

# ШШШ

ШКОЛЬНАЯ ПРОГРАММА

---

---

Л.Н. Песецкая Г.Г. Гончаренко

## СБОРНИК ЗАДАЧ С РЕШЕНИЯМИ ПО ГЕНЕТИКЕ

---

---



ШКОЛЬНАЯ ПРОГРАММА

Л. Н. Песецкая, Г. Г. Гончаренко

**СБОРНИК ЗАДАЧ  
С РЕШЕНИЯМИ  
ПО ГЕНЕТИКЕ**



Минск  
«Сэр-Вит»  
2004

УДК 575(075.8)  
ББК 28.04я73  
П28

Серия основана в 2002 г.

Рецензенты:

Проф. каф. биологии человека Международного государственного экологического университета им. А. Д. Сахарова, д-р биол. наук *М. С. Морозик*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Конец XX века ознаменовался бурным развитием биологических дисциплин и прежде всего генетики. В последние годы генетика становится одним из главных разделов биологии.

Благодаря достижениям современной генетики стали успешно решаться вопросы производства продуктов питания за счет создания высокопродуктивных сельскохозяйственных животных и растений, начато успешное лечение наследственных заболеваний на геномном уровне, а также конструктивно разрабатываются вопросы управления генофондами популяций наиболее ценных животных и растений.

Повышение интереса к генетике обуславливает необходимость издания учебно-методических пособий, которые способствовали бы доведению до школьников и абитуриентов в доступной форме соответствующих генетических знаний.

Основной целью нашего учебно-методического пособия является оказание помощи старшеклассникам, абитуриентам, студентам младших курсов в решении генетических задач, что будет способствовать более глубокому усвоению и закреплению знаний по основным разделам генетики. Кроме того, авторы уделили определенное внимание отдельным аспектам медицинской генетики, предполагая, что часть абитуриентов свяжет свою судьбу с медициной.

Необходимость появления такого пособия вызвана также тем, что в республике современная учебно-методическая литература по вопросам генетики для школьников и абитуриентов практически отсутствует.

Сборник задач включает пять разделов. В каждом из них имеется краткое введение, которое позволит обучающимся сразу же перейти к решению задач. В разделах подобраны типовые задачи с полными решениями и приводится широкий спектр задач для самостоятельного решения, к которым даются ответы. Задачи повышенной сложности в сборнике отмечены «\*».

**П28 Песецкая Л. Н., Гончаренко Г. Г.**  
Сборник задач с решениями по генетике: Пособие. (2-е издание, переработанное и дополненное). — Мн., 2004. — 144 с.  
ISBN 985-419-203-2.

Пособие содержит 277 задач по генетике с ответами. Это задачи по основным разделам классической и современной генетики, включая молекулярную генетику и генетическую инженерию. В каждом из разделов даны примеры решений типовых задач.

Пособие рекомендуется использовать при изучении программы средней общеобразовательной школы базового уровня и школьных программ профильного и углубленного уровней, при подготовке к сдаче экзамена в форме тестирования за курс средней школы.

Предназначается для школьников, лицеистов, слушателей подготовительных отделений ВУЗов, абитуриентов и студентов младших курсов.

УДК 575(075.8)  
ББК 28.04я73

Учебное издание

**Песецкая Людмила Николаевна, Гончаренко Григорий Григорьевич**

**Сборник задач с решениями по генетике**

Ответственный за выпуск **Т. Н. Дрозд**  
Компьютерная верстка **И. В. Уткина**

Подписано в печать с готовых диапозитивов 05.02.2004. Формат 60×84/16. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 6,24. Тираж 3100 экз. Заказ 273.

Общество с ограниченной ответственностью «Сэр-Вит». Лицензия ЛВ № 35 от 27.08.2002.

220123, Минск, ул. М. Богдановича, 129а.

Тел./факс (017) 234-37-44, 234-22-31, 234-43-08. E-mail: ser-vit@mail.ru; ser-vit03@yandex.ru.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство «Белорусский Дом печати».  
220013, Минск, пр. Ф. Скорины, 79.

ISBN 985-419-203-2

© Л. Н. Песецкая, Г. Г. Гончаренко, 2004

© Оформление. «Сэр-Вит», 2004



Авторы данного пособия, используя свой многолетний педагогический опыт, стремились рассмотреть вопросы классической генетики с учетом современных достижений этой науки. Считаем, что настоящий сборник задач поможет школьникам, абитуриентам, слушателям подготовительных отделений приобрести навыки решения задач по генетике, что позволит более полноценно подготовиться к сдаче конкурсных экзаменов по биологии в высшие учебные и средние специальные заведения. Пособие будет также полезно для студентов младших курсов, преподавателей средних школ и подготовительных отделений ВУЗов. Оно может быть использовано на уроках, факультативных занятиях и для проведения контрольных работ в школах, гимназиях и лицеях.

Авторы желают читателям успехов в изучении генетики.

## 1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

В задачах по генетике используется общепринятая символика. Скрещивание обозначается значком  $\times$ , материнский организм — ♀ — символом планеты Венера (зеркало Венеры), отцовский — ♂ — символом планеты Марс (щит и копьё Марса). При написании схемы скрещивания на первое место ставится **генотип** материнской особи, на второе — отцовской (знаки ♀, ♂ можно опустить). Родительские организмы, взятые для скрещивания, обозначаются латинской буквой P (*parenta* — родители). Потомство, полученное в результате скрещивания особей, различающихся наследственными задатками, называется **гибридами**, а совокупность таких гибридов — гибридным поколением. **Гибридное потомство** обозначается латинской буквой F (*filii* — дети) с цифровым индексом, соответствующим порядковому номеру данного поколения: F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, ... , F<sub>n</sub>.

**Гены**, обуславливающие развитие того или иного признака, принято обозначать буквами латинского алфавита. **Доминантные гены** обозначаются заглавными буквами, **рецессивные** — строчными. Например, доминантный ген желтой окраски семян гороха — A, рецессивный ген зеленой окраски — a. У каждого диплоидного организма в норме эти задатки парные: один ген он получает с **гаметой** от матери, другой — от отца. Каждый из генов пары называется **аллелью**. **Неаллельные гены** определяют разные признаки (цвет и форма семян). Неаллельные гены обозначаются разными буквами алфавита. Например, A и B.

В гамете всегда находится один ген из каждой пары аллельных генов. Обычно гаметы (G) обозначаются кружком, внутри которого вписаны соответствующие буквенные обозначения генов: (A) или (a), (B) или (b).

При написании генотипов доминантные гены каждой аллели пишутся на первом, а рецессивные — на втором месте.



Генотип можно записывать в генном ( $AA, Aa, aa; AABB, AaBb$  и т.д.)

и в хромосомном ( $\begin{matrix} A & A & a & A & B & A & B \\ = & = & = & = & = & = & = \\ A & a & a & A & B & a & b \end{matrix}$  и т.д.) выражениях.

Условие задачи записывается в виде таблички, где указываются гены, контролируемые ими признаки и генотипы, и в виде схемы скрещивания, в которой приведены либо генотипы, либо фенотипы всех упомянутых в задаче особей.

**Моногибридное скрещивание.** Моногибридным называется такое скрещивание, при котором родители отличаются одной парой изучаемых альтернативных признаков. Г. Мендель определил, что *при скрещивании гомозиготных особей, отличающихся одной парой признаков, все потомство фенотипически единообразно* (I закон или закон единообразия гибридов первого поколения). Например, при скрещивании гомозиготного желтого гороха (генотип  $AA$ ) с гомозиготным зеленым горохом (генотип  $aa$ ) все потомство будет желтым, но гетерозиготным (генотип  $Aa$ ):

P	♀	$AA$	×	♂	$aa$
G		(A)			(a)
F <sub>1</sub>		$Aa$			

Далее Менделем было установлено: *при скрещивании гибридов F<sub>1</sub> между собой во втором поколении происходит расщепление признаков на исходные родительские в отношении 3 : 1; 3/4 потомков оказываются с признаками, обусловленными доминантным геном, 1/4 — с признаками рецессивного гена* (II закон или закон расщепления):

P <sub>F<sub>1</sub></sub>	♀	$Aa$	×	♂	$Aa$
G		(A)		(a)	(A) (a)
F <sub>2</sub>		$AA$		$Aa$	$Aa$
		3			1
				$aa$	

В генетике различают еще **анализирующее скрещивание** — скрещивание гибрида с гомозиготной рецессивной особью:

P	♀	$Aa$	×	♂	$aa$
G		(A)		(a)	(a)
F <sub>1</sub>		$Aa$			$aa$

**Дигибридное и полигибридное скрещивание.** Дигибридным называют такое скрещивание, при котором родители отличаются друг от друга по двум парам изучаемых альтернативных признаков.

Мендель использовал для дигибридного скрещивания гомозиготные растения гороха, различающиеся по двум парам признаков (окраске и форме семян), находящиеся в двух парах гомологичных хромосом. Если сделать анализ потомства в F<sub>2</sub> по двум признакам, то расщепление будет в отношении 9 : 3 : 3 : 1 или (3 : 1)<sup>2</sup>. То есть, *расщепление по каждой паре признаков идет независимо от других пар признаков* (III закон или закон независимого наследования признаков).

Решение задач на дигибридное скрещивание облегчается при использовании **решетки Пеннета**, составляемой соответственно числу возможных вариантов гамет. При скрещивании дигибридов она будет включать четыре типа мужских гамет, которые записываются по горизонтали, и четыре типа женских гамет, которые записываются по вертикали. Запись гамет следует производить в строго определенном порядке, как это показано ниже:

P	♀	$AABB$	×	♂	$aabb$
G		(AB)			(ab)
F <sub>1</sub>		$AaBb$			
P <sub>F<sub>1</sub></sub>	♀	$AaBb$	×	♂	$AaBb$
G		(AB)	(Ab)	(aB)	(ab)
		(AB)	(Ab)	(aB)	(ab)

При анализе второго поколения видно, что образуется 9 генотипов:  $AABB, AABb, AaBB, AaBb, AAbb, Aabb, aaBB, aaBb, aabb$  и 4 фенотипа: желтый гладкий; зеленый гладкий; желтый морщинистый; зеленый морщинистый.

В целях сокращения записи сходные фенотипы иногда обозначают **фенотипическим радикалом** — это та часть генотипа организма, которая определяет его фенотип. Для дигибридного скрещивания:

$$9 A\_B\_ : 3 A\_bb : 3 aaB\_ : 1 aabb.$$

Решение задач на ди- и полигибридное скрещивание во многих случаях может производиться без вычерчивания решетки



Пеннета. Важно помнить математические закономерности при различных типах скрещивания, которые представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Количественные закономерности образования гамет и расщепления гибридов при разных типах скрещивания

Учитываемые факторы	Тип скрещивания			
	моногибридное	дигибридное	тригибридное	полигибридное
Число типов гамет, образуемых гибридом $F_1$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	$2^n$
Число зигот при образовании $F_2$	$4^1$	$4^2$	$4^3$	$4^n$
Число фенотипов в $F_2$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	$2^n$
Число генотипов в $F_2$	$3^1$	$3^2$	$3^3$	$3^n$
Расщепление по фенотипу	$(3+1)^1$	$(3+1)^2$	$(3+1)^3$	$(3+1)^n$
Расщепление по генотипу	$(1+2+1)^1$	$(1+2+1)^2$	$(1+2+1)^3$	$(1+2+1)^n$

**Неполное доминирование.** При неполном доминировании доминантный ген не полностью подавляет действие аллельного гена. У гетерозигот функционирующими оказываются оба гена, поэтому в фенотипе признак выражается в виде промежуточной формы. Закон единообразия гибридов первого поколения при неполном доминировании не теряет своего значения. Но во втором поколении потомство расщепляется фенотипически на три класса в отношении 1 : 2 : 1.

**Взаимодействия неаллельных генов.** Явление, когда за один признак отвечает несколько генов (аллелей), называется **взаимодействием генов**. Если это аллели одного и того же гена, то такие взаимодействия называются **аллельными**, в случае разных генов — **неаллельными**.

Выделяют следующие типы аллельных взаимодействий: **доминирование**, **неполное доминирование** (оба взаимодействия рассмотрены выше), **градуальное** (накопительное) **действие генов**, **сверхдоминирование** (более сильное проявление признака у гетерозиготной особи  $Aa$ , чем у любой из гомозигот  $AA$  и  $aa$ ) и **кодоминантность**.

Неаллельные взаимодействия генов: **комплементарность**, **эпистаз** и **полимерия**. Типы неаллельных взаимодействий генов показаны в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Типы неаллельных взаимодействий генов

Тип взаимодействия	Расщепление признаков в $F_2$	Примеры
Комплементарность — это взаимодействие двух неаллельных генов, ведущее к появлению нового признака.	9 : 3 : 3 : 1	Наследование окраски оперения у попугайчиков.
	9 : 6 : 1	Появление плодов дисковидной формы у тыкв сферической формы.
	9 : 7	Наследование окраски цветков у душистого горошка.
Эпистаз — это вид взаимодействия неаллельных генов, при котором происходит подавление действия аллеля одного гена аллелем другого гена.	12 : 3 : 1	Доминантный эпистаз. Расщепление по масти у лошадей.
	13 : 3	Наследование окраски оперения у кур. Рecessивный эпистаз.
	9 : 3 : 4	Наследование красной, желто-коричневой и белой окраски семян у фасоли.
Полимерия — это взаимодействие нескольких неаллельных генов с одинаковым действием.	1 : 4 : 6 : 4 : 1 (15 : 1)	Кумулятивная полимерия. Наследование окраски зерен пшеницы.
	15 : 1	Некумулятивная полимерия. Наследование формы стручков у пастушьей сумки.

**Сцепленное наследование.** Т. Морган и его школа создали хромосомную теорию наследственности и показали, что причина сцепления генов — это расположение их в одной хромосоме. Весь комплекс генов, локализованных в одной хромосоме, называют **группой сцепления**.

События, приведшие Моргана к открытию сцепления, можно проиллюстрировать одним из его экспериментов на дрозофиле.

Скрещивались мушки с черным телом ( $bb$ ) и длинными крыльями ( $VV$ ) с мухами с серым телом ( $BB$ ) и зачаточными крыльями ( $vv$ ). В первом поколении все потомство было серым длиннокрылым.

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad \frac{bV}{bV} \quad \times \quad \frac{Bv}{Bv} \\
 G \quad \quad \textcircled{bV} \quad \quad \quad \textcircled{Bv} \\
 F_1 \quad \quad \quad \frac{Bv}{bV}
 \end{array}$$

серые длиннокрылые

При скрещивании рецессивной по обоим признакам самки с гибридным самцом из первого поколения образовалось 50% серых мух с зачаточными крыльями и 50% мух с черным телом и длинными крыльями:

$$\begin{array}{l}
 P_{F_1} \quad \text{♀} \quad \frac{bv}{bv} \quad \times \quad \frac{Bv}{bV} \\
 G \quad \quad \textcircled{bv} \quad \quad \quad \textcircled{Bv} \quad \textcircled{bV} \\
 F_2 \quad \quad \frac{Bv}{bv} \quad \quad \quad \frac{bV}{bv} \\
 \quad \quad \text{серые} \quad \quad \quad \text{черные} \\
 \quad \quad \text{зачаточнокрылые} \quad \quad \text{длиннокрылые} \\
 \quad \quad \quad 50\% \quad \quad \quad 50\%
 \end{array}$$

Если же скрещивается дигетерозиготная самка из первого поколения с гомозиготным рецессивным самцом, то результат иной. Наиболее многочисленными (83%) оказались мухи с сочетанием признаков, которое было у родительских форм (серое тело с зачаточными крыльями и черное тело с длинными крыльями). Мухи с новыми комбинациями признаков (черное тело, зачаточные крылья и серое тело, длинные крылья) составили 17%.

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad \frac{bV}{bV} \quad \times \quad \text{♂} \quad \frac{Bv}{Bv} \\
 G \quad \quad \textcircled{bV} \quad \quad \quad \textcircled{Bv} \\
 F_1 \quad \quad \quad \frac{Bv}{bV} \\
 \quad \quad \quad \text{серые длиннокрылые}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 P_{F_1} \quad \text{♀} \quad \frac{Bv}{bV} \quad \times \quad \text{♂} \quad \frac{bv}{bv} \\
 G \quad \textcircled{Bv} \quad \textcircled{bV} \quad \textcircled{bv} \quad \textcircled{BV} \quad \quad \quad \textcircled{bv} \\
 F_2 \quad \frac{Bv}{bv} \quad : \quad \frac{bV}{bv} \quad : \quad \frac{bv}{bv} \quad : \quad \frac{BV}{bv} \\
 \quad \text{серые} \quad \quad \quad \text{черные} \quad \quad \quad \text{черные} \quad \quad \quad \text{серые} \\
 \quad \text{зачаточно-} \quad \quad \text{длинно-} \quad \quad \text{зачаточно-} \quad \quad \text{длинно-} \\
 \quad \text{крылые} \quad \quad \text{крылые} \quad \quad \text{крылые} \quad \quad \text{крылые} \\
 \quad 41,5\% \quad \quad 41,5\% \quad \quad 8,5\% \quad \quad 8,5\%
 \end{array}$$

Данные результаты свидетельствуют о наличии сцепления генов и кроссинговера между ними.

Если в гаметогенезе происходит кроссинговер между гомологичными хромосомами, то говорят о неполном сцеплении генов, которое характерно для растений и животных. Исключением являются самцы дрозофилы и самки тутового шелкопряда, у которых кроссинговер не происходит.

На основании полученных результатов в опытах с дрозофиллой, Т. Морган сформулировал следующее правило: *гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются преимущественно, сцеплено, причем, сила сцепления зависит от расстояния между генами.*

Отдельные теоретические моменты, касающиеся сцепленного наследования и кроссинговера, вынесены в решение задач.

Зная расстояние между генами, можно строить **генетические карты**. Генетическая карта хромосомы представляет собой отрезок прямой, на котором обозначен порядок расположения генов и указано расстояние между ними в **морганидах (М)**. Морганида — это единица генетической карты, равная 1% кроссинговера. Она является мерой относительного расстояния между локусами хромосомы.

**Сцепленное с полом наследование.** Хромосомное определение пола — это наиболее распространенный механизм, связанный с наличием особых **половых хромосом**, детерминирующих формирование мужского и женского полов. Все остальные хромосомы, не связанные с определением пола, называются **аутосомами**.



Признаки, гены которых локализованы в половых хромосомах, называются **сцепленными с полом**.

Половые хромосомы у женщин одинаковы, их называют X-хромосомами. Все яйцеклетки содержат по одной X-хромосоме. Пол, который образует гаметы, одинаковые по половой хромосоме, называется **гомогаметным** и обозначается как XX.

У мужчин имеется одна X-хромосома и одна Y-хромосома. При сперматогенезе образуются гаметы двух сортов. Пол, который образуют гаметы неодинаковые по половой хромосоме, называется **гетерогаметным** и обозначается как XY.

**Множественный аллелизм. Группы крови.** Ген, определяющий группу крови по системе АВО, обозначается *I*. Число аллелей у гена *I* — три:  $I^O$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Состояние, когда один ген имеет несколько аллельных форм, называется **множественным аллелизмом**. В различных сочетаниях генов образуются четыре группы крови: первая с генотипом  $I^O I^O$ , вторая —  $I^A I^A$  или  $I^A I^O$ , третья —  $I^B I^B$  или  $I^B I^O$ , четвертая —  $I^A I^B$ . В IV группе крови  $I^A I^B$  оба гена равнозначны — наследуются по принципу кодоминирования (не подавляя друг друга).

**Плейотропия** — это явление, при котором один ген влияет на проявление нескольких признаков. Так, у гомозиготных серых каракульских овец ген *W* детерминирует и серую окраску шерсти, и недоразвитие желудка. Примером плейотропного действия гена у человека является заболевание серповидноклеточной анемией. Мутация по этому гену приводит к замене двух аминокислот в двух цепочках из четырех в молекуле гемоглобина, что изменяет форму эритроцитов и вызывает нарушения в сердечно-сосудистой, пищеварительной, выделительной и нервной системах. В гомозиготном состоянии эта мутация является летальной в детском возрасте.

## ЗАДАЧИ

### 1.1. Моногибридное скрещивание

**1.1.** Выпишите типы гамет, которые образуются у особей с генотипами: а)  $AA$ ; б)  $Aa$ ; в)  $aa$ .

**Решение.** По формуле  $N = 2^n$ , где  $N$  — число типов гамет, а  $n$  — это количество признаков, по которому данный организм гетерозиготен, определяем число типов гамет у особей следующих генотипов:

а) у особи с генотипом  $AA$  — один тип гамет ( $2^0 = 1$ ): P  $AA$

G  $(A)$

б) у особи с генотипом  $Aa$  — два типа гамет ( $2^1 = 2$ ): P  $Aa$

G  $(A)$

в) у особи с генотипом  $aa$  — один тип гамет ( $2^0 = 1$ ): P  $aa$

G  $(a)$

**1.2.** Иммуность овса к головне доминирует над поражаемостью этой болезнью.

а) Какое потомство получится от скрещивания гомозиготных иммунных особей с растениями, поражаемыми головней?

б) Какое потомство получится от скрещивания гибрида первого поколения с растением, лишенным иммунитета?

**Решение.** Прежде чем решать задачу, необходимо уяснить характер анализируемых признаков и правильно произвести запись определяющих их генов. В данной задаче имеем дело с одной парой аллельных генов, один из которых определяет невосприимчивость овса к головне, второй, аллельный ему ген, не обладает свойствами защищать организм от заболевания. Ген иммунности — доминантный ген, обозначим буквой *A*. Ген, не способный защитить организм от заражения головней, рецессивный, обозначим буквой *a*. Эти условия задачи можно записать в виде таблицы.

Признак	Ген	Генотип
Невосприимчивость к головне	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Поражаемость головней	<i>a</i>	<i>aa</i>

По условию а) скрещиваются два гомозиготных растения, одно из которых обладает иммунитетом, второе — нет. Следовательно, генотип первого растения будет *AA*, второго — *aa*.

У первого растения возможны гаметы только одного типа, содержащие ген *A*, у второго — тоже только одного типа, содержащие ген *a*. При слиянии таких гамет все потомство будет гибридным, или гетерозиготным, содержащим и доминантный и рецессивный гены: *Aa*. Фенотипически все потомство будет устойчивым к головне (правило Менделя о единообразии гибридов в первом поколении).

$$\begin{array}{l}
 \text{P } \text{♀} \quad AA \quad \times \quad \text{♂} \quad aa \\
 \text{G} \quad \quad (A) \quad \quad (a) \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad Aa
 \end{array}$$

Запись решения можно произвести и другим способом. Составляется решетка, в которой по одной оси записываются возможные гаметы одного родителя, по другой оси — гаметы второго родителя:

Гаметы	<i>A</i>	<i>A</i>
<i>a</i>		
<i>a</i>		

На перекрестках вписываются возможные варианты слияния гамет, что соответствует возможным вариантам генотипов потомства:

Гаметы	<i>A</i>	<i>A</i>
<i>a</i>	<i>Aa</i>	<i>Aa</i>
<i>a</i>	<i>Aa</i>	<i>Aa</i>

По условию б) скрещивается гибрид первого поколения (*Aa*) с растением, лишенным иммунитета (*aa*). Решение можно осуществить по схеме:

$$\begin{array}{l}
 \text{P } \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad aa \\
 \text{G} \quad \quad (A) \quad (a) \quad \quad (a) \\
 \text{F}_1 \quad \quad Aa \quad \quad \quad aa
 \end{array}$$

или произвести следующую запись в решетке:

Гаметы	<i>A</i>	<i>a</i>
<i>a</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>
<i>a</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>

Анализ записей показывает, что половина потомства будет гетерозиготным и, следовательно, устойчивым к головне, другая половина — гомозиготные по рецессивному гену растения, поражаемые головней.

1.3. При скрещивании чистой линии мышей с коричневой шерстью с чистой линией мышей с серой шерстью получаются потомки с коричневой шерстью. В  $F_2$  от скрещивания между этими мышами  $F_1$  получаются коричневые и серые мыши в отношении 3 : 1.

а) Дайте полное объяснение этим результатам.

б) Каким будет результат скрещивания гетерозиготы с коричневой шерстью из поколения  $F_2$  с серой особью из чистой родительской линии?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Коричневая шерсть	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Серая шерсть	<i>b</i>	<i>bb</i>

$$\begin{array}{l}
 \text{а) P } \text{♀} \quad BB \quad \times \quad \text{♂} \quad bb \\
 \text{G} \quad \quad (B) \quad \quad (b) \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad Bb \\
 \text{Все коричневые}
 \end{array}$$

В случае моногибридного скрещивания гомозиготной особи по доминантному аллелю с особью, гомозиготной по рецессивному аллелю, все потомки будут иметь доминантный фенотип.





При скрещивании гетерозиготных особей в потомстве наблюдается расщепление: три части особей с доминантным признаком и одна часть с рецессивным признаком.



В случае моногибридного скрещивания гетерозиготной особи с особью, гомозиготной по рецессивному аллелю, среди потомков будет равное число особей того и другого фенотипа, в данном случае 50% с коричневой и 50% с серой шерстью.

1.4. Плоды томата бывают круглыми и грушевидными. Ген круглой формы доминирует.

а) Каковы генотипы родительских растений, если в потомстве оказалось круглых и грушевидных плодов поровну?

б) В парниках крестьянского хозяйства высажена рассада томатов, выращенных из гибридных семян. 31750 кустов этой рассады дали плоды грушевидной формы, а 95250 кустов — круглой формы. Сколько среди них гетерозиготных кустов?

**Решение.** Эта задача на установление генотипов родителей по анализу фенотипов потомства. Решение задачи также должно начинаться с уяснения признаков и определяющих генов.

Признак	Ген	Генотип
Круглая форма плодов	$A$	$AA, Aa$
Грушевидная форма плодов	$a$	$aa$

В условиях задачи нам даны лишь соотношения фенотипов в потомстве. Для решения подобных задач необходимо помнить, при скрещивании каких генотипов возможны определенные соотношения фенотипов.

По условию а) в потомстве произошло расщепление фенотипов в отношении 1 : 1. Следовательно, скрещивалось гетерозиготное растение с растением, гомозиготным по рецессивному гену:  $Aa \times aa$ .

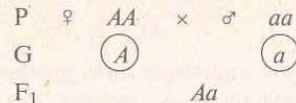
В условиях б) даны количественные соотношения фенотипов. По ним можно установить, что в потомстве на 1 растение, дающее грушевидные плоды, оказалось 3 растения с круглыми плодами 31 750 : 95 250, т.е. отношение 1 : 3. Следовательно, скрещивались гибридные растения ( $Aa \times Aa$ ), и в потомстве должны быть генотипы в следующих отношениях:  $1AA : 2Aa : 1aa$ . Из 95 250 растений с круглыми плодами  $1/3$  приходилась на растения с генотипом  $AA$ , а  $2/3$  — на гетерозиготные растения с генотипом  $Aa$ . Эти  $2/3$  составляют 63 500 растений.

1.5. При скрещивании серых кур с белыми все потомство оказалось серым. В результате второго скрещивания этого серого потомства с белыми получено 172 особи, из которых было 85 белых и 87 серых. Каковы генотипы исходных форм и их потомков в обоих скрещиваниях?

**Решение.** Исходя из условия задачи, нетрудно понять, что серый цвет доминирует над белым.

Признак	Ген	Генотип
Серый цвет	$A$	$AA, Aa$
Белый цвет	$a$	$aa$

При скрещивании серых кур с белыми все потомство оказалось серым. Следовательно, в первом скрещивании родители были гомозиготными  $AA$  и  $aa$ , а потомство оказалось гетерозиготным серым —  $Aa$ .



Во втором скрещивании брались гибриды  $Aa$  и скрещивались с белыми курами  $aa$ . Потомство должно быть наполовину серым  $Aa$ , наполовину белым  $aa$ . Действительное соотношение 85 : 87, близкое отношению 1 : 1, подтверждает это решение.



1.6. Голубоглазый мужчина, родители которого имели карие глаза, женился на кареглазой женщине, у отца которой глаза были голубые, а у матери карие. Какое потомство можно ожидать от этого брака, если известно, что ген карих глаз доминирует над геном голубых?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Карий цвет глаз	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Голубой цвет глаз	<i>a</i>	<i>aa</i>

Прежде чем ответить на прямой вопрос задачи, необходимо установить генотипы мужчины и женщины, вступающих в брак. Если мужчина голубоглазый, то его генотип будет включать два рецессивных гена *aa*. Ссылка на то, что родители мужчины были кареглазыми, не должна нас смущать. Из этого может быть сделан лишь дополнительный вывод о том, что родители были гетерозиготными *Aa* и *Aa*. У женщины глаза карие. Следовательно, у нее обязательно должен быть доминантный ген карих глаз *A*, который она унаследовала от своей матери. Второй ген цвета глаз женщина получила от отца, который был голубоглазым и имел генотип *aa*. Следовательно, женщина гетерозиготна по цвету глаз, ее генотип *Aa*. При браке гетерозиготного родителя *Aa* с гомозиготным по рецессивному гену *aa* равновероятна возможность рождения детей как с карими (*Aa*), так и с голубыми (*aa*) глазами.

$$\begin{array}{l}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad aa \\
 \text{G} \quad \quad (A) \quad (a) \quad \quad (a) \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad Aa : aa
 \end{array}$$

При решении задач применительно к человеку нельзя говорить о прямом отношении 1 : 1, так как точные менделевские соотношения получаются лишь при большой численности потомства или при больших выборках. У человека семья ограничена небольшим числом детей, поэтому можно говорить лишь о вероятности, а не об истинных соотношениях.

1.7. Способность лучше владеть правой рукой у человека доминирует над леворукостью. Женщина-правша, у которой отец был левша, вышла замуж за мужчину-правшу. Можно ли ожидать, что их дети будут левшами? Родословная мужчины по этому признаку не известна.

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Праворукость	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Леворукость	<i>a</i>	<i>aa</i>

Так как женщина обладает способностью лучше владеть правой рукой, в ее генотипе должен быть как минимум один ген *A*. Известно, что отец у нее левша, а следовательно, его генотип *aa*. От отца такая женщина могла получить лишь ген *a*, в силу чего по генотипу она должна быть гетерозиготной — *Aa*. Муж этой женщины тоже правша, но определить его генотип не представляется возможным, так как родословная мужчины по этому признаку не известна. Генотип мужчины следует записать  $A_{\_}$  (черточка указывает на то, что второй ген из пары не известен):

$$P \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad A_{\_}$$

F<sub>1</sub> Возможен ли ребенок-левша — *aa*?

При решении задачи можно сделать два допущения:

а) отец гомозиготен по данному гену — *AA*:

$$\begin{array}{l}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad AA \\
 \text{G} \quad \quad (A) \quad (a) \quad \quad (A) \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad AA, Aa
 \end{array}$$

(у таких родителей рождение детей с леворукостью исключено в силу того, что  $A > a$ )

б) отец гетерозиготен по данному гену — *Aa*:

$$\begin{array}{l}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad Aa \\
 \text{G} \quad \quad (A) \quad (a) \quad \quad (A) \quad (a) \\
 \text{F}_1 \quad \quad AA, Aa, Aa, \quad \quad aa \\
 \quad \quad \quad \text{правши} \quad \quad \quad \text{левши}
 \end{array}$$

(в этом случае имеется вероятность рождения ребенка-левши, равная 0,25).

1.8. У человека ген, вызывающий одну из форм наследственной глухонмоты, рецессивен по отношению к гену нормальному слуха.

а) Какое потомство можно ожидать от брака гетерозиготных родителей?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Нормальный слух	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Глухонмота	<i>b</i>	<i>bb</i>

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad Bb \quad \times \quad \text{♂} \quad Bb \\
 G \quad \text{Ⓚ} \quad \text{Ⓛ} \quad \quad \quad \text{Ⓚ} \quad \text{Ⓛ} \\
 F_1 \quad BB, Bb, \quad Bb, bb
 \end{array}$$

Вероятность рождения здорового ребенка составляет 75%, больного — 25%.

б) От брака глухонемой женщины с нормальным мужчиной родился глухонемой ребенок. Определить генотипы родителей.

**Решение.**

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad bb \quad \times \quad \text{♂} \quad B\_ \\
 G \quad \text{Ⓛ} \quad \quad \quad \text{Ⓚ} \quad \text{—} \\
 F_1 \quad \quad \quad bb
 \end{array}$$

Так как глухонмота — рецессивный признак, то генотип матери будет *bb*. Генотип отца может быть *BB* или *Bb* — в обоих случаях он будет здоров. Но ребенок родился глухонемым, следовательно, один рецессивный ген он получил от матери, а второй — должен был получить от отца. Значит, генотип отца *Bb*.

1.9. Две черные самки мыши скрещены с коричневым самцом. В потомстве первой самки 9 черных и 7 коричневых мышей; у второй — 17 черных особей. Как наследуется окраска шерсти и каковы генотипы родителей?

**Решение.** Проведено два варианта скрещивания мышей:

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad \text{черная} \quad \times \quad \text{♂} \quad \text{коричневый} \\
 F_1 \quad 9 \text{ черных} \quad \text{и} \quad 7 \text{ коричневых} \quad \text{мышей}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad \text{черная} \quad \times \quad \text{♂} \quad \text{коричневый} \\
 F_1 \quad \quad \quad 17 \text{ черных} \quad \text{мышей}
 \end{array}$$

На основании второй схемы скрещивания, где все потомки однообразны по фенотипу и имеют черный цвет шерсти, можно сделать вывод о том, что черная окраска шерсти у мышей является доминантным признаком. Это позволяет ввести в задачу соответствующие обозначения и записать условие в следующем виде:

Признак	Ген	Генотип
Черная окраска	<i>C</i>	<i>CC, Cc</i>
Коричневая окраска	<i>c</i>	<i>cc</i>

Коричневые особи могут иметь только генотип *cc*; черные могут быть и гомозиготными, и гетерозиготными по генотипу *CC* и *Cc*. Поэтому генотипы исходных самок неизвестны, но обе особи обязательно должны нести хотя бы один доминантный ген *C*:

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad C\_ \quad \times \quad \text{♂} \quad cc \\
 G \quad \text{Ⓚ} \quad \text{—} \quad \quad \quad \text{Ⓛ} \\
 F_1 \quad C\_ \quad \quad \quad cc \\
 \quad \quad 9 \quad \quad \quad 7
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad C\_ \quad \times \quad \text{♂} \quad cc \\
 G \quad \text{Ⓚ} \quad \text{—} \quad \quad \quad \text{Ⓛ} \\
 F_1 \quad C \quad \quad \quad \text{—} \\
 \quad \quad 1 \quad \quad \quad 7
 \end{array}$$

В первой схеме в потомстве родились коричневые особи с генотипом *cc*, что возможно только в том случае, если оба родителя несут такой ген. Отсюда делаем вывод, что женская особь гетерозиготна (*Cc*). Черные особи в потомстве также гетерозиготны, поскольку они получили ген *C* от матери, а от отца ген *c*:

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad Cc \quad \times \quad \text{♂} \quad cc \\
 G \quad \text{Ⓚ} \quad \text{Ⓛ} \quad \quad \quad \text{Ⓛ} \\
 F_1 \quad \quad \quad Cc, cc
 \end{array}$$

Первый случай представляет собой анализирующее скрещивание с расщеплением 1 : 1, что вполне соответствует приведенному в задаче количественному соотношению особей в потомстве 9 : 7.

Во втором случае — все потомство однообразно по фенотипу и гетерозиготна, так как мышата, получив от матери ген *C* и со-



ответственно черную окраску шерсти, от отца могли унаследовать лишь ген *c*. Единообразие потомства свидетельствует о том, что исходная женская особь гомозиготна (*CC*):

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad \text{CC} \quad \times \quad \text{♂} \quad \text{cc} \\
 \text{G} \quad \quad \text{(C)} \quad \text{(C)} \quad \quad \quad \text{(c)} \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad \quad \quad \text{Cc}
 \end{array}$$

Таким образом, вывод о генотипе исходных родительских особей делаем на основании расщепления в потомстве.

**1.10.** Миоплегия (периодически повторяющиеся параличи конечностей) передается по наследству как доминантный признак. Определите вероятность рождения детей с аномалиями в семье, где отец гетерозиготен, а мать не страдает миоплегией.

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Миоплегия (болезнь)	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Норма	<i>a</i>	<i>aa</i>

Отец гетерозиготен, следовательно, его генотип *Aa*. Мать не страдает заболеванием, она гомозиготна по рецессивному гену, ее генотип *aa*.

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad \text{aa} \quad \times \quad \text{♂} \quad \text{Aa} \\
 \text{G} \quad \quad \text{(a)} \quad \quad \quad \text{(A)} \quad \text{(a)} \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad \quad \quad \text{Aa} : \text{aa}
 \end{array}$$

При браках *Aa* и *aa* равновероятна возможность рождения как больных, так и здоровых детей — 50% : 50%.

**1.11.** Фенилкетонурия характеризуется слабоумием при избытке фенилаланина в крови из-за отсутствия фермента, расщепляющего данную аминокислоту, и наследуется как рецессивный признак. Какими могут быть дети в семье, где родители гетерозиготны по этому признаку?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Норма	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Фенилкетонурия (болезнь)	<i>a</i>	<i>aa</i>

В брак вступают гетерозиготные родители *Aa* и *Aa*. Фенотипически они здоровы. При браках гетерозиготных родителей вероятны генотипы детей: *AA* — 25%, *Aa* — 50%, *aa* — 25%. Следовательно, вероятность рождения здоровых детей равна 75%, вероятность рождения детей больных фенилкетонурией — 25%.

**1.12.** Галактоземия наследуется как аутосомный рецессивный признак. Это заболевание углеводного обмена, обусловленное неспособностью использовать галактозу. Характеризуется накоплением в крови галактозы и отставанием в физическом и умственном развитии. Какова вероятность рождения больных детей в семье, где один из супругов гомозиготен по гену галактоземии, но развитие болезни у него предотвращено диетой, а второй гетерозиготен по галактоземии?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Норма	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Галактоземия	<i>a</i>	<i>aa</i>

По условиям задачи один из супругов страдал галактоземией, следовательно, его генотип включает два рецессивных гена *aa*. Факт предотвращения болезни диетой говорит о том, что «исправлен» его фенотип, но генотип остался прежний — *aa*. Второй супруг гетерозиготен, его генотип *Aa*.

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \text{♀} \quad \text{Aa} \quad \times \quad \text{♂} \quad \text{aa} \\
 \text{G} \quad \quad \text{(A)} \quad \text{(a)} \quad \quad \quad \text{(a)} \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad \quad \quad \text{Aa} : \text{aa}
 \end{array}$$

При браках *Aa* и *aa* равновероятно рождение как здоровых, так и больных детей — 50% : 50%.

**1.13.** Выпишите типы гамет, которые образуются у следующих особей:

- у особи с генотипом *BB*,
- у особи с генотипом *Bb*,
- у особи с генотипом *cc*.

**1.14.** Мужская особь имеет генотип *Bb*:

- какие типы сперматозоидов образуются у этой особи?



б) каково численное соотношение сперматозоидов разных типов, образующихся у особи *Bb*?

**1.15.** Желтый цвет семян садового гороха доминирует над зеленым.

а) Скрещивается гомозиготный желтый горох с зеленым. Определите генотип и фенотип потомства первого поколения.

б) Скрещиваются два гетерозиготных растения гороха с желтыми семенами. Определите генотип и фенотип потомства.

в) Гетерозиготный желтый горох скрещивается с зеленым. Какое расщепление по цвету горошин ожидается в потомстве?

**1.16.** У томатов ген, обуславливающий красный цвет плодов, доминирует над геном желтой окраски. Какие по цвету плоды окажутся у растений, полученных от скрещивания гетерозиготных красноплодных растений с желтоплодными?

**1.17.** У пшеницы ген карликовости доминирует над геном нормального роста. Каковы генотипы исходных форм, если в потомстве 3/4 растений оказались карликовыми?

**1.18.** Гигантский рост растения овса является рецессивным признаком, нормальный рост — доминантным. Какие растения надо скрестить, чтобы получить однородное по росту потомство?

**1.19.** У томатов ген, обуславливающий нормальный рост, доминирует над геном карликовости. Какое потомство можно ожидать от скрещивания гибридов первого поколения между собой?

**1.20.** У крупного рогатого скота комолость (отсутствие рогов) доминирует над рогатостью. Какое потомство можно ожидать от скрещивания комолого быка с рогатыми коровами, если известно, что в прошлом от этого быка у одной из коров был рогатый теленок?

**1.21.** Ген черной окраски крупного рогатого скота доминирует над геном красной окраски.

а) Какое потомство можно ожидать от скрещивания гетерозиготных особей крупного рогатого скота?

б) Какие телята родятся от красного быка и гибридных коров?

**1.22.** При скрещивании мух дрозофил с длинными крыльями получены длиннокрылые и короткокрылые потомки. Какой из

признаков определяется доминантным геном? Каковы генотипы родителей?

**1.23.** У человека карие глаза (*A*) доминируют над голубыми (*a*). Отец и мать кареглазые, обе бабушки голубоглазые. В семье четверо детей. Каковы наиболее вероятные фенотипы и генотипы у детей?

**1.24.** У человека полидактилия (шестипалость) детерминирована доминантным геном *P*.

а) От брака гетерозиготного шестипалого мужчины с женщиной с нормальным строением руки родилось два ребенка: пятипалый и шестипалый. Каков генотип этих детей?

б) Гомозиготный шестипалый мужчина женился на пятипалой женщине. От этого брака родился один ребенок. Каковы его фенотип и генотип?

**1.25.** У человека доминантный ген *A* детерминирует ахондроплазию (карликовость) за счет резкого укорочения скелета конечностей. Его аллель — рецессивный ген *a* — обуславливает нормальное строение скелета.

а) Женщина, имеющая нормальное строение скелета, вышла замуж за мужчину, гетерозиготного по ахондроплазии. Какова вероятность рождения ребенка с ахондроплазией?

б) Женщина с нормальным строением скелета вышла замуж за мужчину, гомозиготного по ахондроплазии. Какова вероятность того, что их ребенок будет страдать ахондроплазией?

**1.26.** У человека ген, вызывающий одну из форм наследственной глухонемой, рецессивен по отношению к гену нормального слуха.

а) Какое потомство можно ожидать от брака гетерозиготных родителей?

б) От брака глухонемой женщины с нормальным мужчиной родился глухонемой ребенок. Определите генотипы родителей.

**1.27.** У человека способность ощущать вкус фенилтиомочевина (ФТМ) является доминантным признаком. «Ощущающие» индивидуумы (*TT* или *Tt*) воспринимают как чрезвычайно горькие, даже очень сильно разбавленные растворы ФТМ, тогда как «неощущающие» не воспринимают вкус этого вещества и в гораздо более высоких концентрациях.



а) Каковы генотипы супругов, если сами они ощущают вкус ФТМ, а один из их троих детей является «неощущающим»?

б) Каких фенотипов и в каких отношениях можно ожидать в потомстве от следующих скрещиваний:

гетерозигота х гетерозигота,

гомозиготный «ощущающий» индивидум х гетерозигота,

гетерозигота х «неощущающий» индивидум?

**1.28.** Рецессивный ген black детерминирует черную окраску тела дрозофилы. Мухи дикой расы имеют серое тело.

а) Среди потомства, полученного от скрещивания черной мухи с серой, половина мух имеет черное тело, половина — серое. Определите генотипы родительских особей.

б) При скрещивании серой мухи с черной оказалось, что все потомство имеет серую пигментацию тела. Определите генотипы родителей.

в) При скрещивании двух серых мух установлено, что все их потомство имеет серую окраску тела. Можно ли установить генотип родителей?

**1.29.** У ряда видов растений имеется рецессивный ген альбинизма: гомозиготные по этому гену (белые) экземпляры не способны синтезировать хлорофилл. Если у растения табака, гетерозиготного по признаку альбинизма, произошло самоопыление и 500 его семян проросли, то каким будет:

а) ожидаемое число потомков с генотипом родительской формы,

б) ожидаемое число белых экземпляров?

**1.30.** У овса ранняя спелость доминирует над позднеспелостью. На опытном участке от скрещивания позднеспелого овса с гетерозиготным раннеспелым получено 69 134 растения раннего созревания. Определите число позднеспелых растений.

**1.31.** Ген раннего созревания ячменя доминирует над позднеспелостью. Особи, полученные от скрещивания гомозиготного раннеспелого ячменя с позднеспелым, скрещиваются между собой. Какое будет потомство?

**1.32.** Серый цвет тела мухи дрозофилы доминирует над черным.

а) В серии опытов по скрещиванию серой мухи с черной получено 117 серых особей и 120 черных. Определите генотипы родительских форм.

б) При скрещивании серых мух в потомстве оказалось 1392 особи серого цвета и 467 особей черного цвета. Определите генотипы родительских форм.

**1.33.** При скрещивании серых и черных мышей получено 30 потомков, из них 14 были черными. Известно, что серая окраска доминирует над черной. Каков генотип мышей родительского поколения?

**1.34.** При скрещивании двух дрозофил с нормальными крыльями у 88 потомков из 123 были нормальные крылья, а у 35 — укороченные.

1. а) Как наследуются гены нормальных и укороченных крыльев?

б) Какими были генотипы родительских особей?

2. Если самку с укороченными крыльями скрестить с ее «отцом», то сколько мух с нормальными крыльями следует ожидать среди ее 80 потомков?

**1.35.** При скрещивании самца ангорского кролика с короткошерстными самками в первом поколении было получено 35 короткошерстных животных, а при скрещивании гибридов между собой в потомстве получилось 25 короткошерстных и 9 ангорских кроликов. Как наследуется ангорский тип шерсти кроликов?

**1.36.** У собак черный цвет шерсти доминирует над коричневым. Черная самка несколько раз скрещивалась с коричневым самцом. Всего было получено 15 черных и 13 коричневых щенков. Определите генотипы родителей и потомства.

## 1.2. Дигибридное и полигибридное скрещивание

**1.37.** Сколько типов гамет и какие именно образуют организмы со следующими генотипами: а) *aabb*, б) *AaBB*, в) *AaBb*, г) *AABbCC*, д) *AabbCC*, е) *AaBbCc*?

**Решение.** а) Гомозиготы, согласно формуле  $N = 2^n$ , образуют один тип гамет ( $2^0 = 1$ ):

P *aabb*G  $\left(\frac{ab}{ab}\right)$ 

б) Гетерозиготы по одному признаку дают два типа гамет ( $2^1 = 2$ ):

P *AaBB*G  $\left(\frac{AB}{aB}\right)$   $\left(\frac{aB}{aB}\right)$ 

в) Гетерозиготы по двум признакам дают четыре типа гамет ( $2^2 = 4$ ):

P *AaBb*G  $\left(\frac{AB}{aB}\right)$   $\left(\frac{aB}{aB}\right)$   $\left(\frac{Ab}{aB}\right)$   $\left(\frac{ab}{aB}\right)$ 

г) Гомозиготы дают один тип гамет ( $2^0 = 1$ ):

P *AAbbCC*G  $\left(\frac{AbC}{AbC}\right)$ 

д) Гетерозиготы по одному признаку дают два типа гамет ( $2^1 = 2$ ):

P *AabbCC*G  $\left(\frac{AbC}{abC}\right)$   $\left(\frac{abC}{abC}\right)$ 

е) Гетерозиготы по трем признакам дают восемь типов гамет ( $2^3$ ):

P *AaBbCc*G  $\left(\frac{ABC}{aBC}\right)$   $\left(\frac{aBC}{aBC}\right)$   $\left(\frac{AbC}{aBC}\right)$   $\left(\frac{AbC}{aBC}\right)$   $\left(\frac{abc}{aBC}\right)$   $\left(\frac{abc}{aBC}\right)$   $\left(\frac{aBc}{aBC}\right)$   $\left(\frac{abc}{aBC}\right)$ 

Гетерозиготы по *n* признакам дают  $2^n$  типов гамет (см. табл. 1.1. на стр. 8).

1.38. У морской свинки (*Cavia*) имеются два аллеля, определяющих черную или белую окраску шерсти, и два аллеля, определяющих короткую или длинную шерсть. При скрещивании между гомозиготами с короткой черной шерстью и гомозиготами с длинной белой шерстью у всех потомков  $F_1$  шерсть была короткая и черная.

а) Какие аллели являются доминантными?

б) Каким будет соотношение различных фенотипов в  $F_2$ ?

Решение. Если в  $F_1$  у всех морских свинок была короткая черная шерсть, то это означает, что короткая шерсть доминирует над длинной, а черная окраска над белой.

Признак	Ген	Генотип
Черная шерсть	<i>B</i>	<i>BB</i> , <i>Bb</i>
Белая шерсть	<i>b</i>	<i>bb</i>
Короткая шерсть	<i>S</i>	<i>SS</i> , <i>Ss</i>
Длинная шерсть	<i>s</i>	<i>ss</i>

а) P ♀ *SSBB* × ♂ *ssbb*

G  $\left(\frac{SB}{SB}\right)$   $\left(\frac{sb}{sb}\right)$ F<sub>1</sub> *SsBb*б) P<sub>F<sub>1</sub></sub> ♀ *SsBb* × ♂ *SsBb*G  $\left(\frac{SB}{Sb}\right)$   $\left(\frac{sB}{sb}\right)$   $\left(\frac{SB}{Sb}\right)$   $\left(\frac{sB}{sb}\right)$ 

Гаметы	<i>SB</i>	<i>Sb</i>	<i>sB</i>	<i>sb</i>
<i>SB</i>	<i>SSBB</i>	<i>SSBb</i>	<i>SsBB</i>	<i>SsBb</i>
<i>Sb</i>	<i>SSBb</i>	<i>SSbb</i>	<i>SsBb</i>	<i>Ssbb</i>
<i>sB</i>	<i>SsBB</i>	<i>SsBb</i>	<i>ssBB</i>	<i>ssBb</i>
<i>sb</i>	<i>SsBb</i>	<i>Ssbb</i>	<i>ssBb</i>	<i>ssbb</i>

Соотношение фенотипов во втором поколении:

9 *S\_ B\_* : 3 *S\_ bb* : 3 *ssB\_* : 1 *ssbb*  
 с короткой с короткой с длинной с длинной  
 черной белой черной белой  
 шерстью шерстью шерстью шерстью

1.39. Нормальный рост у овса доминирует над гигантизмом, а раннеспелость — над позднеспелостью. Гены обоих признаков находятся в разных парах хромосом.

а) Какими признаками будут обладать гибриды от скрещивания гомозиготных растений позднеспелого овса нормального роста с гигантским раннеспелым?

б) Какой процент гигантских раннеспелых растений можно ожидать от скрещивания гетерозиготных по обоим признакам растений?



в) От скрещивания раннеспелых растений нормального роста между собой было получено 22 372 растения. Из них гигантских оказалось 5593 растения и столько же позднеспелых. Определите число полученных гигантских растений позднего созревания.

**Решение.** Из условий задачи видно, что мы имеем дело с двумя парами неаллельных генов.

Признак	Ген	Генотип
Нормальный рост овса	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Гигантский рост овса	<i>a</i>	<i>aa</i>
Раннее созревание семян	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Позднее созревание семян	<i>b</i>	<i>bb</i>

По условию пункта 1 скрещиваются гомозиготные растения. Первое — нормального роста (*AA*) и позднеспелое (*bb*), его генотип *AAbb*. Второе — гигантское (*aa*) и раннеспелое (*BB*), его генотип *aaBB*. Первый родитель может дать только один тип гамет — *Ab*, второй — только *aB*. При слиянии таких гамет возможен лишь один вариант генотипа потомства — *AaBb*. Следовательно, все потомство будет гетерозиготным по обоим парам генов, а по фенотипу — нормального роста и раннеспелое.

Ответ на пункт б) легко найти, используя решетку Пеннета. В трех случаях из шестнадцати особи будут с генотипами *aaBB* и *aaBb*,  $3/16 = 18,75\%$ .

Можно решить иначе. В условии задачи мы записали: гигантский рост — *a*, раннее созревание — *B*. В пункте 2 задачи спрашивается, какой процент растений будет с признаками генов *a* и *B*. При скрещивании дигибридов расщепление по фенотипу происходит в отношении  $9 : 3 : 3 : 1$ , т.е. 9 — с признаками, обусловленными генами *A* и *B*, 3 — с признаками, обусловленными генами *A* и *b*, 3 — с признаками, обусловленными генами *a* и *B*, 1 — с признаками, обусловленными генами *a* и *b*. Следовательно, гигантских растений раннего созревания будет 3 из 16, или  $18,75\%$ .

Наконец, можно решить пункт б), исходя из вероятностей совпадения независимых явлений. Вероятность проявления в потомстве признака рецессивного гена одного аллеля — гигантский

рост — равна  $1/4$ , вероятность проявления доминантного гена второго аллеля — раннее созревание — равна  $3/4$ , вероятность сочетания этих признаков в потомстве равна  $1/4 \times 3/4 = 3/16 = 18,75\%$ .

В в) задачи по полученным соотношениям  $5593 : 22\,372$  определяем, что по росту произошло расщепление  $1 : 3$ , по срокам созревания — также  $1 : 3$ . Следовательно, скрещивались гетерозиготные по обоим признакам растения. В этом случае гигантских растений позднего созревания должно получиться  $1/16$ .  $22372 : 16 = 1398$  растений.

1.40. У человека близорукость доминирует над нормальным зрением, а карий цвет глаз — над голубым. Единственный ребенок близоруких кареглазых родителей имеет голубые глаза и нормальное зрение. Установите генотипы всех членов семьи.

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Близорукость	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Нормальное зрение	<i>b</i>	<i>bb</i>
Карие глаза	<i>C</i>	<i>CC, Cc</i>
Голубые глаза	<i>c</i>	<i>cc</i>

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad B\_C\_ \times \quad \text{♂} \quad B\_C\_ \\
 G \quad \quad \quad (bc) \quad \quad \quad (bc) \\
 F_1 \quad \quad \quad bbcc \\
 \\
 -P \quad \text{♀} \quad B\_bC\_c \times \quad \text{♂} \quad B\_bC\_c \\
 G \quad \quad \quad (bc) \quad \quad \quad (bc) \\
 F_1 \quad \quad \quad bbcc
 \end{array}$$

Так как родители близорукие и кареглазые, в генотипе каждого из них должен быть доминантный ген. Их ребенок — рецессивная гомозигота. Следовательно, родители должны быть гетерозиготны по обоим признакам.

1.41. При самоопылении высоких томатов с рассеченными листьями было получено: таких же растений — 924, высоких с картофельевидными листьями — 317, карликовых с рассеченными







возвратного скрещивания особей первого поколения с желтым дисковидным родителем; с белым шаровидным родителем? Будут ли данные скрещивания относиться к анализирующему скрещиванию?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Белая окраска плодов	W	WW, Ww
Желтая окраска плодов	w	ww
Дисковидная форма плодов	D	DD, Dd
Шаровидная форма плодов	d	dd

По условию задачи исходные родительские особи гомозиготны по обоим признакам. Требуется определить генотип и фенотип потомства первого поколения и возвратных скрещиваний:

$$\begin{array}{l}
 \text{P } \text{♀ } wwDD \quad \times \quad \text{♂ } WWdd \\
 \text{G } \quad \quad \textcircled{wD} \quad \quad \quad \textcircled{Wd} \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad WwDd
 \end{array}$$

В первом поколении от скрещивания материнского растения с желтыми и дисковидными плодами с мужским, имеющим белые шаровидные плоды, все особи дигетерозиготны и имеют белые плоды дисковидной формы в силу доминирования генов W и D.

В потомстве от скрещивания гибридной формы с белым шаровидным родителем растения имеют белые плоды; половина из них дисковидной, половина — шаровидной формы:

$$\begin{array}{l}
 \text{P } \text{♀ } WwDd \quad \times \quad \text{♂ } WWdd \\
 \text{G } \textcircled{WD} \textcircled{Wd} \textcircled{wD} \textcircled{wd} \quad \quad \textcircled{Wd} \\
 \text{F}_2 \quad WWdd, WwDd \quad \quad WWdd, Wwdd \\
 \quad \quad \text{белая, белая} \quad \quad \quad \text{белая, белая} \\
 \quad \quad \text{дисковидные} \quad \quad \quad \text{шаровидные}
 \end{array}$$

Все растения, полученные от скрещивания гибридной особи первого поколения с исходным желтым дисковидным родителем, имеют плоды дисковидной формы; половина из них белого цвета, половина — желтого:

$$\begin{array}{l}
 \text{P } \text{♀ } wwDD \quad \times \quad \text{♂ } WwDd \\
 \text{G } \quad \quad \textcircled{wD} \quad \quad \quad \textcircled{WD} \textcircled{Wd} \textcircled{wD} \textcircled{wd} \\
 \text{F}_2 \quad WwDD, WwDd \quad \quad wwDD, wwDd \\
 \quad \quad \text{белые,} \quad \quad \quad \text{желтые,} \\
 \quad \quad \text{дисковидные} \quad \quad \quad \text{дисковидные}
 \end{array}$$

В обеих схемах наблюдается анализирующее скрещивание по одному из признаков: в первом случае — по форме, а во втором — по окраске плодов фигурной тыквы. Отсюда расщепление в потомстве происходит по фенотипу 1 : 1.

1.44. Сколько типов гамет и какие именно образуют следующие организмы:

- организм с генотипом CCDD,
- организм с генотипом ccDD,
- организм рецессивный по генам c и d?

1.45. Сколько типов гамет и какие именно образуют следующие организмы:

- организм с генотипом Ccdd,
- дигибрид CcDd,
- тригибрид CcDdEe?

1.46. У гороха желтый цвет семян A доминирует над зеленым a, гладкая поверхность семян B — над морщинистой b.

а) Гомозиготный желтый гладкий горох скрещивали с зеленым морщинистым. Определите фенотип и генотип потомства в первом и во втором поколениях.

б) Дигетерозиготный горох с желтыми гладкими семенами скрещен с зеленым морщинистым. Какое расщепление по фенотипу и генотипу ожидается в потомстве?

в) Гетерозиготный желтый морщинистый горох скрещен с зеленым, гетерозиготным по гладкой форме семян. Каким будет расщепление по фенотипу и генотипу в первом поколении?

г) При опылении цветков желтого морщинистого гороха пыльцой зеленого гладкого одна половина потомства была желтой гладкой, вторая — зеленой гладкой. Определите генотипы родительских растений.

д) При опылении цветков зеленого гладкого гороха пыльцой желтого морщинистого в потомстве получены желтые гладкие,



желтые морщинистые, зеленые гладкие, зеленые морщинистые плоды в равных количествах (по 1/4). Определите генотипы родителей.

1.47. У фигурной тыквы белая окраска плодов *W* доминирует над желтой *w*, а дисковидная форма плодов *D* — над шаровидной *d*. Скрещивается растение, гомозиготное по желтой окраске и дисковидной форме плодов, с растением, гомозиготным по белой окраске и шаровидной форме плодов. Какими будут окраска и форма плодов у растений: а) первого поколения; б) в потомстве от возвратного скрещивания растений этого поколения с желтым дисковидным родителем; в) с белым шаровидным родителем?

1.48. У родителей, имеющих нормальную пигментацию и курчавые волосы (оба признака доминантные), ребенок — альбинос с гладкими волосами. Каковы генотипы родителей и каких детей можно ожидать от этого брака в дальнейшем?

1.49. У голубоглазого темноволосого отца и кареглазой светловолосой матери четверо детей. Каждый из них отличается по одному указанному признаку. Каковы генотипы родителей, если темные волосы и карие глаза — доминантные признаки?

1.50. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым, а способность владеть правой рукой — над леворукостью. Гены обоих признаков находятся в различных хромосомах. Кареглазый правша женится на голубоглазой левше. Какое потомство в отношении указанных признаков можно ожидать?

1.51. Гомозиготная муха дрозофила желтого цвета с очень узкими крыльями скрещена с обычной гомозиготной дрозофилой (серое тело, нормальные крылья). Какими будут гибриды? Какое потомство получится в результате скрещивания гибридов?

1.52. Светловолосый кареглазый мужчина из семьи, все члены которой имели карие глаза, женился на голубоглазой темноволосой женщине, мать которой была светловолосой. Какой фенотип можно ожидать у детей?

1.53. Муха дрозофила с черным телом и зачаточными крыльями скрещена с мухой, имеющей серое тело и нормальные крылья.

Какое потомство можно ожидать, если вторая муха гомозиготна по обоим генам?

1.54. Какое потомство получится от скрещивания гетерозиготного черного комолого быка с рогатой красной коровой, если комолость и черная масть — доминантные признаки?

1.55. У кошек ген короткой шерсти (*L*) доминирует над геном длинной шерсти (*l*), а ген, определяющий белые пятна (*S*), доминирует над геном отсутствия белых пятен (*s*).

1. Постройте решетку Пеннета для каждого из следующих скрещиваний:

- $LlSs \times Llss$ ,
- $LLSs \times Llss$ ,
- $LlSs \times llss$ .

2. Какова ожидаемая доля особей с короткой шерстью и белыми пятнами среди потомков от скрещивания 2?

1.56. Черная масть крупного рогатого скота доминирует над рыжей, а белоловость — над сплошной окраской головы. Какое потомство можно получить от скрещивания гетерозиготного черного быка со сплошной окраской головы с рыжей белоловой коровой, если последняя гетерозиготна по белоловости? Гены обоих признаков находятся в разных хромосомах.

1.57. У собак черный цвет шерсти доминирует над кофейным, а короткая шерсть над длинной. Обе пары генов находятся в разных хромосомах. Какой процент черных короткошерстных щенков можно ожидать от скрещивания двух особей, гетерозиготных по обоим признакам?

1.58. У растений томата ген пурпурной окраски стеблей (*A*) доминирует над геном зеленой окраски (*a*), а ген красной окраски плодов (*R*) доминирует над геном желтой окраски (*r*). Если скрестить два растения томата, гетерозиготных по обоим этим признакам, то какой будет среди потомков доля растений:

- с пурпурными стеблями и желтыми плодами,
- с зелеными стеблями и красными плодами,
- с пурпурными стеблями и красными плодами?

1.59. От скрещивания, о котором шла речь в задаче 1.58, получено и высеяно 640 семян. Определите ожидаемое число растений:



- а) с красными плодами,
- б) с зелеными стеблями,
- в) с зелеными стеблями и желтыми плодами.

1.60. Если скрестить одну из родительских форм, указанных в задаче 1.58, с растением, имеющим зеленый стебель и гетерозиготным по гену красной окраски плодов, то какой будет среди потомков доля растений:

- а) с пурпурными стеблями и желтыми плодами,
- б) с зелеными стеблями и желтыми плодами,
- в) с зелеными стеблями и красными плодами?

1.61. Растение тыквы с белыми дисковидными плодами, скрещенное с растением, имеющим белые шаровидные плоды, дает 38 растений с белыми дисковидными, 36 — с белыми шаровидными, 13 — с желтыми дисковидными и 12 — с желтыми шаровидными плодами. Определите генотипы родительских растений, зная, что у фигурной тыквы белая окраска плодов  $W$  доминирует над желтой  $w$ , а дисковидная форма плодов  $D$  — над шаровидной  $d$ .

1.62. У кролика белая окраска шерсти рецессивна по отношению к серой, а волнистая шерсть доминирует над гладкой. Серый волнистый кролик скрещивается с серой гладкошерстной самкой. В потомстве получены белые волнистые кролики. Как провести скрещивание дальше, чтобы получить побольше белых волнистых кроликов? Как проверить чистоту линии белых волнистых кроликов из первого поколения?

1.63. Курица и петух черные хохлатые. От них получены цыплята: 7 черных и 3 бурых хохлатых, 2 черных и 1 бурый без хохла. Как наследуются указанные признаки у кур? Каковы генотипы родительских особей? Какое потомство можно ожидать от скрещивания родительской особи с потомком бурого оперения и без хохла?

1.64. При скрещивании двух мух дрозофил получено 35 мух с серым телом и зачаточными крыльями и 37 мух с черным телом и зачаточными крыльями. Какой фенотип родителей?

1.65. Плоды томатов бывают красные и желтые, гладкие и пушистые. Ген красного цвета доминантный, ген пушистости рецессивный. Обе пары генов находятся в разных хромосомах.

а) Какое потомство можно ожидать от скрещивания гетерозиготных томатов с красными и гладкими плодами с особью, гомозиготной по обоим рецессивным признакам?

б) Из собранного в крестьянском хозяйстве урожая помидоров оказалось 36 т гладких красных и 12 т красных пушистых. Сколько в собранном урожае будет желтых пушистых помидоров, если исходный материал был гетерозиготным по обоим признакам?

1.66. Скрещиваются две породы тутового шелкопряда, которые отличаются следующими двумя признаками: одна из них дает одноцветных гусениц, плетущих желтые коконы, а другая — полосатых гусениц, плетущих белые коконы. В первом поколении все гусеницы были полосатыми и плели желтые коконы. Во втором поколении получилось следующее расщепление: 6385 полосатых гусениц, плетущих желтые коконы, 2147 — полосатых с белыми коконами, 2099 — одноцветных с желтыми коконами и 691 — одноцветных с белыми коконами. Определите генотипы исходных форм и потомства первого и второго поколений.

1.67. Какое будет потомство при анализирующем скрещивании дигетерозиготной дрозофилы с серым телом и нормальными крыльями и дрозофилы с черным телом и зачаточными крыльями?

### 1.3. Неполное доминирование

1.68. У львиного зева растения с широкими листьями при скрещивании между собой всегда дают потомство тоже с широкими листьями, а растения с узкими листьями — только потомство с узкими листьями. В результате скрещивания широколистной особи с узколистной возникает растение с листьями промежуточной ширины.

а) Каким будет потомство от скрещивания двух особей с листьями промежуточной ширины?

б) Что получится, если скрестить узколистное растение с растением, имеющим листья промежуточной ширины?

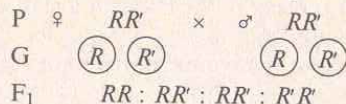


**Решение.** Из условий задачи ясно, что мы имеем дело с одной парой генов. Ни один из генов не доминирует полностью над другим.

Признак	Ген	Генотип
Широкие листья	$R$	$RR$
Узкие листья	$R'$	$R'R'$
Листья промежуточной ширины	$R, R'$	$RR'$

По условию пункта 1 требуется установить потомство от скрещивания двух растений с листьями промежуточной ширины, т.е. гетерозиготных:  $RR' \times RR'$ .

Решать можно по схеме или, составляя решетку Пеннета:



Гаметы	$R$	$R'$
$R$	$RR$	$RR'$
$R'$	$RR'$	$R'R'$

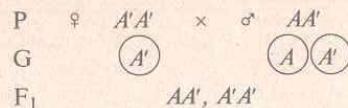
1/4 растений будет с широкими листьями, 1/4 — с узкими и 1/2 — с листьями промежуточной ширины.

В пункте 2 требуется определить каким будет потомство от скрещивания узколистного растения ( $R'R'$ ) с растением, имеющим листья промежуточной ширины ( $RR'$ ). Получится потомство: половина — с узкими листьями, половина — с листьями промежуточной ширины.

**1.69.** Определите возможные фенотипы детей в семье, где один из супругов страдает акаталазией, а другой имеет пониженную активность этого фермента.

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Акаталазия (отсутствие каталазы в крови)	$A'$	$A'A'$
Наличие каталазы	$A$	$AA$
Сниженное содержание каталазы	$A, A'$	$AA'$



У детей возможно как отсутствие каталазы, так и пониженное ее содержание.

**1.70.** При скрещивании между собой растения красноплодной земляники всегда дают потомство с красными ягодами, а белоплодной — с белыми. В результате скрещивания обоих сортов получают розовые ягоды. Какое потомство возникнет при скрещивании между собой гибридных растений земляники с розовыми ягодами? Какое потомство получится при опылении красноплодной земляники пыльцой гибридного растения с розовыми ягодами?

**1.71.** При скрещивании растений ночной красавицы с красными и белыми цветками получают растения, имеющие розовые цветки. Какие гаметы дадут растения с розовыми цветками? Какое расщепление по фенотипу будет во втором поколении? Какое расщепление по генотипу будет во втором поколении?

**1.72.** У крупного рогатого скота шортгорнской породы гены красной и белой масти в гетерозиготном состоянии дают чалую масть. Какая часть потомков от скрещивания двух чалых родителей должна быть чалой масти?

**1.73.** Куры с белым оперением при скрещивании между собой всегда дают белое потомство, а куры с черным оперением — черное. Потомство от скрещивания белой и черной особей оказывается голубым (пестрым). Какая часть потомства от скрещивания голубых петуха и курицы будет с голубым оперением?

**1.74.** У овец некоторых пород среди животных с ушами нормальной длины (длинноухие) встречаются и полностью безухие. При скрещивании длинноухих между собой, а также безухих особей между собой получается потомство, сходное по этому признаку с родителями. Гибриды же между длинноухими и безухими особями имеют короткие уши. Какое потомство получится при скрещивании таких гибридов между собой и при скрещивании их с безухой особью?



1.75. При разведении в себе горностаевых кур в потомстве, состоящем из 42 цыплят, было получено 20 горностаевых, 12 черных и 10 чисто белых. Как наследуется горностаевая окраска оперения?

1.76. Редкий в популяции ген  $A'$  вызывает у человека наследственную анофтальмию (безглазие). Аллельный ген  $A$  обуславливает нормальное развитие глаз, у гетерозигот глазные яблоки уменьшены.

а) Супруги гетерозиготны по гену  $A$ . Определите расщепление по фенотипу и генотипу в потомстве.

б) Мужчина, гетерозиготный по гену  $A$  женился на женщине с нормальными глазами. Какое расщепление по фенотипу ожидается в потомстве?

1.77. У пшеницы длина колоса наследуется по промежуточному типу, а безостость доминирует над остистостью. Какие гаметы и какое потомство дадут в первом и во втором поколениях скрещенные растения пшеницы с длинным безостым колосом и остистой пшеницы, имеющей короткий колос?

1.78. Окраска цветков у ночной красавицы наследуется по промежуточному типу, а нормальный рост растения доминирует над карликовостью. Произведено скрещивание гомозиготного растения ночной красавицы с красными цветками, нормальным ростом и растения, имеющего белые цветки, карликовый рост. Какие гаметы дадут родительские растения и растения первого поколения? Какое расщепление будет наблюдаться во втором поколении?

1.79. У крупного рогатого скота латвийской породы гены красной и белой шерсти в гетерозиготном состоянии дают чалую окраску, а безроговость доминирует над рогатостью. Какое потомство будет от скрещивания чалой рогатой коровы с чалым безрогим быком?

1.80. У львиного зева красная окраска цветов  $A$  частично доминирует над белой окраской  $A'$ , поэтому у гибридов  $F_1$  цветки розовые. Узкие листья  $H$  частично доминируют над широкими листьями  $H'$  — и у гибридов  $F_1$  листья обладают промежуточной шириной. Растения с красными цветками и листьями промежу-

точной ширины скрещиваются с растениями с розовыми цветками и листьями промежуточной ширины. Каким будет фенотип и генотип потомства от этого скрещивания?

1.81. У кур ген гороховидного гребня ( $P$ ) доминирует над геном простого гребня ( $p$ ), а по генам черной ( $B$ ) и белой ( $B'$ ) окраски наблюдается неполное доминирование: особи с генотипом  $BB'$  имеют «голубую» окраску. Если скрещивать птиц, гетерозиготных по обоим парам генов, то какая доля потомков будет иметь:

- простой гребень,
- голубую окраску,
- белую окраску,
- белую окраску и гороховидный гребень,
- голубую окраску и простой гребень?

#### 1.4. Взаимодействие неаллельных генов

1.82. Глухота у человека может быть обусловлена рецессивными генами  $d$  и  $e$ , лежащими в разных парах хромосом. Для нормального слуха необходимо наличие обоих доминантных генов. Глухая женщина ( $DDee$ ) вступает в брак с глухим мужчиной ( $ddEE$ ). Будут ли глухими их дети?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Глухота	$d, e$	$ddee, DDee, Ddee, ddEE, ddEe$
Нормальный слух	$D, E$	$DDEE, DDEe, DdEe, DdEE$

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad DDee \quad \times \quad \text{♂} \quad ddEE \\
 G \quad \quad \textcircled{De} \quad \quad \quad \textcircled{dE} \\
 F_1 \quad \quad \quad DdEe
 \end{array}$$

Так как в зиготе встречаются доминантные гены из каждой пары, все дети будут иметь нормальный слух.

1.83. У большинства пород кур окрашенное оперение детерминирует ген  $C$ , белое оперение — его аллель  $c$ . У породы леггорн имеется эпистатический ген  $I$ , подавляющий развитие



пигмента даже при наличии гена *C*. Его аллель *i* такого эффекта не оказывает и действие гена *C* проявляется. Скрещены две белые дигетерозиготные особи. Определите расщепление по фенотипу у потомков.

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Окрашенное оперение	<i>C</i>	<i>C ii</i>
Белое оперение	<i>c</i>	<i>C I_ ccl_ ccli</i>

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad Ccli \quad \times \quad \text{♂} \quad Ccli \\
 G \quad (CI) (Ci) (cI) (ci) \quad \times \quad (CI) (Ci) (cI) (ci) \\
 F_1 \quad 9 C I_ \quad 3 C ii \quad 3 cc I_ \quad 1 cc ii \\
 \quad \quad \text{белые} \quad \text{окрашенные} \quad \text{белые} \quad \text{белые} \\
 \quad \quad \text{соотношение } 13 : 3
 \end{array}$$

1.84. Рост человека контролируется тремя парами несцепленных генов, которые взаимодействуют по типу полимерии. Самые низкорослые люди имеют все рецессивные гены и рост 150 см, самые высокие — все доминантные и рост 180 см. Определите рост людей, гетерозиготных по трем парам генов:  $A_1a_1A_2a_2A_3a_3$ .

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Высокий рост, 180 см	$A_1, A_2, A_3$	$A_1A_1A_2A_2A_3A_3$
Низкий рост, 150 см	$a_1, a_2, a_3$	$a_1a_1a_2a_2a_3a_3$

Их рост будет равен средней величине роста гомозигот по доминантным и рецессивным генам — 165 см.

1.85. При скрещивании курицы с гороховидным и петуха с розовидным гребнями все гибриды первого поколения имеют ореховидный гребень, который получается благодаря взаимодействию двух доминантных аллелей *A* и *B*. Какое потомство будет при скрещивании особей  $F_1$  между собой? Какое потомство будет при скрещивании гибрида  $F_1$  с гомозиготной особью, имеющей розовидный гребень?

1.86\*. При скрещивании двух растений тыквы с дисковидными и удлиненными плодами получены растения, имеющие дисковидные, круглые и удлиненные плоды. Каковы генотипы родительских растений? Какая часть потомства должна иметь круглую форму плодов?

1.87\*. Наследование масти у лошадей обуславливается взаимодействием двух неаллельных генов по типу эпистаза. При скрещивании серой и вороной лошадей получен рыжий жеребенок. Каковы генотипы родителей? Укажите, к доминантному или рецессивному эпистазу относится данное взаимодействие генов.

1.88. У кур — белых леггорнов — окраска оперения контролируется двумя группами генов:

*W* (белая окраска) доминирует над *w* (цветная),

*B* (черная окраска) доминирует над *b* (коричневая).

Гетерозиготное потомство  $F_1$  имеет генотип  $WwBb$  и белую окраску.

Объясните происходящее в этом случае взаимодействие между генами и укажите численные отношения фенотипов в поколении  $F_2$ .

1.89\*. Масса плода у одного сорта тыквы определяется тремя парами генов, причем, сочетание  $AABBCC$  дает плоды массой 3 кг, а сочетание  $aabbcc$  — плоды массой 1,5 кг. Каждый доминантный ген добавляет к массе плода 250 г. При скрещивании 3-килограммовых тыкв с 1,5-килограммовыми все потомки дают плоды массой 2,25 кг. Какой была бы масса плодов у  $F_2$  при скрещивании двух таких растений  $F_1$ ?

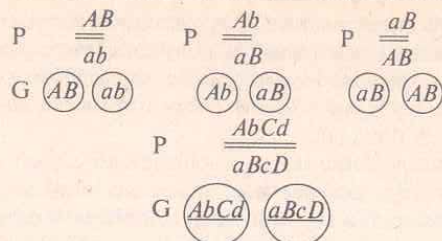
## 1.5. Сцепленное наследование и кроссинговер

1.90. Какие типы гамет образуются у организмов, имеющих генотипы:

$$\frac{AB}{ab}, \quad \frac{Ab}{aB}, \quad \frac{aB}{AB}, \quad \frac{AbCd}{aBcD} \quad (\text{кроссинговер отсутствует?})$$

Решение.





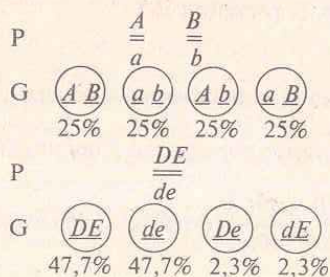
1.91. Определите различия в численном соотношении образующихся гамет у двух организмов, имеющих следующую структуру генотипов:

$$1) \frac{A}{a} \frac{B}{b}, 2) \frac{AB}{ab}$$

**Решение.** У первого организма гены не сцеплены и наследуются независимо. Он дает в равном количестве четыре сорта гамет (25%  $AB$ , 25%  $Ab$ , 25%  $aB$ , 25%  $ab$ ). У второго наблюдается сцепление генов. Этот организм дает при полном сцеплении два сорта гамет (50%  $AB$  и 50%  $ab$ ). При неполном сцеплении генов будут образовываться четыре сорта гамет; из них некроссоверные  $AB$ ,  $ab$  в количестве больше чем по 25% и кроссоверные  $Ab$  и  $aB$  — меньше чем по 25%.

1.92. Какие различия в численном соотношении гамет будут наблюдаться у двух организмов с генотипами  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$  и  $\frac{DE}{de}$  (расстояние между генами  $D$  и  $e$  в группе сцепления 4,6 морганиды)?

**Решение.**

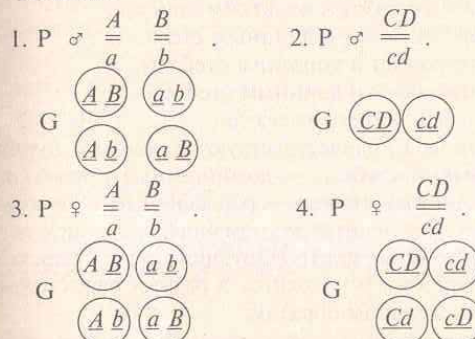


В первом случае при гаметогенезе имеет место свободное комбинирование хромосом, и гаметы разного типа будут образовываться в равном количестве (по 25% каждого типа). Во втором случае мы имеем дело со сцеплением генов, поэтому число гамет каждого типа будет различным: некроссоверных гамет — по 47,7%, кроссоверных — по 2,3%.

1.93. Сколько и какие типы гамет образуются у дрозофил с генотипами:

$$1. \sigma \frac{A}{a} \frac{B}{b}; 2. \sigma \frac{CD}{cd}; 3. \text{♀} \frac{AB}{ab}; 4. \text{♀} \frac{CD}{cd}$$

**Решение.**



В первом и третьем случаях и у самца, и у самки имеет место свободное комбинирование хромосом при гаметогенезе, поэтому образуется 4 типа одинаковых гамет (особи дигетерозиготны).

Во втором и четвертом случаях гены  $C$  и  $D$  расположены в одной группе сцепления. У самки дрозофилы сцепление генов неполное и образуется 4 типа гамет, у самца сцепление полное (кроссинговер отсутствует), поэтому у него образуется только 2 типа некроссоверных гамет.

1.94. Гены  $A$  и  $C$  расположены в одной группе сцепления, расстояние между ними 5,8 морганид. Определите, какие типы гамет и в каком процентном соотношении образуют особи geno-

типа  $\frac{AC}{ac}$ .

**Решение.** У организма с данным генотипом наблюдается неполное сцепление генов. Некроссоверные гаметы —  $AC$  и  $ac$ , кроссоверные —  $Ac$  и  $aC$ . Количество каждой из кроссоверных гамет будет  $5,8 : 2 = 2,9\%$ , а каждой из некроссоверных —  $(100 - 5,8) : 2 = 47,1\%$ .

1.95. Гомозиготное растение с пурпурными цветками и коротким стеблем скрестили с гомозиготным растением с красными цветками и длинным стеблем; у гибридов  $F_1$  были пурпурные цветки и короткий стебель. При анализирующем скрещивании растения  $F_1$  с двойной гомозиготой по рецессивным генам были получены следующие потомки:

- 52 с пурпурными цветками и коротким стеблем,
- 47 с пурпурными цветками и длинным стеблем,
- 49 с красными цветками и коротким стеблем,
- 45 с красными цветками и длинным стеблем.

Дайте полное объяснение этим результатам.

**Решение.** Фенотипы  $F_1$  свидетельствуют о том, что пурпурные цветки и короткий стебель — доминантные признаки, а красные цветки и длинный стебель — рецессивные. Примерное соотношение  $1 : 1 : 1 : 1$  при дигибридном анализирующем скрещивании означает, что гены, контролирующие окраску цветка и длину стебля, не сцеплены и находятся в разных парах хромосом. Поясним это следующим образом:

Признак	Ген	Генотип
Пурпурные цветки	$P$	$PP, Pp$
Красные цветки	$p$	$pp$
Короткий стебель	$S$	$SS, Ss$
Длинный стебель	$s$	$ss$

Поскольку оба родительских растения были гомозиготны по обоим признакам, растения  $F_1$  должны иметь генотип  $PpSs$ .

$P$  ♀  $PpSs$  × ♂  $ppss$   
 пурпурный цветок, короткий стебель      красный цветок, длинный стебель

G  $\begin{pmatrix} PS \\ Ps \\ pS \\ ps \end{pmatrix}$        $\begin{pmatrix} ps \end{pmatrix}$

Гаметы	$PS$	$Ps$	$pS$	$ps$
$ps$	$PpSs$	$Ppss$	$ppSs$	$ppss$

**Фенотипы потомков:**

- 1 с пурпурными цветками и коротким стеблем,
- 1 с пурпурными цветками и длинным стеблем,
- 1 с красными цветками и коротким стеблем,
- 1 с красными цветками и длинным стеблем.

1.96. У томатов высокий рост стебля доминирует над карликовым, а шаровидная форма плода над грушевидной, гены высоты стебля и формы плода сцеплены и находятся друг от друга на расстоянии 20 морганид. Скрещено гетерозиготное по обоим признакам растение с карликовым, имеющим грушевидные плоды.

Какое потомство следует ожидать от этого скрещивания?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Высокий рост стебля	$A$	$AA, Aa$
Карликовость	$a$	$aa$
Шаровидная форма плода	$B$	$BB, Bb$
Грушевидная форма плода	$b$	$bb$

Из условий задачи ясно, что один родитель  $\frac{AB}{ab}$ , второй  $\frac{ab}{ab}$ .

Имея в виду, что гены роста и формы плодов сцеплены, решаем, что первый родитель должен образовывать два типа гамет в равных количествах:  $AB$  и  $ab$ , второй — только  $ab$ . Однако в условии задачи сказано, что расстояние между генами роста и формы плода равно 20 морганидам. Это означает, что образуется 20% кроссоверных гамет: 10%  $Ab$  и 10%  $aB$ . Остальные 80% гамет некроссоверные: 40%  $AB$  и 40%  $ab$ . При слиянии этих гамет с гаметами второго родителя ( $ab$ ) образуется потомство: 40%  $AaBb$ , 40%  $aabb$ , 10%  $Aabb$  и 10%  $aaBb$ , т.е. 40% высокого роста с круглыми плодами, 40% карликовых с грушевидными плодами, 10% высокого роста с грушевидными плодами и 10% карликовых с круглыми плодами.



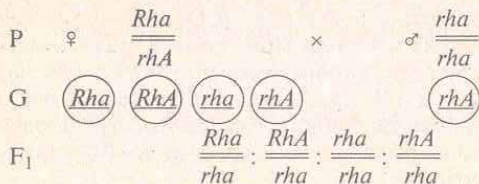
При решении задачи мы приняли, что у одного (гетерозиготного) родителя гены  $A$  и  $B$  находились в одной из гомологичных хромосом, гены  $a$  и  $b$  — в другой. Но у гетерозиготного родителя могло бы быть и иначе. Кроссинговер мог произойти где-то в предыдущих поколениях. Тогда гены  $A$  и  $b$  были бы в одной хромосоме, а гены  $a$  и  $B$  — в другой. Генотип родителя можно записать так:  $\frac{Ab}{aB}$ . В этом случае количественные соотношения гамет

были бы другими: 40%  $Ab$ , 40%  $aB$ , 10%  $AB$  и 10%  $ab$ . При скрещивании с  $aabb$  потомство было бы иное: 40%  $Aabb$ , 40%  $aaBb$ , 10%  $AaBb$  и 10%  $aabb$ .

1.97. У человека locus резус-фактора сцеплен с локусом, определяющим форму эритроцитов, и находится от него на расстоянии 3 морганид (К. Штерн, 1965). Резус-положительность и эллиптоцитоз определяются доминантными аутосомными генами. Один из супругов гетерозиготен по обоим признакам. При этом резус-положительность он унаследовал от одного родителя, эллиптоцитоз — от другого. Второй супруг резус-отрицателен и имеет нормальные эритроциты. Определите процентные соотношения вероятных генотипов и фенотипов детей в этой семье.

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Резус-положительность	$Rh$	$RhRh, Rhrh$
Резус-отрицательность	$rh$	$rhrh$
Эллиптоцитоз	$A$	$AA, Aa$
Нормальная форма эритроцитов	$a$	$aa$



Генотип первого супруга, гетерозиготного по обоим признакам:  $\frac{Rha}{rhA}$ , генотип второго супруга  $\frac{rha}{rha}$ . У первого супруга образуется 3% кроссоверных гамет (1,5%  $RhA$  и 1,5%  $rha$ ), остальные 97% — некроссоверные (48,5%  $Rha$  и 48,5%  $rhA$ ). Второй супруг дает гаметы только одного типа  $rha$ . Ожидаемые генотипы детей в этой семье: 48,5%  $Rhrhaa$ ; 48,5%  $rhrhAa$ ; 1,5%  $RhrhAa$ ; 1,5%  $rhrhAa$ , т.е. 48,5% резус-положительных с эритроцитами нормальной формы; 48,5% резус-отрицательных с эллиптоцитозом; 1,5% резус-положительных с эллиптоцитозом; 1,5% резус-отрицательных с нормальными эритроцитами.

1.98. Скрещивание между гомозиготным серым длиннокрылым самцом дрозофилы и гомозиготной черной самкой с зачаточными крыльями дало в  $F_1$  гетерозиготных потомков с серым телом и длинными крыльями.

При возвратном скрещивании самок дрозофилы из поколения  $F_1$  с гомозиготными двойными рецессивными самцами были получены следующие результаты:

родительские фенотипы:	серое тело, длинные крылья 965, черное тело, зачаточные крылья 944;
рекомбинантные фенотипы:	черное тело, длинные крылья 206, серое тело, зачаточные крылья 185.

Определите расстояние между генами.

Решение. Расстояние между генами вычисляется по формуле:

$$X = \frac{a + b}{n} \times 100\%,$$

где  $X$  — расстояние между генами в % кроссинговера или морганидах,  $a$  — число кроссоверных особей одного класса,  $b$  — число кроссоверных особей другого класса,  $n$  — общее число особей, полученных в результате анализирующего скрещивания.

В нашем примере:

$$\frac{(206 + 185)}{(965 + 944) + (206 + 185)} \times 100 = \frac{391}{2300} \times 100 = 17\%.$$

Таким образом, расстояние между генами составит 17 морганид.







**1.105.** Самку дрозофилы, гетерозиготную с нормальной окраской тела и нормальными крыльями, скрестили с самцом, который имел темное тело и миниатюрные крылья. От этого скрещивания было получено:

249 мух с темным телом и нормальными крыльями,  
20 мух с нормальной окраской тела и нормальными крыльями,  
15 мух с темным телом и миниатюрными крыльями,  
216 мух с нормальной окраской тела и миниатюрными крыльями.

Считаете ли вы, исходя из этих данных, эти две пары генов сцепленными или не сцепленными? Если вы решили, что они сцеплены, то укажите, какое из двух приведенных ниже утверждений правильно описывает их сцепление у самки:

а) гены темной окраски тела и миниатюрных крыльев лежат в одной хромосоме, а гены нормальной окраски тела и нормальных крыльев — в ее гомологе. Во время мейоза произошли кроссинговеры;

б) гены темной окраски тела и нормальных крыльев лежат в одной хромосоме, а гены нормальной окраски тела и миниатюрных крыльев — в ее гомологе. Во время мейоза произошли кроссинговеры.

**1.106.** У кукурузы гены окрашенного семени и гладкого эндосперма доминируют над генами неокрашенного семени и сморщенного эндосперма. Линию, гомозиготную по обоим доминантным признакам, скрещивали с линией, гомозиготной по рецессивным признакам; при анализирующем скрещивании  $F_2$  с растениями  $F_1$  были получены следующие результаты:

окрашенные семена, гладкий эндосперм	380,
неокрашенные семена, сморщенный эндосперм	396,
окрашенные семена, сморщенный эндосперм	14,
неокрашенные семена, гладкий эндосперм	10.

Вычислите расстояние в морганидах между геном окраски семян и геном характера эндосперма.

**1.107.** Гладкая форма семян кукурузы доминирует над морщинистой, окрашенные семена доминируют над неокрашенными. Оба признака сцеплены. При скрещивании кукурузы с гладкими окрашенными семенами с растением, имеющим морщи-

нистые неокрашенные семена, получено потомство: окрашенных гладких — 4152 особи, окрашенных морщинистых — 149, неокрашенных гладких — 152, неокрашенных морщинистых — 4163. Определите расстояние между генами.

**1.108.** У дрозофил признаки окраски тела и формы крыльев сцеплены. Темная окраска тела рецессивна по отношению к серой, короткие крылья — к длинным. В лаборатории скрещивались серые длиннокрылые самки, гетерозиготные по обоим признакам, с самцами, имеющими черное тело и короткие крылья. В потомстве оказалось серых длиннокрылых особей 1394, черных короткокрылых — 1418, черных длиннокрылых — 287, серых короткокрылых — 288. Определите расстояние между генами.

**1.109.** У крыс темная окраска шерсти доминирует над светлой, розовый цвет глаз — над красным. Оба признака сцеплены. В лаборатории от скрещивания розовоглазых темношерстных крыс с красноглазыми светлошерстными получено потомство: светлых красноглазых — 28, темных розовоглазых — 30, светлых розовоглазых — 24, темных красноглазых — 25. Определите расстояние между генами.

**1.110\*.** У дрозофилы *D. virilis* гены ответственные за окраску тела (*t*) и длину крыла (*sv*), а также ген *Pgm*, кодирующий фермент фосфоглюкомутазу, находятся в хромосоме 3. Между генами *sv* и *Pgm* кроссинговер происходит с частотой 2,4%, между генами *t* и *Pgm* — с частотой 30,6%. Определите взаиморасположение генов *t*, *sv*, *Pgm* в хромосоме 3 *D. virilis*, если расстояние между генами *sv* и *t* составляет 33 морганиды.

## 1.6. Сцепленное с полом наследование

**1.111.** У родителей, имеющих нормальное зрение, две дочери с нормальным зрением, а сын — дальтоник. Каковы генотипы родителей?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Нормальное зрение	$X^D$	$X^D X^D$ , $X^D X^d$ , $X^D Y$
Дальтонизм	$X^d$	$X^d X^d$ , $X^d Y$



$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad X^D X^d \quad \times \quad \text{♂} \quad X^D Y \\
 G \quad \quad \textcircled{X^D} \quad \textcircled{X^d} \quad \quad \quad \textcircled{X^D} \quad \textcircled{Y} \\
 F_1 \quad \quad X^D X^D, X^D Y, \quad X^D X^d, X^d Y
 \end{array}$$

Генотип матери —  $X^D X^d$ , т.к. только она могла передать сыну ген  $X^d$ . Генотип отца —  $X^D Y$ , т.к. по условию задачи он имеет нормальное зрение.

1.112. У человека гемофилия детерминирована сцепленным с полом рецессивным геном  $h$ . Мать и отец здоровы. Их единственный ребенок страдает гемофилией. Кто из родителей передал ребенку ген гемофилии?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Нормальная свертываемость крови	$X^H$	$X^H X^H, X^H X^h, X^H Y$
Гемофилия	$X^h$	$X^h X^h, X^h Y$

$$\begin{array}{l}
 P \quad \quad X^H X \quad \times \quad X^H Y \\
 \quad \quad \text{здоровая} \quad \quad \quad \text{здоров} \\
 F_1 \quad \quad \text{ребенок с гемофилией}
 \end{array}$$

Ген  $h$  получен ребенком вместе с  $X$ -хромосомой от родителей и проявляется либо в гемизиготном (у сына), либо в гомозиготном (у дочери) состояниях. Родители здоровы, следовательно, в их генотипе обязательно присутствует хотя бы один ген  $H$ . Так как у отца всего одна  $X$ -хромосома, он имеет только один ген свертываемости крови, а именно  $H$ , и не является переносчиком гена гемофилии. Мать, будучи здоровой и имея в одной  $X$ -хромосоме ген  $H$ , может быть гетерозиготной носительницей гемофилии. Больным ребенком-гемофиликом у таких родителей мог быть только сын, так как свою единственную  $X$ -хромосому с геном гемофилии он получает от матери. Дочери, получая  $X$ -хромосомы от матери и отца, благодаря отцу всегда будут здоровыми. Однако часть дочерей может быть носительницами гемофилии.

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad X^H X^h \quad \times \quad \text{♂} \quad X^H Y \\
 G \quad \quad \textcircled{X^H} \quad \textcircled{X^h} \quad \quad \quad \textcircled{X^H} \quad \textcircled{Y} \\
 F_1 \quad \quad X^H X^H, X^H X^h, \quad X^H Y, X^h Y \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{больной ребенок.}
 \end{array}$$

Таким образом, ген гемофилии ребенок (сын) унаследовал от матери.

1.113. Рecessивный ген гемофилии (несвертываемость крови) локализован в  $X$ -хромосоме. Отец девушки страдает гемофилией, а мать имеет нормальную свертываемость крови и происходит из семьи, благополучной по данному заболеванию. Девушка выходит замуж за здорового юношу. Что можно сказать об их дочерях и сыновьях?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Нормальная свертываемость крови	$H$	$\frac{H}{H}, \frac{H}{h}, \frac{H}{Y}$
Гемофилия	$h$	$\frac{h}{h}, \frac{h}{Y}$

Так как мать девушки здорова и происходит из семьи, благополучной по этому заболеванию, следовательно, она гомозиготна

$$\begin{array}{l}
 \square \frac{H}{H} \square \\
 \square \frac{H}{H} \square
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 P \quad \frac{H}{H} \quad \times \quad \frac{h}{Y} \\
 G \quad \textcircled{\frac{H}{H}} \quad \quad \quad \textcircled{\frac{h}{Y}} \\
 F_1 \quad \quad \quad \frac{H}{h}
 \end{array}$$

Девушка будет носительницей гена гемофилии, так как от отца она получит  $X$ -хромосому с рецессивным геном  $h$ .

Если эта девушка выйдет замуж за здорового юношу, то об их детях можно сказать следующее:

$$\begin{array}{l}
 P_{F_1} \quad \frac{H}{h} \quad \times \quad \frac{H}{Y} \\
 G \quad \textcircled{\frac{H}{h}} \quad \textcircled{\frac{h}{Y}} \quad \quad \quad \textcircled{\frac{H}{Y}} \quad \textcircled{Y} \\
 F_2 \quad \frac{H}{H}, \frac{H}{h}, \quad \frac{H}{Y}, \frac{h}{Y}
 \end{array}$$

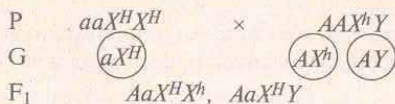


Дочь  $\frac{H}{H}$  — здорова; сын  $\frac{H}{h}$  — здоров; дочь  $\frac{H}{h}$  — носительница гена гемофилии; сын  $\frac{h}{h}$  — болен гемофилией. Таким образом, 50% дочерей будут носительницами гена гемофилии, а 50% сыновей — больны гемофилией.

**1.114.** Женщина-альбинос (рецессивный аутосомный ген) вышла замуж за больного гемофилией мужчину; в остальном у женщины и мужчины благополучные генотипы. Какие признаки и генотипы будут у их детей?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Альбицизм	<i>a</i>	<i>aa</i>
Нормальная пигментация	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Гемофилия	<i>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>h</sup>X<sup>h</sup>, X<sup>h</sup>Y</i>
Нормальная свертываемость крови	<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>H</sup>, X<sup>H</sup>X<sup>h</sup>, X<sup>H</sup>Y</i>



Дочери будут носительницами генов гемофилии и альбицизма, а сыновья — гетерозиготны по гену альбицизма с нормальной свертываемостью крови.

**1.115.** Классическая гемофилия передается как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой, признак.

а) Мужчина, больной гемофилией, женится на женщине, не имеющей этого заболевания. У них рождаются нормальные дочери и сыновья, которые вступают в брак с не страдающими гемофилией лицами. Может ли обнаружиться у внуков гемофилия и какова вероятность появления больных в семьях дочерей и сыновей?

б) Мужчина, больной гемофилией, вступает в брак с нормальной женщиной, отец которой страдал гемофилией. Определите вероятность рождения в этой семье здоровых детей.

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Гемофилия	<i>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>h</sup>X<sup>h</sup>, X<sup>h</sup>Y</i>
Норма	<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>H</sup>, X<sup>H</sup>X<sup>h</sup>, X<sup>H</sup>Y</i>

По условию пункта а) ясен генотип больного мужчины —  $X^hY$ . Так как женщина не страдает гемофилией, у нее обязательно должен быть доминантный ген «нормы» —  $X^H$ . Второй ген женщины также доминантный ( $X^H$ ), в противном случае были бы больные дети. Следовательно, генотип женщины  $X^HX^H$ . Генотипы детей от такого брака:

Гаметы	<i>X<sup>h</sup></i>	<i>Y</i>
<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>Y</i>
<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>Y</i>

Иначе говоря, все мальчики будут здоровы, гена гемофилии у них не будет, а все девочки будут гетерозиготными — в рецессиве у них будет ген гемофилии. Если все мальчики впоследствии вступят в брак со здоровыми в отношении гемофилии лицами ( $X^HX^H$ ), гемофилия у внуков не проявится. Если дочери ( $X^HX^h$ ) вступят в брак со здоровыми мужчинами ( $X^HY$ ), вероятность проявления гемофилии у внуков будет равна 1/4, или 25%. По полу это будут мальчики:

Гаметы	<i>X<sup>H</sup></i>	<i>Y</i>
<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>Y</i>
<i>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>h</sup>Y</i>

По условию пункта б) в брак вступает больной мужчина (генотип  $X^hY$ ) с женщиной, не страдающей болезнью. Следовательно, у женщины один ген обязательно «норма» —  $X^H$ . Но второй ген из этой пары у нее должен быть геном гемофилии —  $X^h$ , так как отец этой женщины страдал гемофилией, а женщина получает всегда одну X-хромосому от матери, вторую — от отца. Генотип женщины —  $X^HX^h$ . Вероятность рождения здоровых детей в этой семье равна 1/2. Девочки с генотипом  $X^hX^h$  погибают.

Гаметы	<i>X<sup>h</sup></i>	<i>Y</i>
<i>X<sup>H</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>H</sup>Y</i>
<i>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>h</sup>X<sup>h</sup></i>	<i>X<sup>h</sup>Y</i>

**1.116.** У человека классическая гемофилия наследуется как сцепленный с X-хромосомой рецессивный признак. Альбицизм



обусловлен аутосомным рецессивным геном. У одной супружеской пары, нормальной по этим двум признакам, родился сын с обеими аномалиями. Какова вероятность того, что у второго сына в этой семье проявятся также обе аномалии одновременно?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
Альбицизм	$a$	$aa$
Нормальная пигментация	$A$	$AA, Aa$
Гемофилия	$X^h$	$X^hX^h, X^hY$
Нормальная свертываемость крови	$X^H$	$X^HX^H, X^HX^h, X^HY$

По условию задачи оба родителя нормальны, следовательно, у них обязательно есть по доминантному гену из каждой пары:  $X^H$  и  $A$ . Сын имеет обе аномалии, его генотип  $X^hYaa$ .  $X$ -хромосому с геном гемофилии он мог унаследовать только от матери. Один из генов альбицизма сын получил от матери, другой — от отца. Таким образом, генотип матери  $X^HX^hAa$ , генотип отца  $X^HYAa$ . При таком браке вероятны генотипы детей:

Гаметы	$X^HA$	$X^Ha$	$YA$	$Ya$
$X^HA$	$X^HX^HAA$	$X^HX^Haa$	$X^HYAA$	$X^HYAa$
$X^Ha$	$X^HX^hAa$	$X^HX^haa$	$X^HYAa$	$X^hYaa$
$X^HA$	$X^HX^HAa$	$X^HX^Haa$	$X^HYAA$	$X^HYAa$
$X^Ha$	$X^HX^hAa$	$X^HX^haa$	$X^HYAa$	$X^hYaa$

Как видно из решетки Пеннета, вероятность того, что ребенок будет иметь генотип  $X^hYaa$ , составляет  $1/16$ . Следовательно, вероятность того, что у второго сына в этой семье проявятся обе аномалии одновременно, равна  $1/8$ .

**1.117.** Мужчина-гемофилик женился на здоровой женщине, отец которой болел гемофилией. Каковы генотипы мужа и жены?

**1.118.** У женщины сын-гемофилик. Какова вероятность, что у ее сестры сын также будет гемофилик? В каком случае вероятность выше: если ген гемофилии получен женщиной от отца или от матери?

**1.119.** Могут ли нормальные по гемофилии мужчина и женщина иметь гемофилика сына?

**1.120.** Каким будет ожидаемое отношение генотипов у детей женщины, отец которой страдал гемофилией, если ее муж здоров?

**1.121.** В каком случае у больного гемофилией может родиться сын-гемофилик?

**1.122\*.** У бронзовых индеек встречается своеобразное дрожание тела (вибрирование), которое оказалось наследственным. Жизнеспособность больных птиц была нормальной, а при их разведении в себе получалось аномальное потомство. Однако, когда вибрирующих индюков скрещивали с нормальными индейками, то все потомство женского пола получалось аномальным, а потомки мужского пола — нормальными. Как объяснить это явление?

**1.123.** У одного двудомного цветкового растения встречается иногда рецессивный признак — узкие листья. Ген, определяющий этот признак, локализован в  $X$ -хромосоме. Гомозиготное широколистное растение было оплодотворено пылью узколистного. Выращенное из полученных семян женское растение было скрещено с широколистным мужским. Какими будут мужские и женские потомки от этого скрещивания? Система определения пола у этого растения такая же, как у дрозофилы и человека.

**1.124.** Отец и сын — дальтоники, мать здорова. Правильно ли будет сказать, что сын унаследовал болезнь от отца?

**1.125.** Мать — дальтоник, отец здоров. Каковы их генотипы? Какой фенотип у детей?

**1.126.** Мужчина-дальтоник женился на женщине — носителя цветовой слепоты. Можно ли ожидать в этом браке здорового сына? Дочь с цветовой слепотой? Какова вероятность одного и другого события?

**1.127.** Цветовая слепота у человека — сцепленный с полом рецессивный признак.

а) Каковы вероятные генотипы родителей, если у всех дочерей в большой семье зрение нормальное, а все сыновья страдают цветовой слепотой?



б) Если женщина с нормальным зрением, отец которой страдал цветовой слепотой, выходит замуж за человека с тем же генетическим дефектом, то какова вероятность того, что их сын также будет страдать цветовой слепотой?

в) Какова вероятность рождения дочери с цветовой слепотой в браке, указанном в пункте (б)?

**1.128.** Отсутствие потовых желез у человека передается по наследству как рецессивный признак, сцепленный с полом. Здоровый юноша женился на девушке, отец которой лишен потовых желез, а мать и ее предки здоровы. Какова вероятность, что дети от этого брака будут страдать отсутствием потовых желез?

**1.129\*.** При скрещивании двух канареек получились зеленые самцы и коричневые самки. Цвет оперения сцеплен с X-хромосомой. Каков внешний вид родительской пары?

**1.130\*.** Гипертрихоз (рост волос по краю ушной раковины) наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой. Какова вероятность рождения детей с этой аномалией в семье, где отец обладает гипертрихозом?

**1.131.** Какие дети могут родиться от брака гемофилика с женщиной, страдающей дальтонизмом, а в остальном имеющей благополучный генотип?

**1.132.** У дрозофилы гены длины крыльев и окраска глаз сцеплены с полом. Нормальная длина крыла и красные глаза доминируют над миниатюрными крыльями и белыми глазами.

а) Каким будет потомство  $F_1$  и  $F_2$  при скрещивании между самцом с миниатюрными крыльями и красными глазами и гомозиготной самкой с нормальными крыльями и белыми глазами? Объясните ожидаемые результаты.

б) Скрещивание между самкой из полученного выше поколения и белоглазым самцом с миниатюрными крыльями дало следующие результаты:

самцы и самки с нормальными крыльями и белыми глазами 35,  
самцы и самки с нормальными крыльями и красными глазами 17,  
самцы и самки с миниатюрными крыльями и белыми глазами 18,  
самцы и самки с миниатюрными крыльями и красными глазами 36.

Объясните появление этих фенотипов и их численные соотношения.

### 1.7. Множественный аллелизм. Группы крови

**1.133.** Гетерозиготная женщина со II группой крови вышла замуж за гетерозиготного мужчину с III группой крови. Какие группы крови могут иметь их дети?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (O)	$I^O$	$I^O I^O$
II группа (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^O$
III группа (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^O$
IV группа (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$

$$\begin{array}{r}
 P \quad \text{♀} \quad I^A I^O \quad \times \quad \text{♂} \quad I^B I^O \\
 G. \quad \text{⊙} I^A \quad \text{⊙} I^O \quad \quad \quad \text{⊙} I^B \quad \text{⊙} I^O \\
 F_1 \quad I^A I^B, I^A I^O, \quad I^B I^O, I^O I^O \\
 \quad \quad \quad IV \quad II \quad \quad \quad III \quad I
 \end{array}$$

У детей возможны все четыре группы крови. IV-я группа крови — пример кодоминирования.

**1.134.** Укажите возможные группы крови у детей, оба родителя которых гетерозиготны, причем, у отца группа крови A, а у матери — B.

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (O)	$I^O$	$I^O I^O$
II группа (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^O$
III группа (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^O$
IV группа (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$

$$\begin{array}{r}
 P \quad \text{♀} \quad I^B I^O \quad \times \quad \text{♂} \quad I^A I^O \\
 G. \quad \text{⊙} I^B \quad \text{⊙} I^O \quad \quad \quad \text{⊙} I^A \quad \text{⊙} I^O \\
 F_1 \quad I^A I^B, I^A I^O, \quad I^B I^O, I^O I^O \\
 \quad \quad \quad AB \quad A \quad \quad \quad B \quad O
 \end{array}$$

У детей от этого брака возможны все четыре группы крови с равной вероятностью.

1.135. У ребенка группа крови А, у отца — О. Какая группа крови у матери?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (O)	$I^O$	$I^O I^O$
II группа (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^O$
III группа (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^O$
IV группа (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$

Генотип отца —  $I^O I^O$ , ребенка —  $I^A I^O$  (так как у отца I группа крови). Поскольку у ребенка есть антиген А, а у отца его нет, следовательно, он получен от матери (II и IV группы крови имеют антиген А). Генотипы второй группы —  $I^A I^A$  и  $I^A I^O$ , четвертой —  $I^A I^B$ .

Возможны два варианта.

1-й вариант: а) P ♀  $I^A I^A$  × ♂  $I^O I^O$

G  $(I^A)$   $(I^O)$

генотип  $I^A I^O$

F<sub>1</sub>

фенотип А

б) P ♀  $I^A I^O$  × ♂  $I^O I^O$

G  $(I^A)$   $(I^O)$   $(I^O)$

генотип  $I^A I^O, I^O I^O$

F<sub>1</sub>

фенотип А, О

2-й вариант: P ♀  $I^A I^B$  × ♂  $I^O I^O$

G  $(I^A)$   $(I^B)$   $(I^O)$

генотип  $I^A I^O, I^B I^O$

F<sub>1</sub>

фенотип А, В

Таким образом, группа крови матери II (А) или IV (AB).

1.136. В родильном доме перепутали двух мальчиков. Родители одного из них имеют I и II группы крови, родители другого — II и IV. Исследование показало, что дети имеют I и II группы. Определите, кто чей сын.

Решение.

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (O)	$I^O$	$I^O I^O$
II группа (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^O$
III группа (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^O$
IV группа (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$

$I^O I^O$  и  $I^A I^A$  или  $I^A I^O$  — генотип первой пары родителей.

$I^A I^A$  или  $I^A I^O$  и  $I^A I^B$  — генотип второй пары родителей.

$I^O I^O$  — генотип первого ребенка.

$I^A I^A$  или  $I^A I^O$  — генотип второго ребенка.

Определяем вероятные группы крови у детей первой пары родителей:

1) P ♀  $I^O I^O$  × ♂  $I^A I^A$

G  $(I^O)$   $(I^A)$

генотип  $I^A I^O$

F<sub>1</sub>

фенотип А

2) P ♀  $I^O I^O$  × ♂  $I^A I^O$

G  $(I^O)$   $(I^A)$   $(I^O)$

генотип  $I^A I^O, I^O I^O$

F<sub>1</sub>

фенотип А, О

Дети данных родителей могут иметь I и II группы крови.

Определяем вероятные группы крови у второй пары родителей:

1) P ♀  $I^A I^A$  × ♂  $I^A I^B$

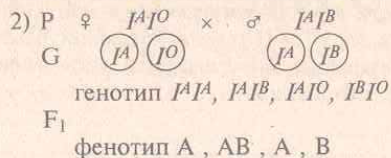
G  $(I^A)$   $(I^A)$   $(I^O)$

генотип  $I^A I^A, I^A I^B$

F<sub>1</sub>

фенотип А, АВ





У детей данной семьи возможны A, B и AB группы крови.

Таким образом, ребенок с I группой крови — сын первой пары родителей, со II — сын второй пары родителей.

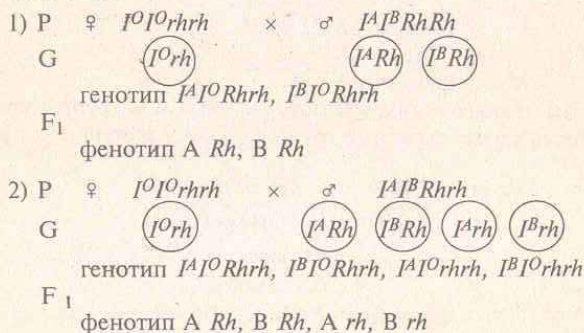
1.137. Какие группы крови может иметь ребенок, если у отца она четвертой группы, резус положительная, у матери — первой группы, резус отрицательная?

**Решение.**

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (O)	$I^O$	$I^O I^O$
II группа (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^O$
III группа (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^O$
IV группа (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$
Резус-положительность	$Rh$	$RhRh, Rhrh$
Резус-отрицательность	$rh$	$rhrh$

$I^A I^B RhRh$  или  $I^A I^B Rhrh$  — генотип отца,  $I^O I^O rhrh$  — генотип матери.

Определяем генотипы детей при разных сочетаниях вступивших в брак родителей:



Таким образом, дети могут иметь группы крови A и B, резус-фактор как положительный, так и отрицательный.

1.138. У родителей, имеющих третью и первую группы крови, родился ребенок с первой группой крови. Какова вероятность того, что их следующий ребенок будет иметь первую группу крови?

1.139. Одна пара супругов имеет II и III группы крови, вторая — III и IV. У ребенка I группа. Определите, чей это ребенок.

1.140. У родителей II и III группы крови. Какие группы крови можно ожидать у детей?

1.141. У мальчика группа крови AB, резус положительный, а у его брата — O, резус отрицательный. Каковы группы крови у родителей?

1.142. Мать со II группой крови имеет ребенка с I группой крови. Установите возможные группы крови отца.

1.143. У матери I группа крови, у отца — IV. Могут ли дети унаследовать группу крови одного из своих родителей?

1.144. У мальчика I группа крови, а у его сестры — IV. Определите группы крови родителей.

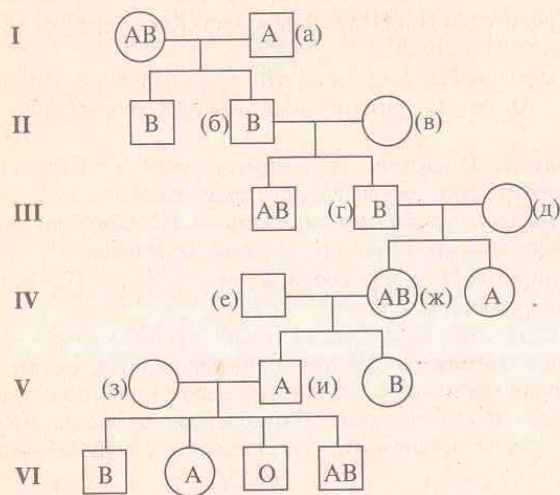
1.145. В семье, где жена имеет I группу крови, а муж — IV, родился сын-дальтоник с III группой крови. Оба родителя различают цвета нормально. Определите вероятность рождения здорового сына и его возможные группы крови. Дальтонизм наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак.

1.146. У родителей со II группой крови родился сын с I группой крови и гемофилик. Оба родителя не страдают этой болезнью. Определите вероятность рождения второго ребенка здоровым и его возможные группы крови. Гемофилия наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак.

1.147. Женщина с группой крови B возбудила дело о взыскании алиментов против мужчины с группой крови O, утверждая, что он отец ее ребенка. Ребенок имеет группу крови O. Какое решение должен вынести суд?

1.148. Ниже приведена родословная по группам крови для шести поколений людей. Кружками обозначены женщины,

квадратиками — мужчины. Браки показаны горизонтальными линиями, связывающими двух индивидуумов, а связи между родителями и детьми — вертикальными линиями, отходящими от линии, обозначающей брак. Например, б и в — супружеская пара, а г — их сын (один из двух). Укажите возможный генотип (генотипы) каждого индивидуума, обозначенного здесь строчной буквой в скобках.



### 1.8. Плейотропное действие гена

1.149. У мышей ген доминантной желтой пигментации шерсти  $A$  обладает гомозиготным летальным действием (генотип  $AA$  приводит к гибели эмбриона). Его аллель  $a$  детерминирует рецессивную черную пигментацию и обеспечивает жизнеспособность мышей. Скрещены две желтые особи. Какое расщепление по окраске шерсти ожидается в  $F_1$ ?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Желтая шерсть	$A$	$Aa$
Черная шерсть	$a$	$aa$
Нежизнеспособны		$AA$

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad Aa \\
 G \quad \text{Ⓐ} \text{ⓐ} \quad \quad \quad \text{Ⓐ} \text{ⓐ} \\
 F_1 \quad AA, \quad Aa, \quad Aa, \quad aa \\
 \text{погибают} \quad \quad \quad 2 \quad : \quad 1
 \end{array}$$

1.150\*. Генетик, занимающийся изучением различных генов, определяющих окраску шерсти у мышей, пытался вывести чистые линии мышей каждой из возможных окрасок. В процессе работы он скрещивал между собой желтых мышей на протяжении нескольких поколений и всякий раз обнаруживал в потомстве какую-то долю особей иной окраски.

а) Какие выводы можно из этого сделать относительно генотипа желтых мышей?

б) Скрещивания в нескольких поколениях дали в общей сложности 184 особи с желтой шерстью и 95 особей иной окраски; что можно сказать о природе гена желтой окраски на основании этих результатов?

в) Почему ни-разу не удалось получить гомозиготную желтую мышь?

г) Что случилось с гомозиготным желтым потомством? Как можно это доказать?

1.151. Если среди представителей какого-либо вида млекопитающих есть особи, несущие сцепленный с полом летальный ген, вызывающий гибель и рассасывание зародыша на ранних стадиях развития, то какого соотношения полов следует ожидать среди потомков нормального самца и самки, несущей этот ген?

1.152. Серповидноклеточная анемия у аборигенов Африки обусловлена доминантным геном  $S$ , который в гомозиготном состоянии вызывает гибель особей от анемии. Люди с генотипом  $ss$  в местных условиях гибнут от малярии, но не страдают



малокровием. Гетерозиготы  $Ss$  выживают, так как не страдают малокровием и не болеют малярией. Какова доля жизнеспособного потомства у гетерозиготных родителей; у гетерозиготной матери и здорового отца?

1.153. Укажите, при каких условиях получаются следующие фенотипические отношения:

- а) 3 : 1;                      г) 9 : 7;  
 б) 1 : 2 : 1;                д) 1 : 4 : 6 : 4 : 1;  
 в) 9 : 3 : 3 : 1;            е) 2 : 1.

1.154. У человека имеется летальный ген, обуславливающий в гетерозиготном состоянии брахидактилию, т.е. укорочение средней фаланги пальцев. У гомозигот этот ген является причиной аномального развития скелета. Дети, гомозиготные по этому гену, рождаются без пальцев и с другими нарушениями в развитии скелета, приводящими к смерти в раннем возрасте.

а) Какова вероятность того, что у двух, страдающих брахидактилией супругов, родится нормальный ребенок?

б) Какого соотношения фенотипов следует ожидать у потомков от брака нормальной женщины и страдающего брахидактилией мужчины?

## 2. ГЕНЕТИКА ЧЕЛОВЕКА. АНАЛИЗ РОДОСЛОВНЫХ

Генеалогический метод (метод анализа родословных) был предложен в 1883 г. Ф. Гальтоном.

Основные символы для составления родословных представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Символы для составления родословных

Обозначения	Значения
	Женщина
	Мужчина
	Пробанд
	Брак
	Близкородственный брак
	Дети (сиссы)
	Мнозиготные близнецы
	Дизиготные близнецы
	Носители анализируемого признака, в т.ч. и больные
	Гетерозиготы по изучаемому признаку

**Пробанд** — человек, с которого начинается исследование определенной семьи; **сиссы** — потомки одних и тех же родителей (братья и сестры).

При построении родословных необходимо соблюдать следующие правила:

а) необходимо выяснить по собранному материалу число поколений;

б) построение родословной начинается с пробанда;  
 в) каждое поколение нумеруется римскими цифрами слева;  
 г) символы, обозначающие особей одного поколения, располагаются на горизонтальной линии и могут нумероваться арабскими цифрами.

Первоначально ученых интересовал в основном характер наследования таких признаков человека, как интеллект, специфическая одаренность, в ряде случаев — даже социальное положение. Один из самых удобных способов выяснения истории рода и изучения наследственности человека — составление родословных.

Примером составления родословной по историческим сведениям является родословная семьи Пушкиных (рис 2.1). Данная родословная составлена с использованием сведений, взятых из монографии С. Б. Веселовского «Род и предки А. С. Пушкина в истории» (1990 г.).

Широкое распространение в генетических исследованиях человека получило изучение характера наследования некоторых типичных (цвет глаз) и оригинальных морфологических признаков. Известна, например, родословная династии Габсбургов, где у многих членов императорского дома прослежено на протяжении шести столетий наличие узкой, выступающей вперед нижней челюсти и отвислой нижней губы.

Существуют следующие типы наследования морфологических признаков:

- аутосомно-доминантный;
- аутосомно-рецессивный;
- сцепленный с X-хромосомой (с полом) доминантный;
- сцепленный с X-хромосомой (с полом) рецессивный;
- голандрический.

В настоящее время генеалогический метод широко используется в практике медико-генетического консультирования. С его помощью устанавливается, главным образом, тип наследования заболевания и определяется, если это возможно, примерный генотип пробанда, а также его близких родственников, и, самое главное, рассчитывается вероятность проявления болезни в потомстве пробанда.

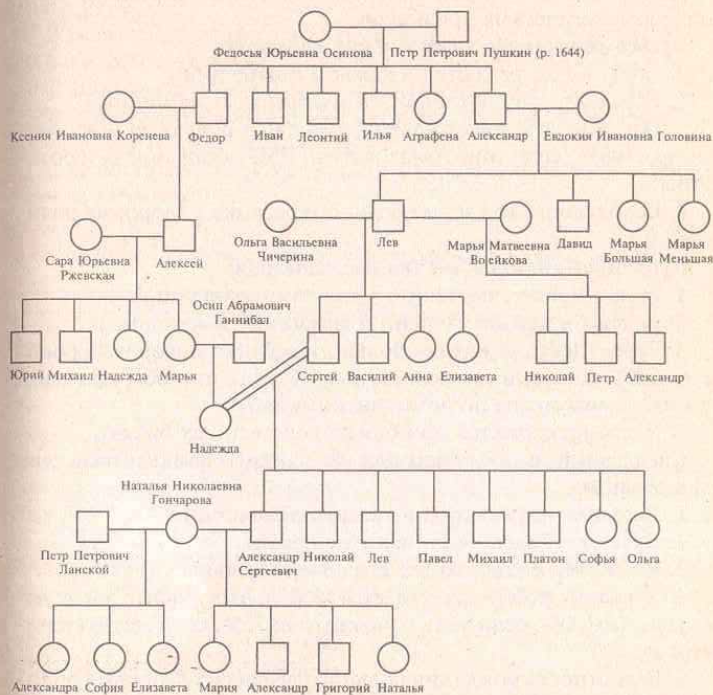


Рис 2.1. Родословная семьи Пушкиных.

*Примечание:* Пушкины принадлежали к старинному дворянскому роду, предки которого упоминаются с 13 в., и который был тесно связан с историей становления Русского государства. По линии бабушки Марии Алексеевны вторая родословная ветвь будущего поэта — Ржевские — восходила к еще более древним временам Киевской Руси. Третьей ветвью, вплетающейся в родословную Пушкиных, были Ганнибалы — Абрам Петрович, сын эфиопского князя и крестник Петра I, и его сын Осип Абрамович, отец Надежды Осиповны. Пушкина Надежда Осиповна, мать поэта, имела восемь детей (Павел, Михаил, Софья умерли младенцами; Николай и Платон умерли в детском возрасте). Интересно отметить, что Василий Львович, дядя Александра Сергеевича Пушкина, был также русским поэтом, а Наталья Николаевна Гончарова и сам Александр Сергеевич имели в десятом колене общего прямого предка — Ивана Гавриловича Пушкина.



Для заболеваний характерны те же типы наследования, что и для морфологических признаков.

#### Аутосомно-доминантный тип наследования.

1. Больные встречаются в каждом поколении.
2. Болеют в равной степени и мужчины, и женщины.
3. Больной ребенок рождается у больных родителей с вероятностью 100%, если они гомозиготны, 75%, если они гетерозиготны.
4. Вероятность рождения больного ребенка у здоровых родителей 0%.

#### Аутосомно-рецессивный тип наследования:

1. Больные встречаются не в каждом поколении.
2. Болеют в равной степени и мужчины, и женщины.
3. Вероятность рождения больного ребенка у здоровых родителей 25%, если они гетерозиготны; 0%, если они оба, или один из них, гомозиготны по доминантному гену.
4. Часто проявляется при близкородственных браках.

#### Сцепленный с X-хромосомой (с полом) доминантный тип наследования:

1. Больные встречаются в каждом поколении.
2. Болеют в большей степени женщины.
3. Если отец болен, то все его дочери больны.
4. Больной ребенок рождается у больных родителей с вероятностью 100%, если мать гомозиготна; 75%, если мать гетерозиготна.
5. Вероятность рождения больного ребенка у здоровых родителей 0%.

#### Сцепленный с X-хромосомой (с полом) рецессивный тип наследования.

1. Больные встречаются не в каждом поколении.
2. Болеют, в основном, мужчины.
3. Вероятность рождения больного мальчика у здоровых родителей 25%, больной девочки — 0%.

#### Голандрический тип наследования.

1. Больные встречаются в каждом поколении.
2. Болеют только мужчины.
3. Если отец болен, то все его сыновья больны.

4. Вероятность рождения больного мальчика у больного отца равна 100%.

В разделе приводятся задачи на анализ уже составленных родословных и составление родословных по предложенным исходным данным с установлением характера наследования признака и вероятности проявления его у потомков; учащимся предлагается составить собственные родословные.

Для составления родословных рекомендуется использовать данные таблицы 2.2.

Таблица 2.2. Доминантные и рецессивные признаки человека

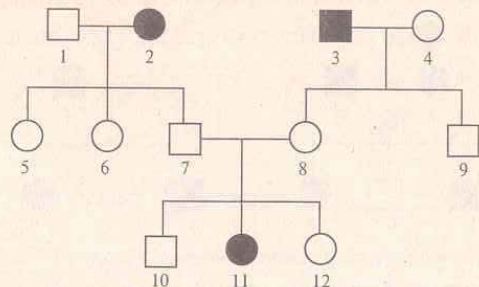
Признаки	Доминантные	Рецессивные
Глаза	Большие	Маленькие
Цвет глаз	Карие	Голубые
Разрез глаз	Прямой	Косой
Тип глаз	Монголоидный	Европеоидный
Острота зрения	Близорукость	Нормальное
Верхнее веко	Нависающее (эпикант)	Нормальное
Ямочки на щеках	Есть	Нет
Уши	Широкие	Узкие
	Длинные	Короткие
Подбородок	Прямой	Отступающий назад
	Широкий	Узкий и острый
Выступающие зубы и челюсти	Имеются	Отсутствуют
Щель между резцами	Есть	Нет
Волосы	С мелкими завитками	Вьющиеся, волнистые
	Жесткие, прямые, «ежик»	Прямые, мягкие
	Вьющиеся	Волнистые или прямые
Поседение волос	В возрасте 25 лет	После 40 лет
Облысение	У мужчин	У женщин
Белая прядь волос над лбом	Имеется	Отсутствует
Рост волос по средней линии лба	Есть	Нет
Мохнатые брови	Есть	Нет
Нижняя губа	Толстая и отвисающая	Нормальная

Продолжение таблицы 2.2.

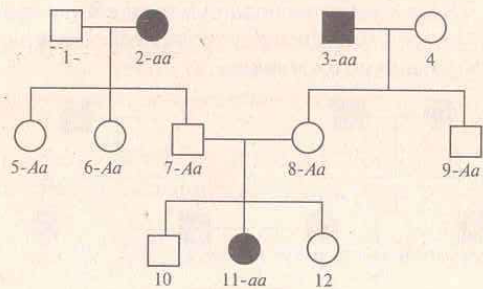
Признаки	Доминантные	Рецессивные
Способность загибать язык назад	Есть	Нет
Способность свертывать язык трубочкой	Есть	Нет
Зубы при рождении	Имеются	Отсутствуют
Кожа	Толстая	Тонкая
Цвет кожи	Смуглый	Белый
Веснушки	Есть	Нет
Кисть	С 6 или с 7 пальцами	С 5 пальцами
Преобладающая рука	Правая	Левая
Узоры на коже пальцев	Эллиптические	Циркулярные
Антигены системы АВО	А, В	О
Голос (у женщины)	Сопрано	Альт
Голос (у мужчины)	Бас	Тенор
Абсолютный музыкальный слух	Имеется	Отсутствует
Наследственная глухота	Отсутствует	Имеется

## ЗАДАЧИ

2.1. Рассмотрите приведенную ниже родословную. Определите характер наследования голубоглазости и, по возможности, укажите генотип родителей и потомства.



**Решение.** На изображенной здесь родословной девочка (11) — голубоглазая, тогда как ее сестра (12) и брат (10), а также мать (8) и отец (7) — все кареглазые. Две ее тетки (5 и 6), один дядя (9), дедушка по отцовской линии (1) и бабушка по материнской линии (4) также кареглазые, но бабушка по отцовской линии (2) и дедушка по материнской линии (3) — голубоглазые.

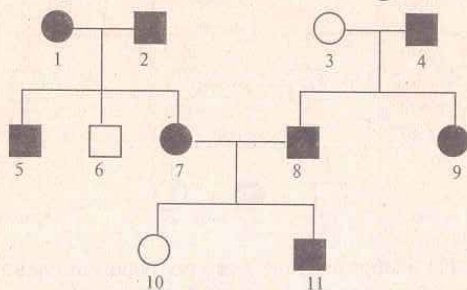


Характер наследования признака — рецессивный, т.к. признак встречается не в каждом поколении, и у кареглазых родители



лей (7 и 8) рождается голубоглазая девочка. Обозначив ген голубоглазости через  $a$ , а ген кареглазости — через  $A$ , можем записать генотип бабушки (2) и дедушки (3), двух теток (5, 6) и дяди (9), отца (7), матери (8) и их дочери (11). Генотип остальных членов семьи точно установить невозможно.

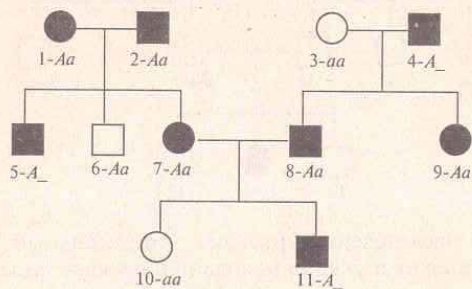
2.2. Родословная семей по способности ощущать вкус фенилтиомочевины: ● — ощущает как горький, ○ — не ощущает.



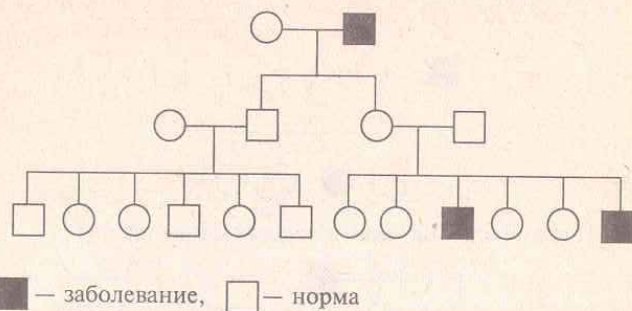
Определите наследование признака и генотипы членов родословной.

**Решение.** В данной родословной способность ощущать вкус фенилтиомочевины наблюдается в каждом поколении, и у родителей 1 и 2, 7 и 8 в потомстве родились дети с иным фенотипом. Это признаки аутосомно-доминантного наследования.

Генотипы членов родословной:



2.3. Приводится родословная семьи, страдающей заболеванием. Установите характер наследования заболевания.



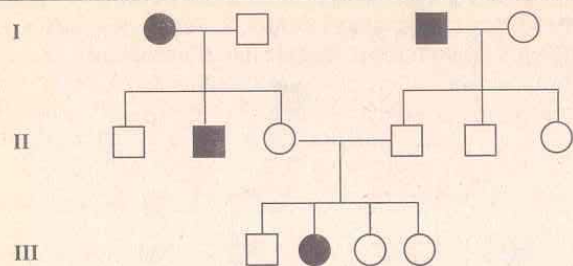
**Решение.** Из приведенной родословной видно, что болеют только мужчины. Отсюда можно предположить, что заболевание сцеплено с полом. Больные дети появились у здоровых родителей, следовательно, ген анализируемой болезни рецессивный. В то же время, от брака больного мужчины со здоровой женщиной дети независимо от пола оказываются здоровыми. Это возможно в том случае, когда рецессивный ген аномалии сцеплен с  $X$ -хромосомой. У мужчин  $X$ -хромосома только одна и рецессивный ген болезни не может быть подавлен; у женщин же  $X$ -хромосомы две. Поэтому, если женщина унаследует от отца эту  $X$ -хромосому с геном болезни, то доминантный ген нормы другой  $X$ -хромосомы, полученной от матери, подавит ген аномалии.

Больные встречаются не в каждом поколении. Это также один из признаков сцепленного с полом рецессивного наследования.

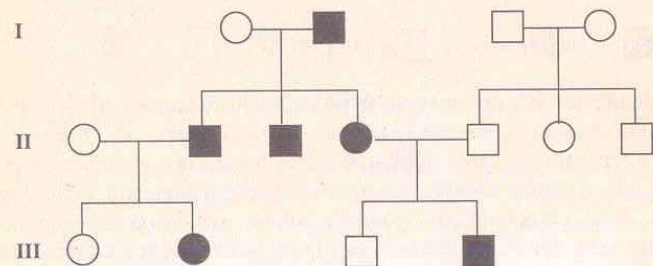
Таким образом, тип наследования — сцепленный с полом, рецессивный.

2.4. Рассмотрите приведенные ниже родословные и определите характер наследования указанных там признаков:

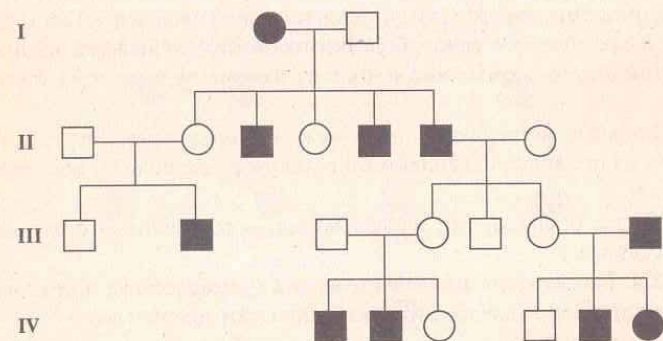
а) Леворукость:



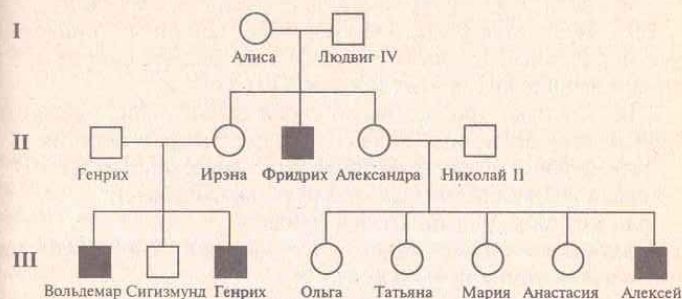
б) Пятнистость (на коже и волосах белые пятна):



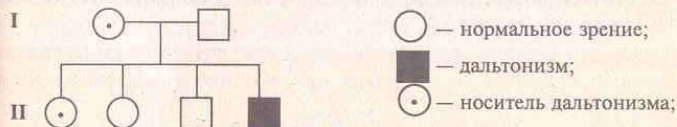
в) Атрофия зрительного нерва:



2.5. Ниже приведена часть родословной королевы Виктории (Алиса Гессенская — ее дочь). Это пример классического наследования гемофилии. Укажите носителей гемофилии для каждого поколения и их генотипы.



2.6. На схеме показано наследование дальтонизма у человека. Определите генотипы родителей и потомков. Рассчитайте вероятность (в %) рождения в этой семье еще одного дальтоника.



○ — нормальное зрение;  
 ■ — дальтонизм;  
 ○• — носитель дальтонизма;

2.7. Молодожены нормально владеют правой рукой. В семье женщины-пробанда было еще две сестры, нормально владевших правой рукой, и три брата — левши. Мать женщины — правша, отец — левша. Бабуки и деды со стороны матери и отца мужа нормально владели правой рукой. Составьте родословную семьи. Определите вероятность рождения в этой семье детей, владеющих левой рукой.

2.8. Пробанд — нормальная женщина — имеет пять сестер, две из которых однайцевые близнецы, две — двуяйцевые близнецы. Все сестры имеют шесть пальцев на руке. Мать пробанда нормальна, отец — шестипалый. Со стороны матери все предки нормальны. У отца два брата и четыре сестры — все пятипалые.



Бабка по линии отца шестипалая. У нее было две шестипалые сестры и одна пятипалая. Дед по линии отца и все его родственники пятипалые. Составьте родословную семьи. Определите вероятность рождения в семье пробанда шестипалых детей при условии, если она выйдет замуж за нормального мужчину.

2.9\*. Используя родословную семьи Пушкиных, приведенную на рисунке 2.1, рассчитайте средний возраст одного поколения в дворянских семьях России XVII—XIX вв.

2.10. Составьте родословную своей семьи, используя отдельные наследственные признаки из следующего перечня:

рыжие волосы (признак обусловлен рецессивным геном);

цвет глаз (карий цвет доминирует над голубым);

близорукость (доминантный признак);

свободные ушные мочки (этот признак доминирует над приросшими ушными мочками);

леворукость (рецессивный признак);

группа крови (ABO);

наличие резус-фактора (резус-положительная кровь определяется доминантным геном);

2.11. Используя данные таблиц 2.1 и 2.2, составьте родословную своей семьи.

### 3. ПОПУЛЯЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА. ЗАКОН ХАРДИ-ВАЙНБЕРГА

**Популяция** — это совокупность особей одного вида, длительное время занимающих определенный ареал, свободно скрещивающихся между собой и относительно изолированных от других популяций этого вида.

Основная закономерность, позволяющая исследовать генетическую структуру больших популяций, была установлена в 1908 г. независимо друг от друга английским математиком Г. Харди и немецким врачом В. Вайнбергом.

Закон Харди-Вайнберга: *в идеальной популяции соотношение частот генов и генотипов — величина постоянная из поколения в поколение.*

**Признаки идеальной популяции:** численность популяции велика, существует панмиксия (нет ограничений к свободному выбору партнера), отсутствуют мутации по данному признаку, не действует естественный отбор, отсутствуют приток и отток генов.

**Первое положение** закона Харди-Вайнберга гласит: *сумма частот аллелей одного гена в данной популяции равна единице. Это записывается следующим образом:*

$$p + q = 1,$$

где  $p$  — частота доминантного аллеля  $A$ ,  $q$  — частота рецессивного аллеля  $a$ . Обе величины обычно принято выражать в долях единицы, реже — в процентах (тогда  $p + q = 100\%$ ).

**Второе положение** закона Харди-Вайнберга: *сумма частот генотипов по одному гену в данной популяции равна единице. Формула для вычисления частот генотипов имеет следующий вид:*

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

где  $p^2$  — частота гомозиготных особей по доминантному аллелю (генотип  $AA$ ),  $2pq$  — частота гетерозигот (генотип  $Aa$ ),  $q^2$  — частота гомозиготных особей по рецессивному аллелю (генотип  $aa$ ).

Вывод этой формулы: в **равновесной популяции** женские и мужские особи имеют одинаковые частоты как аллеля  $A$  ( $p$ ), так

и аллеля  $a$  ( $q$ ). В результате скрещивания женских гамет  $\varphi(p + q)$  с мужскими  $\sigma(p + q)$  и определяются частоты генотипов:  $(p + q)(p + q) = p^2 + 2pq + q^2$ .

Третье положение закона: в равновесной популяции частоты аллелей и частоты генотипов сохраняются в ряду поколений.

### ЗАДАЧИ

**3.1.** В популяции, подчиняющейся закону Харди-Вайнберга, частоты аллелей  $A$  и  $a$  соответственно равны 0,8 и 0,2. Определите частоты гомозигот и гетерозигот по этим генам в первой генерации.

**Решение.** Частоты генотипов вычисляются по уравнению Харди-Вайнберга:

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

где  $p$  — частота доминантного гена, и  $q$  — частота рецессивного гена.

В данной задаче частота аллеля  $A$  равна 0,8, а частота аллеля  $a$  равна 0,2. Подставив эти числовые значения в уравнение Харди-Вайнберга, получим следующее выражение:

$$0,8^2 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 + 0,2^2 = 1 \text{ или } 0,64 + 0,32 + 0,04 = 1.$$

Из уравнения следует, что 0,64 — частота доминантного гомозиготного генотипа ( $AA$ ), а 0,04 — частота рецессивного гомозиготного генотипа ( $aa$ ). 0,32 — частота гетерозиготного генотипа ( $Aa$ ).

**3.2.** В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых особей, остальные рыжие. Определите процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.

**Решение.**

По уравнению Харди-Вайнберга частоты генотипов равны:

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

Частота белых гомозиготных по рецессивному аллелю особей составит  $q^2 = \frac{10}{1000} = \frac{1}{100} = 0,01 = 1\%$ . Отсюда частота рецессивного аллеля  $q$  будет равна 0,1. Поскольку,  $p + q = 1$ , то частота доминантного аллеля будет равна  $p = 1 - q = 1 - 0,1 = 0,9$ . Это значит, что частота рыжих доминантных гомозиготных лисиц составит  $0,9^2$  или 0,81, а частота рыжих гетерозиготных особей будет равна  $2pq$  или  $2 \cdot 0,9 \cdot 0,1 = 0,18$ .



Таким образом, рыжих гомозиготных лисиц в популяции 81%, рыжих гетерозиготных — 18%, белых лисиц — 1%.

3.3. Аллель кареглазости доминирует над голубоглазостью. В популяции оба аллеля встречаются с равной вероятностью.

Отец и мать кареглазые. С какой вероятностью следует ожидать, что родившийся у них ребенок будет голубоглазым?

**Решение.** Если в популяции оба аллеля встречаются одинаково часто, то в ней  $1/4$  доминантных гомозигот,  $1/2$  гетерозигот (и те и другие кареглазые) и  $1/4$  рецессивных гомозигот (голубоглазые). Таким образом, если человек кареглазый, то два против одного, что это гетерозигота. Итак, вероятность оказаться гетерозиготой  $2/3$ . Вероятность передать потомству аллель голубоглазости равна 0, если организм гомозиготен, и  $1/2$ , если он гетерозиготен. Полная вероятность того, что данный кареглазый родитель передаст потомству аллель голубых глаз, равна  $2/3 \times 1/2$ , т.е.  $1/3$ . Чтобы ребенок был голубоглазым, он должен получить от каждого из родителей по аллелю голубых глаз. Это произойдет с вероятностью  $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$ .

3.4. Кистозный фиброз поджелудочной железы поражает индивидумов с рецессивным гомозиготным генотипом и встречается среди населения с частотой 1 на 2000. Вычислите частоту носителей.

**Решение.** Носители являются гетерозиготами. Частоты генотипов вычисляются по уравнению Харди-Вайнберга:

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

где  $p^2$  — частота доминантного гомозиготного генотипа,  $2pq$  — частота гетерозиготного генотипа и  $q^2$  — частота рецессивного гомозиготного генотипа.

Кистозный фиброз поджелудочной железы поражает индивидумов с рецессивным гомозиготным генотипом; следовательно,  $q^2 = 1$  на 2000, или  $1/2000 = 0,0005$ . Отсюда  $q = \sqrt{0,0005} = 0,0224$ .

Поскольку  $p + q = 1$ , то  $p = 1 - q = 1 - 0,0224 = 0,9776$ .

Таким образом, частота гетерозиготного генотипа ( $2pq$ ) =  $2 \times (0,9776) \times (0,0224) = 0,044 = 1$  на  $23 \approx 5\%$ , т.е. носители рецес-

сивного гена кистозного фиброза поджелудочной железы составляют около 5% от популяции.

3.5. При обследовании населения города N (100 000 человек) обнаружено 5 альбиносов. Установите частоту встречаемости гетерозиготных носителей гена альбинизма.

**Решение.** Так как альбиносы являются рецессивными гомозиготами ( $aa$ ), то, согласно закону Харди-Вайнберга:  $q^2 = \frac{5}{100000} = \frac{1}{20000}$ ; частота рецессивного гена  $q = \sqrt{\frac{1}{20000}} \approx \frac{1}{141}$ ,  $p + q = 1$ , отсюда  $p = 1 - q$ ;  $p = 1 - \frac{1}{141} = \frac{140}{141}$ . Частота гетерозигот составляет  $2pq$ :

$$2pq = 2 \times \frac{140}{141} \times \frac{1}{141} = \frac{280}{19881} \approx \frac{1}{70}.$$

Следовательно, каждый 70-й житель города N является гетерозиготным носителем гена альбинизма.

3.6. В популяции из 5000 человек 64% способны свертывать язык трубочкой (доминантный ген  $R$ ), а 36% такой способностью не обладают (рецессивный ген  $r$ ). Вычислите частоты встречаемости генов  $R$  и  $r$  и генотипов  $RR$ ,  $Rr$  и  $rr$  в популяции.

**Решение.** Частота встречаемости лиц с генотипами  $RR$  и  $Rr$  равна 0,64, а гомозигот  $rr$  ( $q^2$ ) = 0,36. Исходя из этого, частота гена  $r$  равна  $0,6(\sqrt{0,36})$ . А поскольку  $p + q = 1$ , то  $p = 1 - q = 0,4$ , т.е. частота аллеля  $R(p)$  составляет 0,4. Если  $p = 0,4$ , то  $p^2 = 0,16$ . Значит, частота встречаемости лиц с генотипом  $RR$  составляет 16%.

Итак, частоты встречаемости генов  $R$  и  $r$  0,4 и 0,6. Частоты генотипов  $RR$ ,  $Rr$  и  $rr$  составляют, соответственно, 0,16, 0,48 и 0,36.

3.7. В популяции встречаются три генотипа по гену альбинизма  $a$  в соотношении:  $9/16 AA$ ,  $6/16 Aa$  и  $1/16 aa$ . Находится ли данная популяция в состоянии генетического равновесия?

**Решение.** Известно, что популяция состоит из  $9/16 AA$ ,  $6/16 Aa$  и  $1/16 aa$  генотипов. Соответствует ли такое соотношение равновесию в популяции, выражаемому формулой Харди-Вайнберга?



После преобразования чисел становится ясным, что популяция по заданному признаку находится в состоянии равновесия:  $(3/4)^2 AA : 2 \cdot 3/4 \cdot 1/4 Aa : (1/4)^2 aa$ . Отсюда  $p = \sqrt{\frac{9}{16}} = 0,75$ ,

$$q = \sqrt{\frac{1}{16}} = 0,25.$$

3.8. Сахарный диабет (рецессивный признак) встречается среди населения с частотой 1 на 200. Вычислите частоту гетерозигот-носителей.

3.9. Серповидноклеточная анемия (рецессивный признак) встречается в популяции людей с частотой 1: 700. Вычислите частоту гетерозигот.

3.10. Доля особей  $aa$  в большой популяции равна 0,49. Какая часть популяции гетерозиготна по гену  $A$ ?

3.11. В популяции дрозофилы частота аллеля  $b$  (черная окраска тела) равна 0,1. Установите частоты серых и черных мух в популяции, а также гомозиготных и гетерозиготных особей.

3.12. Соответствует ли формуле Харди-Вайнберга следующее соотношение гомозигот и гетерозигот в популяции: 4096  $AA$  : 4608  $Aa$  : 1296  $aa$ ?

3.13. В одной популяции 70% людей способны ощущать горький вкус фенилтиомочевина (ФТМ), а 30% не различают ее вкуса. Способность ощущать вкус ФТМ детерминирована доминантным геном  $T$ . Определите частоту аллелей  $T$  и  $t$  и генотипов  $TT$ ,  $Tt$  и  $tt$  в данной популяции.

3.14. Доля особей  $AA$  в большой панмиктической популяции равна 0,09. Какая часть популяции гетерозиготна по гену  $A$ ?

3.15. Альбинизм у ржи наследуется как аутосомный рецессивный признак. На обследованном участке 84 000 растений. Среди них обнаружено 210 альбиносов. Определите частоту гена альбинизма у ржи.

3.16\*. У крупного рогатого скота породы шортгорн красная масть не полностью доминирует над белой. Гибриды от скрещивания красных с белыми имеют чалую масть. В районе, специализирующемся на разведении шортгорнов, зарегистрировано

4169 красных животных, 3780 чалых и 756 белых. Определите частоту генов красной и белой окраски скота в данном районе.

3.17\*. На пустынный островок случайно попало одно зерно пшеницы, гетерозиготной по некоторому гену  $A$ . Оно возшло и дало начало серии поколений, размножавшихся путем самоопыления. Какими будут доли гетерозиготных растений среди представителей второго, третьего, четвертого, ...,  $n$ -го поколений, если контролируемый рассматриваемым геном признак в данных условиях никак не сказывается на выживаемости растений и их способности производить потомство?

3.18\*. Снайдер исследовал 3643 человека на способность ощущать вкус фенилтиомочевина (доминантный признак), и нашел, что 70,2% из них являются «ощущающими», а 29,8% — «не ощущающими» этот вкус.

а) Какова доля «не ощущающих» детей в браках «ощущающих» с «ощущающими»?

б) Какова доля детей «не ощущающих» вкус фенилтиомочевина в браках «ощущающих» с «не ощущающими» этот вкус?



## 4. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА

Молекулярная генетика исследует процессы, связанные с наследственностью на молекулярном уровне. Единицей генетической или наследственной информации является ген. Ген — это участок молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), несущий информацию об одной полипептидной цепи (одном белке).

Особенности того или иного организма определяются специфичностью его белков. Именно они влияют на обмен веществ, жизнедеятельность и отдельные функции организма, такие, как развитие, восприятие внешних сигналов, движение и т.п. С молекулярной точки зрения белки реализуют все разнообразие генетической информации, именно они и наследуются. Белки состоят из аминокислот, которые соединены между собой пептидными связями. В состав белков входит 20 различных аминокислот. Информация о структуре каждого белка записана и хранится в молекуле ДНК.

Молекула ДНК — полимер, состоящий из двух цепочек нуклеотидов. Каждый нуклеотид состоит из азотистого основания, моносахарида дезоксирибозы и остатка фосфорной кислоты. Азотистые основания в ДНК бывают четырех типов: аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г) и цитозин (Ц). Вдоль нити ДНК азотистые основания прочно связаны между собой через моносахарид и остаток фосфорной кислоты, между цепочками — через водородные связи. В целом структура ДНК напоминает лестницу.

Вся «лестница» ДНК закручена в спираль. Между двумя цепочками азотистые основания располагаются закономерно: аденин всегда против тимина, гуанин — против цитозина. Иными словами, аденин комплементарен тимину, гуанин — цитозину.

Молекулы ДНК обладают способностью к удвоению (репликации). В основе процесса удвоения лежит принцип комплементарности.

Количественные соотношения нуклеотидов в молекуле ДНК известны в виде правил Чаргаффа:

$$1. \Sigma A = \Sigma T \text{ или } \Sigma A / \Sigma T = 1.$$

$$2. \Sigma G = \Sigma C \text{ или } \Sigma G / \Sigma C = 1.$$

$$3. \Sigma(A + G) = \Sigma(T + C) \text{ или } \Sigma(A + G) / \Sigma(T + C) = 1.$$

4. Количество комплементарных оснований А + Т и Г + Ц у разных видов живых организмов различно. Отношение  $\Sigma(G + C) / \Sigma(A + T)$  является важнейшей характеристикой ДНК, как показатель специфичности ее нуклеотидного состава.

Коэффициент специфичности у ДНК варьирует от 0,45 до 2,57 у микроорганизмов, от 0,58 до 0,94 у высших растений и от 0,54 до 0,81 у животных.

Информация о расположении аминокислот в молекуле белка записана и хранится в ДНК в виде определенной последовательности нуклеотидов. Расшифровка кода осуществляется с помощью рибонуклеиновых кислот (РНК). Процесс расшифровки начинается с синтеза информационной РНК (и-РНК). Информационная РНК — полимер, состоящий из одной цепочки нуклеотидов. В состав нуклеотидов входят азотистые основания, моносахарид рибоза и остаток фосфорной кислоты. Азотистых оснований в РНК также четыре: аденин, урацил (У), гуанин, цитозин.

Информационная РНК по принципу комплементарности снимает информацию с ДНК. Этот процесс называется транскрипцией (рис 4.1.).

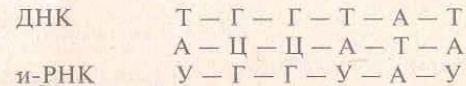


Рис. 4.1. Схема строения ДНК и транскрипции и-РНК.

Следующий этап расшифровки кода происходит в рибосомах, где осуществляется синтез полипептидной цепи белков по матрице и-РНК. Этот процесс называется трансляцией. В этом процессе участвуют транспортные РНК (т-РНК), функция которых состоит в том, чтобы доставить аминокислоты к рибосомам и найти им свое место в полипептидной цепи, предусмотренное кодом.

Следует отметить, что считывание генетической информации осуществляется с молекул и РНК в направлении от 5' → 3'.



Генетический код в настоящее время расшифрован для всех 20 аминокислот и составлен по и-РНК (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Соответствие кодонов и-РНК аминокислотам

		Основания кодонов			
первое	второе	третье			
		У	Ц	А	Г
У	У	Фен	Фен	Лей	Лей
	Ц	Сер	Сер	Сер	Сер
	А	Тир	Тир	—	—
	Г	Цис	Цис	—	Три
Ц	У	Лей	Лей	Лей	Лей
	Ц	Про	Про	Про	Про
	А	Гис	Гис	Гли	Гли
	Г	Арг	Арг	Арг	Арг
А	У	Иле	Иле	Иле	Мет
	Ц	Тре	Тре	Тре	Тре
	А	Асп	Асп	Лиз	Лиз
	Г	Сер	Сер	Арг	Арг
Г	У	Вал	Вал	Вал	Вал
	Ц	Ала	Ала	Ала	Ала
	А	Асп	Асп	Глу	Глу
	Г	Гли	Гли	Гли	Гли

Примечание: Сокращенные названия аминокислот даны в соответствии с международной терминологией.

Обозначения аминокислот: Ала — аланин, Арг — аргинин, Асп — аспарагиновая кислота, Аси — аспарагин, Вал — валин, Гис — гистидин, Гли — глицин, Глн — глутамин, Глу — глутаминовая кислота, Иле — изолейцин, Лей — лейцин, Лиз — лизин, Мет — метионин, Про — пролин, Сер — серин, Тир — тирозин, Тре — треонин, Три — триптофан, Фен — фенилаланин, Цис — цистеин.

**Генетический код триплетен**, т.е. каждую аминокислоту кодируют три рядом стоящие нуклеотида (**кодон**). Триплеты УАА, УАГ и УГА являются **стоп-кодонами**.

Генетический код **вырожден**, т.е. каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном.

В данной части пособия рассматриваются задачи на выяснение состава нуклеиновых кислот, на знание принципа компле-

ментарности при репликации ДНК и транскрипции и-РНК, на расшифровку структуры белка по известным данным о строении ДНК и обратный анализ с помощью таблицы кодирования аминокислот (см. табл. 4.1.). При решении задач по молекулярной генетике необходимо помнить, что в таблице 4.1. приведены кодоны для и-РНК.

## ЗАДАЧИ

### 4.1. Репликация ДНК

**4.1.** Участок одной из цепей ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: ГААЦАТАЦ... Определите последовательность нуклеотидов во второй цепи.

**Решение.** Согласно принципу комплементарности (А—Т, Г—Ц) последовательность нуклеотидов во второй цепи ДНК будет следующей:

первая цепочка ДНК — Г А А Г Ц А Т А Ц,

вторая цепочка ДНК — Ц Т Т Ц Г Т А Т Г.

**4.2.** Фрагмент одной цепи ДНК имеет следующий состав:

— А—А—А—Т—Т—Ц—Ц—Г—Г—Г— . Достройте вторую цепь.

**4.3.** Одна из цепочек молекулы ДНК имеет такую последовательность нуклеотидов: ТЦГАТТТАЦГ... . Какую последовательность нуклеотидов имеет вторая цепочка той же молекулы?

**4.4.** Укажите порядок нуклеотидов в цепочке ДНК, образующейся путем самокопирования цепочки: ААТЦГЦТГАТ... .

**4.5.** Напишите последовательность нуклеотидов ДНК, дополнительно к следующей: ТАГЦТААТАГЦ.

**4.6.** Участок цепи молекулы ДНК имеет такую последовательность нуклеотидов: АТЦАТАГЦЦГ. Какое строение будет иметь двухцепочечный участок молекулы ДНК?

### 4.2. Транскрипция

**4.7.** Укажите последовательность нуклеотидов участка молекулы и-РНК, которая образовалась на участке гена с последовательностью нуклеотидов: ЦТГГЦТТАГЦЦГ... .



**Решение.** Образование информационной РНК идет по тому же механизму, что и самокопирование ДНК: к цитозину присоединяется гуанин, к гуанину — цитозин, к тимину — аденин, однако к аденину ДНК присоединяется не тимин, а урацил РНК. Таким образом, для решения задачи достаточно произвести замену нуклеотидов по схеме:

Ц → Г, Г → Ц, А → У, Т → А.

В результате получим:

цепочка ДНК — Ц Т Г Г Ц Т Т А Г Ц Ц Г,  
молекула и-РНК — Г А Ц Ц Г А А У Ц Г Г Ц.

**4.8.** Одна из цепей ДНК с последовательностью нуклеотидов АТГГЦТЦАА используется в качестве матрицы для синтеза и-РНК. Какую последовательность нуклеотидов будет иметь и-РНК?

**4.9.** Выпишите последовательность оснований в и-РНК, образованной на цепи ДНК с такой последовательностью: ТТЦГАГТАЦАТ.

**4.10.** Определите последовательность нуклеотидов участка молекулы и-РНК, которая образовалась на участке гена с последовательностью нуклеотидов: ЦАЦГАТЦЦТТЦТ.

**4.11.** Фрагмент одной из цепей ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: АААГАТЦАЦАТТЦТГТТАЦТА. Напишите строение молекулы и-РНК, образующейся в процессе транскрипции на этом участке молекулы ДНК.

**4.12.** Образовавшийся участок молекулы и-РНК имеет следующий состав кодонов: ГЦГ-АЦА-УУУ-УЦГ-ЦГУ-АГУ-АГА-АУУ. Определите, какие коды ДНК будут кодировать эту и-РНК и в какой последовательности они будут располагаться.

### 4.3. Биосинтез белков

**4.13.** Фрагмент молекулы ДНК, кодирующий часть полипептида, имеет следующее строение: АТАГТЦЦААГГА. Определите последовательность аминокислот в полипептиде.

**Решение.** Известна одна цепь ДНК, с которой считывается и-РНК. Строим и-РНК по условию задачи: УАУЦАГГУУЦЦУ. Разбиваем ее на триплеты: УАУ, ЦАГ, ГУУ, ЦЦУ. По таблице генетического кода (см. табл. 4.1.) последовательно находим для

каждого триплета соответствующую аминокислоту и строим участок искомого полипептида:

— тирозин — глутамин — валин — пролин —. Итак:  
цепочка ДНК — АТА ГТЦ ЦАА ГГА;  
триплеты и-РНК — УАУ — ЦАГ — ГУУ — ЦЦУ;  
полипептид — Тир — Глн — Вал — Про.

**4.14.** Часть молекулы белка имеет такую последовательность аминокислот: — аланин — тирозин — лейцин — аспарагин —. Какие т-РНК (с какими антикодонами) участвуют в синтезе этого белка?

**Решение.** По таблице генетического кода находим кодоны и-РНК: ГЦУ, УАУ, ЦУУ и ААУ. Антикодоны т-РНК будут комплементарны кодонам и-РНК: ЦГА, АУА, ГАА и УУА. Таким образом:

кодона и-РНК — ГЦУ, УАУ, ЦУУ, ААУ,  
антикодоны т-РНК — ЦГА, АУА, ГАА, УУА.

**4.15.** Как изменится структура белка, если из участка гена АЦАТТТАААГТЦ удалить второй и 10-й слева нуклеотиды?

**Решение.** Первоначально строим и-РНК УГУАААУУУЦАГ, а затем, разбив ее на триплеты, строим участок искомого белка в норме: цистеин — лизин — фенилаланин — глутамин. По условию задачи из цепи ДНК удаляется второй и десятый (слева) нуклеотиды. Остается ААТТТАААТЦ. По полученному участку строим цепь и-РНК УУАААУУАГ, вновь разбив ее на триплеты, находим строение участка белка после произошедших изменений в ДНК: лейцин — аспарагин — лейцин.

До замены: ДНК — АЦА ТТТ ААА ГТЦ;  
и-РНК — УГУ — ААА — УУУ — ЦАГ;  
белок — Цис — Лиз — Фен — Глн.

После замены: ДНК — ААТ ТТА ААТ Ц;  
и-РНК — УУА — ААУ — УУА — Г;  
белок — Лей — Асп — Лей.

Сравнивая строение участка белка до и после изменений в ДНК, видим, что произошла замена всех аминокислот, а длина цепи сократилась на одну аминокислоту.



**4.16.** Полипептид состоит из следующих аминокислот: лизин — валин — серин — глутаминовая кислота.

Определите структуру участка ДНК, кодирующего указанный полипептид.

**Решение.** Дана последовательность аминокислот в полипептиде. По этим сведениям нетрудно установить строение и-РНК, которая управляет синтезом данного полипептида. По таблице генетического кода находим структуру триплета для лизина (AAA), валина (ГУУ), серина (УЦУ) и глутаминовой кислоты (ГАА). Подобрать кодирующие триплеты, составляем и-РНК для данного полипептида: ААА ГУУ УЦУ ГАА. По цепочке и-РНК можно восстановить участок цепи ДНК, с которой она снималась. Урацил вставал против аденина ДНК, гуанин — против цитозина и т.д. Следовательно, участок интересующей нас цепи ДНК будет иметь следующее строение:

ТТТЦАААГАЦТТ.

Но ДНК состоит из двух цепочек. Зная строение одной цепи, по принципу комплементарности достраиваем вторую. Целиком участок двухцепочечной ДНК, кодирующий данный полипептид, будет иметь следующее строение:

Т Т Т Ц А А А Г А Ц Т Т  
А А А Г Т Т Т Ц Т Г А А.

**4.17.** Определите аминокислотный состав полипептида, который кодируется и-РНК следующего состава: ЦЦУ — ЦЦЦ — ЦЦА — ЦЦГ.

**4.18.** Участок молекулы и-РНК имеет следующее строение:

АГУАГАУУЦУУУ.

В каком порядке будут расположены аминокислоты в соответствующем участке белка, синтезируемого на этой РНК как на матрице?

**4.19.** Участок гена, кодирующего одну из полипептидных цепей гемоглобина, состоит из кодов следующего состава: ГАЦЦАТГАА. Определите состав и последовательность аминокислот в полипептидной цепи.

**4.20.** Участок гена, кодирующего белок, состоит из последовательно расположенных нуклеотидов: ААЦГАЦТАТЦАЦТАТАЦЦА АЦГАА. Определите состав и последовательность аминокислот в полипептидной цепи, закодированной в этом участке гена.

**4.21.** В систему для искусственного синтеза белка ввели т-РНК, имеющие антикодоны: ЦГА, УУА, АЦА, ЦЦА. Определите, какие аминокислоты смогут участвовать в биосинтезе белка.

**4.22.** Фрагмент молекулы адренкортикотропного гормона человека, вырабатываемого передней долей гипофиза, имеет структуру: — серин — тирозин — серин — метионин —. Определите перечень антикодонов в т-РНК, участвующих в биосинтезе фрагмента АКТГ.

**4.23.** Часть молекулы белка имеет такую последовательность аминокислот: — лизин — треонин — глицин — валин — аргинин —. Какие т-РНК (с какими антикодонами) участвуют в синтезе этого белка?

**4.24.** Участок гена имеет следующее строение: ЦГЦТЦАА ААТЦГ... . Укажите строение соответствующего участка того белка, информация о котором содержится в данном гене. Как отразится на строении белка удаление из гена первого нуклеотида?

**4.25.** Определите порядок следования друг за другом аминокислот в участке молекулы белка, если известно, что он кодируется такой последовательностью нуклеотидов ДНК: ТГЦГТТ ТАТГЦГ... . Как изменится ответ, если химическим путем из молекулы ДНК будет удален шестой нуклеотид?

**4.26.** Назовите последовательные мономеры участка молекулы белка, который синтезируется на основе информации, «записанной» в молекуле ДНК таким порядком нуклеотидов: ЦЦЦАААААГАТА... . Как отразится на строении белка удаление из молекулы ДНК второго нуклеотида?

**4.27.** Какая последовательность аминокислот кодируется такой последовательностью нуклеотидов ДНК: АГТТТГААЦЦАГ... и какой станет последовательность аминокислот, если между третьим и четвертым нуклеотидами вставить тимин?



4.28. С какой последовательности аминокислот начинается белок, если он закодирован такой последовательностью нуклеотидов: ЦЦАТГГЦЦГТ... . А каким станет начало цепочки аминокислот синтезируемого белка, если под влиянием облучения четвертый нуклеотид окажется выбитым из молекулы ДНК?

4.29. Участок цепи белка вируса табачной мозаики состоит из следующих аминокислот: — серин — глицин — серин — изолейцин — треонин — пролин — серин —. В результате воздействия на и-РНК азотистой кислотой цитозин РНК превращается в гуанин. Определите изменения в строении белка вируса после воздействия на и-РНК азотистой кислотой.

4.30. Какими последовательностями нуклеотидов информационной РНК кодируется следующая последовательность аминокислот белка: — треонин — триптофан — тирозин — валин —?

4.31. Используя таблицу генетического кода (см. табл. 4.1.), напишите участок ДНК, в котором закодирована информация о следующей последовательности аминокислот в белке: — аргинин — триптофан — тирозин — гистидин — фенилаланин —.

4.32. Начало цепи одного гистонового белка имеет следующую аминокислотную последовательность: аланин — аргинин — треонин — лизин —. Какова возможная структура начальных фрагментов и-РНК и двухцепочной ДНК?

4.33. Первые 10 аминокислот в цепи В инсулина: фенилаланин — валин — аспарагин — глутамин — гистидин — лейцин — цистеин — глицин — серин — гистидин —. Определите структуру участка ДНК, кодирующего эту часть цепи инсулина.

4.34. Начальный участок цепи А инсулина представлен следующими пятью аминокислотами: глицин — изолейцин — валин — глутаминовая кислота — глутамин —. Определите структуру участка ДНК, кодирующего эту часть цепи инсулина.

4.35. Какой последовательностью нуклеотидов ДНК кодируется участок белка, если он имеет следующее строение: — аргинин — пролин — лейцин — валин — аргинин —?

## 5. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

**Генетическая инженерия** — это конструирование искусственным путем функционально активных генетических структур и наследственно измененных организмов.

Для того чтобы искусственным путем наделить какой-либо организм новыми наследственными свойствами, нужно ввести в него новый ген или несколько генов от другого организма. Причем нужно, чтобы эти гены в чужом организме начали «работать» — производить белки.

Осуществляется эта процедура с помощью двух операций — «разрезания» и «сшивания». Роль портняжных инструментов играют **ферменты рестриктазы** и **лигазы**.

**Рестриктазы** (своеобразные молекулярные ножницы), действуя на двухцепочную ДНК, «узнают» в ней определенную последовательность нуклеотидов. Причем, каждая рестриктаза узнает только свою последовательность ДНК, прикрепляется к ней и разрезает ее в месте прикрепления. Рестриктазам безразлично, чью ДНК разрезать — человека или растения, бактерии или вируса, лишь бы в ней были **распознаваемые участки**. Это значит, что две совершенно несхожих между собой последовательности ДНК (допустим из клеток слона и лягушки) при обработке одной и той же рестриктазой легко можно сшить (слепить) друг с другом. Обычно рестриктазы распознают в молекулах ДНК очень короткие, но строго специфичные для каждого фермента участки длиной в 4–6 пар нуклеотидов и разрезают обе цепи ДНК посередине этих участков или с некоторым смещением. В первом случае образуются обрывки с **ровными (тупыми) концами**, а во втором — стороны разрезаемых цепочек ДНК заходят одна за другую. Такие **одноцепочечные концы** называются «липкими», поскольку они могут как бы слипаться между собой в силу комплементарности.

Ярким примером рестриктазы второго типа является **EcoRI**, которая узнает фрагмент ДНК из шести нуклеотидов ГААТТЦ и режет эту последовательность ДНК асимметрично, «ступенькой» между нуклеотидами Г и А (рис. 5.1.). В результате место разреза в одной цепи смещено по отношению к другой на 4 пары оснований. При таком разрезе образуются два выступаю-







окрашенные в красный цвет, расположенные на различном расстоянии друг от друга, **светящиеся фракции ДНК**. Каждая такая фракция соответствует одному фрагменту ДНК. Следует подчеркнуть, что разные рестриктазы дают разную картину расщепления одной и той же ДНК (электрофореграмма на рисунке 5.2 справа). Таким образом, электрофорез в агарозном геле позволяет **разделить**, а затем **легко извлечь** любые рестрикционные фрагменты ДНК в чистом виде для последующего использования. Кроме того, анализируя электрофоретические спектры ДНК на геле, наблюдая за исчезновением одних и появлением других фракций под действием разных рестриктаз, исследователи начали составлять **генетические рестрикционные карты** расположения участков ДНК для разных видов. Первую полную физическую карту расположения участков 14 рестриктаз составил Д. Натан для ДНК вируса SV-40.

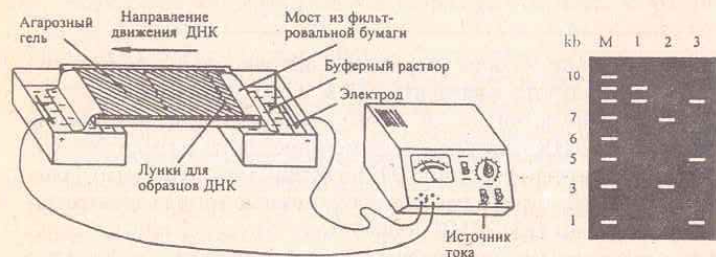


Рис. 5.2. Схематическое изображение камеры для электрофореза ДНК в агарозном геле. Справа представлена электрофореграмма фрагментов ДНК, окрашенная этидием бромидом и помещенная под УФ свет (М — маркеры, 1, 2, 3 — образцы одной и той же ДНК, разрезанные различными рестриктазами)

В 1975 г. был разработан метод, который позволяет **идентифицировать** конкретные гены и другие рестрикционные фрагменты ДНК после их электрофоретического разделения. Суть метода заключается в том, что сначала фрагменты ДНК, разделенные в агарозном геле **денатурируются** до **одноцепочечных** молекул, а затем весь электрофоретический спектр ДНК **отпечатывается** (**blotting**) за счет капиллярных сил на приложенной к гелю **нитроцеллюлозной мембране** (пленке), после чего фиксируется

при помощи высокой температуры (рис. 5.3). Далее мембрана помещается в гибридационный буфер, содержащий **специальный радиоактивно меченный ДНКовый зонд** — короткую специфическую последовательность ДНК. Зонд способен гибридизоваться с определенным комплементарным фрагментом ДНК и связываться только с одной или несколькими конкретными фракциями из всего электрофоретического спектра полученных рестрикционных фрагментов ДНК. На последнем этапе к нитроцеллюлозной мембране, содержащей весь спектр полученных фрагментов ДНК, включая **фракции, гибридизовавшиеся с радиоактивно меченным зондом**, прикладывают рентгеновскую пленку. На пленке (**авторадиограмме**) после экспозиции выявляются засвеченные места, соответствующие расположению меченых фракций ДНК. Этот метод получил название **Саузерн-блот гибридизации** в честь разработавшего его Эдварда Саузерна.

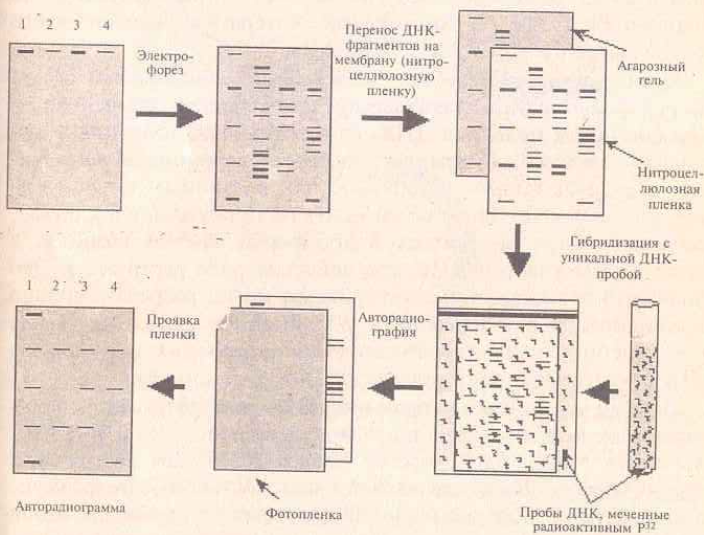


Рис. 5.3. Схематическое изображение основных этапов Саузерн-блот гибридизации



К настоящему времени удалось практически полностью расшифровать (прочитать) абсолютное большинство генов даже у таких сложных видов, как человек и дрозофила. Для этих и многих других видов получено огромное количество различных ДНК-овых зондов (проб), которые успешно используются в Саузерн-блот анализе.

С помощью ферментов рестриктаз и лигаз исследователи научились конструировать разнообразные по своим составным частям гибридные (рекомбинантные) ДНК, путем сшивки фрагментов разных видов *in vitro*.

Но как полученным гибридным генам попасть в клетку и начать там работать?

Для доставки чужеродных генов в различные организмы ученые стали применять специальные устройства, так называемые вектора. Вектор — это молекула ДНК, способная самостоятельно реплицироваться в клетках различных организмов и обеспечивать размножение и работу встроенного в нее искусственно какого-либо гена. В английской литературе вектор часто обозначается словом *vehicle* — повозка.

Идеальными векторными молекулами, созданными самой природой, оказались плазмиды, представляющие собой небольшие кольцевые молекулы ДНК, самостоятельно живущие в цитоплазме бактерий. Плазмиды способны к автономной репликации, обладают генами устойчивости к различным антибиотикам, что позволяет легко обнаружить их присутствие в клетках, плазмиды могут внедряться в хромосому клетки хозяина, а также имеют участки ДНК для действия ряда рестриктаз. Это означает, что каждая такая рестриктаза может разрезать кольцо плазмидной ДНК и переводить ее в линейное состояние. После чего линейную плазмиду можно легко соединить с фрагментом ДНК другого вида с подходящими липкими концами.

Первым успешным вектором-повозкой, который начали использовать в генной инженерии, стала кольцевая плаزمида pSC 101. Она несет только один участок расщепления (сайт рестрикции) рестриктазой EcoR I и превращается под действием этого фермента из кольцевой молекулы в линейную молекулу, концы которой могут «слипаться» между собой или с любыми фрагментами дру-

гой ДНК, полученными под действием той же рестриктазы. Кроме того, она несет ген устойчивости к антибиотику тетрациклину, а значит, легко обнаруживается в бактериях, если их растить на среде с этим антибиотиком. Все эти свойства pSC 101 и были использованы для создания и клонирования первых гибридных (рекомбинантных) ДНК, которые были бы функционально активными, то есть могли бы стабильно существовать в клетке и наделять (трансформировать) ее новыми признаками. Этапы введения фрагмента чужеродной ДНК в плазмидный вектор pSC 101 с помощью рестриктазы EcoR I схематически показаны на рисунке 5.4.

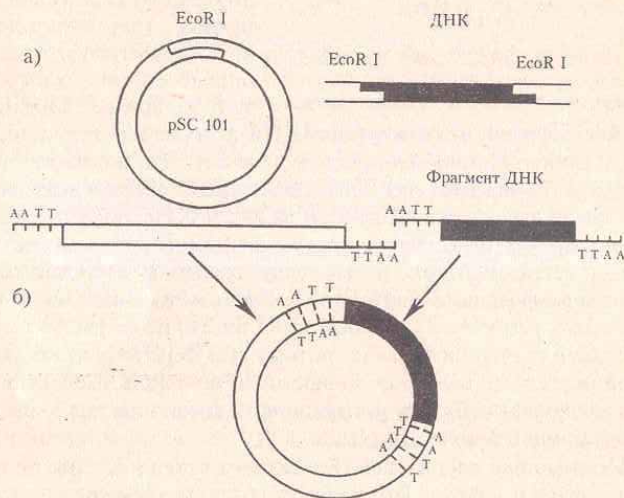


Рис. 5.4. Введение фрагмента рекомбинантной молекулы ДНК в плазмидный вектор pSC 101 с помощью рестриктазы EcoR I, образующей «липкие» концы: а) разрезание молекул ДНК рестриктазой и образование фрагментов с «липкими» концами; б) гибридизация и сшивание ферментом лигазой фрагментов ДНК.

По мере развития методов генной инженерии совершенствовались и плазмидные вектора. Широкое распространение получила плазмида pBR 322. У нее больше участков, разрезаемых



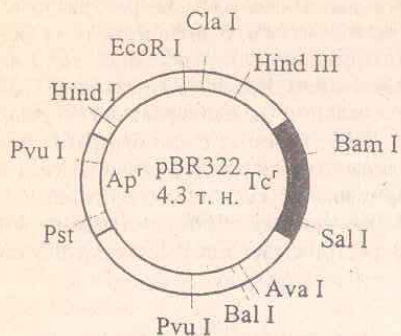


Рис. 5.5. Вектор pBR 322, схема расположения сайтов рестрикции. Ap<sup>r</sup> и Tc<sup>r</sup> — гены устойчивости к ампициллину и тетрациклину

это место фрагмента **чужеродной ДНК** целостность гена нарушается и определяемый им признак исчезает. Это позволяет легко отбирать гибридные плазмиды, **специальным образом введенные** в бактериальные клетки кишечной палочки *E. coli* при помещении их на твердую питательную среду с антибиотиками ампициллином и тетрациклином и на среду только с ампициллином. **Трансформированные** бактерии *E. coli*, содержащие гибридные плазмиды, растут на среде с ампициллином, но не растут на среде с двумя антибиотиками, потому что ген тетрациклиновой устойчивости в плазмиде поврежден вставкой. Селективный рост позволяет отбирать и выращивать только клетки, содержащие гибридные молекулы ДНК.

Помимо плазмид в качестве векторов стали успешно использовать **фаги** и **вирусы**. Позже были созданы **космиды** — особый тип векторов, сочетающих свойства плазмиды и фага. В космидах можно клонировать еще более крупные фрагменты ДНК, длиной до 40 тыс. пар нуклеотидов. Включение таких больших кусков чужой ДНК в обычные плазмидные векторы повреждает их способность к автономному существованию.

Таким образом, последовательно была создана основная триада элементов техники генной инженерии: выделение генов,

различными рестриктазами, следовательно, с ней можно «сшивать» самые разные фрагменты ДНК. Более того, у pBR 322 не один, а два **маркера** для селекции на бактериальных средах: помимо тетрациклина эта плаزمида кодирует еще устойчивость к ампициллину (рис. 5.5.). Если один из этих генов (например, ген устойчивости к тетрациклину) разрезать определенной рестриктазой, то при встраивании в

«сшивание» их с вектором, доставка гибридной структуры в конкретный (**реципиентный**) организм, где она сможет размножаться и наследоваться в потомстве.

## ЗАДАЧИ

### 5.1. Ферменты рестрикции и получение гибридной ДНК

5.1. Имеется последовательность из 39 нуклеотидных пар двухцепочечной ДНК следующего состава:



Каким способом и на сколько частей можно разрезать эту ДНК?

**Решение.** В данной последовательности ДНК имеется два участка распознавания: ГААТТЦ для рестриктазы EcoR I и ГГЦЦ для Hae III (см. табл. 5.1.). Поэтому искомая ДНК может быть разрезана в двух местах с образованием трех различных фрагментов следующих последовательностей:

- 1) 5'-ЦЦТТАГГ-  
3'-ГГААТЦЦ-
- 2) -ЦЦТГААТТААГГЦААТАГТГГ-  
-ГГАЦТТААТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТАА-
- 3) -ААТТЦАЦАТГ-3'  
-ГТГТАЦ-5'

5.2. Рестрикционный фермент Hind III разрезает ДНК по последовательности ААГЦТТ. Насколько часто этот фермент будет разрезать двухцепочечную ДНК? (Иными словами, какова средняя длина фрагментов разрезанной ДНК?)

**Решение.** Нам необходимо рассмотреть только одну цепочку ДНК, поскольку обе цепочки имеют одинаковые, симметричные последовательности, хотя и разнонаправленные. Частота встречаемости фрагмента из 6 нуклеотидных пар для Hind III составит  $(1/4)^6 = 1/4096$ , так как вероятность для одного нуклеотида (допустим, А) занять конкретное место в цепочке ДНК составляет  $1/4$ , а таких мест имеется 6. Следовательно, среднее



расстояние между участками разрезания рестриктазой Hind III составит около 4 тысяч нуклеотидных пар (4 тысячи баз или 4 килобазы).

5.3. Гаплоидный геном человека содержит около  $3 \times 10^9$  нуклеотидных пар (н.п.) ДНК. Если вы порежете человеческую ДНК рестрикционным ферментом EcoRI, узнающим гексамерную последовательность ГААТЦ, то сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено?

**Решение.** Исходя из предположения, что четыре нуклеотида А, Т, Г, Ц находятся в равных количествах и распределяются в ДНК случайным образом, вероятность для любого из четырех нуклеотидов занять конкретное место в цепочке составляет 1/4. Вероятность для двух нуклеотидов (например, АГ) занять конкретное место составит  $1/4 \times 1/4 = (1/4)^2$ , а вероятность для специфической гексамерной последовательности будет равна  $(1/4)^6 = 1/4096$ . Следовательно, EcoRI будет разрезать молекулу человеческой ДНК в среднем один раз на 4096 нуклеотидных пар. Если молекула ДНК разрежется  $n$  раз, то в результате получается  $n + 1$  фрагмент. Гаплоидный геном из  $3 \times 10^9$  нуклеотидных пар содержит около 732 422 ( $3 \times 10^9 / 4096$ ) мест разреза для рестриктазы EcoRI. Если бы полный геном человеческой ДНК состоял из одной молекулы, то EcoRI могла бы разрезать его на  $732\,422 + 1$  фрагмент. Но поскольку места разрезов распределены по 23 хромосомам, то в результате полного расщепления человеческой ДНК рестриктазой EcoRI должно получиться  $732\,422 + 23$  рестрикционных фрагмента.

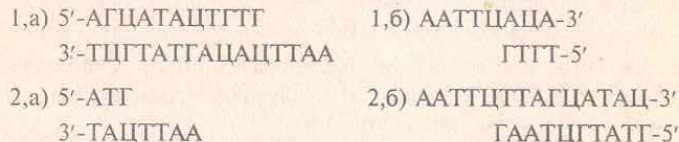
5.4. Ниже приведены последовательности двух фрагментов ДНК, выделенных из организмов разных видов.

- 1) 5'-АГЦАТАЦТГТГААТЦАЦА-3'  
3'-ТЦГТАТГАЦАЦТГААГТТТ-5'
- 2) 5'-АТГААТЦТТАГЦАТАЦ-3'  
3'-ТАЦТГААГААТЦГТАТГ-5'

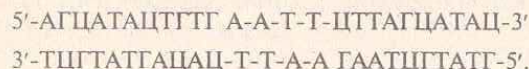
С помощью каких ферментов можно получить гибридную молекулу ДНК из этих фрагментов? Опишите последовательные этапы получения гибридной молекулы.

**Решение.** На первом этапе необходимо разрезать представленные фрагменты ДНК разных видов с помощью подходящих

рестрикционных ферментов. В данном случае можно использовать рестриктазу EcoRI, которая расщепит ДНК двух видов на четыре новых фрагмента 1,а), 1,б) и 2,а), 2,б) с липкими концами ААТГ и ТТАА:

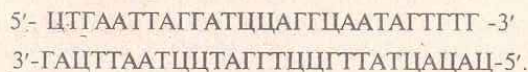


В ходе второго этапа необходимо смешать нужные нам фрагменты 1,а) и 2,б). В результате, выступающие липкие концы скрепятся между собой, как им и положено, водородными связями в силу комплементарности.



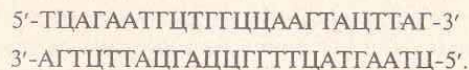
Окончательное скрепление фрагментов 1,а) и 2,б) двух молекул ДНК производит специализированный фермент ДНК-лигаза, которая «сшивает» между собой сахарофосфатные остовы обоих фрагментов с образованием полной структуры двойной спирали ДНК.

5.5. Имеется последовательность из 27 нуклеотидных пар двухцепочечной ДНК следующего состава:



Каким способом и на сколько частей можно разрезать эту ДНК?

5.6. Имеется последовательность из 24 нуклеотидных пар двухцепочечной ДНК следующего состава:



Каким способом и на сколько частей можно разрезать эту ДНК?



5.7. Ниже приведены две последовательности одноцепочечных молекул ДНК. Какую из них в двухцепочечной форме могут разрезать известные вам рестриктазы?

а) 5'-АЦТЦАГААТТЦАЦТЦГ-3'

б) 5'-ГЦЦТАТТЦГААГЦЦТГА-3'.

5.8. Ниже приведены три последовательности одноцепочечных молекул ДНК. Какую из них в двухцепочечной форме могут разрезать известные вам рестриктазы?

а) 5'-ТАГГЦТААГЦТТАЦЦГАТ-3'

б) 5'-ЦГААТАТТТЦЦГГАТГАА-3'

в) 5'-АГГТЦЦТТАТЦЦГАТААТТ-3'.

5.9. Рестрикционный фермент Hra II разрезает ДНК по последовательности ЦЦГГ. Какова средняя длина фрагментов разрезанной ДНК?

5.10. Рестрикционный фермент EcoR I разрезает ДНК по последовательности ГААТТЦ. Насколько часто этот фермент будет разрезать двухцепочечную ДНК?

5.11. Если последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК распределяется случайным образом, то какова будет средняя длина фрагмента при разрезании ДНК рестриктазами, узнающими последовательность из восьми нуклеотидов?

5.12. Гаплоидный геном человека содержит около  $3 \times 10^9$  нуклеотидных пар ДНК. Сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено при разрезании человеческой ДНК рестрикционным ферментом Not I, узнающим октамерную последовательность ГЦГГЦЦГЦ?

5.13. Сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено при разрезании человеческой ДНК рестрикционным ферментом Sma I?

5.14. Гаплоидный геном дрожжевого грибка *Saccharomyces cerevisiae*, состоящий из одной хромосомы, содержит около  $13,5 \times 10^6$  нуклеотидных пар ДНК. Если вы порежете эту ДНК ферментом EcoR I, то сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено?

5.15. Гаплоидный геном *Saccharomyces cerevisiae* ( $13,5 \times 10^6$  н. п.) разрежали ферментом Hae III. Сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено?

5.16. Геном кишечной палочки *Escherichia coli*, представляющий собой одну кольцевую хромосому, содержит около  $4,7 \times 10^6$  н. п. Его разрежали ферментом Hae III. Сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено?

5.17. Геном *Drosophila melanogaster*, состоящий из четырех хромосом, содержит около  $10^8$  нуклеотидных пар ДНК. Сколько различных рестрикционных фрагментов будет получено, если вы порежете эту ДНК ферментом EcoR I?

5.18. Ниже приведены последовательности двух фрагментов ДНК, выделенных из организмов разных видов.

5'-АААГЦТТЦТГААТЦЦГАТЦГ-3'

3'-ТТТЦГААГАЦТТАГГЦТАГЦ-5'

5'-ГТАЦТЦАГАТЦЦТАГГАТААГЦТТ-3'

3'-ЦАТГАГТЦТАГАТЦЦАТТЦГАА-5'.

С помощью каких ферментов можно получить гибридную молекулу ДНК из этих фрагментов? Опишите последовательные этапы получения гибридной молекулы.

5.19. Опишите последовательные этапы получения гибридной ДНК из представленных ниже фрагментов.

5'-ТАЦТАТЦЦГГАГТАГГАТЦЦТ-3'

3'-АТГАГАГГЦЦТЦАТЦЦАГГА-5'

5'-ЦГГАТЦЦТАГАТТЦЦАТА-3'

3'-ГЦЦТАГАТЦЦААГГТАТ-5'.

## 5.2. Анализ и использование фрагментов ДНК

5.20. Фрагмент человеческой ДНК длиной 4 тыс. нуклеотидных пар имеет два сайта рестрикции для фермента EcoR I. Как будет выглядеть электрофореграмма, окрашенная этидием бромидом, после электрофореза в агарозном геле образца данной ДНК, разрезанной этой рестриктазой на неравные части?



## Решение.

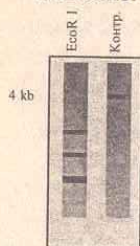


Рис. 5.6.

После электрофореза в агарозном геле образец данной ДНК, разрезанный рестриктазой EcoR I по двум сайтам рестрикции на электрофореграмме, окрашенной этидиум бромидом, будет представлен тремя фракциями различной подвижности. Схематическое изображение электрофореграммы одного из возможных вариантов спектра показано на рисунке 5.6. Поскольку исходный фрагмент был размером 4 кб, то, естественно, все три фрагмента будут меньшей величины.

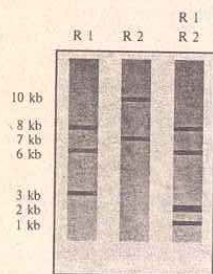


Рис. 5.7. Электрофореграмма ДНК-фрагментов (R 1 и R 2 — рестриктазы)

**5.21.** Молекула ДНК величиной 17 кб была разрезана на фрагменты двумя рестриктазами. Результаты электрофоретического анализа в агарозном геле полученных фрагментов ДНК после окраски этидиум бромидом представлены на фореграмме (рис. 5.7). При разрезании рестриктазой № 1 ДНК распадается на три фракции величиной 8, 6 и 3 кб, а при разрезании рестриктазой № 2 — на две фракции величиной 10 и 7 кб. ДНК, разрезанная сразу двумя рестриктазами № 1 и № 2, состоит из четырех фракций величиной 8, 6, 2 и 1 кб.

В каком порядке полученные рестриктационные фрагменты расположены в исходной молекуле ДНК величиной 17 кб? Иначе говоря, необходимо построить рестриктационную карту ДНК 17 кб.

## Решение.

В этом упрощенном примере исходная молекула ДНК величиной 17 кб разрезается на три фракции ферментом № 1 в двух местах, т.е. имеется два сайта рестрикции для рестриктазы № 1. Однако неясно, в середине или с краю исходной ДНК расположен фрагмент величиной 3 кб. Совместное разрезание ферментами № 1 и № 2 оставляет нетронутыми фракции длиной 8 и 6 кб, но разрезает фрагмент 3 кб на две части длиной 2 и 1 кб, что ука-

зывает на наличие сайта рестрикции для рестриктазы № 2 в пределах фрагмента рестриктаза № 1. Если бы фрагмент 3 кб был на краю исходной молекулы 17 кб, использование только фермента № 2 позволило бы получить фрагменты 2 кб и 1 кб. Но так как этого не произошло, то из трех рестриктационных фрагментов, полученных при помощи фермента № 1, фрагмент длиной 3 кб должен быть расположен в середине.

Таким образом, рестриктационная карта исходной ДНК для рестриктазы № 1 (R 1) и рестриктазы № 2 (R 2) будет иметь вид представленный на рисунке 5.8.

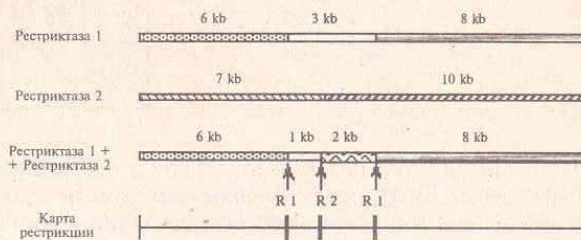


Рис. 5.8. Рестриктационная карта, построенная на основе анализа электрофоретического фракционирования фрагментов ДНК, полученных в результате действия двух различных рестриктаз и их смеси на нативную ДНК

Тот факт, что сайт R 2 расположен ближе к участку длиной 6 кб, следует из величины участков в 7 и 10 кб, полученных при разрезании исходной ДНК только рестриктазой № 2.

**5.22.** Исследователям удалось выделить специальный зонд, способный гибридизоваться с участком хлоропластной ДНК (хлДНК) у любых видов хвойных. Авторадиограмма образцов хлоропластной ДНК родительских видов пихт европейской (E) и сибирской (C), обработанных рестриктационным ферментом, и результаты последующей Саузерн-блот гибридизации с использованием радиоактивного зонда представлены на рисунке 5.9. Каковы будут рестриктационные карты у родительских видов пихт?

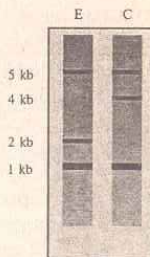


Рис. 5.9.



**Решение.**

Исходя из данных, представленных на автордиограмме, величина фрагментов ДНК, которые гибридизуются со специальным зондом у пихты сибирской будут длиннее на 2 кб. Рестрикционные карты двух видов пихты будут иметь следующий вид (рис. 5.10):

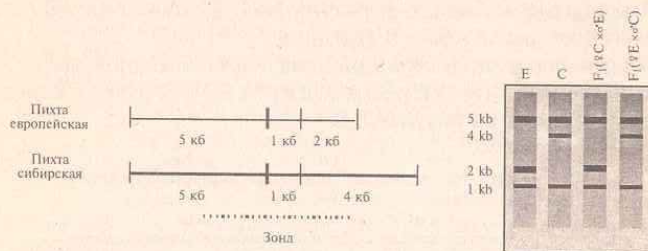


Рис. 5.10.

**5.23.** При скрещивании пихты европейской и пихты сибирской было получено 20 потомков. Каковы будут их спектры на автордиограмме после Саузерн-блот гибридизации с хлоропластным зондом в случае, когда материнскими деревьями служила пихта европейская, а пыльца бралась от пихты сибирской и наоборот?

**Решение.**

Так как хлоропласты у голосеменных всегда наследуются по отцовской линии, то у гибридов  $F_1(\text{♀}C \times \text{♂}E)$  спектр на автордиограмме будет аналогичный спектру пихты европейской. При реципрокном скрещивании у гибридов  $F_1(\text{♀}E \times \text{♂}C)$  на автордиограмме спектр рестрикционных фрагментов будет аналогичный таковому у пихты сибирской.

**5.24.** Анализ ДНК был проведен в большой семье, среди членов которой наблюдалось доминантное аутосомное заболевание, проявляющееся в 40 лет и позже. Образцы ДНК каждого члена семьи обрабатывали рестрикционным ферментом Tag I и полученные фрагменты ДНК разделили при помощи электрофореза в агарозном геле. Затем провели Саузерн-блот гибридизацию с использованием радиоактивной пробы, состоящей из фрагмента клонированной ДНК человека. Родословная иссле-

дованной семьи и полученная автордиограмма электрофорезированной ДНК представлены на рисунке. Черным отмечены члены семьи, имеющие заболевание (рис. 5.11).

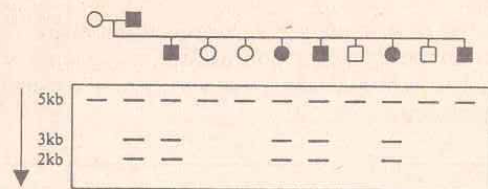
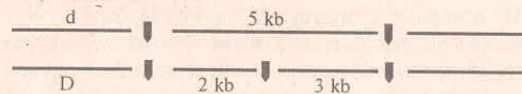


Рис. 5.11.

Проанализируйте полные взаимоотношения между полученными с помощью радиоактивной пробы спектрами ДНК членов семьи и геном болезни. Нарисуйте соответствующие хромосомные участки родителей.

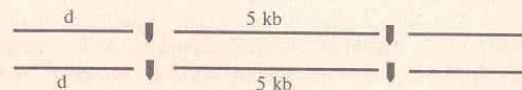
**Решение.**

Использованные радиоактивные ДНК-пробы позволили выявить на автордиограмме три фракции ДНК размером 5, 3 и 2 кб. Все члены семьи имеют 5-кб фрагмент. У пяти из шести членов семьи, имеющих заболевание, присутствуют 3 и 2-кб ДНК-фрагменты, тогда как у здоровых они отсутствуют. Следовательно, эти два фрагмента, вероятно, сцеплены в цисположении с аллелем, несущим заболевание. Поскольку фрагменты 3 и 2 добавляются к 5-кб фрагменту, вероятное построение отцовских хромосом является следующим:



где D — аллель, определяющий заболевание, а стрелками отмечены сайты для рестрикционного фермента Tag I.

Соответственно, строение материнских хромосом будет иметь следующий вид:

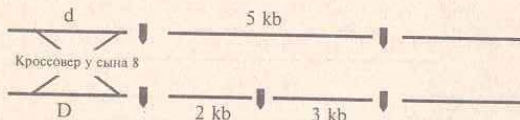




5.25. Используя схему авторадииограммы из предыдущей задачи, ответьте, каким образом можно объяснить спектр последнего сына.

**Решение.**

Последний сын наиболее вероятно представляет кроссовер между локусом, несущим заболевание, и маркерным локусом, произошедшим в результате кроссинговера в хромосоме с D и 5-кб фрагментами.



5.26. Мутация, вызывающая серповидноклеточную анемию (СКА), обусловлена заменой всего одного нуклеотида в ДНК β-глобинового гена. Причем, в результате этой мутации пропадает сайт рестрикции для фермента Mst II, который присутствует в нормальном гене. Как можно использовать эту информацию для консультации семей, проживающих в районах высокой концентрации этой мутации, на предмет выявления носителей данного наследственного заболевания? Какие молекулярно-генетические эксперименты для этого необходимо провести?

**Решение.**

Мутацию β-глобинового гена, приводящую к заболеванию, можно достаточно легко выявлять, используя молекулярно-генетические методы. Для этого необходимо индивидуальные образцы ДНК обработать рестриктазой Mst II. Затем, полученные рестрикционные фрагменты подвергнуть электрофоретическому фракционированию в агарозном геле с последующей Саузерн-блот гибридизацией, используя в качестве зонда меченный фрагмент β-глобиновой ДНК.

Поскольку в результате мутационной замены нуклеотида в ДНК β-глобинового гена происходит потеря сайта рестрикции для Mst II, который присутствует в нормальном гене, то на авторадииограмме (рис. 5.12) образцов, взятых у здоровых людей, будут присутствовать две фракции размером 1,1 и 0,2 кб, тогда как в образцах, взятых у людей страдающих серповидноклеточной

анемией, будет присутствовать дополнительная «тяжелая» (неразрезанная) фракция ДНК величиной 1,3 кб.

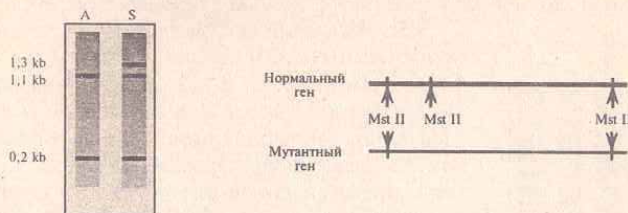


Рис. 5.12. Авторадииограмма и рестрикционные карты, построенные на основе анализа электрофоретического фракционирования фрагментов ДНК β-глобинового гена, полученных в результате действия рестриктазы Mst II

Таким образом, для консультации семей, проживающих в районах высокой концентрации мутации, вызывающей серповидноклеточную анемию, наиболее целесообразно использовать молекулярно-генетические методы, включающие рестрикционный и Саузерн-блот анализ, которые дают возможность достаточно легко выявлять носителей данного заболевания.

5.27. Фрагмент человеческой ДНК длиной 2 тыс. нуклеотидных пар (2 килобазы) имеет один сайт рестрикции для фермента EcoR I. Сколько фракций ДНК будет присутствовать на фореграмме, окрашенной этидиум бромидом, после электрофореза в агарозном геле образца этой ДНК, обработанной EcoR I.

5.28. Фрагмент мышинной ДНК длиной 8 тыс. нуклеотидных пар имеет два сайта рестрикции для фермента Bam I. Как будет выглядеть электрофорезная картина, окрашенная этидиум бромидом, после электрофореза в агарозном геле образца этой ДНК, разрезанной этой рестриктазой на неровные части.

5.29. Кольцевая молекула митохондриальной ДНК (мтДНК) имеет один сайт рестрикции для рестриктазы EcoR I. Сколько фракций ДНК будет присутствовать на фореграмме после электрофореза в агарозном геле образца этой ДНК, обработанной EcoR I?

5.30. Фрагмент бактериальной ДНК длиной 5 килобаз имеет один сайт рестрикции для фермента EcoR I и два сайта для



Вам I. Как будет выглядеть электрофореграмма после электрофореза в агарозном геле образца этой ДНК, обработанной только *EcoR I*, только *Hind III*, а также смесью этих двух рестриктаз?

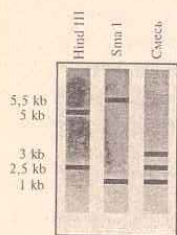


Рис. 5.13. Электрофореграмма фрагментов ДНК

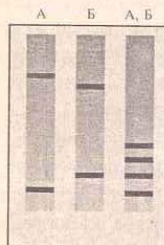


Рис. 5.14. Электрофореграмма фрагментов митохондриальной ДНК

фрагменты 1, 2, 3 и 4. Каждый из четырех фрагментов был разрезан *Hind III*. В результате фрагмент 3 разделился на два субфрагмента  $3_1$  и  $3_2$ , а фрагмент 2 распался на  $2_1$ ,  $2_2$  и  $2_3$ .

После обработки исходной целой ДНК ферментом *Hind III* получено четыре фрагмента А, Б, В и Г. Когда каждый из этих фрагментов обработали *EcoR I*, то фрагмент Г разделился на фрагменты 1 и  $3_1$ , фрагмент А — на  $3_2$  и  $2_1$  и фрагмент Б — на  $2_3$  и 4. Фрагмент В оказался идентичным с  $2_2$ . Нарисуйте рестрикционную карту исходной ДНК.

5.31. Линейный фрагмент ДНК разрезается ферментами *Hind III* и *Sma I*, а затем двумя ферментами вместе. В результате проведенного электрофореза в агарозном геле с последующим окрашиванием этидиум бромидом на электрофореграмме получена картина, представленная на рисунке 5.13. Необходимо построить рестрикционную карту для исходной молекулы ДНК.

5.32. Полученную выше смесь рестрикционных фрагментов ДНК обработали еще одним ферментом — *EcoR I*, при этом в спектре исчезла фракция 3 кб, но появилась новая — величиной 1,5 кб. Какой вид будет иметь рестрикционная карта в этом случае?

5.33. Кольцевая молекула митохондриальной ДНК (мтДНК) разрезана двумя рестрикционными ферментами А и Б. Электрофореграмма полученных ферментов, окрашенных этидиум бромидом, представлена на рисунке 5.14. Постройте схематичную рестрикционную карту этих фрагментов.

5.34. Имеется последовательность очищенной молекулы ДНК. После обработки этой ДНК ферментом *EcoR I* получены фраг-

5.35. Исследователям удалось выделить специальный зонд, способный гибридизоваться с участком митохондриальной мтДНК у любых видов хвойных. Авторадиограмма образцов митохондриальной ДНК (мтДНК) родительских видов пихты европейской (Е) и сибирской (С), обработанных рестрикционным ферментом, и результаты последующей Саузерн-блот гибридизации с использованием радиоактивного зонда представлены на рисунке 5.15. При скрещивании между деревьями пихты европейской и пихты сибирской было получено 20 потомков. Каковы будут их спектры на авторадиограмме после Саузерн-блот гибридизации с митохондриальным зондом в случае, когда материнскими деревьями служила пихта европейская, а пыльца бралась от пихты сибирской и при обратном скрещивании?

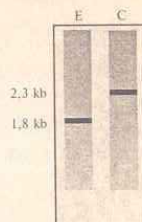


Рис. 5.15.

5.36. Мутация, вызывающая болезнь циклический фиброз (ЦФ), обусловлена заменой всего одного нуклеотида. Причем, в результате этой мутации пропадает сайт рестрикции для *EcoR I*, который присутствует в норме. Как можно использовать эту информацию для консультации семьи на предмет того: являются ли ее члены носителями данного наследственного заболевания? Какие молекулярно-генетические эксперименты для этого необходимо провести?

5.37. В ходе проведенного молекулярно-генетического анализа на циклический фиброз с использованием специального ДНК-зонда и Саузерн-блот гибридизации было установлено, что женщина в семье из задачи 5.36 является носителем этого заболевания. Она вышла замуж за неродственного мужчину, являющегося также гетерозиготой по ЦФ, но он является носителем другой мутации в этом же гене. Оцените риск рождения у этой семейной пары детей, страдающих циклическим фиброзом.

5.38. Супружеская пара имеет трех детей, больных циклическим фиброзом (ЦФ). Их старший сын женился на своей троюродной сестре. Он провел молекулярное тестирование с целью установить вероятность заболевания циклическим фиброзом своих детей. Три специальных ДНК-зонда, тесно сцеплен-



ных с геном, определяющим заболевание фиброзом, были использованы для молекулярного анализа генотипов у членов его семьи. Полученная авторадииограмма электрофорезированной ДНК у членов исследованной семьи представлена на рисунке 5.16. Является ли старший сын в этой семье нормальной гомозиготой или носителем заболевания?

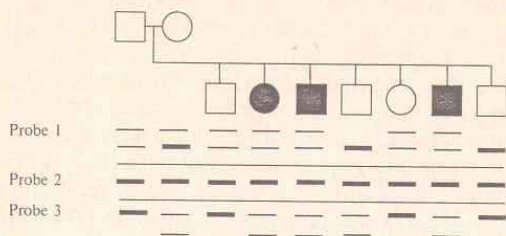


Рис. 5.16. Авторадииограмма электрофорезированной ДНК членов исследованной семьи

5.39. Исходя из представленной авторадииограммы предыдущей задачи, определите, являются ли нормальными гомозиготами или носителями два нормальных брата и сестра?

5.40. Используя представленную в задаче 5.38 авторадииограмму, укажите, кто из родителей в этой семье является носителем аллеля, несущего заболевание циклический фиброз?

5.41. Мужчина, страдающий доминантным наследственным заболеванием (болезнью Хантингтона), имеет двоих взрослых детей. Его дети, опасаясь, что могут оказаться носителями наследственного заболевания, решили провести молекулярно-генетическую диагностику родителей, своих супругов и эмбрионов своих будущих детей. В то же время сами от диагностики отказались. Саузерн-блот анализ выявил двухаллельную систему (с аллельными фрагментами в 4,9 кб или 3,7 и 1,2 кб) по ДНК-маркеру, который показывает 4% рекомбинантов с болезнью Хантингтона. Родословная этой семьи с результатами проведенного Саузерн-блот анализа представлена ниже (рис. 5.17). Для каждого из двух проанализированных эмбриональных

образцов вычислите шанс, что зародыши унаследуют аллель, сцепленный с болезнью Хантингтона.

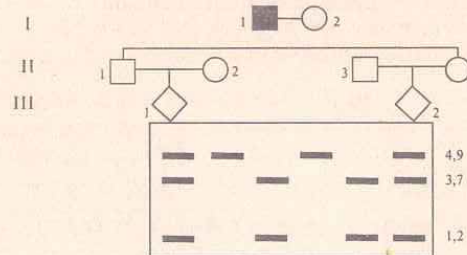


Рис. 5.17.

5.42. Болезнь Хантингтона (БХ) является аутосомно-доминантным заболеванием, при котором происходит нейродегенеративное расстройство, приводящее к летальному исходу. Поскольку четкие симптомы этой болезни начинают проявляться только в возрасте около 40 лет, потенциальные больные к этому сроку обычно уже имеют детей, часть из которых наследует это заболевание. Установить диагноз болезни Хантингтона в возрасте до 40 лет раньше не представлялось возможным. Однако в последние годы ученые сумели найти и сконструировать специальный ДНК-зонд (G8), позволяющий выявлять полиморфизм (тетраморфизм) ДНК, связанный с болезнью Хантингтона. Зонд G8 и четыре типа фрагментов ДНК, которые он позволяет определить посредством Саузерн-блот гибридизации, представлены на рисунке 5.18.

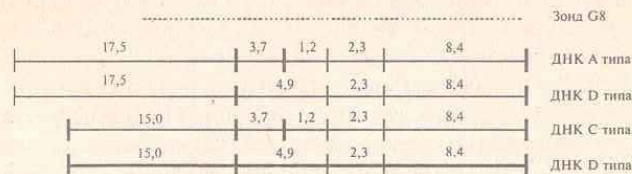


Рис. 5.18. Рестрикционные карты (для Hind III) четырех типов ДНК, способных гибридизоваться с зондом G 8



Какими будут электрофоретические спектры рестрикционных фрагментов ДНК, обработанных *Hind* III, после Саузерн-блот гибридизации у людей, имеющих гомозиготные AA, BB, CC, DD и гетерозиготные AB, AC, AD, BC, BD и CD генотипы? Все ли они будут различаться между собой?

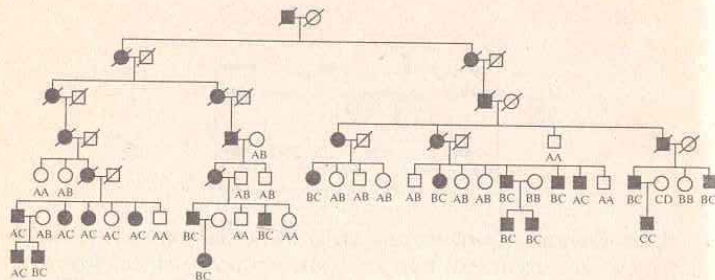


Рис. 5.19. Родословная венесуэльской семьи с болезнью Хантингтона

5.43. На рисунке 5.19 представлена родословная семи поколений членов венесуэльской семьи, в которой распространена болезнь Хантингтона. Члены семьи были обследованы на предмет выявления генотипов четырехаллельной (см. задачу 5.42) системы фрагментов ДНК, гибридизующихся с зондом G8. Результаты обследования показаны на родословной, где черным цветом отмечены члены семьи, страдающие БХ, а значки членов семьи, не доживших до обследования зачеркнуты. Какие выводы можно сделать, анализируя эту родословную на предмет связи типов ДНК, гибридизующихся с G8 и болезнью Хантингтона. Иными словами, с какими генотипами и аллелями ДНК-маркера связана болезнь Хантингтона в этой семье?

5.44. Каким образом можно объяснить наличие генотипа AC у здоровой женщины в шестом поколении (VI-5) венесуэльской семьи, представленной на рисунке 5.19?

5.45. Что можно сказать о степени сцепления ДНК-маркера с геном, обуславливающим болезнь Хантингтона, исходя из приведенных выше данных по венесуэльской семье (рис. 5.19)?

5.46. Как могут приведенные в предыдущих задачах данные помочь в выявлении механизмов, обуславливающих первопричины болезни Хантингтона?

### 5.3. Вектора

5.47. Кольцевая плазмида pSC 101 несет только один участок расщепления рестриктазой *Eco*R I. Какой из приведенных ниже фрагментов ДНК можно встроить в данную плазмиду?

5'-ЦЦГААТТЦАГАТГТААГГЦААТАГТГГААТТЦАЦА-3'  
 3'-ГГЦТТААГГЦЦАЦАТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТААГТГТ-5'  
 5'-ЦЦТТАГГЦЦТГААТТААГГЦААТАГТГГААТТЦАЦАТГ-3'  
 3'-ГГААТТЦЦГГАЦТТААТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТАГТТАЦ-5'

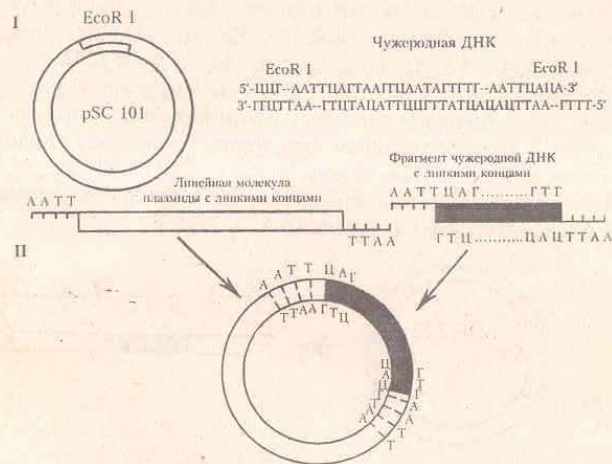


Рис. 5.20. Этапы встраивания участка чужеродной ДНК в плазмиду *Eco*R I — обработка рестрикционным ферментом, II — гибридизация и сшивание фрагментов

**Решение.** Поскольку плазмида pSC 101 несет один участок расщепления рестриктазой *Eco*R I, то в нее можно встроить толь-

ко тот фрагмент ДНК, который также может быть разрезан рестриктазой *EcoR* I. Поэтому из двух фрагментов двухцепочечной ДНК, приведенных выше, в плазмиду рSC 101 можно встроить лишь первый, так как только он содержит участки разрезания для *EcoR* I. Схематически этапы встраивания участка чужеродной ДНК изображены на рисунке 5.20.

На первом этапе *EcoR* I разрезает по сайтам рестрикции плазмиду и первую молекулу ДНК с образованием фрагментов ДНК с липкими концами. На втором этапе происходит гибридизация линейной молекулы плазмиды и фрагмента чужеродной ДНК с последующим образованием кольцевой молекулы вектора со встроенным участком чужеродной ДНК и сшиванием их при помощи фермента лигазы.

**5.48.** При помощи рестриктазы *Pst* I получен фрагмент двухцепочечной ДНК с липкими концами. Можно ли встроить данный фрагмент в плазмиду рBR 322? Как подтвердить, что фрагмент чужеродной ДНК встроен в плазмиду рBR 322?

**Решение.** Данный фрагмент ДНК можно встроить в плазмиду рBR 322, поскольку она несет участок расщепления рестриктазой *Pst* I. Процесс вставки фрагмента в плазмиду аналогичен таковому в предыдущей задаче.

На первом этапе под действием рестриктазы *Pst* I получают линейную молекулу плазмиды (рис. 5.21):

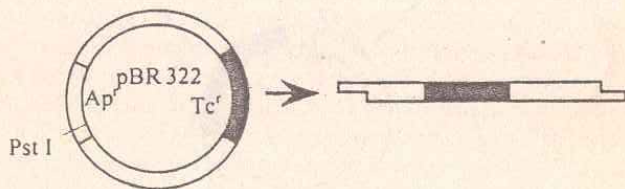


Рис. 5.21.

На втором этапе происходит гибридизация линейной молекулы плазмиды с фрагментом ДНК с последующим сшиванием ферментом лигазой (рис. 5.22).

Так как сайт рестрикции для *Pst* I находится в гене устойчивости к ампициллину, то при вставке чужерод-

ной ДНК по месту разреза будет нарушена целостность гена *Ap*. Соответственно исчезнет признак устойчивости к ампициллину, кодируемый данным геном. Для того, чтобы подтвердить наличие чужеродной ДНК, гибридную плазмиду вводят в бактерию (рис. 5.23).

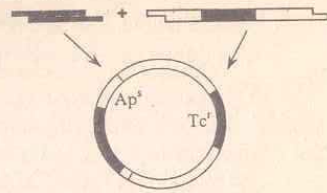


Рис. 5.22.



Рис. 5.23.

Трансформированные плазмидой бактерии помещают в чашку Петри на среду, содержащую только тетрациклин. Затем переносят реплику (отпечаток) колоний на среду, содержащую и тетрациклин, и ампициллин (рис. 5.24).

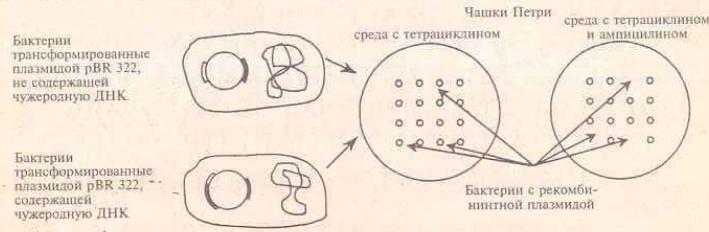


Рис. 5.24.

Если бактериальные колонии растут на среде содержащей тетрациклин, но не растут на среде с двумя антибиотиками, то это означает, что данные бактерии несут плазмиды с чужеродной ДНК, встроенной в ген устойчивости к ампициллину. Иными словами, встроить данный фрагмент в плазмиду рBR 322 при помощи рестриктазы *Pst* I удалось.

**5.49.** Ниже приведен фрагмент ДНК. Можно ли встроить его в плазмиду рSC 101?



5'-АГГЦЦТГААТТААГГЦААТАГТГТГААТЦА-3'  
3'-ТЦЦГГАЦТТААТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТАГТ-5'.

5.50. Ниже приведены два одноцепочечных фрагмента ДНК. Какой из них в двухцепочечном варианте можно использовать для встраивания в плазмиду pSC 101?

а) 5'-ГГЦЦТГААТТЦААГЦАТАГТГТГААТТЦАА-3'

б) 5'-ТЦЦГГАЦТТААТТГТТАТЦАЦАЦТТАГТ-3'.

5.51. Кольцевая плаزمида pBR 322 имеет участки расщепления различными рестриктазами. Какой из ниже приведенных фрагментов двухцепочечной ДНК можно встроить в данную плазмиду при помощи известной вам рестриктазы?

5'-ЦЦГАТТЦАГАТГТААГГЦААТАГТГТГАТТЦАЦА-3'

3'-ГГЦТААГЦТАЦАТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТААГГТТ-5'

5'-ЦЦТТААГЦТТАГГЦТААГГЦААТАГААГЦТТГТЦААТГ-3'

3'-ГГААТТЦГААТЦЦГАТТЦЦГТТАТЦТТЦГААЦАГТТАЦ-5'.

5.52. Какой из ниже приведенных фрагментов двухцепочечной ДНК можно встроить в плазмиду pBR 322?

5'-ЦЦГААТТЦАГАТГТААГГЦААТАГТГТГААТТЦАЦА-3'

3'-ГГЦТТААГГЦТАЦАТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТААГГТТ-5'

5'-ЦЦТТААГЦТТАГГЦТААГГЦААТАГААГЦТТЦАЦАТГ-3'

3'-ГГААТТЦГААТЦЦГАТТЦЦГТТАТЦ ТТЦГААГТТАЦ-5'.

5.53\*. Имеется фрагмент двухцепочечной ДНК следующего состава:

5'-ТАГГАТЦАТТАААТАГТГГАТЦЦГТ-3'

3'-АТЦЦТАГГТААТТТАТЦАЦЦТАГГЦА-5'.

Можно ли встроить данный фрагмент в плазмиду pBR 322? Как подтвердить, что фрагмент чужеродной ДНК встроен в плазмиду pBR 322?

5.54\*. В плазмиду pBR 322 встроен фрагмент чужеродной ДНК. Трансформированные такой плазмидой бактерии растут на питательной среде с ампициллином, но не растут на питательной среде, содержащей тетрациклин. Какой известной вам рестриктазой можно вырезать чужеродную ДНК из плазмиды?

5.55\*. Ген *Ms* находится в кольцевой плазмиде величиной 5000 нуклеотидных пар (5000 нп). Разрезание плазмиды рестрикционным ферментом *Hind* III дает фрагменты 1, 2 и 3, как показано на рисунке 5.25. Тандемная копия гена *Ms* содержится только в одном *Hind* III фрагменте. Если ген *Ms* кодирует регуляторный белок *MSS4*, состоящий из 300 аминокислот, то укажите, в каком фрагменте плазмиды расположены копии гена *Ms*?

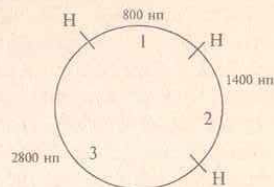


Рис. 5.25. Рестрикционная карта плазмиды по рестриктазе *Hind* III. (H — *Hind* III рестрикционные сайты)

5.56.\* Фрагмент ДНК мыши величиной 4 кб, имеющий на концах сайты рестрикции для *Eco*R I, содержит ген *M*. Этот фрагмент был встроен в плазмиду pBR 322 по *Eco*R I сайту. Полученная рекомбинантная плазмиды была разрезана двумя рестриктазами. Электрофоретический спектр полученных рестрикционных фрагментов, окрашенных этидиум бромидом, представлен на рисунке 5.26. Для фракций на геле, полученных после разрезания сразу двумя ферментами, была проведена Саузерн-блот гибридизация с использованием в качестве зонда меченого фрагмента плазмиды pBR 322. С какими фракциями ДНК произойдет гибридизация меченого зонда?

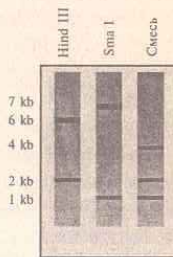


Рис. 5.26. Электрофоретическая программа фрагментов ДНК

5.57\*. Ген для белка  $\beta$ -тубулина был получен из грибка *Neurospora*, вставлен в кольцевую плазмиду и клонирован в бактерии *E. coli*. Опишите шаг за шагом последовательность действий, необходимых для того, чтобы клонировать этот ген от родственного грибка *Rodospora*, используя в качестве вектора кольцевую плазмиду pBR, представлен-

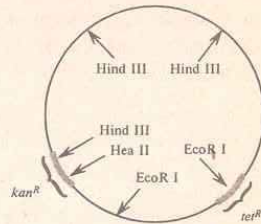


Рис. 5.27.



ную на рисунке 5.27, которая несет два гена устойчивости к антибиотикам канамицину (kan) и тетрациклину (tet).

5.58\*. Фрагмент человеческой ДНК величиной 6 кб был встроен в плазмиду pBR 322 по EcoR I сайту. После этого, рекомбинантная плазида была разрезана двумя рестриктазами, а полученные образцы подвергнуты электрофорезу в агарозном геле, как и в задаче 5.57. Электрофоретический спектр разрезанных фрагментов представлен на рисунке 5.28. Для фракций, полученных после разрезания сразу двумя ферментами, была проведена Саузерн-блот гибридизация с меченым зондом из плазмиды pBR 322. С какими фракциями ДНК в этом случае произойдет гибридизация меченого зонда?

5.59\*. Исследователи получили трансгенные растения табака, в которые, используя в качестве вектора специализированную Ti-плазмиду, был введен нужный ген вместе с подсоединенным к нему канамициноустойчивым геном предварительно встроены в фрагмент T-ДНК плазмиды. Наследование вставленного нужного гена тестировалось у потомков по устойчивости к канамицину. Для проверки было взято два трансгенных растения. Было проведено возвратное скрещивание трансгенного растения № 1 с табаком дикого типа, при этом 50% потомков оказались канамицин устойчивыми, а 50% — чувствительными. Когда возвратное скрещивание при помощи линии табака дикого типа было проведено с трансгенным растением № 2, то 75% потомков были канамицин устойчивыми, и только 25% — чувствительными. Какова разница между трансгенными растениями № 1 и № 2?

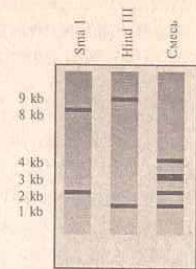


Рис. 5.28. Электрофо-  
реграмма фрагментов  
ДНК

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

### 1. Основные закономерности наследственности

- 1.13. а) *B*; б) *B, b*; в) *c*.
- 1.14. а) *B* и *b*; б) 1/2: 1/2.
- 1.15. а) Все потомство имеет генотип *Aa* и по фенотипу все желтые.  
б) Расщепление по генотипу: *Aa* : *2Aa* : *aa*, а по фенотипу 3/4 потомства желтые и 1/4 часть — зеленые. в) 1/2 — потомства желтые и 1/2 — зеленые.
- 1.16. 1/2 красноплодных и 1/2 желтоплодных.
- 1.17. Генотипы исходных форм гетерозиготны (*Aa*).
- 1.18. Однородное по росту потомство овса можно получить в трех случаях: 1) при скрещивании гомозиготных растений с доминантным признаком (все растения будут нормального роста); 2) при скрещивании гомозиготных растений с рецессивным признаком в потомстве все будут гигантскими; 3) при скрещивании гомозиготных растений с доминантным признаком с растениями с рецессивным признаком потомство будет однородное нормального роста.
- 1.19. 3/4 потомства будет нормального роста и 1/4 — карликовых.
- 1.20. В потомстве можно ожидать 1/2 комолых животных и 1/2 рогатых.
- 1.21. а) В потомстве от скрещивания гетерозиготных особей крупного рогатого скота следует ожидать 3/4 черных телят и 1/4 красных. б) Следует ожидать 1/2 черных телят и 1/2 красных.
- 1.22. Доминантным геном определяется признак длинные крылья; генотипы родителей гетерозиготны.
- 1.23. Наиболее вероятные фенотипы: 3/4 кареглазых и 1/4 голубоглазых детей. Наиболее вероятные генотипы: 1/4 *AA* : 1/2 *Aa* : 1/4 *aa*.
- 1.24. а) Генотип пятипалого ребенка *pp*, шестипалого *Pp*. б) От брака гомозиготного шестипалого мужчины и пятипалой женщины может родиться только шестипалый ребенок с генотипом *Pp*.
- 1.25. а) У женщины с нормальным строением скелета и у мужчины, гетерозиготного по ахондроплазии вероятность рождения ребенка с ахондроплазией 1/2, т.е. 50%. б) Вероятность рождения ребенка с ахондроплазией составляет 100%.
- 1.26. а) 3/4 потомства с нормальным слухом и 1/4 глухонемых детей. б) Генотип матери — гомозигота по рецессивному признаку, генотип отца — гетерозигота.
- 1.27. а) Оба являются гетерозиготами *Tt*. б) 3/4 осязающих : 1/4 не осязающих, что равнозначно 3 осязающих : 1 не осязающему или 0,75 осязающих : 0,25 не осязающих. Все осязающие. 1/2 осязающих : 1/2 не осязающих.



1.28. а) Генотипы родителей  $Bb$  и  $bb$ . б) Генотипы родителей  $BB$  и  $bb$   
в) Можно предположить, что генотипы родителей  $BB$  и  $BB$  или  $BB$  и  $Bb$ .

1.29. а) 250 растений; б) 125 белых экземпляров.

1.30. 69 134.

1.31.  $3/4$  раннеспелых и  $1/4$  позднеспелых.

1.32. а)  $Aa$  и  $aa$ ; б) Оба родителя имеют генотип  $Aa$ .

1.33. Генотип родителей  $Bb$  и  $bb$ .

1.34. 1. а) Ген нормальных крыльев доминантен, а ген укороченных крыльев рецессивен. б) Оба родителя были гетерозиготами, с одним геном нормальных крыльев и одним геном укороченных крыльев.  $2. 1/2 \times 80 = 40$  ( $1/2$  потомства, т.е. 40 из 80) получит от отца ген нормальных крыльев.

1.35. Ангорский тип шерсти кроликов — рецессивный признак.

1.36. Генотипы родителей: самка гетерозиготна, самец гомозиготен по рецессивному признаку,  $1/2$  потомства гетерозиготна по доминантному признаку (черные) и  $1/2$  с рецессивным признаком (коричневые).

1.44. а) Один тип гамет  $CD$ . б) Один тип —  $cd$ . в) Один тип —  $cd$ .

1.45. а) Два типа гамет:  $Cd$  и  $cd$ . б) Четыре типа:  $CD$ ,  $Cd$ ,  $cd$ ,  $cd$ . в) Семь типов:  $CDE$ ,  $cDE$ ,  $CdE$ ,  $CDe$ ,  $cde$ ,  $Cde$ ,  $cdE$ .

1.46. а) В первом поколении по фенотипу все семена гороха желтые гладкие с генотипом  $AaBb$ , во втором поколении генотипических классов девять:  $1 AaBB$ ,  $2 AaBb$ ,  $1 AaBb$ ,  $2 Aabb$ ,  $4 AaBb$ ,  $2 AaBB$ ,  $1 aaBB$ ,  $2 aaBb$ ,  $1 aabb$  и четыре фенотипических класса:

$9 A\_B\_ :$	$3 aaB\_ :$	$3 A\_bb :$	$1 aabb$
желтые	зеленые	желтые	зеленые
гладкие	гладкие	морщинистые	морщинистые

Здесь наблюдается независимое наследование по каждой паре признаков 3:1.

б) Наблюдается расщепление:

$AaBb :$	$aaBb :$	$Aabb :$	$aabb$
$1/4$ желтые	$1/4$ зеленые	$1/4$ желтые	$1/4$ зеленые
гладкие	гладкие	морщинистые	морщинистые

в) Наблюдается такое же расщепление, как и во втором.

г) Генотипы родителей  $Aabb$  и  $aaBB$ .

д) Генотипы родителей  $aaBb$  и  $Aabb$ .

1.47. а) В  $F_1$  все растения с белыми дисковидными плодами с генотипом  $WwDd$ :

$b) WwDD :$	$WwDd :$	$wwDD :$	$wwDd$
белые	белые	желтые	желтые
дисковидные	дисковидные	дисковидные	дисковидные

$v) WWdD :$	$WwDd :$	$WWdd :$	$Wwdd$
белые	белые	белые	белые
дисковидные	дисковидные	шаровидные	шаровидные

1.48. Оба родителя имеют дигетерозиготные генотипы. В дальнейшем от этого брака можно ожидать  $9/16$  потомства с нормальной пигментацией и курчавыми волосами,  $3/16$  потомства с нормальной пигментацией и гладкими волосами,  $3/16$  потомства альбиносов с курчавыми волосами и  $1/16$  потомства альбиносов с гладкими волосами.

1.49. Отец гетерозиготен по цвету волос, а мать гетерозиготна по цвету глаз.

1.50. В случае гомозиготности отца все потомство будет гетерозиготным по генотипу, а по фенотипу — все кареглазые и праворукие. В случае дигетерозиготности отца  $1/4$  потомства можно ожидать кареглазых праворуких,  $1/4$  — кареглазых леворуких,  $1/4$  — голубоглазых праворуких,  $1/4$  — голубоглазых леворуких. В случае гетерозиготности отца по способности владеть руками и гомозиготности по цвету глаз —  $1/2$  потомства кареглазых правшей и  $1/2$  — кареглазых левшей. В случае гетерозиготности отца по цвету глаз и гомозиготности по праворукости  $1/2$  потомства ожидается кареглазых правшей и  $1/2$  — голубоглазых правшей.

1.51. Все гибриды будут с серым телом и нормальными крыльями. В результате скрещивания гибридов 9 частей потомства ожидается с серым телом и нормальными крыльями, 3 части — с серым телом и узкими крыльями, 3 части — с желтым телом и нормальными крыльями и 1 часть — с желтым телом и узкими крыльями.

1.52. У детей можно ожидать  $1/2$  часть потомства кареглазых темноволосых и  $1/2$  часть — кареглазых светловолосых.

1.53. Все потомство будет иметь серое тело и нормальные крылья по фенотипу, генотип — дигетерозиготный.

1.54. В потомстве следует ожидать  $1/4$  часть комолых черных,  $1/4$  часть — комолых красных,  $1/4$  часть — рогатых черных и  $1/4$  часть — рогатых красных.

1.55. 1. а) ..

Гаметы	$LS$	$Ls$	$lS$	$ls$
$LS$	$LLSs$	$LLss$	$lLSs$	$lLss$
$ls$	$lLSs$	$lLss$	$llSs$	$llss$

б)

Гаметы	$LS$	$Ls$
$LS$	$LLSs$	$LLss$
$ls$	$lLSs$	$lLss$

в)

Гаметы	$LS$	$Ls$	$lS$	$ls$
$ls$	$lLSs$	$lLss$	$llSs$	$llss$



2. 1/2.

1.56. 25% черные белоголовые, 25% черные со сплошной окраской головы, 25% рыжие белоголовые, 25% рыжие со сплошной окраской головы.

1.57. 9/16 или 56,25%.

1.58. а) 3/16; б) 3/16; в) 9/16.

1.59. а) 480; б) 160; в) 40.

1.60. а) 1/8; б) 1/8; в) 3/8.

1.61. Генотипы родителей  $WwDd$  и  $Wwdd$ .

1.62. Из данных генотипов больше всего будет белых волнистых кроликов при скрещивании потомства. Чтобы проверить чистоту белых волнистых кроликов, необходимо провести анализирующее скрещивание. В потомстве должны появиться гладкие кролики, т.к. генотип кроликов из первого поколения  $aaBb$ , и если выделить особи с генотипом  $aaBB$ , то все их потомство будет белым и волнистым.

1.63. Черное оперение и хохлатость — доминантные признаки. Родительские особи имеют дигетерозиготные генотипы. От скрещивания родительской особи с потомком бурого оперения и без хохлы можно ожидать 1/4 часть черных хохлатых, 1/4 часть бурых хохлатых, 1/4 часть черных без хохлы, 1/4 часть бурых без хохлы цыплят.

1.64. Одна муха с серым телом и зачаточными крыльями, вторая с черным телом и зачаточными крыльями.

1.65. а) 25% красных гладких, 25% красных пушистых, 25% желтых гладких, 25% желтых пушистых. б) 4 тонны.

1.66. Генотипы исходных форм  $aaBB$  и  $Aabb$ . При таком скрещивании возможен один вариант потомства: по генотипу  $AaBb$ , по фенотипу — полосатые гусеницы, плетущие желтые коконы. При скрещивании особей  $F_1$  между собой получается потомство, характерное для скрещивания дигибридов. В условии задачи приведены количественные соотношения фенотипов во втором поколении, что подтверждает правильность решения.

1.67. Серое тело, нормальные крылья; черное тело, зачаточные крылья; серое тело, зачаточные крылья; черное тело, нормальные крылья.

1.70. 1/4 часть красноплодной земляники, 1/2 часть розовой и 1/4 часть белой; 1/2 часть красноплодной и 1/2 часть с розовыми ягодами.

1.71. Гаметы  $A$  и  $A'$ ; 1:2:1; 1:2:1.

1.72. Половина потомков будет чалой масти.

1.73. Половина потомства будет с голубым оперением.

1.74. 1/4 длинноухих, 1/2 короткоухих, 1/4 безухих; 1/2 короткоухих и 1/2 безухих.

1.75. Горностаевая окраска оперения наследуется по промежуточному типу.

1.76. а) 1:2:1; 1:2:1. б) 1/2 с нормальными глазами, 1/2 с уменьшенными глазными яблоками.

1.77. Гаметы  $AB$  и  $A'b$  (в случае гомозиготности одного из растений по безостости); в  $F_1$  потомство с безостым колосом средней длины; гаметы обоих родителей гибридов:  $AB, Ab, A'B, A'b$ ; в  $F_2$  3 части растений с длинным безостым колосом, 1 часть с длинным остистым колосом, 6 частей безостых средней длины, 2 части остистых средней длины, 3 части коротких безостых и 1 часть коротких остистых.

1.78.  $AB$  и  $A'b$ ;  $AB, Ab, A'B, A'b$  у обоих гибридов; расщепление в частях  $F_2$ : 3 красных нормальных, 1 красных карликовых, 6 розовых нормальных, 2 розовых карликовых, 3 белых нормальных, 1 белых карликовых.

1.79. В случае гомозиготности быка по безрогости ожидается в потомстве 1/4 красных безрогих, 1/2 чалых безрогих, 1/4 белых безрогих. В случае гетерозиготности быка по безрогости: 1 часть красных безрогих, 1 часть красных рогатых, 3 части чалых безрогих, 2 части чалых рогатых, 1 часть белых рогатых.

1.80. 1 часть с красными цветками и узкими листьями ( $AANH$ ), 2 части с красными цветками и средними листьями ( $AANH'$ ), 1 часть с красными цветками и широкими листьями ( $AANH''$ ), 1 часть с розовыми цветками и узкими листьями ( $AA'HH$ ), 2 части с розовыми цветками и средними листьями ( $AA'HH'$ ), 1 часть с розовыми цветками и широкими листьями ( $AA'HH''$ ).

1.81. а) 1/4; б) 1/2; в) 1/4; г) 3/16; д) 1/8.

1.85. 9 частей с ореховидным : 3 части с гороховидным : 3 части с розовидным : 1 часть с листовидным гребнем; с ореховидным и розовидным гребнем.

1.86\*.  $AaBb$  и  $aabb$ ; половина потомства будет иметь круглые плоды.1.87\*.  $CcBb$  — серая лошадь,  $ccBb$  — вороная лошадь.

1.88. Аллели эпистатически взаимодействуют друг с другом, причем белый аллель эпистатичен, а черный — гипостатичен. Численные отношения фенотипов в поколении  $F_2$ : 12 белых, 3 черных, 1 коричневых.

1.89\*. 1 часть с массой 3 кг : 6 частей с массой 2,75 кг : 15 частей с массой 2,5 кг : 20 частей с массой 2,25 кг : 15 частей с массой 2 кг : 6 частей с массой 1,75 кг : 1 часть с массой 1,5 кг.

1.101. а)  $AB, Ab, aB, ab$  (4 типа); б)  $Bc, bc$  (2 типа); в)  $PA, pa$  (2 типа); г)  $PA, pa, Pa, pA$  (4 типа); д)  $Ae B, ae b, Ae b, ae B$  (4 типа); е)  $Ae B, aE b, Ae b, aE B$ , ,  $ae b, AE b, ae B$  (8 типов).

1.102. Генотип:  $AaRhrh, aaRhrh, AaRhrh$ ; фенотип: нормальные эритроциты, положительный резус-фактор; овальные эритроциты, отрицательный резус-фактор; нормальные эритроциты, отрицательный резус-фактор.

1.103. Наблюдается свободная комбинация генов.



1.104. Гены наследуются сцеплено. Особь с генотипом  $\frac{Ab}{aB}$  (дикий тип по фенотипу) образует гаметы  $Ab$  (41,5%),  $AB$  (7%),  $ab$  (8%),  $aB$  (43,5%).

1.105. а) Гены сцеплены; б) У самки гены черной окраски тела и нормальных крыльев находились в одной хромосоме, а гены нормальной окраски тела и миниатюрных крыльев — в другой, ее гомологе. О таком расположении свидетельствует большое число потомков с комбинациями «черная окраска тела + нормальные крылья» и «нормальная окраска тела + миниатюрные крылья».

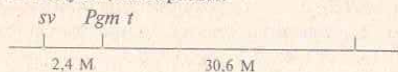
1.106. Из 800 полученных семян только у 24 наблюдаются результаты кроссинговера между генами окраски семян и характера эндосперма. У остальных 776 семян аллели этих генов остаются сцепленными, о чем свидетельствует отношение, равное примерно 1 : 1. Таким образом, частота рекомбинации равна  $(24/800) \cdot 100 = 3\%$ . Значит, расстояние между генами окраски семян и характера эндосперма равно 3 морганидам.

1.107. Расстояние между генами равно 3,49% или 3,49 морганиды.

1.108. 16,98 морганиды.

1.109. 45,79 морганиды.

1.110. Исходя из полученных данных три гена в хромосоме 3 *D. virilis* будут располагаться следующим образом:



1.117. Генотипы матери  $X^H X^h$ , отца —  $X^h Y$ . Фенотипы детей: дочь — носитель, сын здоровый, дочь — гемофилик, сын — гемофилик.

1.118. Вероятность выше, если ген гемофилии получен женщиной от отца.

1.119. Могут.

1.120. 1/4 здоровые дочери : 1/4 дочери-носители гемофилии : 1/4 здоровые сыновья : 1/4 сыновья, страдающие гемофилией.

1.121. Если мать ребенка является носителем гемофилии или страдает гемофилией.

1.122\*. У птиц гетерогаметен женский, а гомогаметен мужской пол. Самка  $X^A Y$ , самец  $X^a X^a$ . Потомство: индоки — носители, индейки — больны.

1.123. Женские растения в  $F_2$  широколистные, но по генотипу половина из них — носители гена узколистности. Мужские растения: 50% широколистные, 50% узколистные.

1.124. Неправильно, X-хромосому вместе с геном дальтонизма сын унаследовал от матери.

1.125. Мать  $X^D X^d$ , отец  $X^D Y$ ; фенотип детей: девочки — носители, мальчики — дальтоники.

1.126. Да; да; по 25%.

1.127. а) Мать: X-хромосомы гомозиготны по цветовой слепоте. Отец: ген нормального зрения в X-хромосоме плюс одна Y-хромосома; б) 1/2; в) 1/2.

1.128. Вероятность отсутствия потовых желез у дочерей равна нулю, у сыновей — 50%.

1.129\*. Самка  $X^A Y$  — зеленая, самец  $X^a X^a$  — коричневый.

1.130. Все мальчики (50%) будут с гипертрихозом.

1.131. Все дочери — носительницы генов гемофилии и дальтонизма, все сыновья — дальтоники.

1.132. а) Если между генами длины крыльев и цвета глаз не происходит перекрестов, то можно ожидать в  $F_2$  следующих результатов: нормальные крылья, красные глаза: нормальные крылья, белые глаза: миниатюрные крылья, красные глаза: нормальные крылья, белые глаза; б) Отсутствие отношения 1:1:1:1 между фенотипами особей, полученных от скрещивания, указывает на кроссинговер между генами длины крыльев и цвета глаз у самки. В результате кроссинговера между этими генами получают рекомбинантные генотипы: миниатюрные крылья, белые глаза и нормальные крылья, красные глаза. Из 106 мух 35 (18 + 17) являются рекомбинантными; таким образом, частота рекомбинации равна 35/106 или 30%.

1.138. 50%.

1.139. Первой пары супругов.

1.140. У детей возможны I, II, III, IV группы крови.

1.141. Гетерозиготны по группам крови А и В, по резус-фактору могут быть гетерозиготны с положительным резус-фактором или один из родителей с отрицательным резус-фактором, а второй гетерозиготен с положительным резус-фактором.

1.142 I, II ( $I^A I^O$ ), III ( $I^B I^O$ ).

1.143. Не могут.

1.144. II ( $I^A I^O$ ) и III ( $I^B I^O$ ).

1.145. 25%; II ( $I^A I^O$ ) или III ( $I^B I^O$ ).

1.146. 75%; I или II ( $I^A I^A$  и  $I^A I^O$ ).

1.147. Мужчина может быть отцом ребенка. Однако, суд для решения вопроса об отцовстве должен привлечь другие данные.

1.148. а)  $I^A I^O$ ;

б)  $I^B I^O$ ;

в)  $I^A I^O$  или  $I^A I^B$ ;

г)  $I^B I^O$ ;

д)  $I^A I^A$  или  $I^A I^O$ , или  $I^A I^B$ ;

е)  $I^A I^O$ ;

ж)  $I^A I^O$ ,  $I^B I^O$  или  $I^O I^O$ ;

- з)  $I^A I^O$ ;  
и)  $I^B I^O$ .

1.150\*. а) Желтые мыши гетерозиготны; б) Ген желтой окраски в гомозиготном состоянии летален; в) Гомозиготная желтая мышь погибает на стадии зародыша и погибший зародыш в теле матери рассасывается; г) Надо скрестить желтую мышь и, прооперировав ее на ранней стадии беременности, убедиться в наличии мертвых зародышей.

1.151. 2 самки : 1 самец.

1.152. 75%, если не учитывать гибель от малярии; 100%, если не учитывать гибель от малярии.

1.153. а) при скрещивании гетерозигот;

б) при промежуточном наследовании;

в) при скрещивании дигетерозигот;

г) при комплементарном взаимодействии генов;

д) при полимерии;

е) при наличии летального гена в гомозиготном состоянии.

1.154. а)  $1/4$ ; б) 50% нормальные : 50% с брахидактилией.

## 2. Генетика человека. Анализ родословных

2.4. а) тип наследования — аутосомно-рецессивный;

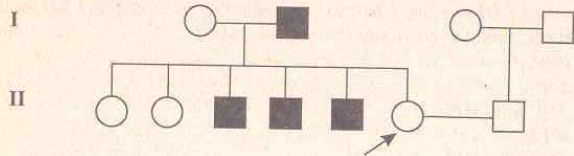
б) тип наследования — аутосомно-доминантный;

в) тип наследования — сцепленный с X-хромосомой (с полом), рецессивный.

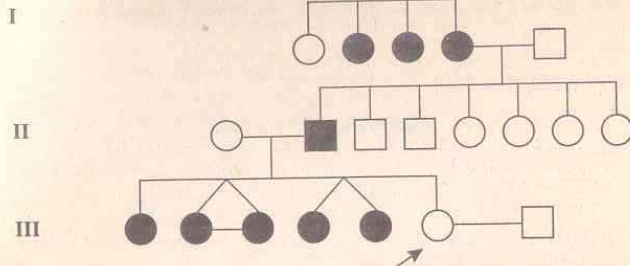
2.5. Классическая гемофилия — заболевание, сцепленное с полом. Ген гемофилии находится в X-хромосоме. Носительницами гена гемофилии являются Алиса (I поколение), Ирэна и Александра (II поколение); их генотип  $X^H X^h$ .

2.6. Вероятность рождения в этой семье еще одного дальтоника составляет 25%.

2.7. Вероятность рождения детей, владеющих левой рукой, равна нулю. Родословная семья имеет вид:



2.8. Шестипалость — признак аутосомно-доминантный. Родословная семья имеет вид:



Генотипы пробанда и мужчины —  $aa$ . Вероятность рождения шестипалых детей равна нулю.

2.9\*. Так как год рождения Петра Петровича Пушкина 1644, а у Александра Сергеевича Пушкина первый ребенок родился в 1832 году, то средний возраст одного поколения в семье Пушкиных составит  $\frac{188}{6} = 31$  год.

## 3. Популяционная генетика. Закон Харди-Вайнберга

3.8. 0,1314.

3.9. 0,0727.

3.10. 0,18.

3.11. Частота черных мух — 0,01, частота серых — 0,99. Количество доминантных гомозигот — 0,81, рецессивных гомозигот — 0,01, гетерозигот — 0,18.

3.12. Соответствует.

3.13. Частоты аллелей  $T$  и  $t$  равны соответственно 0,4523 и 0,5477. Частоты генотипов:  $TT = 0,2046$ ,  $Tt = 0,4954$ ,  $tt = 0,3$ .

3.14. 42%.

3.15. 0,05.

3.16\*. Частота гена  $a$  — 0,3, а частота гена  $A$  — 0,7.

3.17. В первом поколении гетерозиготы составляют половину всего потомства. При самоопылении гомозиготы порождают только гомозиготное же потомство, а гетерозиготы дают менделевское расщепление, т.е. половина их потомков оказывается гомозиготной и только другая половина сохраняет свою гетерозиготность. Таким образом, с каждой сменой поколений доля гетерозигот уменьшается в два раза: в первом поколении они составляют, как уже было сказано, половину всего потомства, во втором — четверть, в третьем — одну восьмую, в четвертом — одну шестнадцатую и



т.д. В  $n$ -м поколении доля гетерозиготных особей выражается числом

$$\frac{1}{2^n}$$

3.18. а) 0,124; б) 0,354.

#### 4. Молекулярная генетика

- 4.2. ТТТААГГЦЦЦ.  
 4.3. АГЦТАААТГЦ.  
 4.4. ТТАГЦГАЦТА.  
 4.5. АТЦЦГАТТАТЦГ.  
 4.6. А Т Ц А Т А Г Ц Ц Г  
 Т А Г Т А Т Ц Г Г Ц.  
 4.8. УААЦГАГУУ.  
 4.9. ААГЦУЦАУГГУА.  
 4.10. ГУЦЦУАГГААГА.  
 4.11. УУУЦУАГУГАУААГАЦААУГАУ.  
 4.12. ЦГЦТГТААААГЦГЦАТЦАТТТАА.  
 4.17. Пролин — пролин — пролин — пролин.  
 4.18. Серин — аргинин — фенилаланин — фенилаланин.  
 4.19. Лейцин — лейцин — изолейцин — валин — изолейцин — триптофан — лейцин — лейцин.  
 4.20. Лейцин — валин — лейцин.  
 4.21. Аланин, аспарагин, цистеин, глицин.  
 4.22. Один из возможных вариантов ответа: АГА, АУА, АГГ, УАЦ.  
 4.23. Один из вариантов решения: УУУ, УГА, ЦЦА, ЦАА, ГЦА.  
 4.24. После удаления из гена первого нуклеотида белок имеет вид: аргинин — валин — лейцин.  
 4.25. После удаления из ДНК шестого нуклеотида аминокислоты в молекуле белка имеют следующий порядок: треонин — глутамин — тирозин.  
 4.26. При удалении из молекулы ДНК второго нуклеотида строение белка таково: глицин — фенилаланин — серин.  
 4.27. После вставки тимина белок имеет вид: серин — треонин — лейцин — глицин.  
 4.28. После облучения начало цепочки белка: глицин — треонин — глицин.  
 4.29. После воздействия азотистой кислотой цепь белка будет иметь следующее строение: цистеин — глицин — серин — изолейцин — серин — глицин. Это один из вариантов ответа.  
 4.30. Один из возможных вариантов решения: АЦУ, УГГ, УАУ, ГУУ.  
 4.31. Один из вариантов ответа: ГЦА АЦШ АТА ГТА ААА  
 ЦГТ ТГГ ТАТ ЦАТ ТТТ.

4.32. Один из вариантов решения:

и-РНК: ГЦУ — АГА — АЦУ — ААА  
 ДНК: ЦГА ТЦТ ТГА ТТТ  
 ГЦТ АГА АЦТ ААА.

4.33. Один из возможных вариантов решения:

ААА ЦАА ТТА ГТТ ГТА ГАА АЦА ЦЦА ТЦА ГТА  
 ТТТ ГТГ ААТ ЦАА ЦАТ ЦТТ ТТТ ГТТ АГТ ЦАТ.

4.34. Один из возможных вариантов решения:

ЦЦА ТАА ЦАА ЦТТ ГТЦ  
 Г ГТ АТТ ГТТ ГАА ЦАГ

4.35. Один из вариантов решения: ГЦА ГГА ГАА ЦАА ГЦГ  
 ЦГТ ЦЦТ ЦТТ ГТТ ЦГЦ.

#### 5. Генетическая инженерия

5.5. В приведенной ДНК имеется один участок распознавания: ГГАТЦЦ для рестриктазы Bam I (см. табл. 5.1.). Поэтому ДНК может быть разрезана в одном месте с образованием двух фрагментов.

5.6. ДНК может быть разрезана в одном месте рестриктазой Hae III с образованием двух фрагментов.

5.7. Рестриктаза EcoR I может разрезать фрагмент а).

5.8. Фрагменты а) и б) могут быть разрезаны рестриктазами Hind III и Hra II соответственно.

5.9. Частота встречаемости четырехнуклеотидного фрагмента ЦЦГТ составит  $(1/4)^4 = 1/256$ . Таким образом, средняя длина фрагментов ДНК при разрезании Hra II составит 256 нуклеотидных пар.

5.10. Средняя длина фрагментов ДНК при разрезании EcoR I составит 4096 нуклеотидных пар.

5.11. Средняя длина фрагментов ДНК при разрезании рестриктазами, узнающими восьминуклеотидную последовательность, составит 65 536 нуклеотидных пар.

5.12. В результате полного расщепления человеческой ДНК рестриктазой Not I должно получиться  $45776 + 23 = 45 799$  фрагментов.

5.13. Должно получиться  $732 422 + 23 = 732 445$ .

5.14.  $3296 + 1 = 3297$ .

5.15.  $52734 + 1 = 52 735$ .

5.16. 18 359.

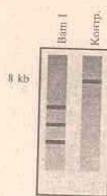
5.17.  $24 414 + 4$ .

5.18. С помощью Hind III можно разрезать оба фрагмента ДНК с образованием липких концов АГЦТ. Затем, при смешении фрагментов, липкие концы скрепляются между собой за счет водородных связей, а окончательную сшивку в единую гибридную молекулу производит ДНК-лигаза.

5.19. Bam I может разрезать фрагменты с образованием липких концов, а ДНК-лигаза скрепит их в одну молекулу.

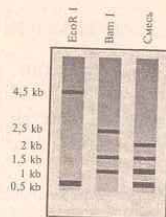
5.27. Две.

5.28.

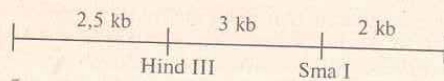


5.29. Одна.

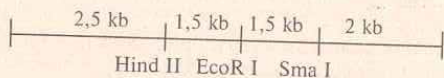
5.30.



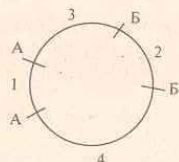
5.31.



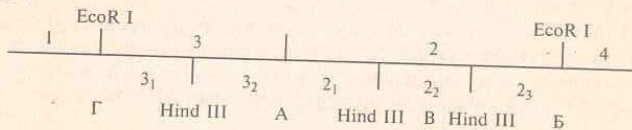
5.32.



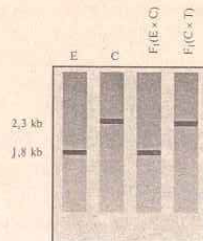
5.33.



5.34.



5.35.



5.36. Выявить мутацию, приводящую к заболеванию, можно достаточно легко, используя молекулярно-генетические методы. Для этого индивидуальные образцы ДНК необходимо обработать рестриктазой *EcoR I*. Затем, полученные рестрикционные фрагменты подвергнуть электрофоретическому фракционированию в агарозном геле с последующей Саузерн-блот гибридизацией, используя в качестве зонда меченный фрагмент специфической ДНК.

Поскольку в результате мутационной замены нуклеотида в ДНК гена, обуславливающего заболевание, происходит потеря сайта рестрикции для *EcoR I*, который присутствует в нормальном гене, то на автордиограмме образцов, взятых у здоровых людей, будут присутствовать две фракции. В то же время в образцах, взятых у людей, являющихся носителями заболевания «циклический фиброз», будет присутствовать дополнительная «тяжелая» (неразрезанная) фракция ДНК.

5.37. Так как оба родителя являются носителями поврежденного гена т.е. гетерозиготами, то вероятность рождения детей с заболеванием равна 25%.

5.38. Старший сын является носителем заболевания.

5.39. Младший брат является нормальной гомозиготой, а остальные носителями заболевания.

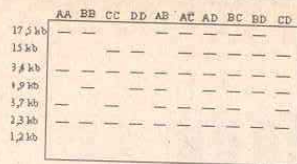
5.40. Оба родителя являются носителями заболевания.

5.41. Первый ребенок (эмбрион) является гетерозиготой и соответственно унаследует аллель ДНК-маркера (3,7, 1,2 кб), сцепленный с болезнью Хантингтона, а учитывая 4% кроссинговер между геном, определяющим заболевание, и сцепленным с ним ДНК- маркером можно сказать, что только в одном случае из 25 он будет нормальной гомозиготой.

Второй ребенок в любом случае унаследует аллель, несущий болезнь Хантингтона, поскольку поврежденный ген он обязательно получит от отца, который является гомозиготой по гену, обуславливающему заболевание.



5.42.



Как видно из представленной авторадииограммы электрофоретические спектры рестрикционных фрагментов ДНК, гибридизующихся с зондом G8, будут одинаковыми только у гетерозигот AD и BC.

5.43. У проанализированных членов венесуэльской семьи, родословная которых приведена на рисунке 5.19, существует прямая связь заболевания Хантингтона с генотипами AC, BC и CC, так как практически все потомки с этими тремя генотипами имели БХ, в то время как все потомки с тремя альтернативными генотипами AA, BB, AB были здоровы. Что касается конкретного аллеля, то в этой семье существует четкая связь заболевания БХ только с аллелем С.

5.44. Наличие генотипа AC у здоровой женщины в шестом поколении (VI—5) венесуэльской семьи вероятнее всего объясняется тем, что она является кроссовером между локусом, несущим заболевание, и маркерным локусом, образовавшимся в результате кроссинговера в хромосоме с БХ и аллелем С.

5.45. Поскольку из 20 потомков в венесуэльской семье, несущих аллель С, 19 страдают болезнью Хантингтона, а один является кроссовером, то величина кроссинговера составит 5% ( $1/20 \cdot 100\%$ ). Отсюда следует, что ДНК-маркер по зонду G8 расположен на расстоянии 5 морганид от гена, обуславливающего это заболевание.

5.46. Зонд G8 может быть использован для идентификации района ДНК, в котором непосредственно расположен сам ген, обуславливающий заболевание Хантингтона, что поможет выделить и проанализировать данный ген. В дальнейшем выделенный ген, обуславливающий БХ, может быть успешно клонирован, транскрибирован и транслирован, что в итоге даст возможность идентифицировать конкретный белковый продукт.

5.49. Нет, поскольку во фрагменте отсутствует сайт для EcoR I.

5.50. а.

5.51. Второй.

5.52. Оба. Первый — при помощи рестриктазы EcoR I, второй — при помощи рестриктазы Hind III.

5.53\*. При помощи фермента Bam I. Бактерии, трансформированные такой плазмидой, не будут расти на средах, содержащих тетрациклин.

5.54\*. Так как трансформированные бактерии не растут на среде содержащей тетрациклин, то можно предположить что в плазмидной ДНК вставкой поврежден ген устойчивости к этому антибиотику. Следовательно, из плазмиды нужный нам фрагмент можно «вырезать» при помощи рестриктазы Bam I.

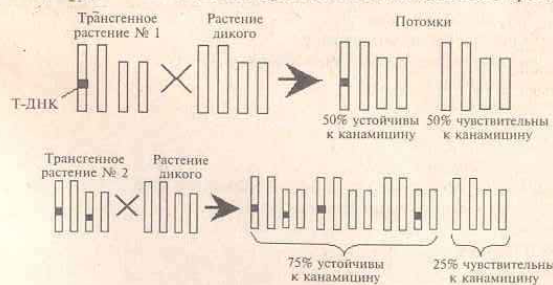
5.55\*. Поскольку белок состоит из 300 аминокислот, то величина гена  $M_s$  будет 900 нуклеотидных пар, а tandemная копия составит  $900 \times 2 = 1800$  нп. Следовательно, tandemная копия гена  $M_s$  может находиться только во фракменте 3.

5.56. гибридизация меченого зонда произойдет с фракциями ДНК величиной 4 и 2 кб.

5.57. На первом этапе необходимо определить, в какое место в плазмиде можно наиболее оптимально встроить ген, нужный нам для последующего клонирования. Фрагмент ДНК грибка *Podospora*, который содержит ген  $\beta$ -тубулина, можно встроить при помощи рестриктазы Hae II. Для этого ДНК грибка и плазмиду нужно обработать рестрикционным ферментом Hae II, произвести гибридизацию линейной молекулы плазмиды и ДНК *Podospora* с последующим сшиванием лигазой. Полученной гибридной плазмидой трансформировать *E.coli*. Далее трансформированные бактерии выращивают на среде, содержащей тетрациклин. Затем переносят реплику (отпечаток) колоний на среду, содержащую канамицин. Так как ген устойчивости к канамицину отключен из-за вставки, то бактерии трансформированные гибридными плаزمидами, не будут расти на среде содержащей канамицин. Колонии, устойчивые к тетрациклину, но чувствительные к канамицину, и будут искомыми.

5.58\*. Гибридизация меченого зонда в данном случае произойдет с фракциями величиной 4 и 1 кб.

5.59\*. В геном трансгенного растения № 1 встроился только один фрагмент Т-ДНК с нужным геном. В геном трансгенного растения № 2 встроились два фрагмента Т-ДНК, причем в негомологичные хромосомы.



## ЛИТЕРАТУРА

- Айала Ф., Кайгер Дж. Современная генетика: Пер. с англ.: В 3 т. Т. 3. М.: Мир, 1988. 336 с.
- Веселовский С. Б. Род и предки А. С. Пушкина в истории. М.: Наука, 1990. 336 с.
- Каминская Э. А. Сборник задач по генетике. Мн.: Вышэйшая школа, 1977. 128 с.
- Кочергин Б. Н., Кочергина Н. А. Задачи по молекулярной биологии и генетике. Мн.: Народная асвета, 1982. 80 с.
- Песецкая Л. Н., Гончаренко Г. Г., Острейко Н. Н. Сборник задач по генетике. Гомель: ГГУ, 2002. 114 с.
- Сборник задач по общей и медицинской генетике. Учебно-методическое пособие / Бутвиловский В. Э. и др. Мн.: МГМИ, 1998. 132 с.
- Синнот Э., Денн Л. Курс генетики. Теория и задачи / Изд. 3-е перераб. и расшир. М.; Л.: Гос. изд. биол. и мед. лит., 1934. 432 с.
- Соколовская Б. Х. Сто задач по генетике и молекулярной биологии. Новосибирск: Наука, 1971. 64 с.
- Хелевин Н. В., Лобанов А. М., Колесова О. Ф. Задачник по общей и медицинской генетике. М.: Высшая школа, 1984. 159 с.
- Штерн К. Основы генетики человека. М.: «Медицина», 1965. 690 с.
- Modern genetic analysis / Griffiths et al. Freeman and company. New York. 1999. 675 p.
- Principles of genetics. Snustad P., Simmons M. / Second edition – John Wiley & Sons. New York. 1999. 876 p.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Основные закономерности наследственности	5
1.1. Моногибридное скрещивание	13
1.2. Дигибридное и полигибридное скрещивание	27
1.3. Неполное доминирование	39
1.4. Взаимодействие неаллельных генов	43
1.5. Сцепленное наследование и кроссинговер	45
1.6. Сцепленное с полом наследование	55
1.7. Множественный аллелизм. Группы крови	63
1.8. Плейотропное действие гена	68
2. Генетика человека. Анализ родословных	71
3. Популяционная генетика. Закон Харди-Вайнберга	83
4. Молекулярная генетика	90
4.1. Репликация ДНК	93
4.2. Транскрипция	93
4.3. Биосинтез белков	94
5. Генетическая инженерия	99
5.1. Ферменты рестрикции и получение гибридной ДНК	107
5.2. Анализ и использование фрагментов ДНК	111
5.3. Вектора	123
Ответы к задачам	129
Литература	144



# Издательство "Сэр-Вит" представляет



ISBN 985-419-203-2



9 789854 192031 >



"Сэр-Вит"