

## Изменение генетической структуры популяции под влиянием мутаций

### Задание 1. Рассмотреть понятия мутационное давление и равновесие

По любой паре аллелей, например, А и а мутации могут происходить в двух направлениях: прямом А→а и обратном а→А. В первом случае это будет величина  $u \cdot p_A$ , а во втором –  $v \cdot q_a$ , где  $u$  – скорость прямого мутирования,  $v$  – скорость возвратного мутирования.

**Мутационное давление** – это определенная частота мутирования гена, в сторону которого мутации происходят с большей вероятностью.

Изменение частоты аллеля А в популяции за поколение определяют по формуле 1:

$$\Delta p_A = v \cdot q_a - u \cdot p_A, \quad (1)$$

Изменение частоты аллеля а в популяции за поколение определяют по формуле 2:

$$\Delta q_a = u \cdot p_A - v \cdot q_a, \quad (2)$$

где  $u$  – вероятность возникновения прямых мутаций;

$v$  – вероятность возникновения обратных мутаций;

$p_A$  – частота доминантного аллеля;

$q_a$  – частота рецессивного аллеля.

Скорость, или частота мутирования, измеряется долей гамет на поколение, в которых произошли мутационные изменения данного гена. Пусть,  $u = 1 \cdot 10^{-5}$ , а  $v = 1 \cdot 10^{-6}$ . Это означает, что на миллион гамет будет приходиться в среднем 10 гамет с вновь возникшими рецессивными мутациями и 1 гамета с вновь возникшей доминантной мутацией анализируемого гена.

#### **Пример.**

Допустим, у кукурузы  $p_A = 0,8$ ,  $q_a = 0,2$ . Аллель А мутирует в аллель а с частотой 0,00003, аллель а в аллель А – с частотой 0,00001.

Определите частоты аллелей в следующем поколении.

#### **Решение.**

Кукуруза

$$p_A = 0,8;$$

$$q_a = 0,2;$$

$$u = 3 \cdot 10^{-5};$$

$$v = 1 \cdot 10^{-5}.$$

1. Определяем изменение частоты аллеля А в популяции по формуле 1:

$$\Delta p_A = v \cdot q_a - u \cdot p_A = 0,00001 \cdot 0,2 - 0,00003 \cdot 0,8 = -0,000022.$$

2. Определяем частоту аллеля А в следующем после мутирования поколении:

$$p_{A_1} = p_A + \Delta p_A = 0,8 + (-0,000022) = 0,799978.$$

3. Находим частоту аллеля а в следующем после мутирования поколении:

$$q_{a_1} = 1 - p_{A_1} = 1 - 0,799978 = 0,200022.$$

Вместе с тем изменение частот аллелей в популяции идет не беспредельно, и на определенном этапе число возникающих прямых мутаций становится равным числу обратных мутаций:  $v \cdot qa = u \cdot pA$ . При наступлении такого **равновесного состояния** в популяции мутационное давление исчезает, и мутационный процесс перестанет изменять генетический состав популяции (формула 3).

$$\frac{pA_{\text{равн.}}}{qa_{\text{равн.}}} = \frac{v}{u}. \quad (3)$$

Таким образом, отсюда можно получить равенство  $pA = \frac{v}{u} \cdot qa$ . Прибавив к обеим частям уравнения  $qa$  и решив его, получим формулу 4:

$$pA + qa = \frac{v}{u} \cdot qa + qa;$$

$$1 = qa \cdot \left( \frac{v}{u} + 1 \right);$$

$$\frac{1}{qa} = \frac{v + u}{u};$$

$$qa = \frac{u}{v + u}.$$

$$qa_{\text{равн.}} = \frac{u}{v + u}; \quad (4)$$

Рассуждая таким же образом, получаем формулу 5.

$$pA_{\text{равн.}} = \frac{v}{v + u}. \quad (5)$$

### Пример.

Пусть значения  $u$  и  $v$  у кукурузы будут  $1 \cdot 10^{-5}$  и  $1 \cdot 10^{-6}$  соответственно.

Определите равновесные частоты аллелей  $pA_{\text{равн.}}$  и  $qa_{\text{равн.}}$ .

### Решение.

Кукуруза

$$u = 1 \cdot 10^{-5};$$

$$v = 1 \cdot 10^{-6}.$$

1. Определяем равновесную частоту аллеля  $qa$  по формуле 4:

$$qa_{\text{равн.}} = \frac{1 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-5}} = \frac{1 \cdot 10^{-5}}{10^{-5}(0,1 + 1)} = 0,91;$$

2. Определяем равновесную частоту аллеля  $pA$  по формуле 5:

$$pA_{\text{равн.}} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-5}} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}(1 + 10)} = 0,09.$$

3. Графически отображаем эту ситуацию (рис. 1).

Из графика следует, что  $\Delta qa$  положительна при  $qa < qa_{\text{равн.}}$  и отрицательна при  $qa > qa_{\text{равн.}}$ .

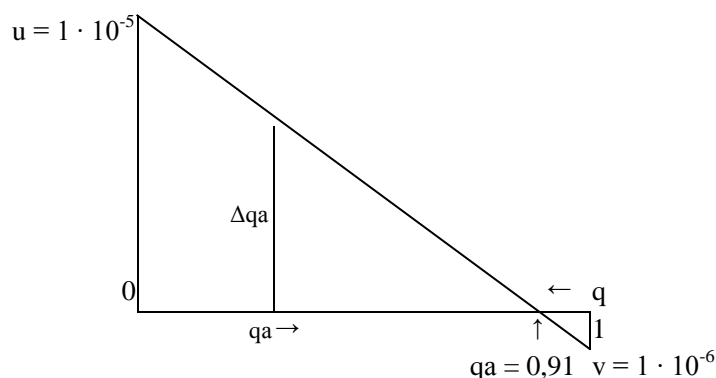


Рис. 1. Движение частот аллелей в популяции к состоянию равновесия при взаимодействии процессов прямого и обратного мутирования.

Необходимо иметь в виду, что истинные обратные мутации, т. е. мутации в том же гене, в котором произошла прямая мутация, составляют лишь малую часть от общего числа. Абсолютное большинство реверсий обусловлено мутациями других генов, дающих супрессорный эффект.

### Пример.

У кукурузы ген А мутирует в ген а с частотой 0,00003 и достиг со временем равновесной концентрации 75 %.

При какой частоте обратного мутирования (а→А) установится равновесие?

### Решение.

Кукуруза

$$pA_{\text{равн.}} = 0,75;$$

$$u = 0,00003.$$

1) Определяем равновесную концентрацию рецессивного аллеля:

$$qa_{\text{равн.}} = 1 - pA_{\text{равн.}} = 1 - 0,75 = 0,25.$$

2) Пользуясь формулой 3, находим v:

$$v = \frac{u \cdot pA_{\text{равн.}}}{qa_{\text{равн.}}} = \frac{0,00003 \cdot 0,75}{0,25} = 0,00009.$$

## Задание 2. Решение задач на мутационное давление и равновесие

### Пример.

У дрозофилы рецессивная мутация br – коричневая окраска глаз возникает с частотой  $3 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $1,5 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 1000 проанализированных мух 25 имеют коричневую окраску глаз. Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в пятом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в пятом поколении?
3. При каких значениях pA и qa популяция окажется в равновесном состоянии?

4. Сколько мух из 1000 могут быть доминантными гомозиготами в пятом поколении?  
 5. Сколько мух из 1000 могут быть доминантными гомозиготами при равновесном состоянии популяции?

**Решение.**

Дрозофила

Окраска глаз.

Br – красные глаза;

br – коричневые глаза;

$u = 3 \cdot 10^{-5}$ ;

$v = 1,5 \cdot 10^{-5}$ ;

$N = 1000$ ;

$n_Q = 25$ .

1. Определяем частоту рецессивного генотипа в исходном поколении:

$$Q = q^2 br br = \frac{n_Q}{N} = \frac{25}{1000} = 0,025 \text{ (или 2,5 \%)};$$

Определяем частоту рецессивного и доминантного аллелей в исходном поколении:

$$q br = \sqrt{q^2 br br} = \sqrt{0,025} = 0,16.$$

$$p Br = 1 - q br = 1 - 0,16 = 0,84.$$

Определяем изменение частоты рецессивного аллеля за поколение по формуле 1:

$$\Delta q br = u \cdot p Br - v \cdot q br = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,84 - 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,16 = 2,52 \cdot 10^{-5} - 0,24 \cdot 10^{-5} = 2,28 \cdot 10^{-5}.$$

$$2,28 \cdot 10^{-5} = 0,0000228.$$

Находим частоту рецессивного аллеля в пятом поколении по формуле 6:

$$q br_n = q br + n \cdot \Delta q br, \quad (6)$$

где  $q br_n$  – частота рецессивного аллеля в искомом поколении;

$q br$  – частота рецессивного аллеля в исходном поколении;

$n$  – поколение, для которого ведется расчет.

$$q br_5 = q br + 5 \cdot \Delta q br = 0,16 + 5 \cdot 0,0000228 = 0,16 + 0,000114 = 0,160114.$$

2. Определяем частоту доминантного аллеля в пятом поколении:

$$p Br_5 = 1 - q br_5 = 1 - 0,160114 = 0,839886.$$

3. Определяем равновесные значения  $p Br$  и  $q br$  по формулам 4 и 5:

$$q br_{равн.} = \frac{u}{v + u} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-5} + 1,5 \cdot 10^{-5}} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-5}(3 + 1,5)} = \frac{3}{4,5} = 0,67;$$

$$p Br_{равн.} = \frac{v}{v + u} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-5} + 1,5 \cdot 10^{-5}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-5}(3 + 1,5)} = \frac{1,5}{4,5} = 0,33.$$

4. Определяем количество доминантных гомозигот в пятом поколении:

$$P_5 = p^2 Br Br_5 = (p Br_5)^2 = 0,839886^2 = 0,7054 \text{ (или 70,54 \%)}.$$

Таким образом, из 1000 мух доминантными гомозиготами в пятом поколении будет 705 шт.

5. Определяем количество доминантных гомозигот при равновесном состоянии популяции:

$$P_{\text{равн.}} = p^2 Br Br_{\text{равн.}} = (p Br_{\text{равн.}})^2 = 0,33^2 = 0,1089 \text{ (или 10,89 \%)}.$$

Таким образом, из 1000 мух доминантными гомозиготами при равновесном состоянии популяции будет 109 шт.

### Задание 3. Ознакомиться с понятием темп мутирования

Темп мутирования для оценки частоты возникновения доминантных аллелей, т. е.  $a \rightarrow A$ , оценивается путем простого подсчета числа доминантных потомков, появившихся от рецессивных родителей.

В случае появления рецессивных аллелей, т. е.  $A \rightarrow a$  этот простой метод оценки темпа мутирования не применим, т. к. в гетерозиготном состоянии мутации не сказываются на фенотипе. Поэтому для оценки частоты возникновения рецессивных мутаций используют уравнения, определяющие равновесную частоту аллеля в результате процессов мутации и отбора. Те же уравнения применимы и для оценки частоты доминантных мутаций.

Для доминантных аллелей, когда отбору подвергаются гомозиготные и гетерозиготные особи, темп мутирования доминантных аллелей ( $p^*A$ ) равен частному от деления величины давления мутаций  $u$  на величину коэффициента отбора  $S$  (формула 7):

$$p^*A = \frac{u}{S}. \quad (7)$$

В случае рецессивных мутаций отбору подвергаются только особи, имеющие мутацию в гомозиготном состоянии. При условии, что такие особи не оставляют потомства, т. е. при  $S = 1$ , их число будет равно числу возникающих мутаций:  $q^2aa = u$ . Тогда темп мутирования рецессивных аллелей ( $q^*a$ ) определяется по формуле 8:

$$q^*a = \sqrt{u}. \quad (8)$$

В случае если  $S < 1$ , то соотношение частоты мутаций и частоты появления гомозиготных особей имеет вид:  $q^2aa = u \cdot S$ . Следовательно, темп мутирования рецессивных аллелей равен (формула 9):

$$q^*a = \sqrt{u \cdot S}. \quad (9)$$

### Лабораторная работа: изучение темпов мутирования (оценка совместного действия отбора и мутации)

**Цель работы:** дать оценку совместному действию отбора и мутационного процесса в популяции кукурузы.

**Материал и оборудование:**

- 1) початки кукурузы;
- 2) микрокалькулятор.

**Ход работы:**

1) Проанализируйте початки гибридной популяции кукурузы на присутствие рецессивной мутации.

2) Подсчитайте число растений с рецессивной мутацией и определите частоту рецессивного аллеля ( $qs$ ).

3) Определите темп мутирования рецессивного аллеля при указанной величине  $S$  (вероятность потери мутантного аллеля в связи с пониженной всхожестью рецессивных гомозиготных генотипов).

4) Определите темп мутирования доминантного аллеля.

5) Сравните полученные результаты и сформулируйте выводы.

### Пример.

У кукурузы рецессивная мутация  $s$  – сморщенность семян совершается со скоростью  $u = 1,2 \cdot 10^{-6}$  на одно поколение.

Среди 100 початков кукурузы 8 имели сморщенные зерна.

Определите равновесную частоту мутаций (темп мутирования рецессивного аллеля) при  $S = 0,2$ .

### Решение.

#### Кукуруза

Характер семян.

$S$  – выполненные;

$s$  – сморщенные;

$N = 100$  растений;

$n_Q = 8$  растений;

$u = 1,2 \cdot 10^{-6}$ .

1. Определяем частоту рецессивного генотипа в исходном поколении:

$$Q = q^2_{ss} = \frac{n_Q}{N} = \frac{8}{100} = 0,08 \text{ (или 8 \%)}.$$

2. Определяем частоту рецессивного аллеля  $s$ :

$$qs = \sqrt{q^2_{ss}} = \sqrt{0,08} = 0,28.$$

3. Определяем частоту доминантного аллеля  $S$ :

$$pS = 1 - qs = 1 - 0,28 = 0,72.$$

4. Зная скорость мутационного процесса и коэффициент отбора, определяем темп мутирования доминантного и рецессивного аллелей по формулам 7 и 9:

$$p^*S = \frac{u}{S} = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{0,2} = 6 \cdot 10^{-6} = 0,000006.$$

$$q^*s = \sqrt{u \cdot S} = \sqrt{1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2} = \sqrt{0,00000024} = 0,00049.$$

5. Сравниваем полученные значения частот аллелей и темпа мутирования аллелей и формулируем вывод:

$$\frac{qs}{q^*s} = \frac{0,28}{0,00049} = 571,4;$$

Темп мутирования рецессивного аллеля составляет  $4,9 \cdot 10^{-4}$ , что в 571 раз ниже, чем его частота.

$$\frac{pS}{p^*S} = \frac{0,72}{0,000006} = 120000.$$

Темп мутирования доминантного аллеля составляет  $6 \cdot 10^{-6}$ , что в 120000 раз ниже, чем его частота.

В соответствии с вариантами, приведенными в табл. 2, рассчитайте темп мутирования рецессивного и доминантного аллелей для указанных показателей (S и u).

Таблица 2. Задания для лабораторной работы.

Вариант	Число проанализированных растений, шт	Рецессивная мутаций	Число растений с рецессивной мутацией, шт.	Частота возникновения прямых мутаций, u	Коэффициент отбора, S
1	100	Сморщенные семена	5	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,2
2	100	Бесцветный алейрон	4	$3 \cdot 10^{-5}$	0,1
3	100	Сахаристый эндосперм	11	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,2
4	100	Сморщенные семена	9	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,3
5	100	Бесцветный алейрон	13	$3 \cdot 10^{-5}$	0,5
6	100	Сахаристый эндосперм	1	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,1
7	100	Сморщенные семена	2	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,4
8	100	Бесцветный алейрон	12	$3 \cdot 10^{-5}$	0,3
9	100	Сахаристый эндосперм	6	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,5
10	100	Сморщенные семена	17	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,1
11	100	Бесцветный алейрон	20	$3 \cdot 10^{-5}$	0,5
12	100	Сахаристый эндосперм	7	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,4
13	100	Сморщенные семена	14	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,2
14	100	Бесцветный алейрон	10	$3 \cdot 10^{-5}$	0,4
15	100	Сахаристый эндосперм	8	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,3
16	100	Сморщенные семена	15	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,5
17	100	Бесцветный алейрон	18	$3 \cdot 10^{-5}$	0,1
18	100	Сахаристый эндосперм	19	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,4
19	100	Сморщенные семена	16	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,3
20	100	Бесцветный алейрон	3	$3 \cdot 10^{-5}$	0,2

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Чем измеряется скорость (частота) мутирования?
2. Что такое мутационное давление?
3. Как определить изменение частоты аллеля А в популяции при наличии прямого и обратного мутирования?
4. Как определить изменение частоты аллеля а в популяции за поколение при наличии прямого и обратного мутирования?
5. Что происходит с мутационным давлением при переходе популяции в равновесное состояние?
6. Как определить равновесную частоту доминантного аллеля?

7. Как определить равновесную частоту рецессивного аллеля?
8. Как определить частоту аллеля в n-ом поколении при наличии мутационного процесса?
9. Что такое темп мутирования?
10. Как рассчитать темп мутирования доминантных и рецессивных аллелей?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. У ржи рецессивная мутация  $wel$ , обуславливающая бело-зеленое основание листа, возникает с частотой  $3 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $1,5 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 500 проанализированных растений 20 растений имеют бело-зеленое основание листа.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в третьем поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в третьем поколении?
3. Сколько растений могут быть доминантными гомозиготами в третьем поколении?
4. При каких значениях  $p_{Wel}$  и  $q_{wel}$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько растений могут быть доминантными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

2. У кукурузы рецессивная мутация пурпурного эндосперма ( $pr$ ) возникает с частотой  $1,1 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $0,5 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 1000 проанализированных растений 16 имеет пурпурный эндосперм.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в следующем поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в пятом поколении?
3. Сколько растений могут быть доминантными гомозиготами в пятом поколении?
4. При каких значениях  $p_{Pr}$  и  $q_{pr}$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько растений могут быть доминантными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

3. У люцерны рецессивная мутация  $kl$ , обуславливающая стерильность и гибель семян, возникает с частотой  $5 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $2 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждой 1000 растений 10 имеют стерильные семечки.

Темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в десятом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в десятом поколении?
3. Сколько растений могут быть рецессивными гомозиготами в десятом поколении?
4. При каких значениях  $p_{Kl}$  и  $q_{kl}$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько растений могут быть рецессивными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

4. У подсолнечника рецессивная мутация альбинизма с возникает с частотой  $2,9 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $1 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 250 проанализированных растений 10 имеют альбинизм.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в девятом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в девятом поколении?
3. Сколько растений могут быть рецессивными гомозиготами в девятом поколении?
4. При каких значениях  $p_A$  и  $q_a$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько растений могут быть рецессивными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

5. У кукурузы рецессивная мутация  $b$ , обуславливающая бесцветный алейрон, возникает с частотой  $3 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из 2000 проанализированных растений 22 имеют бесцветный алейрон.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в четвертом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в четвертом поколении?
3. Сколько растений могут быть гетерозиготами в четвертом поколении?
4. При каких значениях  $p_B$  и  $q_b$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько растений могут быть гетерозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

6. У кишечной палочки рецессивная мутация  $г$ , обуславливающая устойчивость к стрептомицину, возникает с частотой  $3 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $1,9 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 1000 проанализированных особей 15 были устойчивы к стрептомицину.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в седьмом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в седьмом поколении?
3. Сколько особей могут быть гетерозиготами в седьмом поколении?
4. При каких значениях  $p_R$  и  $q_r$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько особей могут быть гетерозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

7. У мышей рецессивная мутация розовых глаз с возникает с частотой  $8,5 \cdot 10^{-6}$ . Частота обратных мутаций достигает  $4 \cdot 10^{-6}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 250 проанализированных животных 15 имеют розовые глаза.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в восьмом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в восьмом поколении?
3. Сколько животных могут быть доминантными гомозиготами в восьмом поколении?
4. При каких значениях  $p_A$  и  $q_a$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько животных могут быть доминантными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

8. У воробьев рецессивная мутация укороченного клюва возникает с частотой  $5,5 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $2 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждой 1000 воробьев 12 имеют укороченный клюв.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля во втором поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля во втором поколении?
3. Сколько птиц могут быть рецессивными гомозиготами во втором поколении?
4. При каких значениях  $p_A$  и  $q_a$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько птиц могут быть рецессивными гомозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

9. У дрозофилы рецессивная мутация безглазости возникает с частотой  $6 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $3 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из каждых 10000 мух 115 не имеют глаз.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в шестом поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в шестом поколении?
3. Сколько мух могут быть гетерозиготами в шестом поколении?
4. При каких значениях  $p_A$  и  $q_a$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько мух могут быть гетерозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?

10. У человека врожденное отсутствие радужной оболочки (рецессивная мутация) возникает с частотой  $5 \cdot 10^{-5}$ . Частота обратных мутаций достигает  $2,5 \cdot 10^{-5}$ .

В исходной панмиктической популяции из 10000 человек 10 не имеют радужной оболочки.

Допустим, что темпы прямых и обратных мутаций сохраняются на одном и том же уровне в ряду поколений.

1. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в следующем поколении?
2. Чему будет равна частота доминантного аллеля в следующем поколении?
3. Сколько человек могут быть гетерозиготами в следующем поколении?
4. При каких значениях  $p_A$  и  $q_a$  популяция окажется в равновесном состоянии?
5. Сколько человек может быть гетерозиготами в популяции при ее равновесном состоянии?