

# **Особенности выполнения заданий линии 27 на ЕГЭ 2025 по закону Харди- Вайнберга**

**Лях С.В, учитель биологии МБОУ СОШ №43  
х. Бараниковского Славянского района**

# ЧТО НУЖНО ДЛЯ УСПЕШНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ НА ЗАКОН ХАРДИ-ВАЙНБЕРГА?

1) Выучить наизусть два уравнения:  $p+q=1$  и  $p^2 (AA) + 2pq (Aa) + q^2 (aa) = 1$

2) Выучить все основные понятия и символы в формулах Харди-Вайнберга

$p(A)$  – частота доминантного аллеля,

$q(a)$  - частота рецессивного аллеля,

$p^2 (AA)$  - частота особей, гомозиготных по доминантному аллелю (частота генотипа AA)

$q^2 (aa)$  - частота особей с рецессивным признаком (частота генотипа aa)

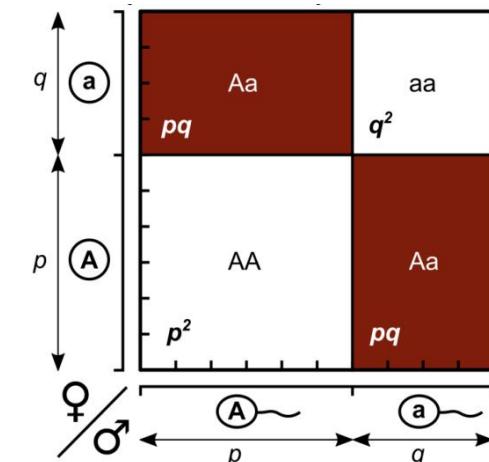
$2pq$  - частота гетерозиготных особей (частота генотипа Aa)

$p^2 (AA) + 2pq (Aa)$  - частота особей в генотипе которых имеется доминантный аллель.

$2pq (Aa) + q^2 (aa)$  – частота особей, в генотипе которых имеется рецессивный аллель.

# Идеальная популяция имеет следующие признаки:

- ✓ неограниченно большая численность;
- ✓ свободное скрещивание - панмиксия;
- ✓ отсутствие мутационного процесса;
- ✓ отсутствие естественного отбора;
- ✓ отсутствие миграции особей;
- ✓ все аллели равно влияют на жизнеспособность гамет;
- ✓ потомки от всех возможных скрещиваний имеют равную выживаемость.



Различные способы выражения частоты аллеля или генотипа	Расчет частоты, выраженной в долях единицы
В исследуемой популяции 330 особей из 440 имели доминантный признак.	$330: 440 = 0, 75$
В популяции кроликов белая окраска (рецессивный признак) составляет 12 %.	$12: 100 = 0,12$
Частота заболеваемости равна $10^{-3}$ .	$10^{-3} = 1: 1000 = 0,001$
В популяции заболеваемость составляет 0,1 на 1000 новорожденных	$0,1: 1000 = 0,0001$
Заболеваемость встречается с частотой 1: 25 000	$1: 25\,000 = 0,00004$

# **Общий алгоритм решения задач на применение закона Харди-Вайнберга**

1. По условиям задачи запишите какие гены доминантные, какие рецессивные, какие у них могут быть генотипы.
2. Определите: о численном значении какого символа формул закона Харди-Вайнберга говорится в условиях задания
3. Представьте эту информацию в долях единицы, используя десятичные числа.
4. Определите: численные значение каких символов в формулах закона Харди-Вайнберга необходимо найти.
5. Составьте наглядный план действий (на основе каких известных частот какие можно найти, используя для этого формулы закона Харди-Вайнберга).
6. Выполните запланированные действия в установленной вами последовательности.
7. Проверьте еще раз, все ли вы нашли, что требовалось найти по условию задачи.

Окраска цвета у скалистых прыгунов (*Chaetodipus intermedius*) контролируется одним геном. Доминантные гомозиготы имеют черный цвет; рецессивные гомозиготы - песочный. Гетерозиготы имеют промежуточную окраску.

В равновесной популяции скалистых прыгунов на 1000 особей приходится 100 песочных. Популяция попала в новые условия, в которых в результате интенсивного отлова хищниками погибло 40% черных особей.

Рассчитайте частоту особей с черной окраской и частоты аллелей в изначальной популяции, а также частоты всех фенотипов в популяции после отлова хищниками.

Поясните ход решения. При расчётах округляйте значения до четвертого знака после запятой.

ДАНО	Изначальная популяция	Популяция в новых условиях
аллель $p(A)$ -		
аллель $q(a)$ -		
$p^2 (AA)$ -		
$2pq(Aa)$ -		
$q^2(aa)$ -		

ДАНО	Изначальная популяция	Популяция после отлова
аллель $p(A)$ -черной окр.	?	
аллель $q(a)$ - песочной окр.	?	
$p^2$ ( $AA$ )-черная окр.	? ( 40% погибло)	?
$2pq(Aa)$ - промежуточная окр.		?
$q^2(aa)$ - песочная окр.	100/1000	?

## Алгоритм решения:

1. Находим частоту рецессивных гомозигот в изначальной популяции:

-Частота рецессивных гомозигот ( $aa$  — особей с песочной окраской ) в изначальной популяции:

$$q^2 (aa) = 100/1000 = 0,1$$

2. Находим частоту рецессивного аллеля:

Частота рецессивного аллеля  $q(a)$  в изначальной популяции:

$$q (a) = \sqrt{0,1} = 0,3162$$

3. Находим частоту доминантного аллеля в изначальной популяции:

Частота доминантного аллеля  $p(A)$  в изначальной популяции:

$$p(A) = 1 - 0,3162 = 0,6838$$

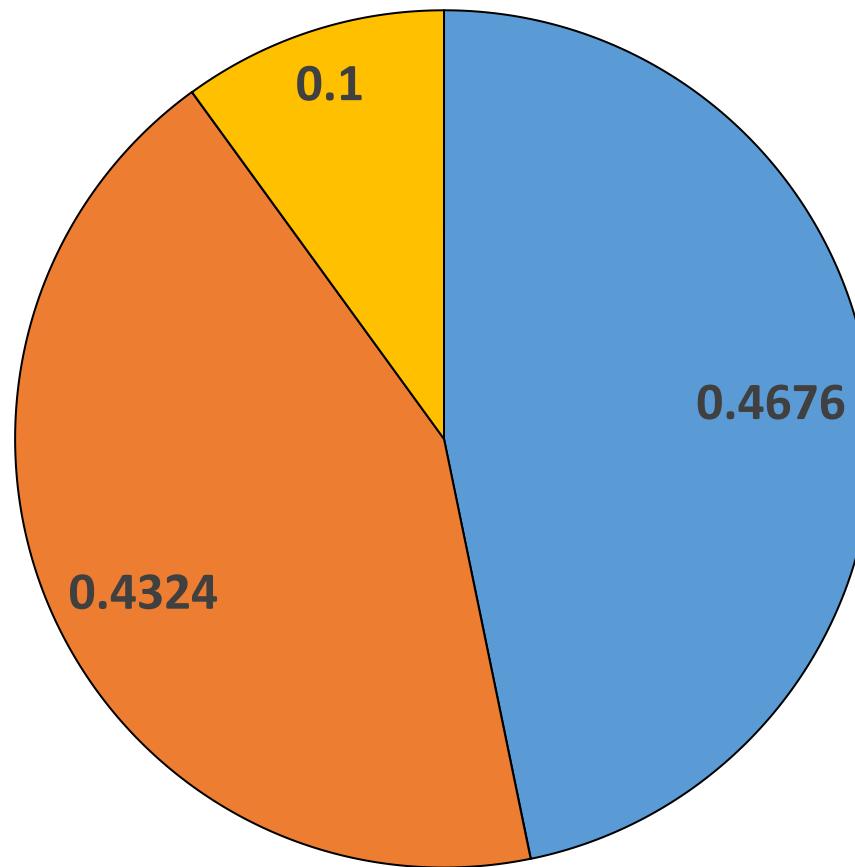
4. Находим частоту доминантных гомозигот в изначальной популяции:

Частота доминантных гомозигот ( $AA$  — особей с черной окраской) в изначальной популяции составляет:

$$p^2(AA) = 0,6838^2 = 0,4676$$

# Частота генотипов( фенотипов) в изначальной популяции.

■ p<sup>2</sup> (AA)      ■ 2pq (Aa)      ■ q<sup>2</sup> (aa)



Для дальнейшего решения необходимо узнать долю особей с промежуточной окраской ( Aa) в изначальной популяции( данный пункт не отмечен в критериях):

1-й способ:

$$2pq(Aa) = 2 \times 0,3162 \times 0,6838 = 0,4324$$

2-й способ:

$$1 - 0,4676 - 0,1 = 0,4324$$

Чтобы рассчитать частоты всех фенотипов( генотипов) после отлова 40% черных. Нужно узнать долю оставшихся черных ( данный пункт отсутствует в критериях)

Находим частоту доминантных гомозигот в изменившейся популяции после гибели 40% черных особей:

**1 вариант:** находим 60% (выживших) от частоты доминантных гомозигот в изначальной популяции

Частота доминантных гомозигот (AA — особей с черной окраской ) в новой популяции составляет:

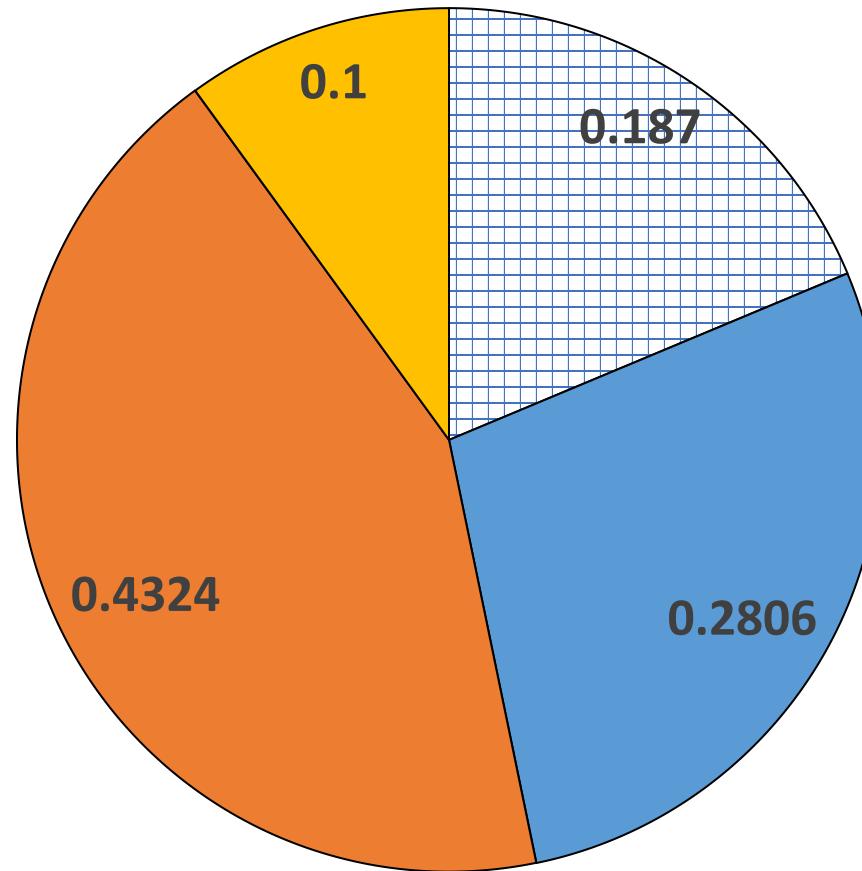
$$0,4676 \times 0,6 = 0,2806$$

**2 вариант:** находим 40% (погибших) от частоты доминантных гомозигот в изначальной популяции, затем из частоты доминантных гомозигот в изначальной популяции вычитаем полученный результат.

$$0,4676 - (0,4676 \times 0,4) = 0,2806$$

# Частота генотипов (фенотипов) после отлова хищниками

■ p2(AA) погибшие ■ p2 (AA)оставшиеся ■ 2pq (Aa) ■ q 2(aa)



5. Находим сумму долей всех фенотипов (генотипов) в новой популяции сразу после гибели 40% доминантных гомозигот:

Общая сумма долей в новой популяции:

1-й способ

$$0,1( aa)+0,4324(Aa)+0,2806(AA) = 0,8130$$

ИЛИ

2-й способ

$$1-(0,4676 \times 0,4 )= 0,813$$

## Находим частоты всех фенотипов (генотипов) в новой популяции:

6. Частота фенотипа ( генотипа AA) у особей с черной окраской в новых условиях:

$$0,2806 / 0,8130 = 0,3451$$

7. Частота фенотипа ( генотипа Aa ) у особей с промежуточной окраской в новых условиях:

$$0,4324 / 0,8130 = 0,5319$$

8. Частота фенотипа ( генотипа aa) у особей с песочной окраской в новых условиях :

$$0,1 / 0,8130 = 0,1230$$

$$\text{Или } 1 - 0,5319 - 0,3451 = 0,1230$$

# Критерии оценки

Содержание верного ответа и указания по оцениванию <b>(правильный ответ должен содержать следующие позиции)</b>	Баллы
Ответ включает в себя семь-восемь названных выше элементов и не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает в себя пять - шесть из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок	2
Ответ включает в себя три-четыре из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок	1
Все иные ситуации, не соответствующие правилам выставления 3, 2 и 1 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

**Допускается иная генетическая символика**

**При любых вычислениях допускается  
погрешность в 0,01 !!**

Предполагаемые способы вычисления с погрешностями:

1000 особей -100%

х черных - 46,76 %

$$x = (468 * 1000) / 100 = 468$$

ИЛИ

1000 особей - 100%

х черных - 46,76 % (47%)

х= 470 особей

Число выживших черных после отлов хищниками ( 60 % )

468- 100 %

470-100 %

X - 60 %

x-60 %

X = ( 60 x 468) / 100 = 281

X = 282

Число особей с промежуточной окраской :

1000 - 100 %

X - 43,24 % ( 43 %)

x = 432 или 430

Общая численность особей после отлова хищниками:

1-й: 100+ 281+ 432 = 813

2-й : 100 + 282 + 432 = 814

3-й: 100 + 281+ 430 = 811

$aa = 100 / 811 = 0,1233$

$aa = 100 / 814 = 0,1228$

$Aa = 430 / 811 = 0,5302$

$Aa = 432 / 811 = 0,5327$

$Aa = 430 / 814 = 0,5283$

$Aa = 432 / 814 = 0,5307$

$AA = 281 / 811 = 0,3465$

$AA = 281 / 814 = 0,3452$

$AA = 282 / 811 = 0,3477$

$AA = 282 / 814 = 0,3464$

У листовых жуков устойчивость к инсектициду определяется рецессивным аллелем  $t$ .

Только гомозиготы  $tt$  проявляют устойчивость. В равновесной популяции из 1800 особей 162 оказались устойчивыми. После распыления инсектицида погибло 50% восприимчивых особей. Рассчитайте частоты аллелей и генотипов в исходной популяции. Рассчитайте частоты генотипов после отбора. Найдите долю устойчивых жуков после отбора. Укажите тип отбора, действующий в популяции. Предполагается, что популяция находится в равновесии Харди–Вайнберга до отбора, и ген находится в аутосоме.

ДАНО	Изначальная популяция	Популяция в новых условиях
аллель $p(M)$ - неустойч.	?	
аллель $q(m)$ - устойч.	?	
$p^2 (MM)$ -неустойч.	? ( 50% погибло)	?
$2pq(Mm)$ -неустойч.	? ( 50% погибло)	?
$q^2(mm)$ - устойчивые	? 162_1800	?

- 1) Частота устойчивых особей в начальной популяции  $q^2 (mm) = 162 / 1800 = 0,09$ .
- 2) Частота рецессивного аллеля  $q(m) = \sqrt{0,09} = 0,3$
- 3) Частота доминантного аллеля  $p(M) = 1 - 0,3 = 0,7$
- 4) Частота доминантных гомозигот  $p^2(MM) = 0,7^2 = 0,49$
- 5) Частота гетерозиготных особей  $2pq(Mm) = 0,42$
- 6) Частота рецессивных гомозигот  $p^2 (mm) = 0,09$
- 7) Восприимчивые:  $MM + Mm = 0,91 \times 0,5 \rightarrow$  осталось 0,455 после гибели.
- 8) Устойчивые  $mm$  не пострадали: осталось 0,09.
- 9) Общая сумма всех долей  $= 0,455 + 0,09 = 0,545$ .
- 10) Доля устойчивых после отбора  $= 0,09 / 0,545 = 0,1651$ .
- 11) Частота доминантных гомозигот после отбора  $p^2(MM) = (0,49 \times 0,5) / 0,545 = 0,4495$
- 12) Частота гетерозиготных особей после отбора  $2pq(Mm) = (0,42 \times 0,5) / 0,545 = 0,3853$
- 11) Тип отбора: движущий отбор против доминантного фенотипа.

27. В популяции растений ночной красавицы (*Mirabilis jalapa*) 96 растений имеют ярко-красную окраску венчика, а 54 – белую. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окрасок в популяции. Какими были бы частоты генотипов всех генотипов, если бы популяция находилась в равновесии? Если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придёт в равновесие?

*Элементы ответа:*

- 1) частота растений с ярко-красной окраской венчика (генотип  $AA$ ) составляет:  $96/150 = 0,64$ ;
- 2) частота растений с белой окраской венчика (генотип  $aa$ ) составляет:  $54/150 = 0,36$ ;
- 3) аллель  $A$  в популяции представлен только в красных растениях, а аллель  $a$  – только в белых;
- 4) частота аллеля  $A = p = 0,64$ ;
- 5) частота аллеля  $a = q = 0,36$ ;
- 6) равновесные частоты генотипов:  $f(AA) = p^2 = 0,4096$ ,  $f(aa) = q^2 = 0,1296$ ,  $f(Aa) = 2pq = 0,4608$ ;
- 7) за одно поколение.

При решении задач по популяционной генетике необходимо учитывать, находится ли популяция в равновесии или нет. Если находится, то можно использовать уравнение Харди-Вайнберга. Однако в данной задаче популяция не находится в таком равновесии – это можно заметить по отсутствию гетерозигот, а также по фразе «если бы популяция находилась в равновесии». Таким образом, использовать квадраты частот для расчета генотипов нельзя.

Их можно рассчитать только напрямую. Всего в популяции 300 аллелей (150 диплоидных особей). Из них доминантные аллели только в доминантных гомозиготах:  $96^2 = 192$ . Получаем частоту доминантного аллеля  $192/300$  (или  $96/150$ ) = 0.64. Аналогично считаем частоту рецессивного аллеля. Зная частоты, мы можем предположить, какими были бы равновесные частоты в популяции при соблюдении всех условий идеальной популяции. Это пункт 6.

Последний вопрос (седьмой пункт) – это следствие из закона Харди-Вайнберга. Иногда это следствие называют законом Пирсона, но это название избыточно. Можно его так сформулировать: при любом исходном соотношении генотипов в популяции при первом свободном скрещивании внутри популяции установится равновесие. Этот закон можно проверить следующим образом: выписать все возможные скрещивания и рассчитать, какие потомки и в каком количестве образуются из нашей неравновесной популяции. Увидим, что за одно поколение частоты генотипов приблизятся к равновесным.

Резюме: уравнение Харди-Вайнберга надо применять только в случае равновесия. В другом случае надо считать частоты напрямую.

С уважением, В.С. Рохлов

## Проверочная задача 1:

Популяция бабочек дневной красавицы (*Nuzachem takslozhno*) представлена 30 гомозиготами по доминанте и 70 гетерозиготами. Рассчитайте частоты аллелей и генотипов в исходной популяции. Какой будет частота всех генотипов в следующем поколении при свободном скрещивании (и соблюдении всех остальных положений закона Харди-Вайнберга)?

Ответ:  $p^2=0,4225$ ,  $q^2=0,1225$ ,  $2pq=0,455$

ДАНО	Изначальная популяция	Популяция в следующем поколении
аллель $p(A)$ -	?	
аллель $q(a)$ -	?	
$p^2 (AA)$	? 30	?
$2pq(Aa)$	? 70	?
$q^2(aa)$	нет	?

- 1) Частота гомозиготных особей в начальной популяции ( $AA$ ) =  $30 / 100 = 0,3$
- 2) Частота гетерозиготных особей в начальной популяции ( $Aa = 70/100 = 0,7$ )
- 3) Частота рецессивного аллеля  $q(a) = 70/200 = 0,35$  (рецессивный аллель представлен только у гетерозигот)
- 4) Частота доминантного аллеля  $p(A) = (30 \times 2) / 200 = 0,65$  или  $1 - 0,35 = 0,65$  (доминантный аллель представлен у гомозиготных ( $AA$ ) особей  $30 \times 2 = 60$  и гетерозиготных ( $Aa$ ) =  $70$ )
- 5) Частота доминантных гомозигот в последующем поколении  $p^2(AA) = 0,65 \times 0,65 = 0,4225$
- 6) Частота рецессивных гомозигот в последующем поколении  $q^2(aa) = 0,35 \times 0,35 = 0,1225$
- 7) Частота гетерозиготных особей в последующем поколении  $2pq(Aa) = 2 \times 0,35 \times 0,65 = 0,455$  или  $1 - 0,4225 - 0,1225 = 0,455$

## Проверочная задача 2:

У каракульских овец аллель нормальной длины ушей неполно доминирует над аллелем безухости. Стадо сформировано из 68 безухих овец и 132 животных с укороченными ушами. Рассчитайте частоты аллелей и генотипов в исходной популяции. Какими будут частоты всех генотипов, когда популяция придет в состояние равновесия Харди-Вайнберга?

Ответ:  $p^2 = 0,1089$ ,  $q^2 = 0,4489$ ,  $2pq = 0,4422$

ДАНО	Изначальная популяция	Популяция в следующем поколении
аллель $p(A)$ - норм.	?	
аллель $q(a)$ - безух.	?	
$p^2 (AA)$ - норм.длина	? нет	?
$2pq(Aa)$ - укороч.	? 132	?
$q^2(aa)$ - безухие	68	?

- 1) Частота гомозиготных безухих особей в начальной популяции ( $aa$ ) =  $68 / 400 = 0,17$
- 2) Частота гетерозиготных с укороченными ушами особей в начальной популяции ( $Aa$ ) =  $132/400= 0,33$
- 3) Частота рецессивного аллеля  $q(a) = (68 \times 2 + 132)/400 = 0,67$  (рецессивный аллель представлен у гомозиготных ( $aa$ ) и у гетерозиготных особей)
- 4) Частота доминантного аллеля  $p(A) = 132 / 400 = 0,33$  или  $1 - 0,67 = 0,33$  (доминантный аллель представлен только у гетерозиготных особей ( $Aa$ ))
- 5) Частота доминантных гомозигот с нормальными ушами в последующем поколении  $p^2(AA) = 0,33 \times 0,33 = 0,1089$
- 6) Частота рецессивных гомозигот безухих в последующем поколении  $q^2(aa)=0,67 \times 0,67=0,4489$
- 7) Частота гетерозиготных особей с укороченными ушами в последующем поколении  $2pq(Aa)= 1- 0,1089 - 0,4489 = 0,4222$