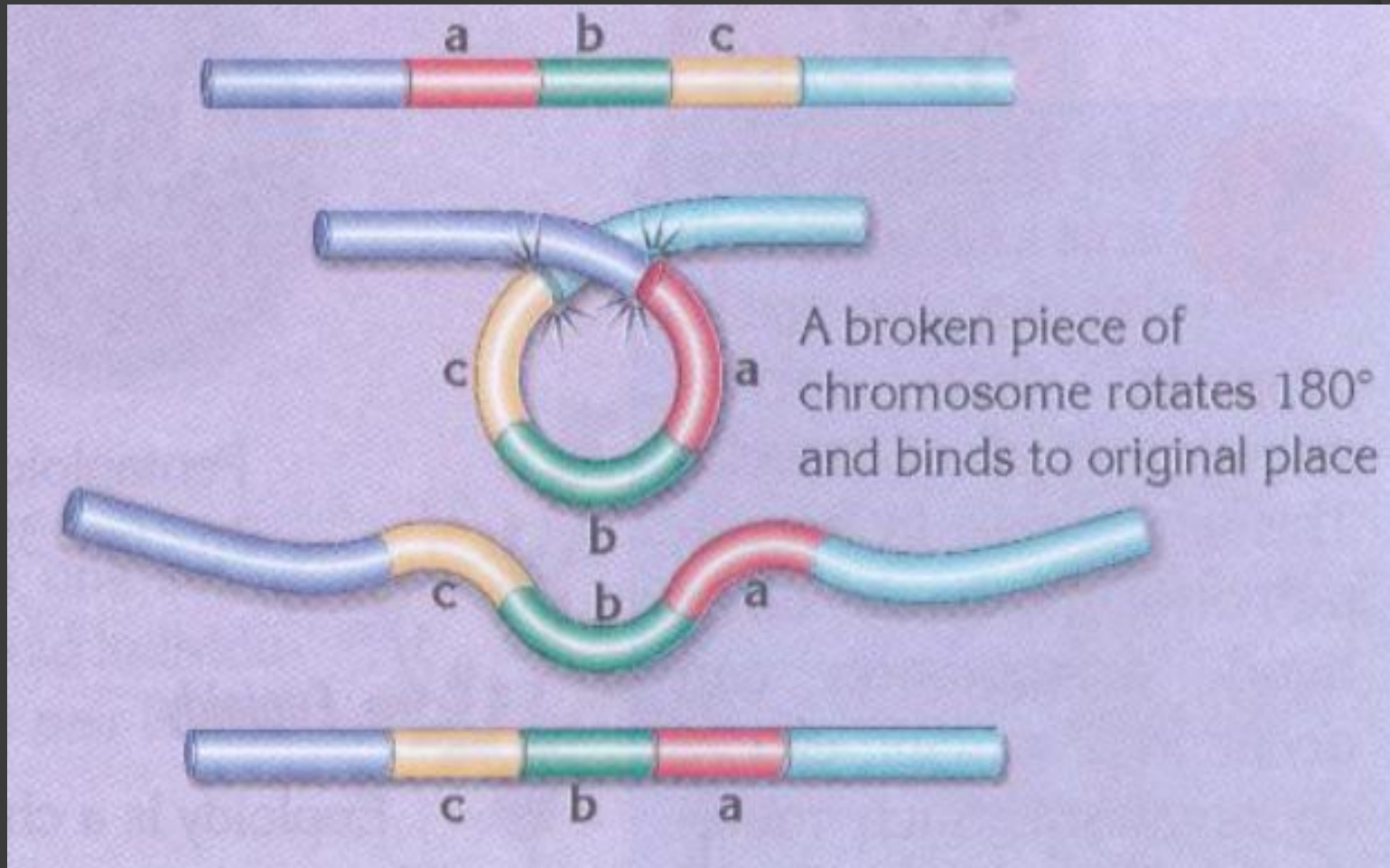
- ◎ Как появляются новые аллели?
- ◎ Мутации – это изменения в последовательности нуклеотидов **наугад (!)**.
- ◎ Какие типы мутаций бывают?
- ◎ У животных передаются только те мутации, которые появляются в линии половых клеток.
- ◎ (у растений и грибов?)



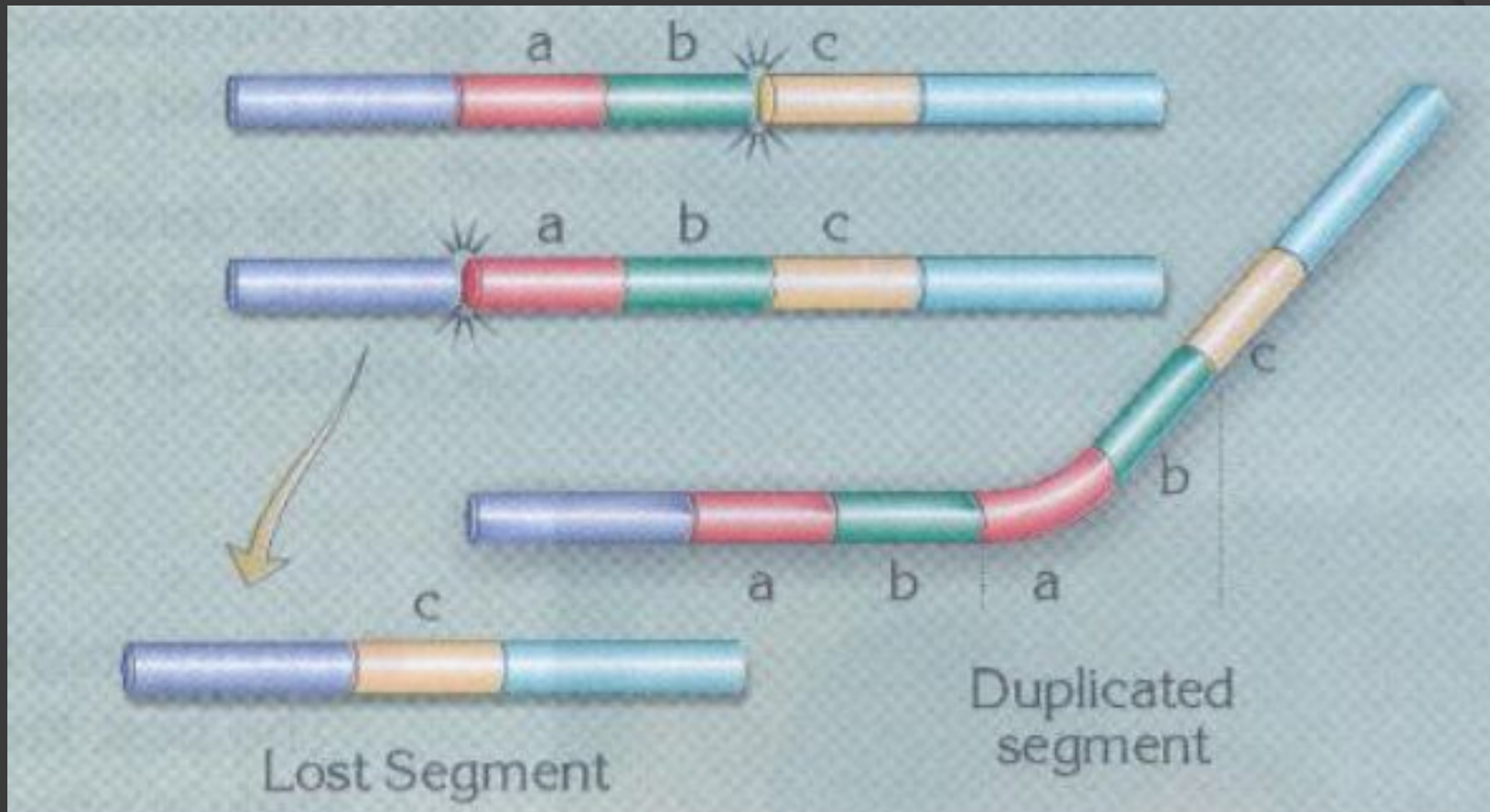
# Deletion



# Inversion



# Duplication



# Translocation



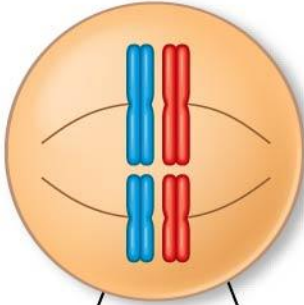
- Большинство мутаций имеют немного отрицательный эффект.
- Такие мутации должны удаляться отбором, но они присутствуют много поколений. Почему?
- Нейтральные вариации – мутации не вызывают изменений в фенотипе. Почему?
- Очень мало мутаций с положительным эффектом.

- ⦿ Меняется количество генов.
- ⦿ Скорость размножения.
- ⦿ Одна мутация на 100000 генов на одно поколение.

## **Половое размножение**

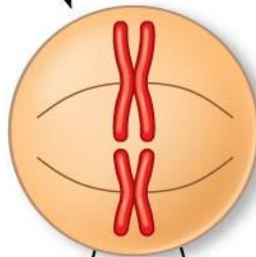
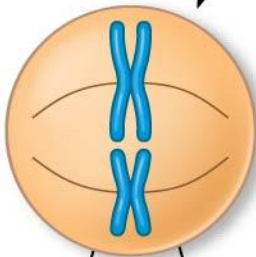
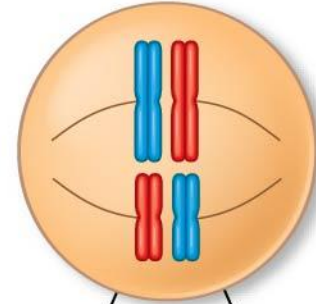
- ⦿ При половом размножении происходят три механизма вариации:
  - При кроссинговере
  - При независимом распределении хромосом
  - При оплодотворении

### Possibility 1

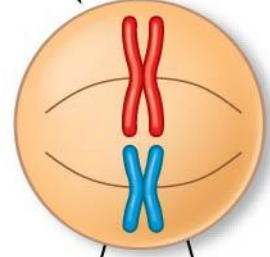
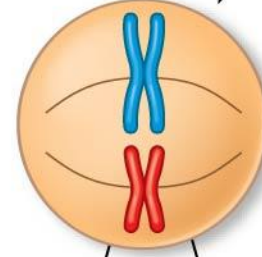


Two equally probable  
arrangements of  
chromosomes at  
metaphase I

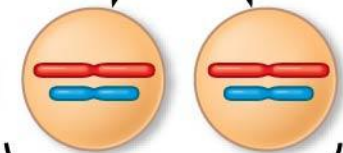
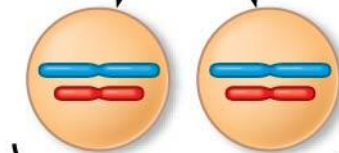
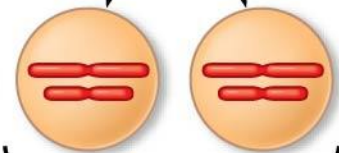
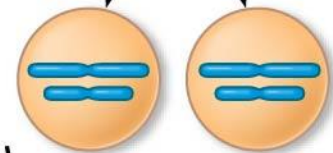
### Possibility 2



Metaphase II



Daughter  
cells



Combination 1    Combination 2

Combination 3    Combination 4

# Prophase I of meiosis

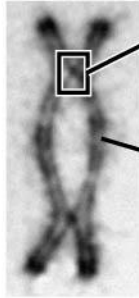
Nonsister chromatids held together during synapsis

Pair of homologs

1 Synapsis and crossing over

Chiasma

2 Movement to the metaphase I plate



Centromere

3 Breakdown of proteins holding sister chromatid arms together

## Anaphase I

## Anaphase II

## Daughter cells

Recombinant chromosomes



**Харди-Вайнберг**



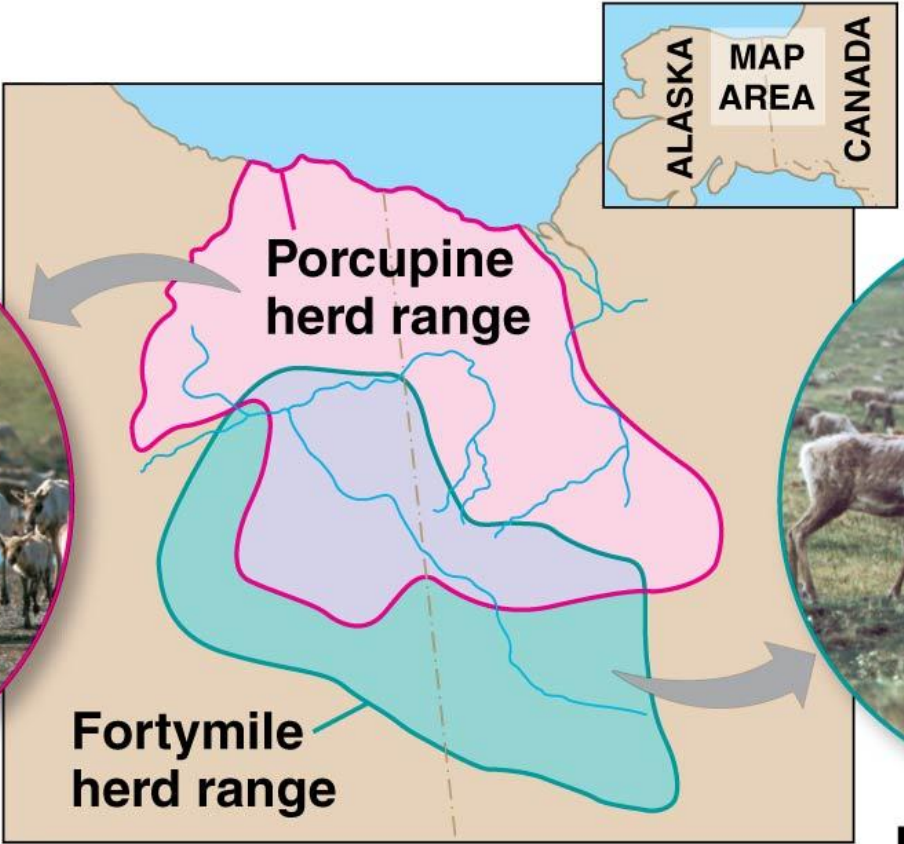


# Популяция

- ⦿ Что такое популяция?
- ⦿ Группа организмов одного вида, которые занимают определённую территорию.
- ⦿ Популяции одного вида часто бывают изолированными (но не всегда).



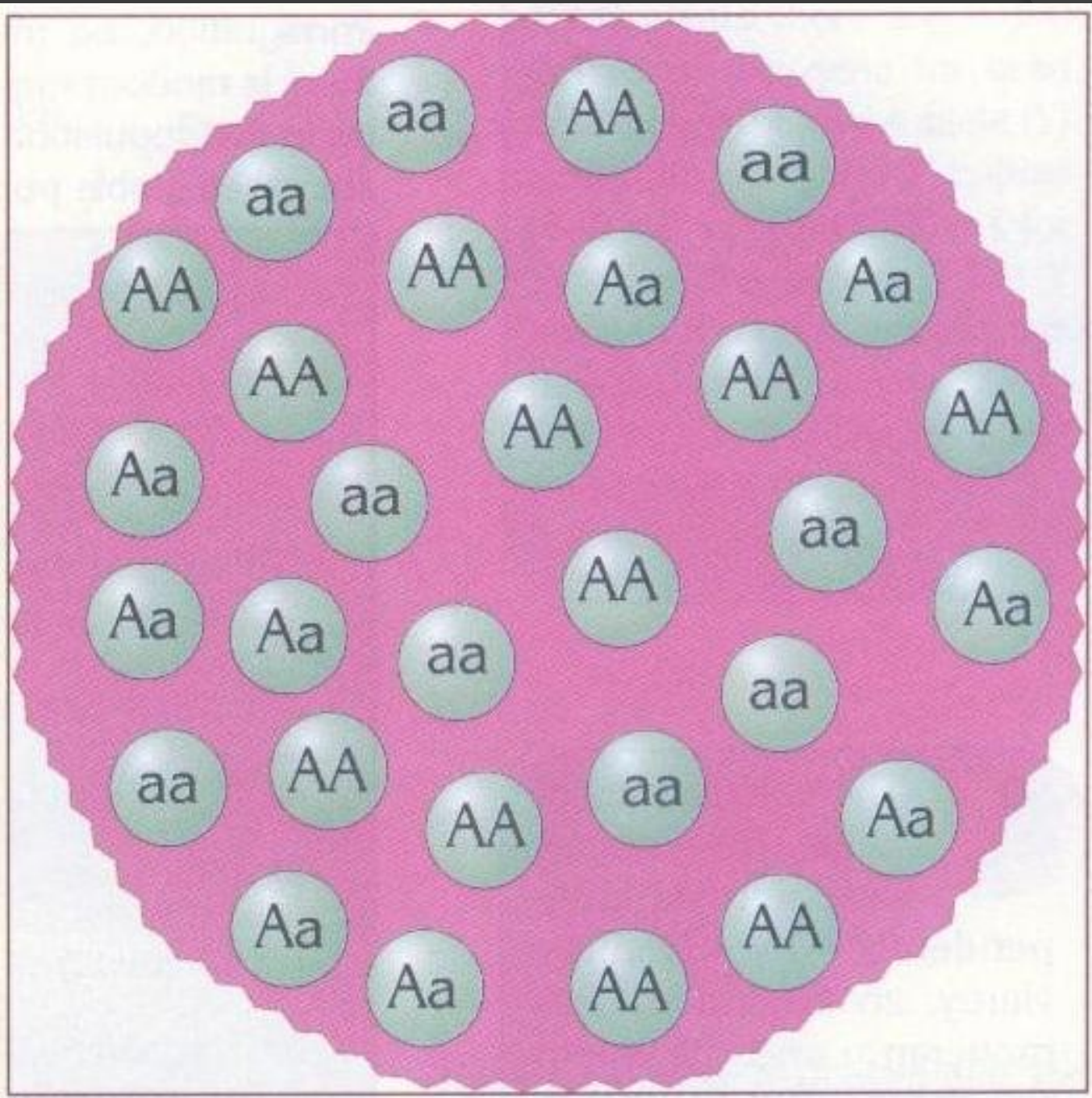
**Porcupine herd**



**Fortymile herd**

# Пул генов

- Пул генов – это все аллели определённого гена в популяции.
- Фиксированный аллель – он только один в популяции (без вариантов).





$C^R C^R$



$C^W C^W$



$C^R C^W$

- Например, 320 красных цветов, 160 розовых и 20 белых.
- Рассчитайте частоту аллелей.
- Частоты аллелей обозначаются  $p$  и  $q$ .



# Уравнение Харди-Вайнберга

- ⦿ Представим популяцию, которая не изменяется (не эволюционирует).
- ⦿ Нет естественного отбора,
- ⦿ нет миграции,
- ⦿ нет полового отбора при размножении (все свободно размножаются),
- ⦿ нет мутаций,
- ⦿ это большая популяция.
- ⦿ Пример такой популяции.
- ⦿ Зачем представлять такую популяцию?

- ⦿ В представленной нами популяции все аллели представлены в виде пула генов.
- ⦿ Все они могут передаться следующему поколению, но с разной вероятностью (частотой).
- ⦿ Частота аллели = частота гамет в этой популяции с этой аллелью.

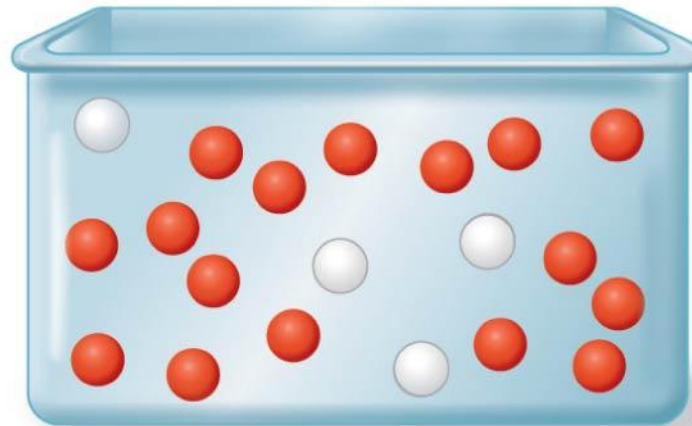
## Frequencies of alleles

$p$  = frequency of  $C^R$  allele  = 0.8

$q$  = frequency of  $C^W$  allele  = 0.2



Alleles in the population



Gametes produced

Each egg:

Each sperm:



80%

20%

80%

20%





chance chance

chance chance

80%  $C^R$  ( $p = 0.8$ )





20%  $C^W$  ( $q = 0.2$ )

**$C^R$**   $p = 0.8$  Sperm  **$C^W$**   $q = 0.2$

<b><math>C^R</math></b> $p = 0.8$	 $0.64 (p^2)$ $C^R C^R$	 $0.16 (pq)$ $C^R C^W$
<b><math>C^W</math></b> $q = 0.2$	 $0.16 (qp)$ $C^R C^W$	 $0.04 (q^2)$ $C^W C^W$

80%  $C^R$  ( $p = 0.8$ )      20%  $C^W$  ( $q = 0.2$ )

Sperm  
 $C^R$   $p = 0.8$        $C^W$   $q = 0.2$

Eggs	$C^R$ $p = 0.8$	 0.64 ( $p^2$ ) $C^R C^R$	 0.16 ( $pq$ ) $C^R C^W$
	$C^W$ $q = 0.2$	 0.16 ( $qp$ ) $C^R C^W$	 0.04 ( $q^2$ ) $C^W C^W$

64%  $C^R C^R$ , 32%  $C^R C^W$ , and 4%  $C^W C^W$

Gametes of this generation:

$$64\% C^R \text{ (from } C^R C^R \text{ plants)} + 16\% C^R \text{ (from } C^R C^W \text{ plants)} = 80\% C^R = 0.8 = p$$

$$4\% C^W \text{ (from } C^W C^W \text{ plants)} + 16\% C^W \text{ (from } C^R C^W \text{ plants)} = 20\% C^W = 0.2 = q$$

With random mating, these gametes will result in the same mix of genotypes in the next generation:

64%  $C^R C^R$ , 32%  $C^R C^W$ , and 4%  $C^W C^W$  plants

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

Expected frequency of genotype  $C^R C^R$       +      Expected frequency of genotype  $C^R C^W$       +      Expected frequency of genotype  $C^W C^W$       =      1

# Где применяется уравнение Харди-Вайнберга?

- Для определения эволюционных процессов, сравнивая реальную популяцию и предполагаемую популяцию.
- Для определения частоты аллелей наследственных заболеваний.
- Например, фенилкетонурия – один ребенок из 10000.

- Пример, горох имеет два аллеля, контролирующих окраску листьев:  $S^G$  (зеленый) и  $S^Y$  (желтый).
- Между ними неполное доминирование.





Time (days)	Number of Seedlings			
	Green ( $C^G C^G$ )	Green-yellow ( $C^G C^Y$ )	Yellow ( $C^Y C^Y$ )	Total
7	49	111	56	216
21	47	106	20	173

Какие причины?

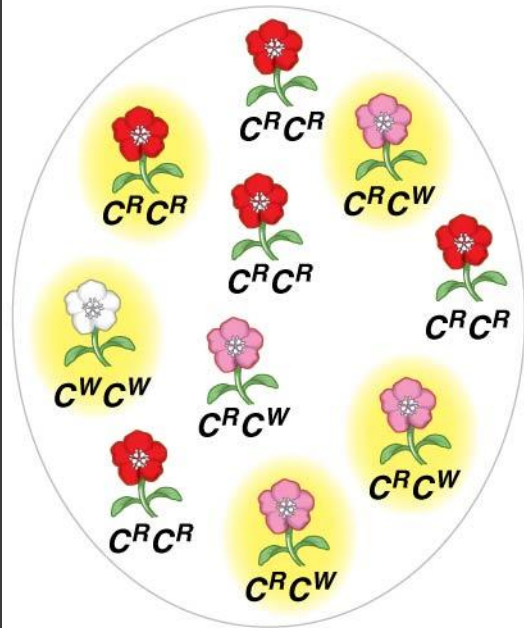
# ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ АЛЛЕЛЕЙ В ПОПУЛЯЦИИ

# Естественный отбор

- Организмы, имеющие определённый аллель больше выживают, чем организмы с другим аллелем.
- Пример, дрозофила с аллелем устойчивости к ДДТ.
- Со временем отбор «делает» популяцию более приспособленной – адаптивная эволюция.

# Дрейф генов

- ⦿ Малая выборка (?)
- ⦿ В небольших популяциях частота аллелей может меняться наугад – дрейф генов.

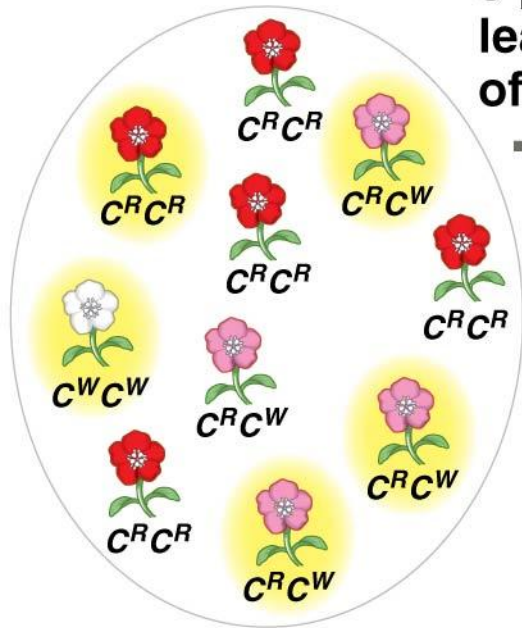


### Generation 1

$p$  (frequency of  $C^R$ ) = 0.7

$q$  (frequency of  $C^W$ ) = 0.3

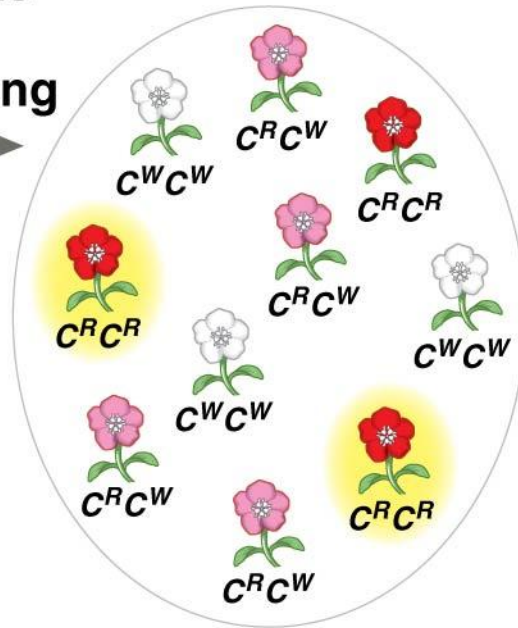
5 plants  
leave  
offspring



Generation 1

$p$  (frequency of  $C^R$ ) = 0.7

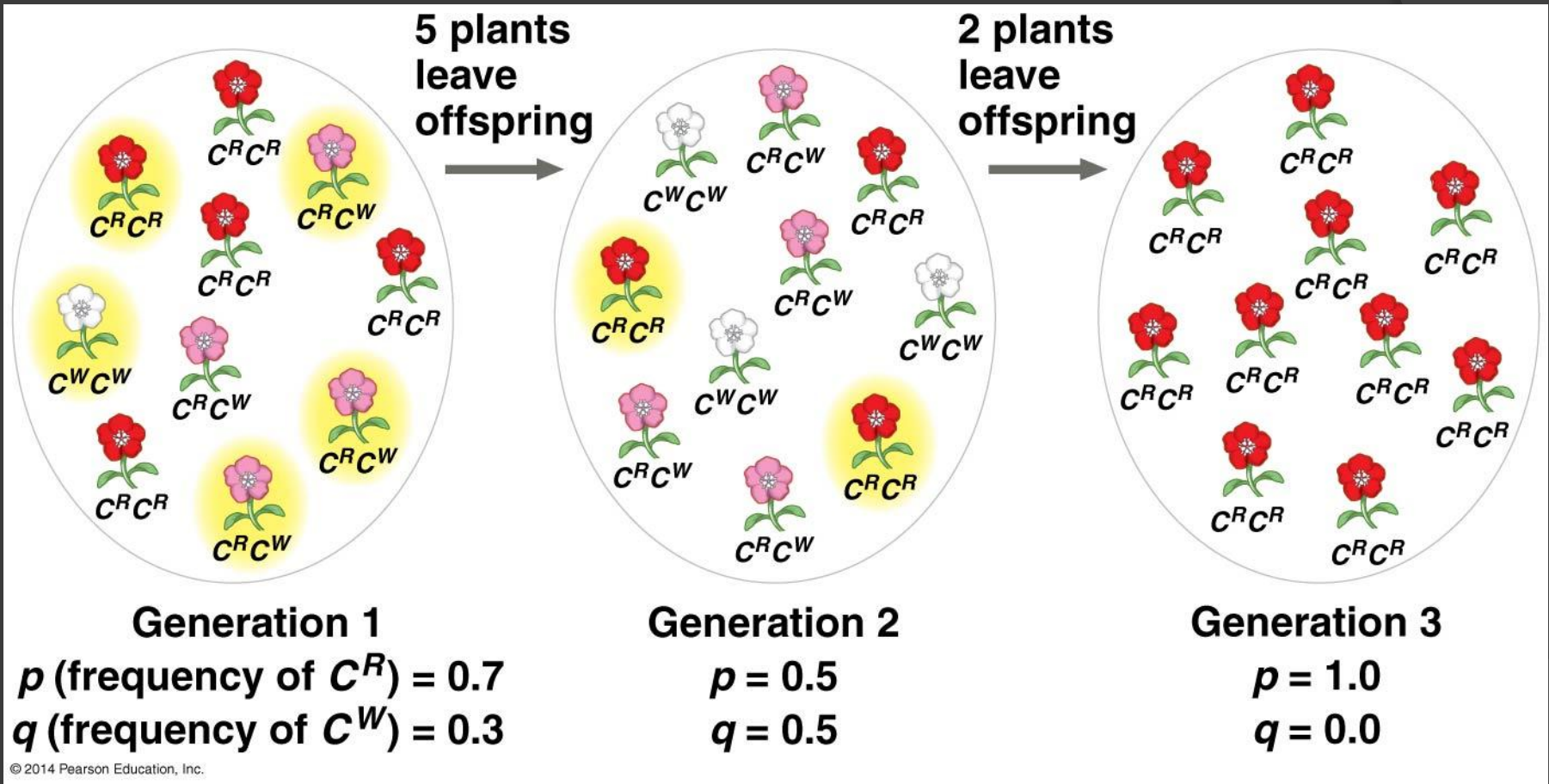
$q$  (frequency of  $C^W$ ) = 0.3



Generation 2

$p = 0.5$

$q = 0.5$



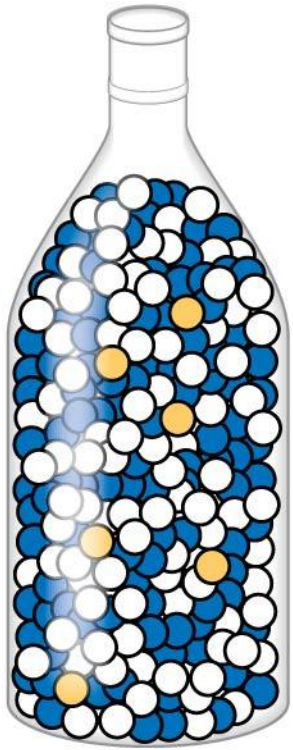
## Эффект основателя:

- Небольшая группа организма оказывается отделена от основной популяции.
- Они создают новую популяцию с другой частотой аллелей.
- Примеры:
- Колонизация новых островов
- Тристан Да Кунья



## Эффект «бутылочного горлышка»:

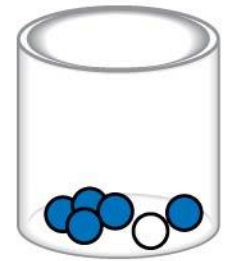
- В результате резкого изменения в окружающей среде или катастрофы из большой популяции остаются только несколько особей.
- Причины (?).
- Пример



**Original population**



**Bottlenecking event**



**Surviving population**

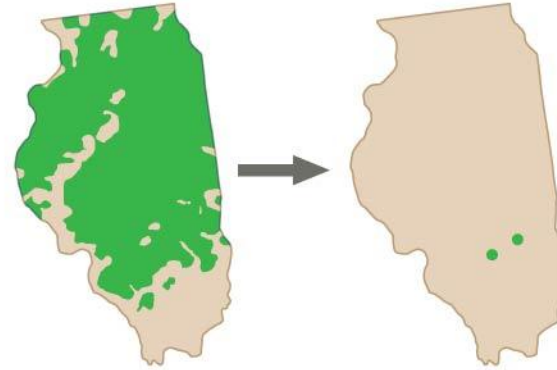


**Greater prairie chicken**

**Pre-bottleneck  
(Illinois, 1820)**

**Post-bottleneck  
(Illinois, 1993)**

 **Range  
of greater  
prairie  
chicken**



**(a)**

Location	Population size	Number of alleles per locus	Percentage of eggs hatched
<b>Illinois</b> 1930–1960s 1993	1,000–25,000 <50	5.2 3.7	93 <50
<b>Kansas, 1998</b> (no bottleneck)	750,000	5.8	99
<b>Nebraska, 1998</b> (no bottleneck)	75,000– 200,000	5.8	96

**(b)**

# Поток генов

- Некоторые аллели из одной популяции переходят в другую.
- Миграция, перенос пыльцы.

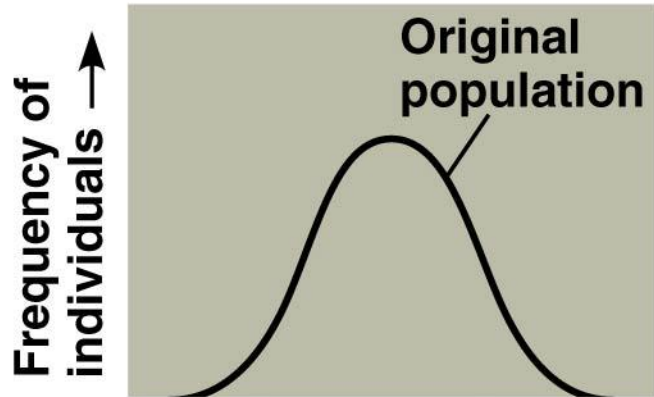
подробнее

# ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

- ⦿ Примеры:
- ⦿ Битвы самцов у бегемотов
- ⦿ Морские уточки больше собирают еду.
- ⦿ Моль с маскирующей окраской.

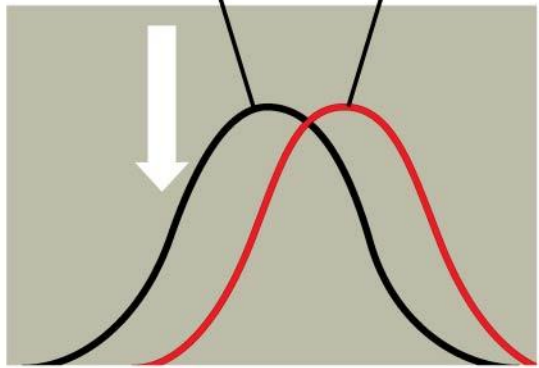
**Направленный отбор**- Когда условия меняются и преимущество получают «крайние особи», которых было не много.

- ◎ **Дизруптивный отбор** – преимущество получают обе «крайние» вариации генотипов.
- ◎ **Стабилизирующий** – особи с преобладающим видом продолжают вытеснять других.

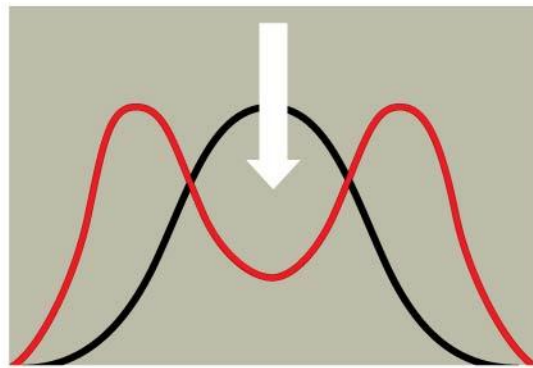


Phenotypes (fur color)

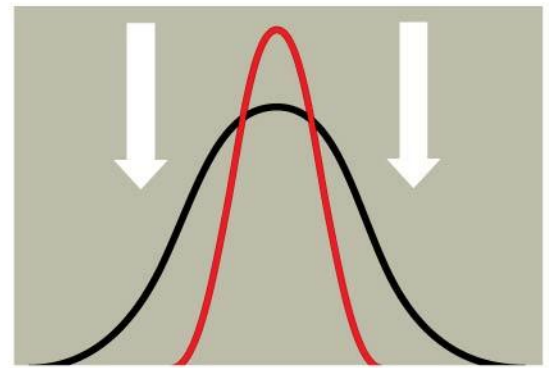
Original population      Evolved population



**(a) Directional selection**



**(b) Disruptive selection**



**(c) Stabilizing selection**



- ⦿ Отбор лишь отбирает лучшие из имеющихся вариантов, но он не создает новых.
- ⦿ Новые признаки появляются из предыдущих.
- ⦿ Адаптивные компромиссы – плавники тюленей.
- ⦿ Случайности...



