

## ОТВЕТЫ

### 9 класс

#### 1. Решение (5 баллов)

Размер VII хромосомы составляет 1 090 940 нуклеотидов. Значит молярная масса хромосомы составляет:  $1090940 \cdot 660 = 7.2 \cdot 10^8$  г/моль (1 балл).

В 3х нанограммах ( $3 \cdot 10^{-9}$ ) содержится:

$$\frac{3 \cdot 10^{-9}}{7.2 \cdot 10^8} = 4.2 \cdot 10^{-18}$$

молей геномной ДНК (2 балла)

В одном моле содержится  $6 \cdot 10^{23}$  молекул.

Значит, в полосе содержится:  $4.2 \cdot 10^{-18} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 2499929$  молекул (2 балла).

#### 2. Решение

2.1. Расщепления в потомствах намекают на моногибридное наследование (1 балл).

Единственное, что может породить данные расщепления — это множественный аллелизм (1 балл). Допустим, что у златок за окраску надкрылий ответственен ген  $w$  с аллельными вариантами  $w^b$  (лазурные),  $w^s$  (изумрудные) и  $w^t$  (бирюзовые). Из преобладания в потомстве большинства скрещиваний лазурных жуков можно предположить, что  $w^b$  доминирует над остальными аллелями. В то же время из скрещивания 3 видно, что  $w^s$  доминирует над  $w^t$ . Значит порядок доминирования аллелей  $w^b > w^s > w^t$  (1 балл)

2.2. Из условий задачи популяция златок в лаборатории свободно скрещивается. Значит возможны как гомозиготные, так и гетерозиготные родители. Исходя из этого в некоторых случаях нельзя однозначно установить генотип и необходимо записывать генотип через генетический радикал “-”. Итого, наблюдаемые генотипы:

Скрещивание	Родители	Потомство
1	$w^b / w^b \times w^g / -$	$w^b / w^g$ или $w^b / -$
2	$w^b / w^t \times w^b / w^t$	$3/4 w^b / -$ : $1/4 w^t / w^t$
3	$w^g / w^t \times w^g / w^t$	$3/4 w^g / -$ : $1/4 w^t / w^t$
4	$w^b / w^t \times w^t / w^t$	$1/2 w^b / w^t$ : $1/2 w^t / w^t$
5	$w^b / w^g \times w^b / w^g$	$3/4 w^b / -$ : $1/4 w^g / w^g$
6	$w^b / w^g \times w^g / w^g$	$1/2 w^b / w^g$ : $1/2 w^g / w^g$
7	$w^b / w^t \times w^g / w^t$	$1/2 w^b / -$ : $1/4 w^g / w^t$ : $1/4 w^t / w^t$
8	$w^t / w^t \times w^t / w^t$	$w^t / w^t$

По 0.375 балла за верную клетку в таблице ( $0.375 \cdot 16 = 6$  баллов). Допускается запись всех возможных генотипов вместо знака “-”, где это можно установить

(например, в п.1 установить нельзя, а в п. 5 возможна запись “ $\frac{3}{4} wb / wg$  и  $wb / wb \dots$ ”).

2.3. В первом случае мы можем однозначно установить только генотип бирюзового родителя ( $w^t / w^t$ ), изумрудный родитель может быть как  $w^g / w^g$  (с вероятностью  $\frac{1}{2}$ ), так и  $w^g / w^t$  (с вероятностью  $\frac{1}{2}$ ). Из скрещивания  $w^g / w^g \times w^t / w^t$  вероятность получить зеленого потомка составляет 1, а из скрещивания  $w^g / w^t \times w^t / w^t = \frac{1}{2}$ . Значит по формуле полной вероятности:  $P(\text{зеленого потомка}) = \frac{1}{2} * 1 + \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ . **(3 балла)**.

Если нам известно, что изумрудный родитель был получен из скрещивания бирюзовой златки, то мы однозначно устанавливаем его генотип  $w^g / w^t$ . Значит вероятность получить изумрудную особь от скрещивания такого генотипа с  $w^t / w^t = \frac{1}{2}$  **(3 балла)**

### 3. Решение

3.1.  $52\% / 2 = 26\%$ , так как все самки без бивней – гетерозиготы **(1 балл за ответ, 1 балл за пояснение)**

3.2. 26% самцов-слонят получают летальную аллель и умрут **(1 балл)**, все самки выживут **(1 балл)**, значит, среди живых слонят будет соотношение 100 к 74 в пользу самок **(2 балла)**, если переводить в проценты, то 57% самок и 43% самцов

3.3. Охота на слонов процветала в Мозамбике и до 70-х годов, поэтому искусственный отбор перевешивал естественный, повышая долю аллели безбивневости **(1 балл)**. 19% безбивневых самок были гетерозиготами, среди самцов безбивневых нет, но 9,5% (0,095) их умерло из-за летальной аллели **(2 балла)**. Тогда, с учетом того, что у самок две X-хромосомы, а у самцов одна, частота будет  $0,19 / (2 + 1 - 0,095) = 0,0654$ , то есть 7% **(2 балла)**.

3.4. Пусть в начале 70-х родилось 19 безбивневых и 81 нормальных самок. Все 19 безбивневых самок выживут и составят 52% после отбора браконьерами **(1 балл)**. Тогда всего будет  $19 / 0,52 = 37$  самок **(1 балл)**. Из них нормальными будут  $37 - 19 = 18$  самок **(1 балл)**, выживаемость нормальных самок будет  $18 / 81 = 0,222$ , то есть 22% **(2 балла)**

### 4. 4.1 Да, получились. **(0.5 б)** Это самцы под номерами 1, 2, 8 **(1.5 б по 0.5 баллов за каждый номер)**

**4.2** В процессе созревания сперматозоидов клетки-предшественницы претерпевают большое количество митотических делений, которые не нарушаются из-за тройного набора хромосом. Большое количество незрелых гамет в семенниках вызывает их увеличенные размеры. **(1 б за полное объяснение, 0.5 баллов если упоминается митоз)**

У самок, однако, при созревании гамет количество митотических делений сильно ограничено и гораздо выше роль мейоза, который не может эффективно протекать с тройным набором хромосом. Нарушение мейоза вызывает недоразвитие фолликулов, которые формируют основную часть яичников. **(2.5 б за полное объяснение, 1 б если сказано только про ограниченное количество делений)**

*Комментарий: эффект на развитие гонад также оказывают половые гормоны, но однозначной корреляции между плоидностью и их уровнем у самцов не наблюдается.*

**4.3** Соотношение гибридов/не-гибридов в F1 будет определяться только гаметными, которые продуцирует самец (все самки PP). Значит в F1 будет 1/7 PP и 6/7 P+F особей **(1 б)**.

Половина P+F гибридов будет самками, которые не участвуют в размножении, так как стерильны **(0.5 б)**. Значит в размножение войдут 1х самцов PP, 1х самок PP и 6х самцов P+F **(1 б)**. Все яйцеклетки будут генотипа P, а сперматозоиды будут образовываться в соотношении  $1x+6x \cdot 1/7 \cdot 1/5 = 41x/35$  P и  $6x \cdot 6/7 \cdot 1/5 = 36x/35$  F **(2 б)**. Значит в поколении 2 будет 41х PP особь и 36х P+F особей, т.е. доля гибридов составит  $36/77 = 0.47$  **(0.5 б)**

5. **5.1** Первое деление - редукционное. Образуется 4 гаплоидные клетки. **(0.5 б)** Затем происходит митоз каждой гаплоидной клетки и образуется 8 аскоспор **(0.5 б)**. Это видно по тому, что все аски гетерозиготного мутанта содержат 4 споры с EGFP друг за другом, значит в процессе созревания первым делом разделяются гомологичные хромосомы => первым происходит мейоз **(1 балл)**.

**5.2** Сперва определим расстояние между геном A/a и центромерой. Кроссоверные аски для этих двух областей хромосомы получились в количестве  $15+2+2+5 = 24$  штуки из 100. Значит расстояние -  $24/100 = 24$  сМ **(1 б)**.

Расстояние между геном B/b и центромерой =  $(29+2+2+5)/100 : 2 = 19$  сМ **(1 б)**.

Расстояние между генами A и B считается исходя из асков, в которых появились гаметы Ab и aB. Оно составляет  $(15+29+2+5+5)/100 : 2 = 28$  сМ **(1.5 б - 1 б если класс 5 учтен только 1 раз)**. Обратите внимание, что класс размером 5 мы учитываем 2 раза, потому что ВСЕ аскоспоры в нем являются кроссоверными => произошло 2 кроссинговера между обеими хроматидами.

Так как сумма расстояний между генами A и центромерой и B с центромерой равна 31 и это больше 28, то гены расположены на разных плечах хромосомы **(1 б)**.

Значит карта этого локуса: ---A---(12 сМ)---центромера---(19 сМ)---B---  
**(0.5 б за рисунок/схему)**.

**5.3** В этих асках изменилась частота аллеля окраски аскоспоры (B:b = 3:1, хотя ожидается 1:1) **(0.5 б)**. Это называется генной конверсией (конверсией гена) **(1 б)**.

При кроссинговере происходит формирование гетеродуплекса, в котором молекула ДНК одной хроматиды формирует комплементарную пару с ДНК с гомологичной хромосомы. Генная конверсия же происходит, когда при формировании гетеродуплекса в процессе кроссинговера одна из хроматид удаляется и достраивается по матрице другого аллеля (т.е. происходит копирование аллеля черной окраски за счет удаления аллеля желтой окраски). Это нормальное для кроссинговера событие, которое происходит относительно редко, потому что должно затронуть определенный небольшой участок хроматиды. Альтернативной причиной генной конверсии может являться мисмэтч-репарация, действовавшая на гетеродуплексе.

**(1.5 б за более менее логичное объяснение: в нем должен быть упомянут кроссинговер, и сказано про формирование гетеродуплекса или застраивания “желтого аллеля” по матрице “черного аллеля”)**

6. Активность, отвечающая за удаление РНК-праймеров называется 5'-3'-экзонуклеазная/5'-экзонуклеазная (2 балла).

По порядку (за каждый шаг ставятся баллы)

а. Пункт а:

- i. BamHI+BglII: образуются липкие концы (2 балла):



- ii. Фрагмент Кленова + смесь dNTPs проведет достраивание 5'-выступающих концов до дцДНК (2 балла):



- iii. ДНК-лигаза сошьет тупые концы друг с другом (2 балла):



- b. Пункт b: Так как у ДНК-полимеразы I есть всё те же активности, что и у Фрагмента Кленова, то один из продуктов будет иметь такую же последовательность ДНК, как и в пункте 1 (1 балл) 5'-...AGGATCGATCTG...-3'. Однако помимо достраивание 5'-выступающих липких концов ДНК-полимераза I может их разрушить с помощью 5'-3'-экзонуклеазной активности:

- i. ДНК-полимераза I + смесь dNTPs “съест” оба 5'-выступающих конца до дцДНК:



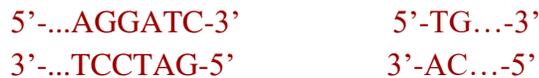
Образуется ДНК с последовательностью 5'-AGTG-3' (2 балла)

- ii. ДНК-полимераза I + смесь dNTPs “съест” левый 5'-выступающий конец и достроит правый конец до дцДНК:



Образуется ДНК с последовательностью 5'-AGGATCTG-3' (2 балла)

- iii. ДНК-полимераза I + смесь dNTPs “съест” правый 5'-выступающий конец и достроит левый конец до дцДНК:



Образуется ДНК с последовательностью 5'-AGGATCTG-3' (2 балла)

*\*засчитывать, если во всех продуктах верно написана только 1 цепь ДНК (но указаны концы)*

## 7. Решение:

Заметим, что из описания задачи достройка цепи подчиняется геометрическому распределению ( $G$ ), где вероятность терминации на каждом этапе составляет 0.5 (1 балл)

Геометрическому распределению соответствует следующая формула:

$P(X = k) = (1 - p)^{k-1} \cdot p$ , где  $k$  – это номер нуклеотида в цепи (1 балл, если указана верная формула без названия распределения выставляем за этот пункт 2 балла).

Вероятность того, что первые 99 нуклеотидов будут нормальными и 100й нуклеотид будет терминирующим в таком случае:

$P(X = 100) = 0.5^{99} \cdot 0.5 = 7.8 \cdot 10^{-31} = 0$  (получается при округлении до сотых) (3 балла, за ошибку в расчете снимаем 1 балл).

Так как во втором вопросе речь идет о средней длине последовательности необходимо вспомнить, что математическое ожидание геометрического распределения равно:

$$E(X) = \frac{1}{p} \text{ (2 балла).}$$

Чтобы средняя длина молекулы равнялась 1000, необходимо, чтобы  $p = 0.001$  (2 балла).

Это возможно при соотношении dNTP к ddNTP = 1000:1, что означает вероятность терминации на каждом шаге 1/1000 (1 балл)

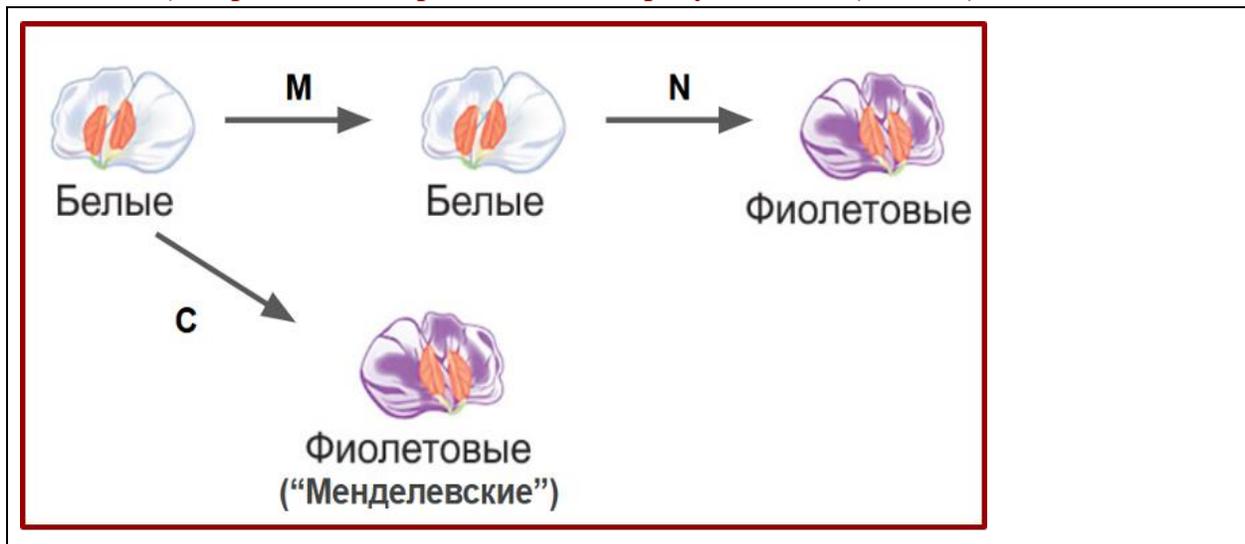
## 8. Решение

8.1. 9 фиолетовых : 7 белых (1 балл)

**8.2 В задаче не сказано, что расщепление 3 фиолетовых к 1 белому!**

<b>P:</b>	$mmNn \times Mmnn$ <u>или</u> $NnMM \times NnMM$ (1 балл)
<b>F:</b>	$1 MmNn : 1 mmNn : 1 Mmnn : 1 mmnn$ (за генотипы 1 балл) или $1 NNMM : 2 NnMM : 1 nnMM$
	$1$ фиолетовый : $3$ белых (за фенотипы 1 балл) или $3$ фиолетовых : $1$ белый

**8.3.** Большое число фиолетовых потомков должно объясняться тем, что есть несколько вариантов получения фиолетовой окраски. Это моногенный путь синтеза “Менделевского фиолетового” и дигенный путь синтеза “Не-Менделевского фиолетового” (1 балл). Так как в задании указано химическое сходство пигментов, то вероятно их пути синтеза сходятся в интермедиате (1 балл). Верная схема представлена на рисунке ниже (3 балла):



Таким образом полученное расщепление соответствует (1 балл):

$57$  ( $48 C\_ \_ \_ \_ \_ + 9 cc M\_ N\_$ ) фиолетовых:

$7$  ( $3 cc M\_ nn + 3 cc mm N\_ + 1 cc mm nn$ ) белых

**9. Решение (5 баллов):**

Так как популяция удовлетворяет условиям равновесия Харди-Вайнберга, то доля желтых особей составит:

$$f(A_3A_3) = f(A_3)^2 = 0.01$$

Отсюда следует:

$$f(A_3) = \sqrt{f(A_3A_3)} = \sqrt{10/1000} = 0.1 \text{ (0.5 балла)}$$

Попугаи с синим оперением могут быть либо гомозиготами по аллелю A2A2, либо гетерозиготами A2A3. Тогда доля попугаев в синим оперением в равновесной популяции составит:

$$f(\text{синие попугаи}) = f(A_2)^2 + 2 \cdot f(A_2) \cdot f(A_3)$$

$$0.24 = f(A_2)^2 + 0.2 \cdot f(A_2) \text{ (0.5 балла)}$$

Решая квадратное уравнение получим:

$$f(A_2) = 0.4 \text{ (0.5 балла)}$$

Частота аллеля A1 может быть найдена следующим образом:

$$f(A_1) = 1 - 0.4 - 0.1 = 0.5 \text{ (0.5 балла)}$$

Количество особей ДО отлова хищниками **(0.3 балла по 0.05 за каждый верный генотип):**

$$A_1A_1 = 250$$

$$A_1A_2 = 400$$

$$A_1A_3 = 100$$

$$A_2A_2 = 160$$

$$A_2A_3 = 80$$

$$A_3A_3 = 10$$

Количество особей СРАЗУ после отлова хищниками **(0.3 балла по 0.05 за каждый верный генотип):**

$$A_1A_1 = 250$$

$$A_1A_2 = 400$$

$$A_1A_3 = 100$$

$$A_2A_2 = 160 \cdot 0.85 = 136$$

$$A_2A_3 = 80 \cdot 0.85 = 68$$

$$A_3A_3 = 10 \cdot 0.2 = 2$$

Частоты аллелей СРАЗУ после отлова хищниками:

$$f(A_1) = \frac{250 \cdot 2 + 400 + 100}{1912} = 0.52 \text{ (ИЛИ 0.53) (0.2 балла)}$$

$$f(A_2) = \frac{400 + 2 \cdot 136 + 68}{1912} = 0.39 \text{ (0.2 балла)}$$

$$f(A_3) = \frac{100 + 68 + 4}{1912} = 0.09 \text{ (0.2 балла)}$$

Частоты аллелей не изменяются через 5 поколений после отлова хищниками **(0.3 балла).**

Частоты фенотипов (генотипов) через 5 поколений будут соответствовать равновесию Харди-Вайнберга (допускается погрешность в 10%):

$$f(\text{красный}) = 0,770 \text{ (0.5 балла)}$$

$$f(\text{синий}) = 0,222 \text{ (0.5 балла)}$$

$$f(\text{желтый}) = 0,008 \text{ (0.5 балла)}$$

**10. Решение (5 баллов):**

А) 90 – **1 балл**

Б) 90 – не оценивается, так как в условии указан размер продукта

В) 0, так как нет регуляторной (инициаторной) последовательности (ИЛИ нет последовательности IRES) – **1 балл** только в случае наличия объяснения

Г) 80 – **1 балл**

Д) 0, так как нет старт-кодона (инициаторного кодона) – **1 балл** только в случае наличия объяснения

Е) 0, так как регуляторная (инициаторная) последовательность (IRES) располагается после открытой рамки считывания. – **1 балл** только в случае наличия объяснения