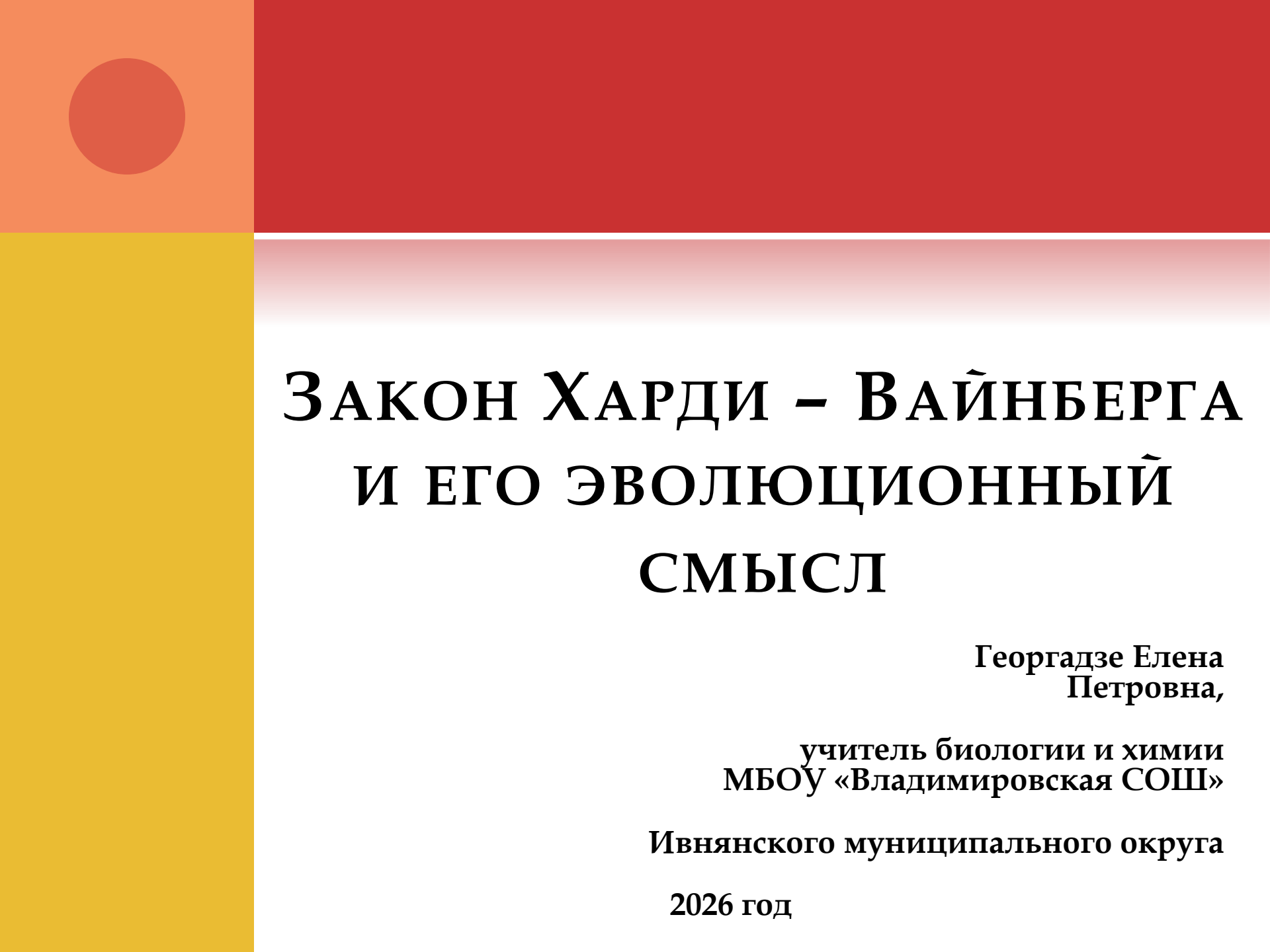




ЗАКОН ХАРДИ – ВАЙНБЕРГА И ЕГО ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СМЫСЛ

Георгадзе Елена
Петровна,

учитель биологии и химии
МБОУ «Владимировская СОШ»

Ивнянского муниципального округа

2026 год

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ГЕНЕТИКИ



Закон Харди-Вайнберга



Английский математик
Годфри Харолд Харди

1908



Немецкий врач
Вильгельм Вайнберг

Закон Харди-Вайнберга

В идеальной популяции из поколения в поколение сохраняется строго определенное соотношение частот доминантных и рецессивных генов (1), а также соотношение частот генотипических классов особей (2).

$$p + q = 1, \quad (1)$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1, \quad (2)$$

где p — частота встречаемости доминантного гена A ; q — частота встречаемости рецессивного гена a ;

p^2 — частота встречаемости гомозигот по доминанте AA ;

$2pq$ — частота встречаемости гетерозигот Aa ;

q^2 — частота встречаемости гомозигот по рецессиву aa .



Признаки идеальной популяции

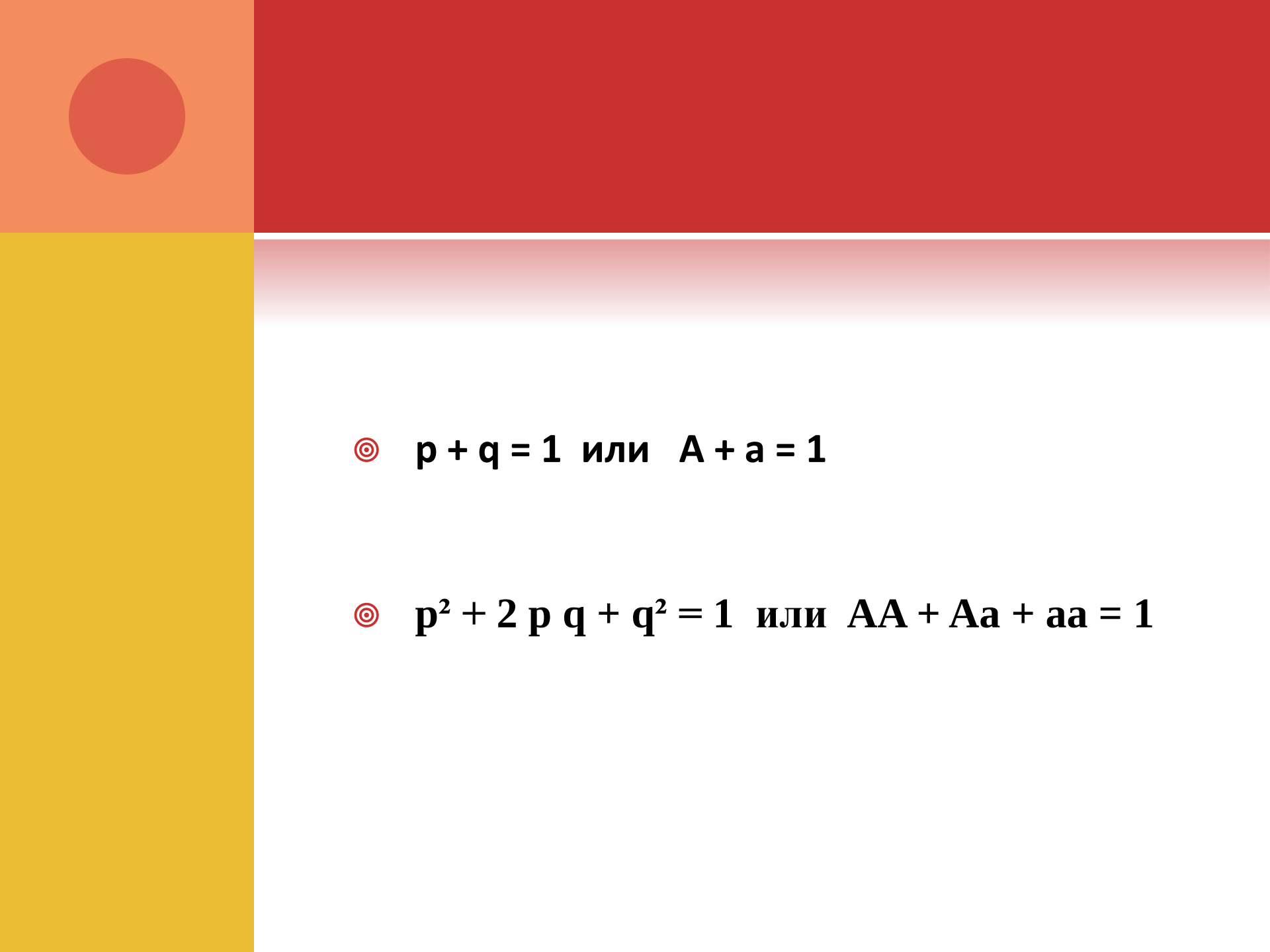
- ◎ 1. Неограниченно большая численность;
- ◎ 2. Свободное скрещивание (панмиксия);
- ◎ 3. Отсутствие естественного отбора;
- ◎ 4. Отсутствие мутационного процесса;
- ◎ 5. Отсутствие миграций.

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТИ

Аллель (частота)	A(p)	a (q)
A (p)	AA (p^2)	Aa (pq)
a (q)	Aa (pq)	aa (q^2)

ПРИНЦИПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

- ⊙ **Разобраться, какой признак по условию доминантный, а какой — рецессивный.** Эти аллели в диплоидном наборе могут давать разные сочетания генотипов: АА (доминантная гомозигота), Аа (гетерозигота) и аа (рецессивная гомозигота).
- ⊙ **Посчитать частоту встречаемости аллелей** — для этого используется уравнение $p + q = 1$, где p — частота доминантного аллеля, а q — рецессивного.
- ⊙ **Рассчитать частоту генотипов.** Например, чтобы получить гомозиготную особь по доминантному аллелю, необходима встреча двух гамет с аллелем А: $AA = p \times p = p^2$. Аналогично высчитывается вероятность появления рецессивного гетерозиготного организма: $aa = q \times q = q^2$.
- ⊙ **Рассчитать равновесные частоты генотипов** — для этого используется формула $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, где, зная частоты аллелей в популяции, можно рассчитать равновесные частоты генотипов.



⊙ $p + q = 1$ или $A + a = 1$

⊙ $p^2 + 2 p q + q^2 = 1$ или $AA + Aa + aa = 1$

В популяции гороха посевного (*Pisum sativum*) из 700 особей 112 растений имеют зелёную окраску семян. Рассчитайте частоты аллелей жёлтой и зелёной окраски семян, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

$$p + q = 1 \text{ или } A + a = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1 \text{ или } AA + Aa + aa = 1$$

1. Частота растений с зелёными семенами составляет 112 особей
2. Зелёную окраску семян имеют растения с генотипом aa , в равновесной популяции доля таких растений составляет q^2 .
3. Частота аллеля q в популяции составляет $112/700 = 0,4$.
4. Частота аллеля p в популяции составляет $1 - q = 0,6$.
5. Частота генотипа Aa (жёлтая окраска семян) в равновесной популяции равна $2pq = 0,48$.
6. Частота генотипа AA (жёлтая окраска) в равновесной популяции равна $p^2 = 0,36$.

В одной из человеческих популяций курчавые волосы имеют каждый шестнадцатый. Рассчитайте частоты аллелей курчавых и прямых волос в популяции, а также частоты всех возможных фенотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди – Вайнберга. Ответ поясните

- 1) частота людей с курчавыми волосами составляет $1/16=0,0625$;
- 2) курчавые волосы имеют люди с генотипом АА, в равновесной популяции доля таких людей составляет p^2 ;
- 3) частота аллеля p в популяции составляет $0,25$;
- 4) частота аллеля q в популяции составляет $1-p = 0,75$;
- 5) частота волнистых волос (генотип Аа) в равновесной популяции составляет $2pq = 0,375$
- 6) частота прямых волос (генотип аа) в равновесной популяции $q^2 = 0,5625$.

В популяции тритонов 64% особей с равномерным окрасом 36% с пятнистым окрасом. Равномерный окрас доминирует над пятнистым. Рассчитайте частоты аллелей равномерного окраса и пятнистого, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

Равномерный окрас имеют тритоны с генотипами АА и Аа, у тритонов пятнистой окраски генотип аа.

2. В равновесной популяции доля тритонов с пятнистой окраской составляет $q^2 = 36\% = 0,36$.

3. Частота аллеля q в популяции составляет 0,6.

4. Частота аллеля p в популяции составляет $1 - q = 0,4$.

5. Частота генотипа Аа (равномерный окрас) в равновесной популяции составляет $2pq = 0,48$.

6. Частота генотипа АА (равномерный окрас) в равновесной популяции $p^2 = 0,16$.



В одной из популяций человека 16% людей имеют наследственную тугоухость, 84% имеют нормальный слух. Тугоухость наследуется по аутосомно-рецессивному типу. Рассчитайте частоты аллелей тугоухости и нормального слуха, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните

Нормальный слух имеют люди с генотипами АА и Аа, у людей с тугоухостью генотип аа.

2. В равновесной популяции доля людей с тугоухостью составляет $q^2 = 16\% = 0,16$.

3. Частота аллеля q в популяции составляет 0,4.

4. Частота аллеля p в популяции составляет $1 - q = 0,6$.

5. Частота генотипа Аа (нормальный слух) в равновесной популяции составляет $2pq = 0,48$.

6. Частота генотипа АА (нормальный слух) в равновесной популяции $p^2 = 0,36$.

ОШИБКИ ВЫПУСКНИКОВ

- ⊙ **Не учитывается, что закон Харди-Вайнберга соблюдается только для идеальной популяции.** В реальных популяциях на генетическую структуру влияют эволюционные факторы, и закон не всегда применим.
- ⊙ **Не различают частоты аллелей и генотипов —** хотя они связаны, это разные переменные. Например, частота встречаемости аллелей (букв А и а) и частота встречаемости генотипов (сочетаний АА, Аа и аа).

ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

- ◎ **3 балла** — за полный правильный ответ, включающий все необходимые элементы (три и более - 6) и не содержащий биологических ошибок.
- ◎ **2 балла** — ответ включает в себя 5 из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок.
- ◎ **1 балл** - ответ включает в себя 4 из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок.
- ◎ **0 баллов** — при отсутствии ответа, наличии ответа не на вопрос задания или грубых биологических ошибок, все иные ситуации, не соответствующие правилам выставления 3,2 и 1 балла
- ◎ Максимальный балл – 3.



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ

- ⊙ **Схема решения задачи** в работе должна соответствовать схеме в эталоне. Допускается лишь иная генетическая символика, о чём сказано в критериях к оцениванию.
- ⊙ **В ответе при отсутствии объяснения результатов скрещивания** высший балл не присуждается даже в случае правильного решения задачи.
- ⊙ **Если в ответе наряду с элементами знаний, предложенными в эталоне, содержатся сведения, превышающие требования к ответу и не включённые в эталон**, то это не позволяет повысить число баллов за ответ, поскольку максимальное число баллов указано в эталоне.
- ⊙ **При наличии в ответе дополнительных сведений с ошибкой** или если имеется частично правильный элемент и ошибочное суждение, снимается 1 балл

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ХАРДИ - ВАЙНБЕРГА

В медицине –

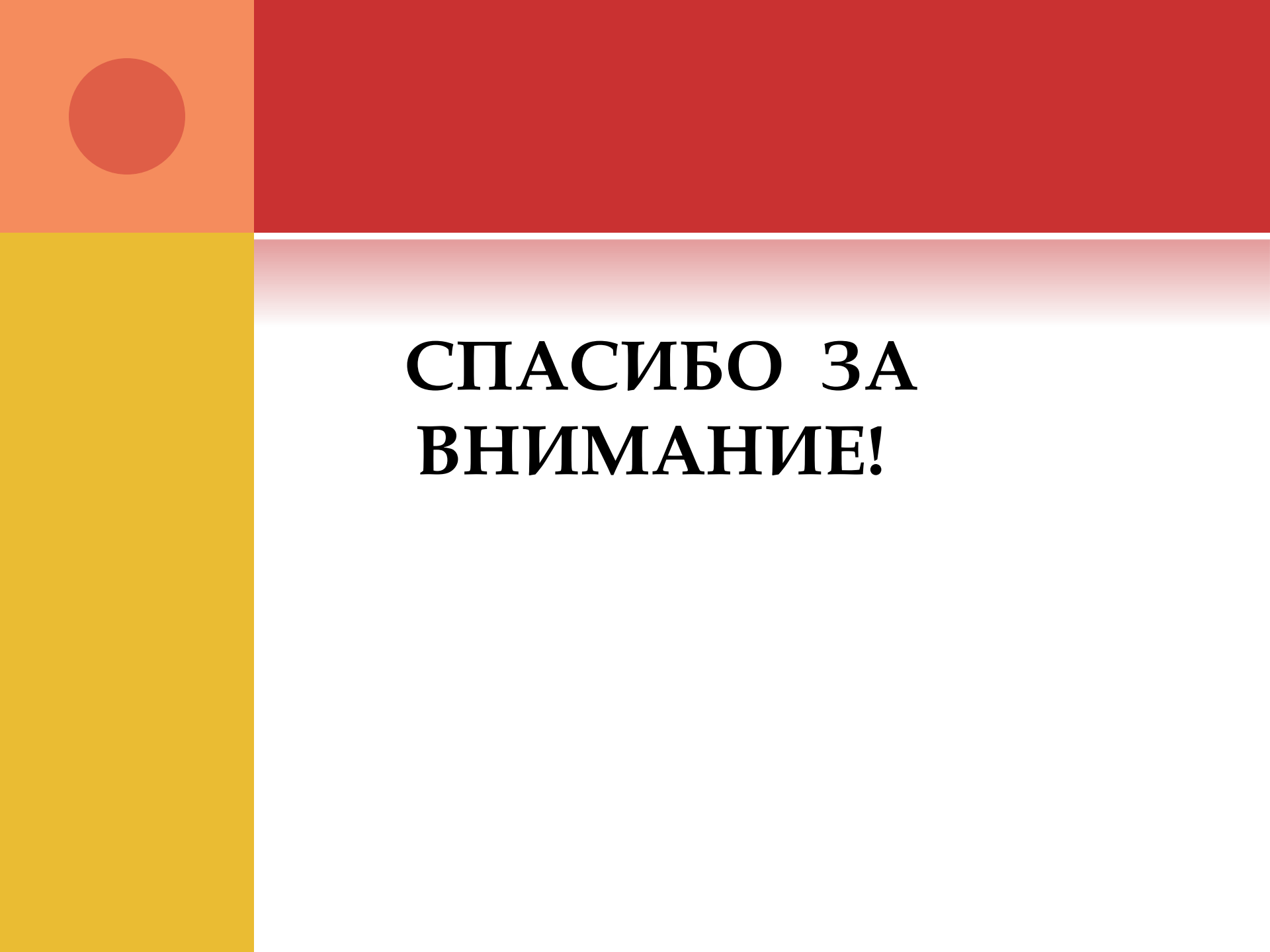
- ◎ **Оценка популяционного риска генетически обусловленных заболеваний.** Каждая популяция обладает собственным аллелофондом и, соответственно, разными частотами неблагоприятных аллелей. Зная частоты рождения детей с наследственными заболеваниями, можно рассчитать структуру аллелофонда. В то же время, зная частоты неблагоприятных аллелей, можно предсказать риск рождения больного ребёнка
- ◎ **Определение частоты встречаемости определённой патологии в исследуемой популяции.** Это помогает сузить дифференциально-диагностические ряды наследственной патологии в зависимости от принадлежности пациента к определённой популяции (например, в популяции, выделенной по национальному признаку).

В селекции –

- ⊙ **Выявление генетического потенциала исходного материала** (природных популяций, а также сортов и пород народной селекции). Разные сорта и породы характеризуются собственными аллелофондами, которые могут быть рассчитаны с помощью закона Харди — Вайнберга. Если в исходном материале выявлена высокая частота требуемого аллеля, то можно ожидать быстрого получения желаемого результата при отборе. Если же частота требуемого аллеля низка, то нужно или искать другой исходный материал, или вводить требуемый аллель из других популяций (сортов и пород)

В экологии –

- ◎ **Оценка влияния различных экологических факторов на генетическую структуру популяции.**
Например, по отклонениям фактических частот генотипов от расчётных величин можно установить эффект таких факторов, как ионизирующее излучение и электромагнитные поля.
- ◎ **Оценка влияния антропогенных факторов** (радиации, электромагнитных полей, химических загрязнителей) на увеличение скорости мутаций.



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**