

Департамент образования Вологодской области  
ГОО ДПО «Вологодский институт развития образования»

**Н.В. Федоркова**

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ**

Вологда  
2008

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Вологодского института развития образования

Подготовлено и издано по заказу департамента образования Вологодской области в соответствии с целевой программой «Развитие системы образования Вологодской области на 2007-2010 годы»

Научный редактор:

Е.Ю. Бахтенко, доктор биологических наук, профессор, ГОУ ВПО «Вологодский государственный педагогический университет»

Рецензенты:

Т.С. Рубцова, учитель биологии высшей категории ГОУ «Вологодский многопрофильный лицей»

Е.Ю. Ногтева, кандидат педагогических наук, доцент кафедры педагогики ГОУ ДПО «Вологодский институт развития образования»

© Н.В. Федоркова, 2008

© Департамент образования Вологодской области, 2008

© Вологодский институт развития образования,  
издательский центр, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ.....	7
2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	
2.1. Генетическая символика.....	10
2.2. Подготовка к решению задач.....	11
2.3. Прямые и обратные задачи.....	14
2.4. Основные этапы решения прямой задачи.....	15
2.5. Основные этапы решения обратной задачи.....	21
3. РЕШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	
3.1. Моногибридное скрещивание.....	24
3.2. Дигибридное скрещивание.....	39
3.3. Сцепленное наследование генов.....	45
3.4. Сцепленное с полом наследование.....	49
3.5. Анализ и составление родословных.....	52
4. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В МАТЕРИАЛАХ ЕГЭ ПО БИОЛОГИИ.....	55
5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ.....	62
6. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ.....	67
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	85

## ВВЕДЕНИЕ

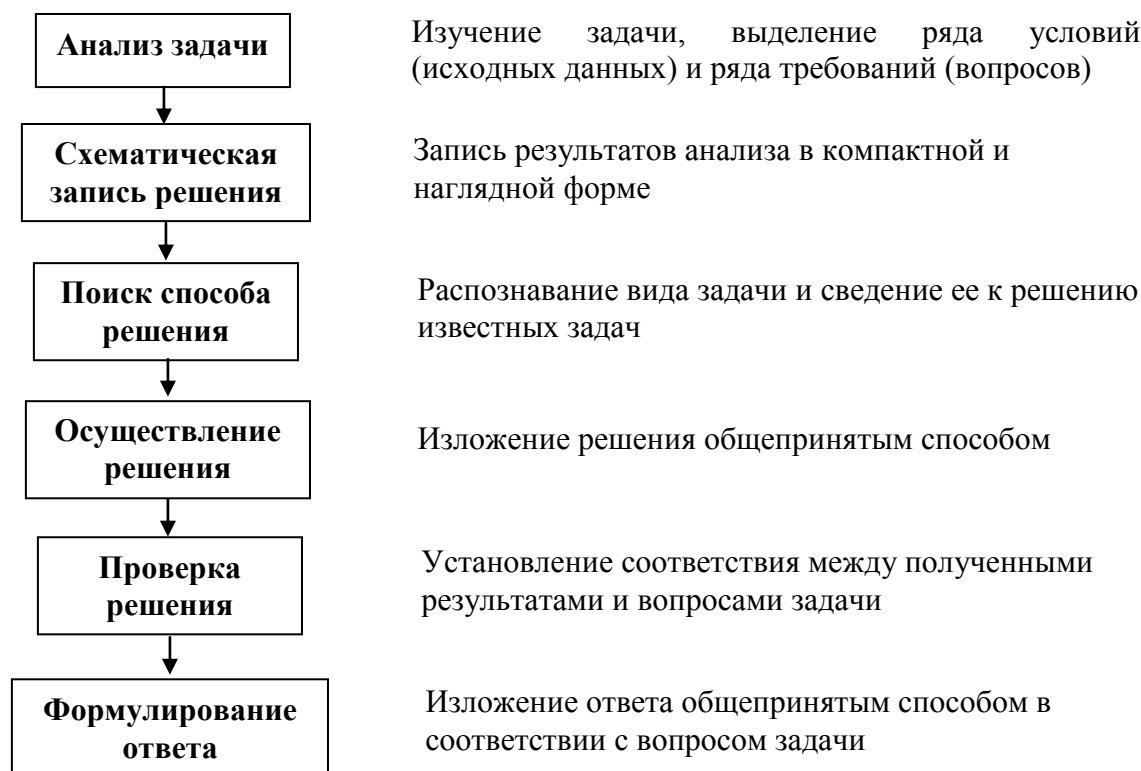
Генетика по праву занимает одно из центральных мест в курсе общей биологии, изучаемом в старших классах. По мнению одного из современных генетиков Ф. Айалы, «генетика – это сердцевина биологической науки, любой факт в биологии становится понятным лишь в свете генетики; лишь в рамках генетики разнообразие жизненных форм и процессов может быть осмыслено как единое целое» [1;5]. Традиционно одним из неотъемлемых этапов изучения генетики является решение задач, без которых генетика потеряла бы значительную долю своей привлекательности и уникальности [8; 49]. Направления использования генетических задач разнообразны, перечислим основные из них:

- усвоение сущности генетических понятий;
- самостоятельное обнаружение закономерностей наследования признаков;
- обеспечение понимания сущности генетических закономерностей путем иллюстрации на примере конкретных биологических объектов;
- выявление особенностей основных методов генетических исследований;
- осуществление дифференцированного контроля знаний.

Значимость формирования навыков решения генетических задач для понимания законов наследственности и изменчивости трудно переоценить. Тем не менее, большинство сборников задач по генетике представляют собой более или менее полную подборку задач [5]. При этом под процедурой обучения решению задач подразумевается, как правило, выполнение большого количества однотипных заданий. Не преуменьшая значения повторения для формирования умений и навыков, хотелось бы более пристальное внимание уделить самому процессу решения задачи, специфическим особенностям этапов этого процесса, характеристике путей поиска верного решения. Осознанное отношение к процессу решения задачи позволит существенно снизить количество времени и сил, необходимое для того, чтобы научить и научиться решать генетические задачи. Целью создания данного учебно-методического пособия явилась разработка системы рекомендаций по формированию навыков решения генетических задач.

Пальма первенства в создании методик обучения решению задач принадлежит, без сомнения, математикам. С точки зрения математика, «задача представляет собой требование или вопрос, на который необходимо найти ответ, опираясь на условия, указанные в задаче. Решить задачу – значит найти такую последовательность общих положений (определений, аксиом, теорем, правил, законов, формул), применяя которые к условиям задачи или их следствиям получаем ответ» [18; 25].

Процесс решения задачи в математике четко структурирован и универсален. Выделяют шесть основных этапов решения.



**Рис.1 Основные этапы решения задачи**

Часто выделяют также этап **анализа решения**: поиск иных путей решения, формулировка выводов и обобщений.

Анализ содержания различных генетических задач позволяет сделать вывод о том, что они удовлетворяют всем признакам, характерным для задач в целом, а в процессе их решения прослеживаются перечисленные выше этапы.

В рамках данного пособия разработан ряд универсальных рекомендаций, касающихся серии поэтапных действий от прочтения задачи до записи ответа. Следует отметить, что предпринята попытка выделить операции, характерные для решения любой задачи, независимо от ее содержания. Основой деятельности по решению задачи служит при этом знание основных этапов решения (рис.1). Особое внимание уделяется способу оформления задачи. Решение задачи представляется в форме, применяемой в физике и широко используемой учителями биологии. С нашей точки зрения, подобный вариант оформления является наиболее оптимальным, поскольку позволяет успешно реализовать все этапы работы с задачей.

Одним из условий использования предложенного подхода является обучение использованию генетической терминологии и символики, предшествующее решению классических задач. С этой целью разработана серия специальных заданий и упражнений.

Значительное место в пособии отводится решению основных типов и видов задач. Классификация задач, предложенная в рамках пособия, существенно облегчает работу с ними. В основе классификации лежит деление задач на прямые и обратные в зависимости от исходных данных и сущности вопросов. Дальнейшее деление задач на виды осуществляется в соответствии с содержанием (законы Менделя: моногибридное и дигибридное скрещивание; сцепленное наследование; наследование, сцепленное с полом; анализ и составление родословных). При рассмотрении каждого вида задач предлагается цепочка рассуждений, соответствующая основным этапам решения задачи.

Отдельный раздел пособия посвящен специфическим особенностям содержания, решения и оценивания генетических задач, включаемых в материалы для итоговой аттестации учащихся средней школы в форме единого государственного экзамена [7; 60]. На примере заданий ЕГЭ подробно рассмотрена также процедура анализа задачи, позволяющая найти оптимальный способ ее решения.

В рамках пособия предложены различные приемы обучения решению задач: применение графических схем, позволяющих моделировать процессы, происходящие при образовании гамет и оплодотворении; использование иллюстраций; решение фантастических задач. Особого внимания заслуживает раздел, посвященный обучению составлению задач.

Пособие содержит ряд приложений, которые окажутся полезными на всех этапах работы с задачами.

Следует отметить, что целью создания пособия являлась разработка системы методических рекомендаций по решению задач при изучении биологии на базовом уровне. Именно поэтому в сборник не включены задачи, используемые на различных этапах Всероссийской олимпиады, и задачи, которые решают учащиеся профильных классов. Тем не менее, содержание материалов сборника позволяет осуществить постепенный переход к решению задач любого уровня сложности.

Пособие построено таким образом, чтобы помочь учителю создать необходимые условия для активизации познавательной деятельности учащихся, организовать работу по эффективному освоению навыков решения генетических задач. В то же время представленные материалы могут использоваться самими школьниками, позволяя им приобрести указанные навыки в процессе самостоятельных занятий. Пособие может также служить основой для проведения спецкурсов и семинаров в рамках повышения квалификации учителей биологии.

## 1. ОСНОВНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

В данном разделе представлены основные понятия генетики в порядке, соответствующем последовательности их изучения. При определении сущности каждого из понятий предпринята попытка учесть элементы различных подходов, если таковые существуют.

**Генетика** – наука о закономерностях наследственности и изменчивости.

**Наследственность** – свойство организмов обеспечивать морфологическую и функциональную преемственность между поколениями.

**Изменчивость** – свойство живых организмов существовать в различных формах, то есть приобретать в процессе индивидуального развития новые признаки под воздействием различных факторов.

**Ген** – участок (участки) молекулы ДНК, кодирующие информацию о первичной структуре полипептида или структуре молекулы РНК.

**Признак** – особенность организма (морфологическая, биохимическая, физиологическая, и т.п.). Контрастные проявления признака называются альтернативными проявлениями признака или альтернативными признаками (желтая и зеленая окраска семян гороха).

**Генотип** – совокупность генов организма (понятие «генотип» используется также для обозначения генов, обеспечивающих развитие определенного признака).

**Фенотип** – совокупность признаков организма (понятие «фенотип» используется также для обозначения альтернативных проявлений одного признака). Возможность проявления гена в фенотипе определяется целым рядом факторов.

**Аллельные гены (аллели)** – гены (состояния гена), определяющие альтернативное развитие одного и того же признака и расположенные в одинаковых участках гомологичных хромосом (локусах).

**Аллель** – один из пары аллельных генов.

**Множественный аллелизм** – наличие более двух аллелей одного гена.

**Доминантный признак** – признак, всегда проявляющийся в фенотипе (исключение – неполное доминирование).

**Доминантный ген (аллель)** – ген, обеспечивающий развитие доминантного признака.

**Рецессивный признак** – признак, не проявляющийся в присутствии доминантного.

**Рецессивный ген (аллель)** – ген, обеспечивающий развитие рецессивного признака.

**Гомозиготный организм (гомозигота)** – организм, который содержит в генотипе одинаковые аллельные гены и образует один тип гамет.

**Гетерозиготный организм (гетерозигота)** – организм, который содержит в генотипе разные аллельные гены и образует несколько типов гамет.

**Гибридологический метод** – это система скрещиваний в ряду поколений, дающая возможность при половом размножении анализировать наследование отдельных свойств и признаков организмов, а также обнаруживать возникновение наследственных изменений.

**Гибриды** – организмы, полученные при скрещивании родительских форм, отличающихся по одному или нескольким признакам.

**Моногибридное скрещивание** – скрещивание, при котором прослеживается наследование одной пары альтернативных признаков.

**Закон единообразия гибридов первого поколения (I закон Менделя)** – потомство от скрещивания организмов, различающихся по одной паре признаков, единообразно. Современная формулировка: при моногибридном скрещивании гомозиготных организмов, имеющих альтернативные проявления признака, все гибриды первого поколения имеют одинаковые генотипы и фенотипы.

**Закон расщепления (II закон Менделя)** – в потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явление расщепления: три четверти гибридов второго поколения имеют доминантный признак, одна четверть – рецессивный. Современная формулировка: при моногибридном скрещивании гетерозиготных организмов в потомстве наблюдается расщепление в соотношении 3:1 по фенотипу и 2:1 по генотипу.

**Закон чистоты гамет** – гены в гаметах у гибридных особей чисты. Современная формулировка: в каждую гамету попадает только один аллельный ген из пары.

**Дигибридное скрещивание** - скрещивание, при котором прослеживается наследование двух пар альтернативных признаков.

**Закон независимого наследования признаков (III закон Менделя)** – при скрещивании особей, различающихся по двум парам признаков, расщепление по одной паре признаков идет независимо от расщепления по другой паре признаков. Современная формулировка: при скрещивании гетерозиготных особей, отличающихся по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки передаются потомству независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях. Условие выполнения III закона Менделя: пары аллельных генов лежат в разных парах гомологичных хромосом.

**Полигибридное скрещивание** – скрещивание, при котором прослеживается наследование более двух пар альтернативных признаков.

**Анализирующее скрещивание** – скрещивание организма с неизвестным генотипом с организмом, являющимся рецессивной гомозиготой.

**Возвратное скрещивание** – скрещивание гибрида с одним из родительских организмов.



**Сцепленное наследование генов** – явление совместного наследования генов, локализованных в одной хромосоме.

**Группа сцепления** – гены, локализованные в одной хромосоме. Количество групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом.

**Закон Моргана (закон сцепленного наследования)** – гены, лежащие в одной хромосоме, наследуются вместе (сцеплено).

**Кроссинговер** – обмен идентичными участками между гомологичными хромосомами в профазе I мейоза. При наличии кроссинговера сцепленное наследование генов нарушается. Частота кроссинговера между двумя генами, лежащими в одной хромосоме, прямо пропорциональна расстоянию между ними. За единицу расстояния между двумя генами принят 1% кроссинговера.

**Кроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, при образовании которых происходит процесс кроссинговера. Комбинации генов в хромосомах кроссоверных гамет отличаются от комбинаций генов в хромосомах родительских организмов.

**Некроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, при образовании которых не происходит процесс кроссинговера. Комбинации генов в хромосомах некроссоверных гамет соответствуют комбинациям генов в хромосомах родительских организмов.

**Генетическая карта хромосомы** – схема взаимного расположения генов, находящихся в одной группе сцепления.

**Половые хромосомы** – хромосомы, отвечающие за наследование пола.

**Аутосомы** – все хромосомы, кроме половых, содержащиеся в хромосомном наборе.

**Гомогаметный пол** – пол организма, соматические клетки которого содержат одинаковые половые хромосомы, такой организм образует один тип гамет.

**Гетерогаметный пол** – пол организма, соматические клетки которого содержат разные половые хромосомы, такой организм образует два типа гамет.

**Наследование, сцепленное с полом** – наследование признаков, гены которых локализованы в половых хромосомах. У большинства организмов гены, лежащие в X-хромосоме, не имеют соответствующих аллелей в Y-хромосоме. В том случае, если Y-хромосома содержит аллельные гены, говорят о наследовании, частично сцепленном с полом.

## 2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

### 2.1. Генетическая символика

Схематическая запись условия и решения генетической задачи производится с помощью специальных символов.

**P** – родители (лат. Parentes – родители);

**F** – организмы, полученные при скрещивании, нижний индекс обозначает номер поколения (лат. Filii – дети);

**F<sub>1</sub>** – гибриды первого поколения, получены при скрещивании родителей;

**F<sub>2</sub>** – гибриды второго поколения, получены при скрещивании гибридов первого поколения между собой;

**G** – гаметы;

× - значок скрещивания;

♀ - женская особь (символ Венеры);

♂ - мужская особь (символ Марса);

A, B, C (лат.) – буквенные обозначения доминантных аллелей генов;

a, b, c (лат.) – буквенные обозначения рецессивных аллелей генов.

Некоторые авторы для обозначения получения потомства применяют вертикальную стрелку ↓. В этом случае стрелка начинается под знаком скрещивания, и продолжается до строки с записью генотипов потомства. При определении типов гамет организма стрелки, как правило, не изображаются.

Существует ряд правил использования генетической символики.

- Доминантные аллели гена обозначаются заглавными буквами латинского алфавита (A,B,C,D и т.д.), рецессивные – строчными (a,b,c,d и т.д.)
- При записи схемы скрещивания первым записывается генотип женской особи.
- Генетические символы, обозначающие аллели гена, расположенные в гаметах, обводятся кружком.
- Буквенные обозначения одной пары аллельных генов записываются рядом (верно: AaBBcc; неверно: ABBCac).
- Буквенные обозначения генов записываются в алфавитном порядке (верно: aaBvcc; неверно: Bvaacc)
- В паре аллельных генов, обозначенных одинаковой буквой, на первом месте пишется доминантный ген, на втором - рецессивный (верно: AaBvcc; неверно: aAввcc).

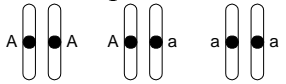
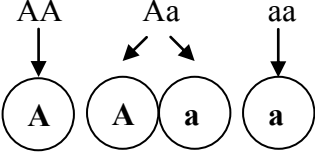
## 2.2. Подготовка к решению задач

Задания, используемые на данном этапе, направлены на усвоение сущности генетических понятий, овладение терминологией, обучение использованию генетической символики. Подобные задания являются необходимым условием успешного перехода к решению классических задач, поскольку позволяют сформировать навык перевода условия задачи в генетические символы. В таблице 1 представлены примеры заданий подобного рода, варианты их использования могут быть различными.

Таблица 1

### Задания подготовительного этапа

Содержание задания	Возможные варианты ответа	Цель
<i>Ген и признак</i>		
<i>Назвать признаки известных вам организмов</i>	Цвет глаз человека, размеры животного, окраска венчика цветков растения	Формирование понятия «признак организма» Целесообразно обратить внимание также на признаки, касающиеся внутреннего строения организмов и процессов, протекающих в нем.
<i>Назвать альтернативные проявления некоторых признаков</i>	Окраска семян гороха: желтые/зеленые Окраска шерсти кролика: черная/белая Цвет глаз человека: карие/голубые	Формирование понятия «альтернативное проявление признака», которое тесно связано с понятием «аллельные гены». При выполнении задания требуется помощь учителя. Необходимо обратить внимание учащихся, что при определении альтернативных проявлений признака часто допускается известная степень упрощения.
<i>Предлагается вразбивку ряд латинских букв и ряд признаков. Определить, какие символы или слова соответствуют доминантным, какие – рецессивным генам, а какие определяют признаки организма: А, В, черная окраска, с, а, грушевидная форма, D, нормальный рост, f.</i>	Доминантные гены: А, В, D Рецессивные гены: с, а, f Признаки: черная окраска, грушевидная форма, нормальный рост	Формирование навыка использования буквенных обозначений генов и словесного обозначения признаков. Форма выполнения задания может быть различной.
<i>Аллельные гены. Гомозиготный и гетерозиготный организм</i>		

<p>Укажите возможные сочетания двух аллельных генов <math>A</math> и <math>a</math>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>используя схему гомологичных хромосом;</li> <li>используя только буквенные обозначения генов</li> </ul>	<p>Вариант 1</p>  <p>Вариант 2</p> <p>AA      Aa      aa</p>	<p>Исключить элементы механического манипулирования буквенными обозначениями при решении задач, обеспечить усвоение сущности понятий «аллельные гены», «гомозиготный организм», «гетерозиготный организм».</p>
<p>Какие типы гамет образуют эти организмы?</p>		<p>Формирование понятий «доминантная гомозигота», «рецессивная гомозигота», «гетерозигота».</p>
<p>Назвать генотип организма по предложенным буквенным обозначениям</p>	<p><math>AA</math> – доминантная гомозигота;  <math>aa</math> – рецессивная гомозигота;  <math>Dd</math> – гетерозигота и т.д.</p>	<p>Освоение генетической терминологии и символики.</p>
<p>Записать указанный генотип, используя буквы латинского алфавита</p>	<p>Доминантная гомозигота: <math>FF</math>, <math>DD</math>, <math>VV</math>  Рецессивная гомозигота: <math>ff</math>, <math>dd</math>, <math>vv</math>  Гетерозигота: <math>Ff</math>, <math>Dd</math>, <math>Vv</math></p>	
<b>Генотип и фенотип</b>		
<p>Выберите из предложенного ряда генотипы и фенотипы организмов: красная окраска плода, длинная шерсть, <math>AA</math>, гетерозигота, <math>aa</math>, карликовый рост, <math>Aa</math>, доминантная гомозигота, черное оперение.</p>	<p>Фенотипы: красная окраска плода, длинная шерсть, карликовый рост, черное оперение.  Генотипы: <math>AA</math>, гетерозигота, <math>Aa</math>, доминантная гомозигота</p>	<p>Формирование понятий «генотип» и «фенотип», отработка навыка использования буквенных и словесных обозначений генотипа и фенотипа. Форма использования задания может быть различной</p>
<p>У гороха желтая окраска семян – доминантный признак, зеленая окраска – рецессивный. Какой генотип могут иметь растения с желтыми семенами?</p>	<p>Растения с желтыми семенами могут являться доминантными гомозиготами (<math>AA</math>) или гетерозиготами (<math>Aa</math>), так как в их фенотипе проявляется</p>	<p>Отработка и закрепление навыка перевода словесной информации в генетические символы. Для выполнения заданий требуется глубокое понимание генетической терминологии, владение навыками, полученными в предыдущих упражнениях. Задания подобного рода</p>

	доминантный признак (желтая окраска семян), который определяется доминантным геном А.	позволяют научиться выстраивать цепочку логических рассуждений, являются переходным этапом к решению классических задач.
<i>У кур розовидный гребень – доминантный признак, простой гребень – рецессивный. Может ли рецессивная гомозигота, иметь розовидный гребень?</i>	Розовидный гребень - доминантный признак, за проявление которого отвечает доминантный ген А. Рецессивная гомозигота (аа), не может иметь розовидный гребень.	
<i>У человека ген карликовости является доминантным, ген нормального роста – рецессивным. Почему большинство людей имеют нормальный рост?</i>	Большинство людей являются рецессивными гомозиготами (аа), в их фенотипе проявляется рецессивный признак (нормальный рост).	

### 2.3. Прямые и обратные задачи

Универсальный алгоритм для решения любых генетических задач создать невозможно ввиду их исключительного разнообразия. Тем не менее, четкое выделение основных этапов решения имеет определяющее значение на стадии обучения решению генетических задач, позволяет осуществить успешный переход к задачам более высокого уровня сложности.

Все многообразие генетических задач можно свести к двум основным типам. Задачи, предполагающие нахождение генотипов/фенотипов потомков при известном генотипе/фенотипе родительских организмов целесообразно будет назвать **прямыми**. Задачи, в которых на основании генотипа/фенотипа потомков определяется генотип/фенотип родительских организмов, будут в этом случае называться **обратными**. Прямые и обратные задачи можно встретить, изучая любой раздел генетики. Алгоритм их выполнения будет существенно различаться, что позволяет рассматривать эти два типа задач как базовые при рассуждении об этапах их решения.

#### Пример

*У гороха желтый цвет семян – доминантный признак, зеленый цвет – рецессивный признак.*

**Прямая задача:** *определить генотипы и фенотипы потомков, полученных при скрещивании двух гетерозиготных растений.*

**Обратная задача:** *определить генотипы и фенотипы родителей, если 75% потомков имели желтые, а 25% потомков - зеленые семена.*

Таблица 2

Признаки прямой и обратной задач

Признаки	Прямая задача	Обратная задача
Что дано	Фенотипы/генотипы родителей	Фенотипы/генотипы потомков, расщепление среди потомков
Что необходимо найти	Фенотипы/генотипы потомков, расщепление среди потомков	Фенотипы/генотипы родителей
Пути решения	Записать и провести скрещивание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Определить генотип родительских организмов на основе анализа генотипов потомков и расщепления среди них</li> <li>• Записать все возможные варианты скрещиваний, выбрать те, которые отвечают заданным условиям</li> </ul>

## 2.4. Основные этапы решения прямой задачи

### Анализ задачи

С целью эффективной реализации данного этапа на начальном этапе рекомендуется использовать деление задачи на фрагменты и медленное многократное прочтение каждого из фрагментов. Анализ задачи включает ряд последовательных действий.

Таблица 3

Последовательность анализа задачи

№	Сущность действий	Цель	Полученные характеристики
1.	Определить число пар признаков и генов	Определение типа скрещивания	Моногибридное; дигибридное; тригибридное и т.д.
		Определение наличия взаимодействия неаллельных генов	Комплементарное взаимодействие, эпистаз, полимерия.
2.	Определить тип задачи	Выбор пути решения	Прямая и обратная
3.	Определить характер наследования признаков	Определение генотипов и фенотипов организмов, характера расщепления, особенности записи генетической символики	Аутосомное наследование; наследование, сцепленное с полом; независимое наследование; сцепленное наследование.
4.	Определить тип взаимодействия генов	Определение генотипов и фенотипов организмов, характера расщепления	Аллельные гены: полное доминирование, неполное доминирование, кодоминирование Неаллельные гены: комплементарное взаимодействие, эпистаз, полимерия.
5.	Определить закономерности, которые иллюстрирует задача	Выбор пути решения	Законы Менделя, закон Моргана, закономерности наследования при взаимодействии генов, при сцеплении с полом и т.п.

Навыки анализа задачи необходимо вырабатывать на самых первых этапах работы с задачами. Тем не менее, полноценный анализ возможен лишь тогда, когда изучены все

разделы генетики, рассмотрены основные типы и виды задач, известен алгоритм их решения. Особое значение навыки анализа задачи приобретают на этапе решения задач высокого уровня сложности и при подготовке к итоговой аттестации в форме ЕГЭ. При полностью сформированных навыках анализ производится устно на этапе прочтения задачи.

### **Краткая запись условия задачи**

Краткая запись условия задачи может производиться различными способами, наиболее приемлемым из которых является универсальный способ оформления задачи путем выделения четырех составляющих [3;10].

**Дано:** краткая запись исходных данных.

**Найти:** краткая запись вопросов задачи.

**Решение:** запись решения задачи в виде схемы.

**Ответ:** запись ответов на вопросы задачи.

Запись условия задачи предполагает не только выделение имеющейся в условии информации, но и наличие навыка перевода словесной информации в генетические символы. Целесообразно сформировать этот навык на этапе подготовки к решению задач путем использования специальных заданий (раздел 2.2).

Запись условия задачи включает несколько последовательных этапов.

- Выделить в тексте задачи обозначения аллельных генов, указать их фенотипическое проявление. В том случае, если буквенные обозначения доминантного и рецессивного генов не указаны, ввести их самостоятельно (любые буквы латинского алфавита, доминантный ген – заглавная, рецессивный ген – строчная). При решении задач, предполагающих определение доминантного и рецессивного признака в процессе решения, в условии задачи указываются только фенотипы особей.
- Определить генотипы особей, участвующих в скрещивании, используя всю информацию, имеющуюся в условии задачи. (Внимание! В большинстве случаев доминантная гомозигота и гетерозигота имеют одинаковый фенотип.) При записи генотипа особи указывают только гены, не вызывающие сомнений. На месте гена, определить который по условию задачи невозможно, ставится прочерк (А -).
- Всю полученную информацию внести в раздел «Дано».
- Внимательно прочитать все вопросы задачи, определить их количество и суть каждого вопроса. Используя генетическую символику, записать в краткой форме все вопросы задачи в раздел «Найти», пронумеровав их.



### Решение задачи

На первых этапах обучения решению задач целесообразно пользоваться схемой гомологичных хромосом (**Приложение 1**). Использование данного подхода облегчает понимание принципов решения задач и самих генетических закономерностей, исключает возможность решения задач путем комбинаций генетических символов. Переход к обычной форме записи может осуществляться на любом этапе работы с задачами. В случае возникновения затруднений при решении более сложных задач различных типов использование данной схемы позволяет избежать ошибок, облегчает нахождение пути решения.

Последовательность действий на этапе решения задачи можно представить следующим образом.

1. Записать схему скрещивания родительских особей (первым записывается генотип женской особи, вторым – мужской), под генотипами особей подписать их фенотипы.
2. Определить типы гамет, образуемых родительскими особями.

Правильное определение типов гамет, образуемых организмами, является обязательным условием формирования умения решать генетические задачи. Существует несколько подходов к данному этапу работы с задачей, все они так или иначе связаны с рассмотрением механизмов мейотического деления клетки. Для достижения положительного результата возможно использование двух вариантов схемы образования гамет (**Приложение 2**). Применение схемы обеспечивает понимание сущности процессов, происходящих при образовании гамет, дает возможность исключить элементы механического манипулирования буквами латинского алфавита при решении задач.

На основании знания механизма распределения хромосом при мейозе можно вывести **правила для определения типов гамет** при решении задач.

- Организм образует  $2^n$  типов гамет ( $2$  – пара аллелей,  $n$  – число генов в гетерозиготном состоянии), в гамету попадает один аллель из каждой пары.
- Гомозиготный организм образует один тип гамет ( $2^0=1$ ). Так, организм с генотипом AA образует гаметы A; организма с генотипом aaBBccdd гаметы – aBcd.
- Гетерозиготный организм образует количество типов гамет, соответствующее степени гетерозиготности. Организм с генотипом Aa образует 2 типа гамет – A и a ( $2^1=2$ ); организм с генотипом AABbCC образует также 2 типа гамет – ABC и AbC, поскольку гетерозиготен только по одной паре аллелей ( $2^1=2$ ); организм с генотипом AaBbCc 4 типа гамет ( $2^2=4$ ) – ABC, aBC, ABc, aBc.

3. Определить генотипы потомков  $F_1$ , для этого записать все возможные варианты встречи гамет двух организмов. На начальном этапе работы над задачами для определения генотипов гибридов можно использовать стрелки, соединяя ими гаметы, участвующие в оплодотворении. На следующем этапе целесообразно познакомить учащихся с решеткой Пеннета (**Приложение 3**).
4. Проанализировать потомков  $F_1$ , определить количество генотипов и фенотипов. При наличии соответствующего вопроса в задаче установить и записать формулы расщепления по генотипу и фенотипу, на основе которых вычислить вероятность появления тех или иных потомков (в процентах к общему числу или долях единицы).

Необходимым условием формирования навыков решения генетических задач на начальных этапах работы является проговаривание последовательности действий вслух. Это позволяет обеспечить осознанное решение любой задачи, понимание механизмов, лежащих в основе скрещивания. В дальнейшем необходимая последовательность действий выполняется автоматически.

### **Проверка решения**

Записи ответа должно предшествовать повторное прочтение условия задачи, позволяющее проверить верное понимание сущности вопросов, соотнести полученные результаты с вопросами задачи. Необходимо определить, на все ли вопросы задачи получены ответы, соответствует ли каждый из ответов сущности вопроса.

### **Запись ответа на вопросы задачи**

Запись ответа на вопрос задачи производится четко в соответствии с формулировкой вопроса. При наличии нескольких вопросов ответ на каждый из них дается в краткой форме в соответствии с нумерацией в разделе «Найти».

### **Оформление решения задачи**

Для записи генетического скрещивания, иллюстрирующего этапы решения задачи, целесообразно использовать универсальную схему, предполагающую последовательность ряда строк.

**Строка 1 (Р). Генотипы родительских организмов.** Первым записывается генотип женской особи, вторым – мужской. Значок, указывающий пол организма, размещается слева от генотипа.

**Строка 2. Фенотипы родительских организмов.** При записи фенотипа используется ключевое слово, описывающее изучаемый признак, допускаются сокращения. Фенотип организма указывается строго под генотипом.

**Строка 3 (G). Типы гамет.** В данной строке под каждым из организмов указывают типы образуемых гамет (каждый тип гамет записывается один раз). Обозначения гамет обводятся в кружок. Может применяться форма записи, в которой символ **G** не используется. В этом случае в начале строки следует указать ее название: «Типы гамет».

**Строка 4 (F<sub>1</sub>). Генотипы потомков первого поколения.** На начальном этапе решения задач рекомендуется указывать генотипы всех полученных потомков, даже если они одинаковы.

**Строка 5. Фенотипы потомков первого поколения** (используются правила, перечисленные для строки 2).

Таким образом, основой записи стандартной задачи являются 5 строк. В том случае, если вопрос задачи связан с получением потомков следующих поколений, добавляется необходимое количество строк в той же логической последовательности.

**Строка 6 (F<sub>2</sub>). Генотипы гибридов второго поколения**

**Строка 7. Фенотипы гибридов второго поколения**

Постоянное соблюдение указанной формы записи генетического скрещивания существенно упрощает процесс обучения решению задач и делает его более эффективным.

Рассмотрим конкретный пример.

**Задача №1.** *У крупного рогатого скота ген комолости (безрогости) доминирует над геном, определяющим наличие рогов. Какой генотип и фенотип будет иметь потомство от скрещивания рогатого быка с гомозиготными комолыми коровами?*

*Последовательность рассуждений при записи условия данной задачи будет такова. Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель *A* определяет в этом случае отсутствие рогов у животного, рецессивная аллель *a* – их наличие. Условие задачи позволяет определить также генотипы скрещиваемых особей. Рогатый бык может быть только рецессивной гомозиготой (*aa*), поскольку в его фенотипе проявляется рецессивный признак (наличие рогов). Гомозиготные комолые коровы являются доминантными гомозиготами (*AA*), в фенотипе которых проявляется доминантный признак (комолость).*

*В соответствии с вопросом задачи необходимо найти генотипы и фенотипы потомков первого поколения.*

Дано:

*A* – комолость

*a* – рогатость

P ♀ *AA* × ♂ *aa*

ком. рог.

Найти:

Решение:

- 1) генотипы  $F_1$ ;
- 2) фенотипы  $F_1$

Записываем схему скрещивания родительских особей, фенотипы которых известны по условию задачи, а генотипы определены в процессе анализа имеющейся информации

$$\begin{array}{l} \text{P} \quad \text{♀ AA} \times \text{♂ aa} \\ \text{ком.} \quad \text{рог.} \end{array}$$

Определяем гаметы скрещиваемых особей. Каждая из них гомозиготна и образует один тип гамет.  $AA \rightarrow A$ ;  $aa \rightarrow a$ .

$$\begin{array}{l} \text{P} \quad \text{♀ AA} \times \text{♂ aa} \\ \text{ком.} \quad \text{рог.} \\ \text{G} \quad \text{ⓐ} \quad \text{ⓐ} \end{array}$$

Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$ . При оплодотворении происходит равновероятная встреча гамет первого и второго организма.

$$\begin{array}{l} \text{F}_1 \quad \text{Aa} \\ \text{ком.} \end{array}$$

Анализ генотипов и фенотипов потомков первого поколения показывает, что все они имеют одинаковый генотип (гетерозиготы), доминантный признак (комолость) проявляется в их фенотипе.

Для записи ответа на вопрос задачи перечитываем условие задачи, проверяем соответствие полученных результатов сущности вопроса.

Ответ:

- 1) все потомки  $F_1$  имеют генотип  $Aa$  (гетерозиготы);
- 2) все потомки  $F_1$  по фенотипу комолые.

Запись решения задачи в соответствии с правилами оформления будет выглядеть следующим образом.

Дано:

A – комолость

a – рогатость

$$\begin{array}{l} \text{P} \quad \text{♀ AA} \times \text{♂ aa} \\ \text{ком.} \quad \text{рог.} \end{array}$$

Найти:

- 1) генотипы  $F_1$ ;
- 2) фенотипы  $F_1$

Решение:

$$\begin{array}{l} \text{P} \quad \text{♀ AA} \times \text{♂ aa} \\ \text{ком.} \quad \text{рог.} \\ \text{G} \quad \text{ⓐ} \quad \text{ⓐ} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{F}_1 \quad \text{Aa} \\ \text{ком.} \end{array}$$

Ответ:

- 1) генотип  $F_1$  -  $Aa$ ;
- 2) фенотип  $F_1$  - комолые

## 2.5. Основные этапы решения обратной задачи

При работе с обратной задачей часть этапов выполняется так же, как в случае прямой задачи (раздел 2.4):

**Проработка условия задачи**

**Краткая запись условия задачи**

**Проверка решения**

**Запись ответа на вопросы задачи**

Очевидно, что основные отличия коснутся в этом случае этапа **Решение задачи**

1. Записать схему скрещивания родительских особей (первым записывается генотип женской особи, вторым – мужской), под генотипами особей подписать их фенотипы. На месте гена, определить который по условию задачи невозможно, ставится прочерк (А -).
2. Проанализировать генотип и фенотип потомков для определения генотипа родительских организмов. Особое внимание при этом следует обратить на расщепление по генотипу и фенотипу среди потомков (**Приложение 4**).
3. Переписать схему скрещивания, восстановив пробелы.
4. Решить задачу обычным способом, проверив правильность рассуждений.
5. Обратную задачу, особенно на начальных этапах работы, можно решать также путем подбора. Для этого необходимо выписать все возможные варианты скрещиваний и выбрать тот, который удовлетворяет условию задачи.

Рассмотрим конкретный пример.

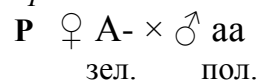
**Задача №2. У арбуза зеленая окраска плодов доминирует над полосатой. При скрещивании растения с зелеными плодами и растения с полосатыми плодами, все потомки имели зеленые плоды. Определить генотипы родительских растений.**

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель *A* определяет зеленую окраску плода, рецессивная аллель *a* – полосатую. Полосатое растение по генотипу является рецессивной гомозиготой (*aa*), поскольку в его фенотипе проявляется рецессивный признак. Генотип родительского растения с зелеными плодами неизвестен. Он содержит ген *A*, так как в его фенотипе проявляется доминантный признак, на месте второго аллельного гена ставим прочерк *A-*.

В соответствии с вопросом задачи необходимо определить генотип *P*. Рассмотрим 2 варианта решения.

Вариант 1

Записываем схему скрещивания родительских особей



Записываем генотип потомства. У всех потомков в фенотипе проявляется доминантный признак, поэтому в генотипе каждого из потомков содержится ген *A*, второй аллельный ген пока неизвестен.

**F<sub>1</sub>**      А-  
              зел.

Проанализируем генотипы и фенотипы родителей и потомства. Каждая особь F<sub>1</sub> получает один ген от отцовского организма. Это может быть только рецессивный ген а. Так как второй ген в генотипе F<sub>1</sub> обязательно доминантный ген А, он может быть получен только от материнского организма. Поскольку у всех потомков F<sub>1</sub> генотип одинаков, значит генотип материнского организма содержит только гены А, материнский организм является доминантной гомозиготой (АА).  
Запишем схему скрещивания с указанием всех генотипов.

**P**    ♀ АА × ♂ аа  
          зел.    пол.  
**G**    (А)    (а)  
**F<sub>1</sub>**      Аа  
              зел.

Краткая запись решения задачи в этом случае включает в себя основные рассуждения.

Дано:

А – зеленые плоды

а – полосатые плоды

**P**    ♀ зеленые × ♂  
полосатые  
♂ аа

Найти:

генотипы P

Решение:

**P**    ♀ А- × ♂ аа  
          зел.    пол.  
**F<sub>1</sub>**      А-  
              зел.

Все F<sub>1</sub> имеют зеленую окраску → в генотипе есть ген А. От отцовского организма может быть получен только ген а → ген А получен от материнского организма → материнский организм имеет генотип АА.

**P**    ♀ АА × ♂ аа  
          зел.    пол.  
**G**    (А)    (а)  
**F<sub>1</sub>**      Аа  
              зел.

Ответ: генотип материнского растения АА, генотип отцовского – аа.

### Вариант 2

Этот способ решения задачи предполагает запись всех возможных вариантов скрещивания. В рамках данной задачи их будет два: материнский организм может иметь генотип АА или Аа. Анализ схем позволяет выделить ту, которая удовлетворяет условию задачи. Оформить решение в этом случае можно следующим образом.

Дано:

А – зеленые плоды

а – полосатые плоды

**P**    ♀ зеленые × ♂  
полосатые  
♂ аа

Найти:

Решение:

Поскольку в фенотипе материнского растения проявляется доминантный признак, растение может иметь генотип АА или Аа

1)                    **P**    ♀ АА × ♂ аа  
                          зел.    пол.

генотипы P

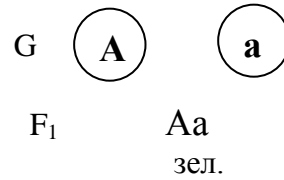


Схема скрещивания удовлетворяет условию задачи – все потомки F<sub>1</sub> имеют зеленые плоды

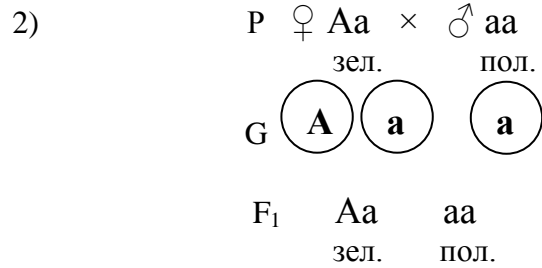


Схема скрещивания не удовлетворяет условию задачи

Ответ: генотип материнского растения AA, генотип отцовского – aa.

### 3. РЕШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

#### 3.1. Моногибридное скрещивание

Приобретению навыков решения задач на моногибридное скрещивание отводится особая роль, так как именно на этом этапе закладываются основы анализа условия задачи, усваивается алгоритм решения простейших задач, изучаются правила грамотного оформления, оттачивается умение соотносить полученные результаты с вопросом задачи. От успешной работы на данном этапе зависит возможность перехода к решению задач повышенного уровня сложности и глубина понимания генетических закономерностей.

Можно выделить несколько видов прямых и обратных задач на моногибридное скрещивание в зависимости от характера вопроса задачи. На начальных этапах работы с задачами целесообразно рассмотреть примеры задач каждого вида, выявить их особенности, определить специфику алгоритма решения. В дальнейшем умение «видеть задачу», проводить анализ условия станет гарантией успеха при решении сложных задач.

Во всех задачах на моногибридное скрещивание речь идет о наследовании **одной пары признаков**.

#### Прямые задачи

##### Определение генотипа и фенотипа потомков. I и II законы Менделя

Признаки задач данного вида:

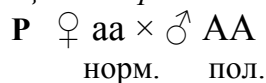
- указаны доминантный и рецессивный признаки;
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- необходимо определить генотипы и фенотипы потомков.

**Задача №3.** У человека полидактилия (шестипалость) определяется доминантным геном. От брака гомозиготного шестипалого мужчины с женщиной, имеющей пятипалые конечности, родился шестипалый мальчик. Определите генотипы всех членов семьи. Могут ли у этой пары родиться здоровые дети?

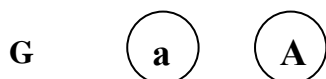
Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель  $A$  определяет наличие полидактилии, рецессивная аллель  $a$  – пятипалость (норму). Условие задачи позволяет определить также генотипы скрещиваемых особей. Пятипалая женщина может быть только рецессивной гомозиготой ( $aa$ ), поскольку в фенотипе проявляется рецессивный признак (нормальное число пальцев). Гомозиготный шестипалый мужчина является доминантной гомозиготой ( $AA$ ).

В соответствии с вопросом задачи необходимо определить 1) генотипы  $P$  и  $F_1$ ; 2) возможность появления здоровых детей.

Записываем схему скрещивания родительских особей.



Определяем гаметы скрещиваемых особей. Каждая из них гомозиготна и образует один тип гамет.  $AA \rightarrow A$ ;  $aa \rightarrow a$ .





Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$ .

$F_1$   $Aa$   
пол.

Анализ генотипов и фенотипов потомков первого поколения показывает, что все они гетерозиготны, доминантный признак (полидактилия) проявляется в фенотипе каждого потомка.

Перечитываем условие задачи, проверяем соответствие полученных результатов сущности вопроса.

Оформление решения задачи

Дано:

$A$  – полидактилия

$a$  – норма

$P$  ♀  $aa$  × ♂  $AA$   
норм. пол.

Найти:

1) генотипы  $P$  и  $F_1$ ;

2) вероятность  $F_1$   
здоровые

Решение:

$P$  ♀  $aa$  × ♂  $AA$   
норм. пол.

$G$  (a) (A)

$F_1$   $Aa$   
пол.

Ответ:

1) генотипы  $P$ : ♀  $aa$ , ♂  $AA$ ; генотипы  $F_1$ :  $Aa$

2) здоровые дети родиться не могут, все потомки будут шестипалые.

**Задача №4.** У морских свинок длинная шерсть – доминантный признак, короткая – рецессивный. Длинношерстного гетерозиготного самца скрестили с самкой, имеющей короткую шерсть. Определить возможные генотипы и фенотипы потомков.

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель  $A$  определяет наличие длинной шерсти, рецессивная аллель  $a$  – короткой. Условие задачи позволяет определить также генотипы скрещиваемых особей. Короткошерстная самка является рецессивной гомозиготой ( $aa$ ), поскольку в фенотипе проявляется рецессивный признак (короткая шерсть). Гетерозиготный самец имеет генотип  $Aa$  и длинную шерсть.

В соответствии с вопросом задачи необходимо определить 1) генотипы  $F_1$ ; 2) фенотипы  $F_1$ .

Записываем схему скрещивания родительских особей.

$P$  ♀  $aa$  × ♂  $Aa$   
кор. дл.

Определяем гаметы скрещиваемых особей. Гомозиготный организм образует один тип гамет, гетерозиготный – 2 типа гамет.

$G$  (a) (A) (a)

Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$ .

$F_1$   $Aa$   $aa$   
дл. кор.

Анализ генотипов и фенотипов потомков первого поколения показывает, что среди них можно выделить два вида генотипов:  $Aa$  и  $aa$  в соотношении 1:1. В потомстве наблюдается также 2 вида фенотипов в соотношении 1:1 (половина особей имеет длинную, половина – короткую шерсть).

Для записи ответа на вопрос задачи перечитываем условие задачи, проверяем соответствие полученных результатов сущности вопроса.

Оформление решения задачи

<p>Дано:          А – длинная шерсть          а – короткая шерсть          P ♀ aa × ♂ Aa          кор. дл.</p> <hr/> <p>Найти:          1) генотипы F<sub>1</sub>;          2) фенотипы F<sub>1</sub></p>	<p>Решение:</p> $  \begin{array}{c}  P \quad \text{♀ } aa \times \text{♂ } Aa \\  \text{кор.} \quad \quad \quad \text{дл.} \\  G \quad \text{ⓐ} \quad \text{ⓐ} \quad \text{ⓐ} \\  \\  F_1 \quad Aa \quad \quad aa \\  \text{дл.} \quad \quad \quad \text{кор.}  \end{array}  $ <p>Ответ:          1) генотипы F<sub>1</sub> – 1Aa :1aa;          2) фенотипы F<sub>1</sub> – ½ часть потомков имеет длинную шерсть, ½ часть - короткую</p>
---	--

**Задача №5.** У фигурной тыквы шаровидные плоды – доминантный признак, удлиненные – рецессивный. Гомозиготное растение с шаровидными плодами было скрещено с растением, имеющим удлиненные плоды. Определить фенотипы потомков первого и второго поколений, а также потомства от возвратного скрещивания растения F<sub>1</sub> с родительской формой, имеющей удлиненные плоды.

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель А определяет шаровидную форму плода, рецессивная аллель а – удлиненную форму. Условие задачи позволяет определить также генотипы скрещиваемых особей. Гомозиготное растение с шаровидными плодами имеет генотип АА, растение с удлиненными плодами является рецессивной гомозиготой (aa).

В соответствии с вопросом задачи необходимо определить 1) фенотипы F<sub>1</sub>; 2) фенотипы F<sub>2</sub>, 3) фенотипы потомства F<sub>1</sub> × aa.

Записываем схему скрещивания родительских особей.

$$\begin{array}{c}
 P \quad \text{♀ } AA \times \text{♂ } aa \\
 \text{шар.} \quad \quad \text{удл.}
 \end{array}$$

Определяем гаметы скрещиваемых особей. Каждая из них гомозиготна и образует один тип гамет. AA → А; aa → а.

$$\begin{array}{c}
 G \quad \text{ⓐ} \quad \text{ⓐ}
 \end{array}$$

Определяем генотипы и фенотипы потомков F<sub>1</sub>.

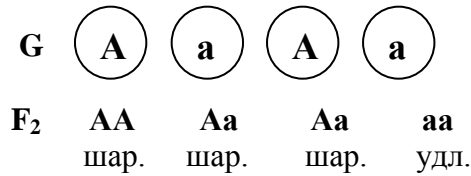
$$\begin{array}{c}
 F_1 \quad Aa \\
 \text{шар.}
 \end{array}$$

Все потомки первого поколения гетерозиготны, имеют удлиненные плоды.

Получаем потомков второго поколения путем скрещивания гибридов первого поколения.

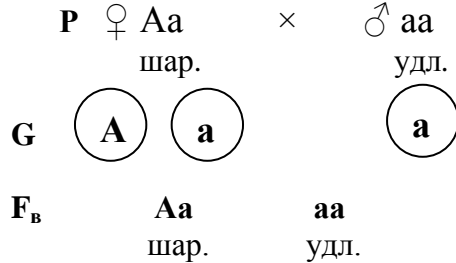
$$\begin{array}{c}
 P=F_1 \quad \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa \\
 \text{шар.} \quad \quad \quad \text{шар.}
 \end{array}$$

Определяем гаметы скрещиваемых особей. Каждая из них гетерозиготна и образует два типа гамет. Aa → А,а



Анализ потомков  $F_2$  показывает, что произошло расщепление по генотипу  $1AA:2Aa:1aa$  и по фенотипу  $3:1$  ( $3/4$  потомков имеют шаровидные и  $1/4$  удлиненные плоды).

Записываем схему возвратного скрещивания одного из потомков  $F_1$  с родительской особью, имеющей удлиненные плоды.



Анализ результатов возвратного скрещивания показывает, что в потомстве произошло расщепление по генотипу  $1Aa:1aa$ , которое совпадает с расщеплением по фенотипу:  $1/2$  часть потомков имеют шаровидные и  $1/2$  часть потомков удлиненные плоды.

Перечитываем условие и вопросы задачи, проверяем соответствие полученных результатов сущности вопросов.

### Оформление решения задачи

Дано:

A – шаровидная форма

a – удлиненная

P ♀ AA × ♂ aa  
шар. удл.

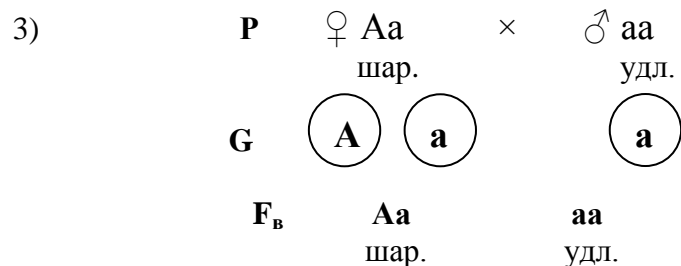
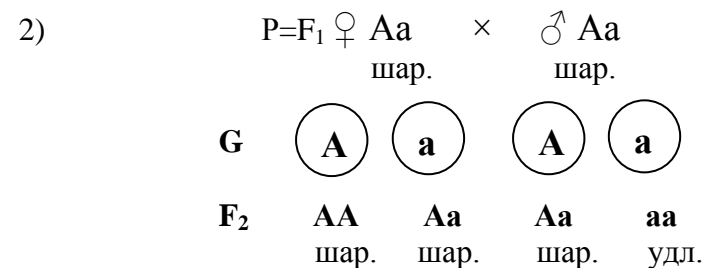
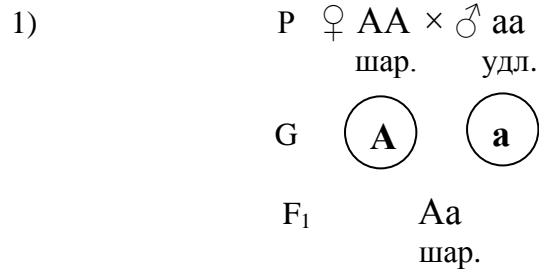
Найти:

1) фенотипы  $F_1$ ;

2) фенотипы  $F_2$ ;

3) фенотипы  $F_B$ :  $F_1 \times aa$

Решение:



Ответ:

- 1) все потомки  $F_1$  имеют шаровидные плоды;
- 2) среди потомков  $F_2$  наблюдается расщепление по фенотипу 3:1 ( $\frac{3}{4}$  имеют шаровидные и  $\frac{1}{4}$  удлиненные плоды);
- 3) в потомстве, полученном от возвратного скрещивания  $F_1$  с родительским растением, имеющим удлиненные плоды, наблюдается расщепление по фенотипу 1:1 ( $\frac{1}{2}$  часть потомков имеют шаровидные и  $\frac{1}{2}$  часть потомков удлиненные плоды)

### Определение характера расщепления и вероятности появления потомков с определенным фенотипом

Признаки задач данного вида:

- указаны доминантный и рецессивный признаки;
- даны фенотипы и/или генотипы родительских организмов;
- необходимо определить генотипы и фенотипы потомков, характер расщепления;
- на основе анализа расщепления установить вероятность появления потомков с определенным фенотипом (в долях единицы или процентах).

**Задача №6.** У человека одна из форм глухонемоты определяется рецессивной аллелью гена, доминантный ген обуславливает в этом случае развитие нормального слуха. Определить вероятность рождения здоровых детей у супружеской пары, в которой оба родителя гетерозиготны по данному гену.

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель  $A$  определяет развитие нормального слуха, рецессивная аллель  $a$  – глухонемоту. Оба родителя гетерозиготы ( $Aa$ ), в фенотипе признак не проявляется.

Запишем схему скрещивания родительских особей, определим типы гамет, генотипы и фенотипы  $F_1$ .

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa \\
 \text{норм.} \quad \text{норм.} \\
 \\
 \text{G} \quad \begin{array}{c} \bigcirc \text{A} \quad \bigcirc \text{a} \quad \bigcirc \text{A} \quad \bigcirc \text{a} \end{array} \\
 \\
 \text{F}_2 \quad \begin{array}{cccc} AA & Aa & Aa & aa \\ \text{норм.} & \text{норм.} & \text{норм.} & \text{гл.} \end{array}
 \end{array}$$

Анализ генотипов и фенотипов  $F_1$  показывает, что у данной пары родителей потомки могут иметь генотипы трех видов в следующем соотношении  $1AA:2Aa:1aa$ , при этом здоровы будут дети, имеющие генотипы  $AA$  и  $Aa$ , поскольку в их фенотипе проявляется доминантный признак (нормальный слух). Доля таких потомков составит  $\frac{3}{4}$  (75%) от общего числа (расщепление по фенотипу 3:1). Глухонемыми будут дети с генотипом  $aa$ , их доля составит  $\frac{1}{4}$  (25%).

Перечитаем условие и вопрос задачи, проверяя соответствие полученных результатов сущности вопроса.

Оформление решения задачи

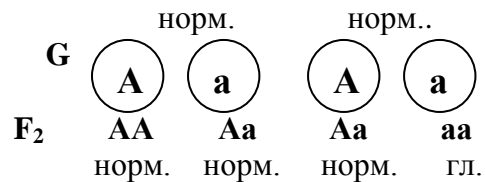
Дано:

$A$  – нормальный слух  
 $a$  – глухонемота

Решение:

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

Р ♀ Aa × ♂ Aa норм. норм.
Найти: вероятность рождения здоровых детей



Расщепление по фенотипу 3:1,  $\frac{3}{4}$  потомков здоровы (75% от общего числа)

Ответ: вероятность рождения здоровых детей составляет  $\frac{3}{4}$  (75%).

### Задачи с количественными данными

Признаки задач данного вида:

- указаны доминантный и рецессивный признаки;
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- указано количество потомков, имеющих тот или иной признак;
- эти данные позволяют определить характер расщепления.

**Задача №7.** У моркови желтая окраска корнеплода доминирует над красной. Гомозиготное растение с желтым корнеплодом, скрестили с растением, имеющим красный корнеплод. В первом поколении получили 256 растений, во втором 1060.

Сколько гетерозиготных растений может быть среди потомков первого поколения?

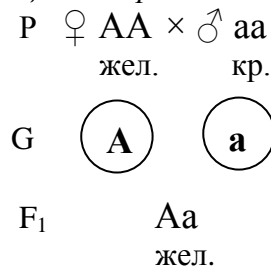
Сколько разных генотипов может образоваться в F<sub>2</sub>?

Сколько растений F<sub>2</sub> могут иметь красную окраску корнеплода?

Сколько растений F<sub>2</sub> могут иметь желтую окраску корнеплода?

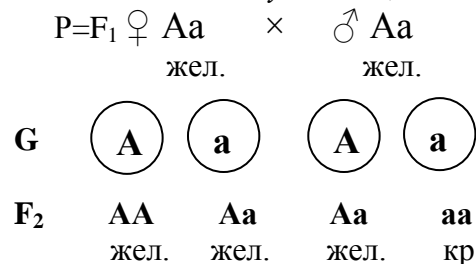
Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель A определяет желтую окраску корнеплода, рецессивная аллель a – красную окраску. По условию задачи одно из родительских растений имеет генотип AA, растение с красным корнеплодом может быть только рецессивной гомозиготой (aa).

Запишем схему скрещивания родительских особей, определим генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>.



Анализ F<sub>1</sub> показывает, что все потомки первого поколения одинаковы, гетерозиготны по генотипу и имеют желтые семена

Путем скрещивания особей F<sub>1</sub> получаем F<sub>2</sub>.



В потомстве F<sub>2</sub> можно выделить три группы генотипов в следующем соотношении 1AA:2Aa:1aa. Среди растений F<sub>2</sub> наблюдается расщепление по фенотипу 3:1 ( $\frac{3}{4}$  потомков имеют желтые и  $\frac{1}{4}$  красные плоды).

Произведем необходимые подсчеты: красную окраску плода будут иметь 265 растений  $F_2$  ( $1060 \times 1/4$ ); желтые плоды 795 потомков  $F_2$  ( $1060 \times 3/4$ ).

### Оформление решения задачи

Дано:

A – желтый корнеплод

a – красный корнеплод

P ♀ AA × ♂ aa  
жел. кр.

Найти:

1) сколько гетерозигот в  $F_1$  ?

2) сколько генотипов в  $F_2$ ?

3) сколько красных корнеплодов в  $F_2$ ?

4) сколько желтых корнеплодов в  $F_2$ ?

Решение:

P ♀ AA × ♂ aa  
жел. кр.

G (A) (a)

$F_1$  Aa  
жел.

P= $F_1$  ♀ Aa × ♂ Aa  
жел. жел.

G (A) (a) (A) (a)

$F_2$  AA Aa Aa aa  
жел. жел. жел. кр.

Ответ:

- 1) все 256 растений  $F_1$  гетерозиготны;
- 2) в  $F_2$  три вида генотипов AA, Aa и aa;
- 3) 265 растений  $F_2$  имеют красные корнеплоды;
- 4) 795 растений  $F_2$  имеют желтые корнеплоды

### **Наследование летальных генов**

Признаки задач данного вида:

- указаны доминантный и рецессивный признаки;
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- есть упоминание о летальных генах или гибели особей на эмбриональных стадиях развития;
- фактическое расщепление потомков по генотипу и фенотипу отличается от теоретически ожидаемого.

**Задача №8.** У лисиц платиновая окраска меха – доминантный признак (A), серебристо-серая – рецессивный (a). Доминантный ген в гомозиготном состоянии летален. При скрещивании платиновых лисиц получили 90 лисят. Сколько животных погибло в эмбриональном состоянии? Какие генотипы имеют выжившие лисята? Сколько среди них платиновых?

Родительские особи с платиновой шерстью будут иметь генотип Aa, поскольку лисы с генотипом AA погибают на эмбриональных стадиях.

Запишем схему скрещивания родительских особей, определим генотипы и фенотипы  $F_1$ .

P ♀ Aa × ♂ Aa  
плат. плат.

G (A) (a) (A) (a)

**F<sub>1</sub>**    **AA**    **Aa**    **Aa**    **aa**  
          плат.   плат.   плат.   сер.

Проведем анализ результатов скрещивания. В потомстве ожидается расщепление по генотипу 1AA:2Aa:1aa и по фенотипу 3 платиновые : 1 серебристо-серые.

¼ часть потомков, имеющих генотип AA, погибает. Выживает ¾ от общего числа. Поскольку выжило 90 лисят, то всего должно было родиться 120, погибло 120-90=30 лисят.

Выжившие лисята имеют генотип Aa и платиновую окраску меха или генотип aa и серебристо-серый мех.

Фактическое расщепление по генотипу 2Aa:1aa, по фенотипу расщепление также 2:1 (2/3 потомков будут платиновые, 1/3 – серебристо-серые). Количество платиновых животных от общего числа потомков составит  $90 \times 2/3 = 60$ .

### Оформление решения задачи

Дано:

A – платиновая окраска  
 a – серебристо-серая окраска

A летален, AA погибают

P ♀ платиновые × ♂ платиновые

F<sub>1</sub> 90

Найти:

- 1) сколько F<sub>1</sub> погибло;
- 2) генотипы F<sub>1</sub>;
- 3) сколько платиновые

Решение:

P	♀ Aa	×	♂ Aa
	плат.		плат.
G	(A) (a)		(A) (a)
F <sub>1</sub>	AA	Aa	Aa aa
	<u>погибают</u>	плат.	плат. сер.

Получено 90 лисят.

¼ часть потомков погибает, ¾ выживает (90). Теоретически общее количество потомков 120, погибло 30 (AA).

Выжили лисята с генотипами Aa и aa.

Количество платиновых среди них составляет 60 ( $90 \times 2/3$ ).

Ответ:

- 1) погибло на эмбриональной стадии 30 F<sub>1</sub>;
- 2) генотип выживших F<sub>1</sub> Aa и aa;
- 3) среди выживших 60 животных имеют платиновую окраску.

### **Взаимодействие генов. Неполное доминирование**

Явление неполного доминирования целесообразно изучать в разделе «Взаимодействие аллельных генов». Тем не менее, задачи на неполное доминирование традиционно можно встретить среди разнообразных задач на моногибридное скрещивание [11; 153].

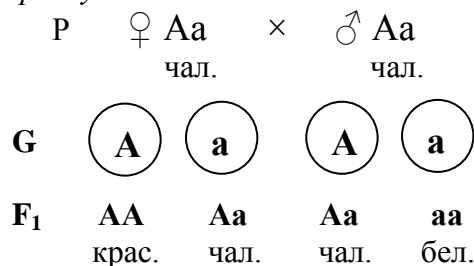
Признаки задач данного вида:

- указаны доминантный и рецессивный признаки;
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- среди потомков, полученных при скрещивании доминантной и рецессивной гомозигот, наблюдается появление нового признака;

- гетерозиготный организм (Aa) имеет фенотип, отличающийся от фенотипа доминантной гомозиготы (AA) и рецессивной гомозиготы (aa);
- расщепление среди потомков по фенотипу соответствует расщеплению по генотипу

**Задача №9.** У крупного рогатого скота шортгорнской породы доминантный ген (A) определяет наличие красной окраски шерсти, рецессивный ген (a) – белую окраску шерсти. Гетерозиготные животные имеют чалую шерсть. Какова вероятность появления теленка чалой окраски от скрещивания двух чалых животных?

В задаче рассматривается явление неполного доминирования. Родительские организмы имеют чалую окраску и генотип Aa. Запишем схему скрещивания.



Анализ генотипов и фенотипов потомков позволяет определить расщепление по генотипу 1AA:2Aa:1aa, которое совпадает с расщеплением по фенотипу: 1/4 часть потомков (25%) имеют красную шерсть, 2/4 (50%) – чалую и 1/4 (25%) – белую.

Перечитаем условие и вопрос задачи, проверяя соответствие полученных результатов сущности вопроса.

#### Оформление решения задачи

Дано:

A – красная шерсть

a – белая шерсть

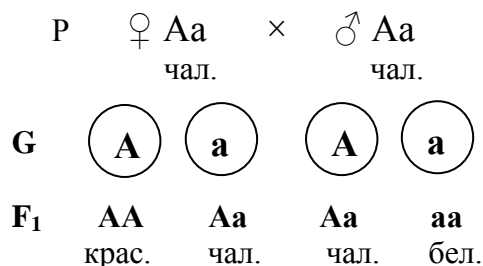
Aa – чалая шерсть

Р ♀ Aa × ♂ Aa  
чал. чал.

Найти:

вероятность F<sub>1</sub> с чалой шерстью

Решение:



Для данной пары аллельных генов характерно неполное доминирование

Расщепление по фенотипу 1:2:1, чалые потомки составят 2/4=1/2 от общего числа

Ответ:

вероятность появления теленка чалой окраски при скрещивании чалых родителей составляет 1/2 (50%).



### Обратные задачи

Среди обратных задач можно выделить те же виды, которые упоминались в разделе 3.1. В рамках данного раздела будут рассмотрены только основные виды обратных задач, решение остальных производится аналогичным образом.

Признаки задач данного типа:

- даны фенотипы и/или генотипы потомков, расщепление среди потомков или количество потомков с определенным признаком, часто – фенотипы родителей;
- необходимо определить генотипы родителей, часто – неизвестные фенотипы;
- доминантный признак указан или необходимо определить.

При решении обратных задач особое значение приобретает последовательность логических рассуждений, ведущая к тому или иному выводу. Рекомендуется обязательно проговаривать основные элементы рассуждений устно и по возможности включать их в запись решения задачи.

#### Определение генотипа и фенотипа родительских организмов

**Задача №10.** У человека косолапость доминирует над нормальным строением стопы. От брака двух родителей, обладающих дефектом стопы, родился ребенок с нормальным строением стопы. Определите генотипы родителей.

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель  $A$  определяет развитие косолапости, рецессивная аллель  $a$  – нормальную стопу. Ребенок с нормальной стопой имеет генотип  $aa$ . Появление нового признака в потомстве возможно, если родители гетерозиготны  $Aa$  (II закон Менделя).

Запишем генотипы родителей, используя имеющуюся информацию

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

кос.            кос.

Определим типы гамет, генотипы и фенотипы возможных потомков.

G	Ⓐ	ⓐ	Ⓐ	ⓐ
F <sub>1</sub>	AA	Aa	Aa	aa
	кос.	кос.	кос.	норм.

Анализ потомков показывает, что среди них наблюдается расщепление 3:1 по фенотипу, родившийся ребенок относится к 1/4 части (25%) здоровых потомков.

Перечитаем условие и вопрос задачи, проверяя соответствие полученных результатов сущности вопроса.

#### Оформление решения задачи

Дано:

$A$  – косолапость

$a$  – нормальная стопа

$P \quad \text{♀ } \text{косолапость} \times \text{♂ } \text{косолапость}$

$F_1$  нормальная стопа

Найти:

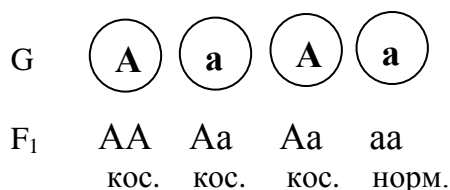
Решение:

$P \quad \text{♀ } \text{косолапость} \times \text{♂ } \text{косолапость}$   
 $F_1 \quad \quad \quad \text{нормальная стопа (aa)}$

Генотип  $P \quad Aa$  (II закон Менделя)

$P \quad \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa$   
                   кос.            кос.

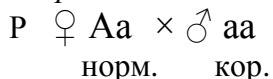
генотипы P



Ответ: генотипы P ♀ Aa, ♂ Aa

**Задача №11.** У кроликов шерсть нормальной длины – доминантный признак, короткая – рецессивный. Короткошерстного кролика скрестили с крольчихой, в результате получено 4 короткошерстных крольчонка и 3 крольчонка с нормальной шерстью. Определите генотип и фенотип матери.

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель *A* определяет развитие шерсти нормальной длины, аллель *a* – короткой. Короткошерстный самец, таким образом, является рецессивной гомозиготой. В потомстве наблюдается расщепление, приблизительно соответствующее расщеплению 1:1. Такое расщепление произойдет, если генотип материнского организма *Aa*, крольчиха будет иметь нормальную шерсть. Запишем схему скрещивания, используя установленные генотипы и фенотипы родителей.



Определим типы гамет генотипы и фенотипы потомков.

Перечитаем условие и вопрос задачи, проверяя соответствие полученных результатов сущности вопроса.

#### Оформление решения задачи

Дано:

*A* – нормальная шерсть

*a* – короткая шерсть

P ♀ × ♂ короткая шерсть

F<sub>1</sub> 4 короткая шерсть, 3 нормальная шерсть

Найти:

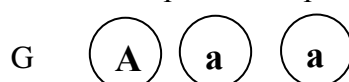
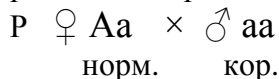
генотипы и фенотип ♀

Решение:

♂ короткая шерсть (*aa*)

F<sub>1</sub> 4 короткая шерсть (*aa*) : 3 нормальная шерсть (*Aa*) → расщепление в F<sub>1</sub> 1:1

Генотип ♀ *Aa*, нормальная шерсть



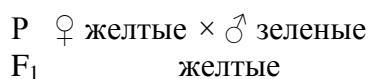
F <sub>1</sub>	Aa	aa
	кор.	норм.

Ответ: генотип ♀ *Aa*, фенотип – нормальная шерсть

#### Определение доминантного и рецессивного признака

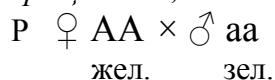
**Задача №12.** При скрещивании растений фасоли, имеющих желтые плоды, с растениями, плоды у которых были зелены, получено потомство с желтыми плодами. Какой признак доминирует? Определите генотипы родительских особей и потомства.

Запишем схему скрещивания, используя характеристики фенотипов.

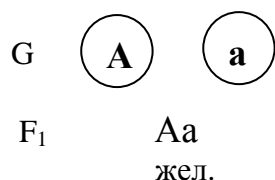


Определим, какой из признаков является доминантным. Поскольку все потомки единообразны и имеют желтые плоды, этот признак является доминантным, а зеленые плоды – рецессивным (I закон Менделя). Обозначим ген, определяющий формирование желтых плодов, как  $A$ , зеленых –  $a$ . Родительские организмы будут являться гомозиготами, поскольку расщепление в потомстве отсутствует.

Записываем схему скрещивания, используя обозначения генов.



Определяем типы гамет родительских организмов, генотипы и фенотипы  $F_1$ .



Все потомки гетерозиготны и имеют желтые плоды.

### Оформление решения задачи

Дано:

$P \quad \text{♀}$  желтые плоды  
 $\times \text{♂}$  зеленые плоды  
 $F_1$  зеленые плоды

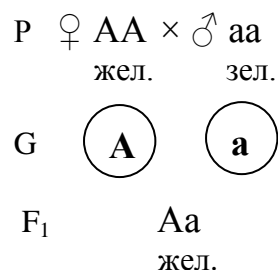
Найти:

- 1) доминантный признак;
- 2) генотипы  $P$  и  $F_1$

Решение:

$P \quad \text{♀}$  желтые  $\times \text{♂}$  зеленые  
 $F_1 \quad \quad$  зеленые

Желтые плоды – доминантный признак, так как все потомство единообразно, имеет желтые плоды.  $A$  – желтые плоды,  $a$  – зеленые плоды.



Ответ:

- 1) доминантный признак - желтые плоды;
- 2) генотипы  $P \quad \text{♀} \quad AA, \text{♂} \quad aa$ ; генотип  $F_1 \quad Aa$

**Задача №13.** Петуха с розовидным гребнем скрестили с двумя курицами. При скрещивании с курицей, имеющей розовидный гребень, появились потомки с таким же гребнем. При скрещивании с курицей, имеющей простой гребень, все предки которой также имели простой гребень, в потомстве наблюдалось расщепление: половина потомков имела розовидный и половина – простой гребень. Определите доминантный и рецессивный признаки, генотипы всех упомянутых особей.

Запишем схемы скрещивания, используя характеристики фенотипов.

1)  $P \quad \text{♀}$  розовидный  $\times \text{♂}$  розовидный  
 $F_1 \quad \quad$  розовидные

2)  $P \quad \text{♀}$  простой  $\times \text{♂}$  розовидный  
 $F_1 \quad \quad \frac{1}{2}$  розовидные  $\frac{1}{2}$  простые

Определим, какой из признаков является доминантным. Расщепление 1:1 при полном доминировании возможно, если одна из родительских особей имеет генотип  $Aa$ , а вторая  $aa$ . Предположим, что доминирует ген, определяющий развитие розовидного гребня ( $A$ ),

рецессивный ген (*a*) определяет развитие простого гребня. Генотип *Aa* имеет петух, курица является гомозиготой, так как все ее предки имели такой же фенотип (*aa*). Схема второго скрещивания будет в этом случае выглядеть так:

$$P \quad \text{♀ } aa \times \text{♂ } Aa$$

прост.    роз.

Рассмотрим, соответствует ли нашему предположению первое скрещивание. Петух имеет генотип *Aa* и розовидный гребень. Для того, чтобы все потомки были единообразны, курица с розовидным гребнем должна иметь генотип *AA*, иначе среди потомков будет происходить расщепление. Запишем схему первого скрещивания:

$$P \quad \text{♀ } AA \times \text{♂ } Aa$$

роз.        роз.

Таким образом, доминантный признак и генотипы родительских организмов определены верно.

### Оформление решения задачи

Дано:

1) P ♀ розовидный гребень × ♂ розовидный гребень  
F<sub>1</sub> розовидный гребень

2) P ♀ простой гребень × ♂ розовидный гребень  
F<sub>1</sub> ½ розовидный гребень, ½ простой гребень

Найти:

1) доминантный и рецессивный признаки ;  
2) генотипы

Решение:

1) P ♀ розовидный × ♂ розовидный  
F<sub>1</sub> розовидные

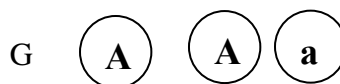
2) P ♀ простой × ♂ розовидный  
F<sub>1</sub> ½ розовидные ½ простые

Все предки второй курицы имеют простой гребень → она гомозиготна. В потомстве расщепление 1:1 → петух гетерозиготен.

*A* – розовидный гребень, *a* – простой.

В первом скрещивании потомство единообразно, несет доминантный признак → курица *AA*

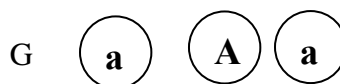
1) P ♀ *AA* × ♂ *Aa*  
роз.        роз.



F<sub>1</sub>    *AA*    *Aa*  
роз.    роз

Потомки имеют розовидный гребень и один из двух видов генотипов *AA* и *Aa*

2) P ♀ *aa* × ♂ *Aa*  
пр.        роз.



F<sub>1</sub>    *Aa*    *aa*  
роз.    пр.

Среди потомков наблюдается расщепление по генотипу и по фенотипу 1:1. Половина потомков имеет генотип *Aa* и розовидный гребень, половина потомков имеет генотип *aa* и простой гребень.

Ответ:

- 1) доминантный признак - розовидный гребень, рецессивный – простой гребень;
- 2) генотипы P<sub>1</sub> ♀ AA, ♂ Aa, генотипы их потомков AA, Aa (1:1); генотипы P<sub>2</sub> ♀ aa, ♂ Aa, генотипы их потомков Aa, aa (1:1)

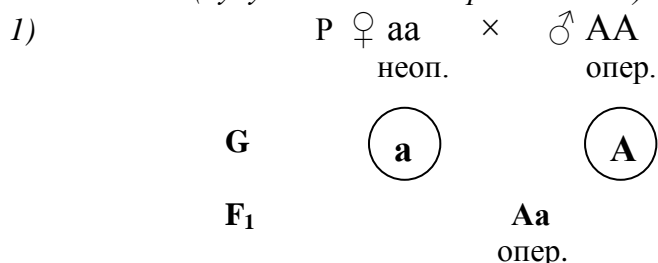
### Анализирующее скрещивание

Признак задач данного вида: неизвестен генотип родительского организма, в фенотипе которого проявляется доминантный признак.

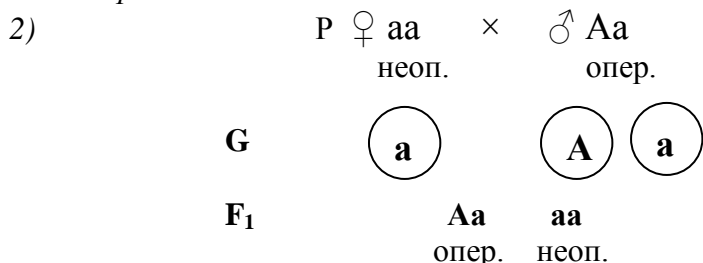
**Задача №14.** У кур оперенные ноги - доминантный признак, неоперенные - рецессивный. Каким образом можно отобрать из группы молодых петухов с оперенными ногами гомозиготных особей?

Введем обозначения для рассматриваемой пары аллельных генов. Доминантная аллель *A* определяет развитие оперения на ногах, рецессивная аллель *a* – отсутствие оперения.

Петухи с оперенными ногами могут иметь генотип AA или Aa. Для определения генотипа такого петуха необходимо скрестить его с курицей, являющейся рецессивной гомозиготой (будут иметь неоперенные ноги).



В том случае, если петух является доминантной гомозиготой (AA) в потомстве от скрещивания с рецессивной гомозиготой (aa) расщепления нет, все потомство единообразно.



При скрещивании с рецессивной гомозиготой (aa) гетерозиготного петуха (Aa) в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу 1:1 (½ часть потомков имеет оперенные ноги и ½ часть потомков – неоперенные).

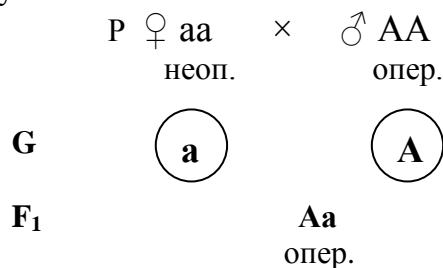
### Оформление решения задачи

Дано:  
A – оперенные ноги  
a – неоперенные ноги

Найти:  
отобрать гомозиготных  
♂

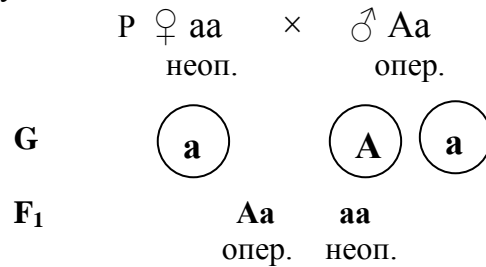
Решение:

1) Генотип петуха AA



Потомство единообразно, все животные имеют оперенные ноги.

2) Генотип петуха Aa



В потомстве наблюдается расщепление 1:1 по фенотипу.

Ответ.

Для того, чтобы отобрать гомозиготных особей необходимо провести скрещивание P ♀ aa × ♂ A-

неоп. опер.

Генотип AA имеют петухи, потомство которых единообразно.

Решение задач на анализирующее скрещивание позволяет проиллюстрировать необходимость наличия этапа «анализ решения», поскольку именно проведенный анализ позволяет сделать основной вывод.

Для определения генотипа организма, в фенотипе которого проявляется доминантный признак, необходимо произвести его скрещивание с рецессивной гомозиготой. При отсутствии расщепления в потомстве можно заключить, что исходный организм является доминантной гомозиготой. Наличие в потомстве расщепления 1:1 по фенотипу говорит о том, что исходный организм гетерозиготен.

### 3.2. Дигибридное скрещивание

#### Прямые задачи

Во всех задачах на дигибридное скрещивание речь идет о наследовании **двух пар альтернативных признаков**. Гены, определяющие развитие рассматриваемых признаков, расположены в аутосомах (нет сцепления с полом), наследуются независимо (нет сцепленного наследования, гены располагаются в разных парах аутосом).

#### Определение генотипа и фенотипа потомков. III закон Менделя

Признаки задач данного вида:

- указаны доминантные и рецессивные признаки (2 пары);
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- необходимо определить генотипы и фенотипы потомков.

**Задача №15.** У человека жесткие волосы и наличие веснушек – доминантные признаки, мягкие волосы и отсутствие веснушек – рецессивные. Гены, определяющие эти признаки, расположены в разных парах аутосом. Женщина с жесткими волосами без веснушек, гетерозиготная по первому признаку, вышла замуж за мужчину с мягкими волосами, имеющего веснушки (гетерозиготен по второму признаку). Какие фенотипы могут быть у детей?

Введем обозначения для рассматриваемых пар аллельных генов. Доминантная аллель  $A$  определяет наличие жестких волос, рецессивная аллель  $a$  – мягкие волосы. Доминантная аллель  $B$  обуславливает наличие веснушек, рецессивная аллель  $b$  – их отсутствие. Определим генотипы родителей. Женщина гетерозиготна по первому признаку ( $Aa$ ) и гомозиготна по второму (проявляется рецессивный признак):  $Aabb$ . Мужчина гомозиготен по первому признаку (проявляется рецессивный признак), и гетерозиготен по второму:  $aaBb$ . Запишем схему скрещивания.

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \\ \text{Aa bb} \\ \text{ж. б/в} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{c} \text{♂} \\ \text{aaBb} \\ \text{м. в.} \end{array}$$

Определим типы гамет родительских организмов. Оба родителя гетерозиготны по одному признаку, следовательно, образуют  $2^1 = 2$  типа гамет:  $Aabb \rightarrow Ab, ab$ ;  $aaBb \rightarrow aB, ab$ .

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \\ \text{Aa bb} \\ \text{ж. б/в} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{c} \text{♂} \\ \text{aaBb} \\ \text{м. в.} \end{array}$$

G     $\text{Ab}$      $\text{ab}$                        $\text{aB}$      $\text{ab}$

Для определения генотипов и фенотипов  $F_1$  целесообразно использовать решетку Пеннета, выписав по вертикали гаметы женского организма, по горизонтали – мужского.

	aB	ab
Ab	AaBb ж. в.	Aabb ж. б/в.
ab	aaBb м. в.	aabb м. б/в.

Анализ генотипов и фенотипов показывает, что в потомстве существует четыре группы генотипов и фенотипов в соотношении 1:1:1:1.

Оформление решения задачи

Дано:

А – жесткие волосы

а – мягкие волосы

В – веснушки

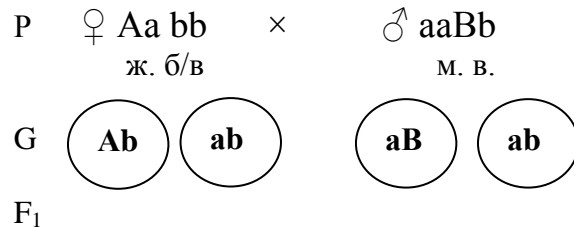
b – нет веснушек

P ♀ Aa bb × ♂ aaBb  
ж. б/в м. в.

Найти:

фенотипы F<sub>1</sub>

Решение:



	aB	ab
Ab	AaBb ж. в.	Aabb ж. б/в.
ab	aaBb м. в.	aabb м. б/в.

Ответ.

Возможные фенотипы детей: жесткие волосы – веснушки, жесткие волосы – без веснушек, мягкие волосы – веснушки, мягкие волосы – без веснушек, вероятность появления ребенка с тем или иным фенотипом одинакова и составляет 25%.

**Примечание.** В остальных задачах на дигибридное скрещивание значительная часть поэтапного описания последовательности действий опущена. При возникновении затруднений следует вернуться к задачам соответствующего вида в разделе 3.1.

**Задачи с количественными данными**Признаки задач данного вида:

- указаны доминантные и рецессивные признаки (2 пары);
- даны фенотипы и/или генотипы родителей;
- указано количество потомков, имеющих тот или иной признак;
- эти данные позволяют определить характер расщепления.

**Задача №16.** У фасоли желтый цвет бобов и черный цвет семян – наследуются как не сцепленные аутосомно-доминантные признаки. Рецессивные аллели генов определяют зеленый цвет бобов и белый цвет семян. При скрещивании дигетерозиготного растения фасоли с растением, имеющим зеленые плоды и белые семена, получили 352 растения. Сколько разных фенотипов можно будет выделить среди потомков видов F<sub>1</sub>? Сколько растений F<sub>1</sub> будут иметь черные семена, сколько растений – зеленые плоды и белые семена?

Оформление решения задачи

Дано:

А – желтые плоды

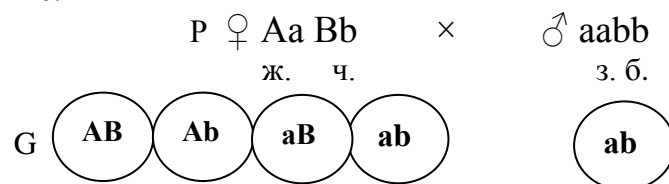
а – зеленые плоды

В – черные семена

b – белые семена

P ♀ Aa Bb × ♂ aabb  
ж. ч. з. б.F<sub>1</sub> 352

Решение:





Найти:

- 1) сколько видов фенотипов будут иметь потомки  $F_1$ ;
- 2) сколько растений  $F_1$  имеют черные семена;
- 3) сколько растений  $F_1$  имеют зеленые плоды и белые семена.

$F_1$

	ab
AB	AaBb ж. ч.
Ab	Aabb ж. б.
aB	aaBb з. ч.
ab	aabb з. б.

Ответ:

- 1) среди потомков  $F_1$  выделяется 4 вида фенотипов: желтые плоды-черные семена, желтые плоды-белые семена, зеленые плоды-черные семена, зеленые плоды-белые семена (в соотношении 1:1:1:1);
- 2) черные семена имеют  $\frac{1}{2}$  часть растений:  $352 \times \frac{1}{2} = 176$ ;
- 3) зеленые плоды и белые семена имеют  $\frac{1}{4}$  часть растений:  $352 \times \frac{1}{4} = 88$

### Определение характера расщепления и вероятности появления потомков с определенным фенотипом

Признаки задач данного вида:

- указаны доминантные и рецессивные признаки (2 пары);
- даны фенотипы и/или генотипы родительских организмов;
- необходимо определить генотипы и фенотипы потомков, характер расщепления;
- на основе анализа расщепления установить вероятность появления потомков с определенным фенотипом (в долях единицы или процентах).

**Задача №17. Альбинизм (a) и фенилкетонурия (b) наследуются у человека как несцепленные аутосомно-рецессивные признаки. В семье отец – альбинос, не болен фенилкетонурией, гетерозиготен, мать дигетерозиготна. Определите вероятность рождения здоровых детей.**

Оформление решения задачи

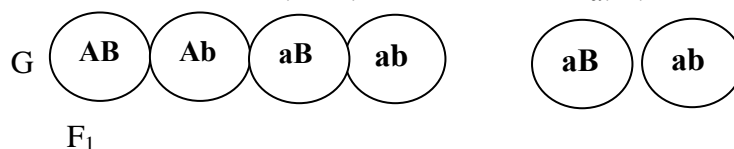
Дано:

A – нормальная пигментация  
a – альбинизм  
B – норма  
b – фенилкетонурия  
P ♀ Aa Bb × ♂ aaBB  
п. н. а. н.

Найти:

вероятность здоровых  $F_1$ .

Решение: P ♀ Aa Bb × ♂ aaBb  
п. н. а. н.



	aB	ab
AB	AaBB п. н.	AaBb п. н.
Ab	AaBb п. н.	Aabb п. ф.
aB	aaBB а. н.	aaBb а. н.
ab	aaBb а. н.	aabb а. ф.

Расщепление по фенотипу: 3 пигментация-норма : 3 альбинизм-норма : 1 пигментация-фенилкетонурия : 1 альбинизм-фенилкетонурия.

Ответ:

вероятность рождения здорового ребенка 3/8

### Обратные задачи

Признаки задач данного типа:

- даны фенотипы и/или генотипы потомков, расщепление среди потомков или количество потомков с определенным признаком, часто – фенотипы родителей;
- необходимо определить генотипы родителей, часто – неизвестные фенотипы;
- доминантный признак указан или необходимо определить.

### Определение генотипа и фенотипа родительских организмов

**Задача №18.** У кур оперенные ноги и розовидный гребень – доминантные признаки, неоперенные ноги и простой гребень – рецессивные. Скрестили курицу с оперенными ногами и простым гребнем и петуха с неоперенными ногами и простым гребнем. В потомстве получены цыплята с простым гребнем, половина из которых имеет неоперенные, а половина – оперенные ноги. Определить генотип родителей.

### Оформление решения задачи

Дано:

A – оперенные ноги

a – неоперенные

B – розовидный гребень

b – простой гребень

P ♀ оперенные ноги, простой гребень × ♂

неоперенные ноги, простой гребень

F<sub>1</sub> 50% оперенные ноги

простой гребень

50% неоперенные ноги

простой гребень

Найти:

генотипы P

Решение:

P ♀ A- bb × ♂ aabb  
о. п. б/о. п.

По второму признаку оба родителя гомозиготны → расщепления среди потомков нет. По первому признаку расщепление 1:1 среди потомков → ♀ имеет генотип Aa

P ♀ Aabb × ♂ aabb  
о. п. б/о. п.

G

Ab	ab	ab
----	----	----

F<sub>1</sub>

Aabb

aabb

о. п.

б/о. п.

50%

50%

Ответ: генотипы P ♀ Aabb, ♂ aabb

**Задача №19.** При скрещивании белых кроликов с гладкой шерстью с черными кроликами с мохнатой шерстью получено потомство: 25% черных мохнатых, 25% черных гладких, 25% белых мохнатых, 25% белых гладких. Определите генотипы родителей, потомства и тип скрещивания. Белый цвет и гладкая шерсть – рецессивные признаки.

Оформление решения задачи

Дано:

A – черная шерсть

a – белая шерсть

B – мохнатая шерсть

b – гладкая шерсть

P ♀ белая гладкая ×

♂ черная мохнатая

F<sub>1</sub> 25% черная

мохнатая; 25% черная

гладкая; 25% белая

мохнатая; 25% белая

гладкая

Найти:

1) генотипы P;

2) генотипы F<sub>1</sub>;

3) тип скрещивания

Решение:

P ♀ aa bb × ♂ A-B-  
бел. гл. чер. мох.

Расщепление по первому признаку среди потомков 1:1 (50% имеют черную шерсть, 50% - белую) → генотипы родителей aa и Aa.

Расщепление по второму признаку также 1:1 (50% имеют мохнатую шерсть, 50% - гладкую) → генотипы родителей bb и Bb.

P ♀ aa bb × ♂ AaBb  
бел. гл. чер. мох.

G (ab) (AB) (aB) (Ab) (ab)

F<sub>1</sub>

	AB	aB	Ab	ab
ab	AaBb чер. мох.	aaBb бел. мох.	Aabb чер. гл.	aabb бел. гл.

Ответ:

- 1) генотипы P ♀ aabb, ♂ AaBb;
- 2) генотипы F<sub>1</sub> AaBb, aaBb, Aabb, aabb;
- 3) тип скрещивания: дигибридное анализирующее

**Задача №20. При скрещивании томата с пурпурным стеблем (A) и красными плодами (B) и томата с зеленым стеблем и красными плодами получили 722 растения с пурпурным стеблем и красными плодами, 231 растение с пурпурным стеблем и желтыми плодами. Определите генотипы родителей, потомства в первом поколении, соотношение генотипов и фенотипов у потомства.**

Оформление решения задачи

Дано:

A – пурпурный стебель

a – зеленый стебель

B – красные плоды

b – желтые плоды

P ♀ пурпурный

стебель, красные

плоды × ♂ зеленый

стебель, красные

плоды

F<sub>1</sub>

722 пурпурный

стебель, красные

плоды;

Решение:

P ♀ A-B- × ♂ aaB-  
пурп. кр. зел. кр.

Расщепления по первому признаку среди потомков нет, все имеют пурпурный стебель, ♂ зеленые (aa), ♀ пурпурные → ♀ AA.

Расщепление по второму признаку близко к 3:1 (722 потомка с красными плодами, 231 с желтыми), ♂ и ♀ имеют красные плоды → генотипы родителей Bb и Bb.

P ♀ AABb × ♂ aaBb  
пурп. кр. зел. кр.

G (AB) (Ab) (aB) (ab)

231 пурпурный стебель  
желтые плоды

Найти:

- 1) генотипы P;
- 2) генотипы F<sub>1</sub>;
- 3) соотношение генотипов и фенотипов в F<sub>1</sub>

F<sub>1</sub>

	aB	ab
AB	AaBB пурп. кр.	AaBb пурп. кр.
Ab	AaBb пурп. кр.	Aabb пурп. жел.

Ответ:

- 4) генотипы P ♀ AAbb, ♂ aaBb;
- 5) генотипы F<sub>1</sub> AaBB, AaBb, Aabb;
- 6) соотношение генотипов и фенотипов в F<sub>1</sub>  
 $\frac{3}{4}$  пурпурный стебель, красные плоды (1AaBB:2AaBb),  
 $\frac{1}{4}$  пурпурный стебель, зеленые плоды (1Aabb)

**Задача №21.** У морских свинок вихрастая шерсть доминирует над гладкой, а черная окраска над белой. В результате анализирующего скрещивания самка морской свинки, имеющая вихрастую черную шерсть, дала потомство, состоящее из вихрастых свинок, половина которых имела черную, а половина белую шерсть. Определите генотип самки.

Оформление решения задачи

Дано:

A – вихрастая шерсть

a – гладкая шерсть

B – черная шерсть

b – белая шерсть

Анализирующее скрещивание, генотип

♂ aabb

P ♀ вихрастая черная

× ♂ гладкая белая

F<sub>1</sub>

50% вихрастые черные

50% вихрастые белые

Найти:

генотип ♀

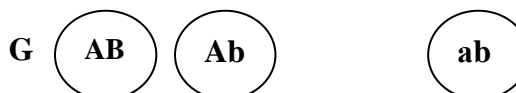
Решение:

P ♀ A-B- × ♂ aabb  
вихр. чер. гл. бел.

Расщепления по первому признаку среди потомков нет, все имеют вихрастую шерсть, ♀ вихрастая → ♀ AA.

Расщепление по второму признаку 1:1, ♀ черная → ♀ Bb.

P ♀ AABb × ♂ aabb  
вихр. чер. гл. бел.



F<sub>1</sub>

	ab
AB	AaBb вихр. чер
Ab	Aabb вихр. бел.

Ответ:

генотип ♀ AABb

### 3.3. Сцепленное наследование генов

В задачах на сцепленное наследование генов рассматривается **две (или более) пары альтернативных признаков, гены которых лежат в одной паре гомологичных хромосом**. Среди задач на сцепленное наследование генов также можно выделить прямые и обратные задачи.

#### Признаки данного типа задач:

- в задаче рассматривается наследование двух или более пар признаков;
- используются словосочетания «гены сцеплены», «гены локализованы в одной паре гомологичных хромосом»;
- расщепление среди гибридов отличается от расщепления при независимом наследовании признаков;
- есть информация о том, идет ли кроссинговер, часто – значение частоты кроссинговера.

#### Особенности решения

1. Задачи данного типа решаются аналогично задачам на дигибридное скрещивание. Тем не менее, задачи на сцепленное наследование генов имеют ряд существенных отличий.
2. Рекомендуется записывать генотипы организмов, используя схематическое изображение хромосом. Это позволит избежать ошибок и обеспечит понимание процессов сцепленного наследования генов. При оформлении ответа, особенно в случае выполнения заданий ЕГЭ, можно перейти к обычной форме записи.
3. Пары аллельных генов располагаются в одной паре гомологичных хромосом в цис- или транс-положении. Если в условии задачи нет информации о расположении генов, следует считать, что они находятся в цис-положении (доминантные алели расположены в одной хромосоме, рецессивные – в другой).
4. Если в условии задачи содержится указание на отсутствие кроссинговера (полное сцепление), любая гетерозиготная особь образует два типа гамет. При наличии кроссинговера образуются как некроссоверные гаметы (комбинации генов соответствуют таковым у родительских организмов), так и кроссоверные (образуются новые комбинации генов). Количество некроссоверных гамет всегда больше, процентное соотношение между некроссоверными и кроссоверными гаметами зависит от расстояния между генами.

**Задача №22.** Скрестили дигетерозиготных самок мухи дрозофилы с серым телом (А) и нормальными крыльями (В) с самцами с черным телом и укороченные крыльями. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, если доминантные и рецессивные гены данных признаков попарно сцеплены, а при образовании половых клеток происходит кроссинговер.

В условии задачи содержится информация о двух парах аллельных генов. Введем обозначения пар аллельных генов. А – серое тело, а – черное тело, В – нормальные крылья, в – укороченные крылья. Определим генотипы родителей. Ген А расположен в одной хромосоме с геном В, ген а – с геном в.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{P} \quad \text{♀} & \frac{\text{A B}}{\text{a b}} & \times \quad \text{♂} \quad \frac{\text{a b}}{\text{a b}} \\
 & \text{сер. норм.} & \text{чер. укор.}
 \end{array}$$

При образовании гамет идет процесс кроссинговера, образуются некрссоверные гаметы (родительские сочетания генов) и кроссоверные гаметы (новые сочетания генов). Женский организм образует четыре типа гамет: АВ и аb (некрссоверные), Ab и aB (кроссоверные), мужской организм – один тип гамет ab.

$$\begin{array}{cccc}
 \text{G} & \begin{array}{c} \text{A B} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{A b} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \end{array} \\
 & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{a B} \\ \hline \end{array} & \\
 \text{F}_1 & \frac{\text{A a}}{\text{B b}} & \frac{\text{a b}}{\text{a b}} & \frac{\text{A a}}{\text{b b}} \quad \frac{\text{a a}}{\text{B b}} \\
 & \text{сер. норм.} & \text{чер. укор.} & \text{сер. укор.} \quad \text{чер. норм.}
 \end{array}$$

Среди потомков  $F_1$  можно выделить четыре вида генотипов и фенотипов в соотношении 1:1:1:1.

#### Оформление решения задачи

Дано:

А – серое тело

а – черное тело

В – нормальные крылья

в – удлинённые крылья

Р ♀ серое тело

нормальные крылья,

гетерозигота × ♂

черное тело,

укороченные крылья

Гены сцеплены,

кроссинговер

происходит

Найти:

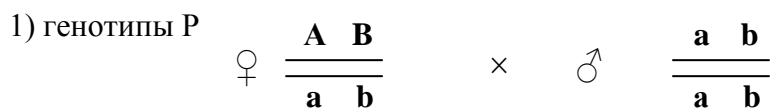
1) генотипы Р;

2) генотипы и фенотипы  $F_1$

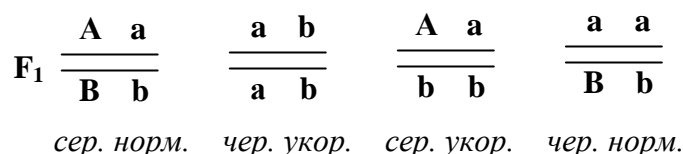
Решение:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{P} \quad \text{♀} & \frac{\text{A B}}{\text{a b}} & \times \quad \text{♂} \quad \frac{\text{a b}}{\text{a b}} \\
 & \text{сер. норм.} & \text{чер. укор.} \\
 \text{G} & \begin{array}{c} \text{A B} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{A b} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \end{array} \\
 & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} \text{a B} \\ \hline \end{array} & \\
 \text{F}_1 & \frac{\text{A a}}{\text{B b}} & \frac{\text{a b}}{\text{a b}} & \frac{\text{A a}}{\text{b b}} \quad \frac{\text{a a}}{\text{B b}} \\
 & \text{сер. норм.} & \text{чер. укор.} & \text{сер. укор.} \quad \text{чер. норм.}
 \end{array}$$

Ответ:



2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>



Примечание. В случае решения заданий ЕГЭ следует перейти к обычной форме записи.

1) генотипы P ♀ AaBb, ♂ aabb;

2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>

серое тело - нормальные крылья 1AaBb,

черное тело - зачаточные крылья 1aabb,

серое тело - зачаточные крылья 1Aabb,

черное тело - нормальные крылья 1aaBb

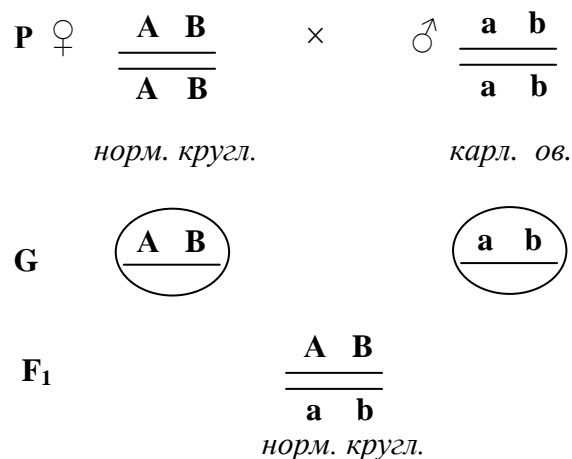
***Задача №23. У растения томата, гены, определяющие нормальную высоту, сцеплены с генами, которые обеспечивают развитие круглых плодов, а гены карликовости с генами, отвечающими за формирование овальных плодов. Скрестили растение нормальной высоты с округлыми плодами с карликовым растением, имеющим овальные плоды. В первом поколении все растения имели нормальную высоту и округлую форму плодов. Полученные гибриды скрестили. Определите генотипы родителей, гибридов первого поколения, генотипы и соотношение фенотипов гибридов второго поколения. Кроссинговер не происходит.***

Оформление решения задачи

Дано:  
Сцеплены: нормальная высота и круглые плоды; карликовость и овальные плоды  
P ♀ нормальная высота, круглые плоды  
× ♂ карликовые, овальные плоды  
F<sub>1</sub> нормальная высота, круглые плоды  
F<sub>2</sub>  
Кроссинговер не происходит

Найти:  
1) генотипы P;  
2) генотипы F<sub>1</sub>;  
3) генотипы F<sub>2</sub>;  
4) соотношение

Решение:  
В F<sub>1</sub> проявляются доминантные признаки, потомки единообразны → A – нормальная высота, a – карликовость, B – круглые плоды, b – овальные плоды.



При отсутствии кроссинговера данный организм даст два типа

фенотипов F<sub>2</sub>

гамет

$$P=F_1 \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \frac{A \ B}{a \ b}$$

*норм. кругл.                      норм. кругл.*

$$G \quad \left( \frac{A \ B}{a \ b} \right) \quad \left( \frac{a \ b}{A \ B} \right) \quad \left( \frac{A \ B}{a \ b} \right) \quad \left( \frac{a \ b}{A \ B} \right)$$

$$F_2 \quad \frac{A \ B}{A \ B} \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \frac{a \ b}{a \ b}$$

*норм. кругл. норм. кругл. норм. кругл. карл. ов.*

Ответ:

1) генотипы  $P \quad \frac{A \ B}{A \ B} \times \frac{a \ b}{a \ b}$

2) генотипы  $F_1 \quad \frac{A \ B}{a \ b}$

3) генотипы  $F_2 \quad \frac{A \ B}{A \ B} \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \frac{a \ b}{a \ b}$

4) соотношение фенотипов в F<sub>2</sub>

3 нормальная высота - круглые плоды : 1 карликовость - нормальные плоды

Примечание. В случае решения заданий ЕГЭ следует перейти к обычной форме записи.

1) генотипы P ♀ AABV, ♂ aabb;

2) генотипы F<sub>1</sub> AaVv;

3) генотипы F<sub>2</sub> AABV, AaVv, aabb;

4) соотношение фенотипов F<sub>2</sub> 3:1

нормальная высота - круглые плоды 1AABV : 2AaVv,

карликовость - овальные плоды 1aabb



### 3.4. Сцепленное с полом наследование

В задачах на сцепленное с полом наследование гены, определяющие развитие рассматриваемых признаков, лежат в половых хромосомах. Среди задач на сцепленное с полом наследование также можно выделить прямые и обратные задачи.

#### Признаки данного типа задач:

- в задаче рассматривается наследование одной или более пар признаков;
- хотя бы одна пара аллельных генов расположена в половых хромосомах (сцеплены с полом)

#### Особенности решения

1. При решении задач данного типа следует придерживаться последовательности действий, перечисленных в разделе «Общие рекомендации». Тем не менее, задачи на сцепленное с полом наследование имеют ряд специфических особенностей.
2. Один пол организма является гетерогаметным, другой – гомогаметным. Если информация об этом отсутствует в условии задачи, необходимо воспользоваться справочными таблицами.
3. Гомогаметный пол образует один тип гамет, гетерогаметный – два. Например, у человека ♀ XX → X; ♂ XY → X, Y.
4. Запись генотипа организма производится следующим образом: указывается пол организма, половые хромосомы, обозначение гена служит верхним индексом хромосомы, в которой он расположен. Например, ♀ X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>, ♂ X<sup>A</sup>Y.
5. При решении задач на наследование признаков, гены которых локализованы в аутосомах и половых хромосомах, сначала записываются аутосомные гены, затем гены, локализованные в половых хромосомах. Например, AaX<sup>B</sup>X<sup>b</sup>, aaX<sup>b</sup>Y

**Задача №24.** У человека дальтонизм (цветовая слепота) наследуется как рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой. От брака женщины с нормальным зрением, гетерозиготной по этому признаку, и здорового мужчины родились две девочки. Второй раз женщина вышла замуж за мужчину, больного дальтонизмом. Определите генотипы и фенотипы дочерей. Какова вероятность рождения здоровых детей во втором браке?

Введем обозначения для пары аллельных генов, локализованных в X-хромосоме. Доминантная аллель гена X<sup>A</sup> определяет нормальное зрение, рецессивная аллель X<sup>a</sup> – развитие дальтонизма. Определим генотипы родительских организмов в первом случае.

$$\begin{array}{ccc} \text{P} & \text{♀ X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} & \times & \text{♂ X}^{\text{A}}\text{Y} \\ & \text{норм.} & & \text{норм.} \end{array}$$

У человека гетерогаметен мужской пол. Женщина гетерозиготна по гену дальтонизма, который не проявляется в фенотипе. В этом случае говорят, что она является

носителем гена. Мужчина здоров, в его генотипе содержится один ген из пары аллельных, именно он определяет фенотип.

Запишем схему скрещивания для первого брака.

$$\begin{array}{c}
 \text{P} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \times \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{A}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \qquad \qquad \qquad \text{норм.} \\
 \\
 \text{G} \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{Y} \right) \\
 \\
 \text{F}_1 \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{A}} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{A}}\text{Y} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{a}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \quad \text{норм.} \quad \text{норм.} \quad \text{дальт.}
 \end{array}$$

Анализ потомков женского пола показывает, что все девочки здоровы, половина из них является носителем гена дальтонизма.

Во втором случае мужчина болен дальтонизмом, то есть единственный ген из этой пары в его генотипе – рецессивный: ♂ X<sup>a</sup>Y

Запишем схему скрещивания для второго брака.

$$\begin{array}{c}
 \text{P} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \times \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{a}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \qquad \qquad \qquad \text{дальт.} \\
 \\
 \text{G} \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \quad \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \left( \text{Y} \right) \\
 \\
 \text{F}_1 \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{a}}\text{X}^{\text{a}} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{A}}\text{Y} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{a}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \quad \text{дальт.} \quad \text{норм.} \quad \text{дальт.}
 \end{array}$$

Проведем анализ генотипов и фенотипов потомства. 50% мальчиков ♂ X<sup>a</sup>Y и 50% девочек ♀ X<sup>a</sup>X<sup>a</sup> будут больны дальтонизмом, таким образом, этот признак проявится в фенотипе половины детей. 50% мальчиков будут полностью здоровы ♂ X<sup>A</sup>Y, у оставшихся 50% девочек в фенотипе признак не проявится, но они будут являться носителями гена дальтонизма ♀ X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>.

### Оформление решения задачи

Дано:  
 X<sup>A</sup> – нормальное зрение  
 X<sup>a</sup> - дальтонизм  
 1) P ♀ X<sup>A</sup>X<sup>a</sup> × ♂ X<sup>A</sup>Y  
       норм.       норм.  
 2) P ♀ X<sup>A</sup>X<sup>a</sup> × ♂ X<sup>a</sup>Y  
       норм.       дальт.

Найти:  
 1) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub> от первого брака;  
 2) вероятность здоровых F<sub>1</sub> от второго брака

Решение:

1)

$$\begin{array}{c}
 \text{P} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \times \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{A}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \qquad \qquad \qquad \text{норм.} \\
 \\
 \text{G} \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{Y} \right) \\
 \\
 \text{F}_1 \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{A}} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{A}}\text{Y} \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{a}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \quad \text{норм.} \quad \text{норм.} \quad \text{дальт.}
 \end{array}$$

2)

$$\begin{array}{c}
 \text{P} \quad \text{♀ } \text{X}^{\text{A}}\text{X}^{\text{a}} \quad \times \quad \text{♂ } \text{X}^{\text{a}}\text{Y} \\
 \text{норм.} \qquad \qquad \qquad \text{дальт.} \\
 \\
 \text{G} \quad \left( \text{X}^{\text{A}} \right) \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \quad \left( \text{X}^{\text{a}} \right) \left( \text{Y} \right)
 \end{array}$$

$$F_1 \quad \begin{matrix} \text{♀ } X^A X^a & \text{♀ } X^a X^a & \text{♂ } X^A Y & \text{♂ } X^a Y \\ \text{норм.} & \text{дальт.} & \text{норм.} & \text{дальт.} \end{matrix}$$

Ответ:

- 1) генотипы  $F_1$   $\text{♀ } X^A X^A$   $\text{♀ } X^A X^a$ , обе девочки здоровы, могут являться носителем гена дальтонизма;
- 2) вероятность рождения здоровых детей во втором браке составляет 50%, среди них все девочки будут носителями гена дальтонизма.

**Задача №25.** Одна пара генов, определяющих окраску шерсти у кошек, сцеплена с полом. Ген *B* обуславливает рыжую окраску, ген *b* – черную, гетерозиготы имеют пеструю (черепаховую) окраску. Пеструю кошку скрещивают с черным котом. Возможно ли появление среди потомства рыжих кошек?

Оформление решения задачи

Дано:  
 $X^B$  – рыжая шерсть  
 $X^b$  – черная  
 $X^B X^b$  - черепаховая  
 $P \text{ ♀ } X^B X^b \times \text{♂ } X^b Y$   
 череп. чер.

Найти:  
 ♀ рыжие в  $F_1$

Решение:

$$P \quad \begin{matrix} \text{♀ } X^B X^b & \times & \text{♂ } X^b Y \\ \text{череп.} & & \text{чер.} \end{matrix}$$

$$G \quad \begin{matrix} \text{♀ } X^B & \text{♀ } X^b & \text{♂ } X^b & \text{♂ } Y \\ \text{♀ } X^B X^b & \text{♀ } X^b X^b & \text{♂ } X^B Y & \text{♂ } X^b Y \\ \text{череп.} & \text{чер.} & \text{рыж.} & \text{чер.} \end{matrix}$$

Ответ:

рыжие котята составят 25% от общего числа потомков, все они будут мужского пола, появление рыжих кошек невозможно.

**Задача №26.** Окраска оперения у кур обусловлена геном, локализованным в X-хромосоме. Доминантная аллель гена *R* обуславливает развитие полосатого оперения, в рецессивная аллель *r* – черного. При скрещивании полосатой курицы с черным петухом получено 46 цыплят. Сколько среди них будет черных? У кур гетерогаметен женский пол.

Оформление решения задачи

Дано:  
 $X^R$  – полосатое оперение  
 $X^r$  – черное оперение  
 $P \text{ ♀ } X^R Y \times \text{♂ } X^r X^r$   
 пол. чер.

Найти:  
 сколько черных в  $F_1$

Решение:

$$P \quad \begin{matrix} \text{♀ } X^R Y & \times & \text{♂ } X^r X^r \\ \text{пол.} & & \text{чер.} \end{matrix}$$

$$G \quad \begin{matrix} \text{♀ } X^R & \text{♀ } Y & \text{♂ } X^r & \text{♂ } X^r \\ \text{♂ } X^R X^r & \text{♂ } X^R X^r & \text{♀ } X^r Y & \text{♀ } X^r Y \\ \text{пол.} & \text{пол.} & \text{чер.} & \text{чер.} \end{matrix}$$

$\frac{1}{2}$  часть цыплят будут черными,  $46 \times \frac{1}{2} = 23$

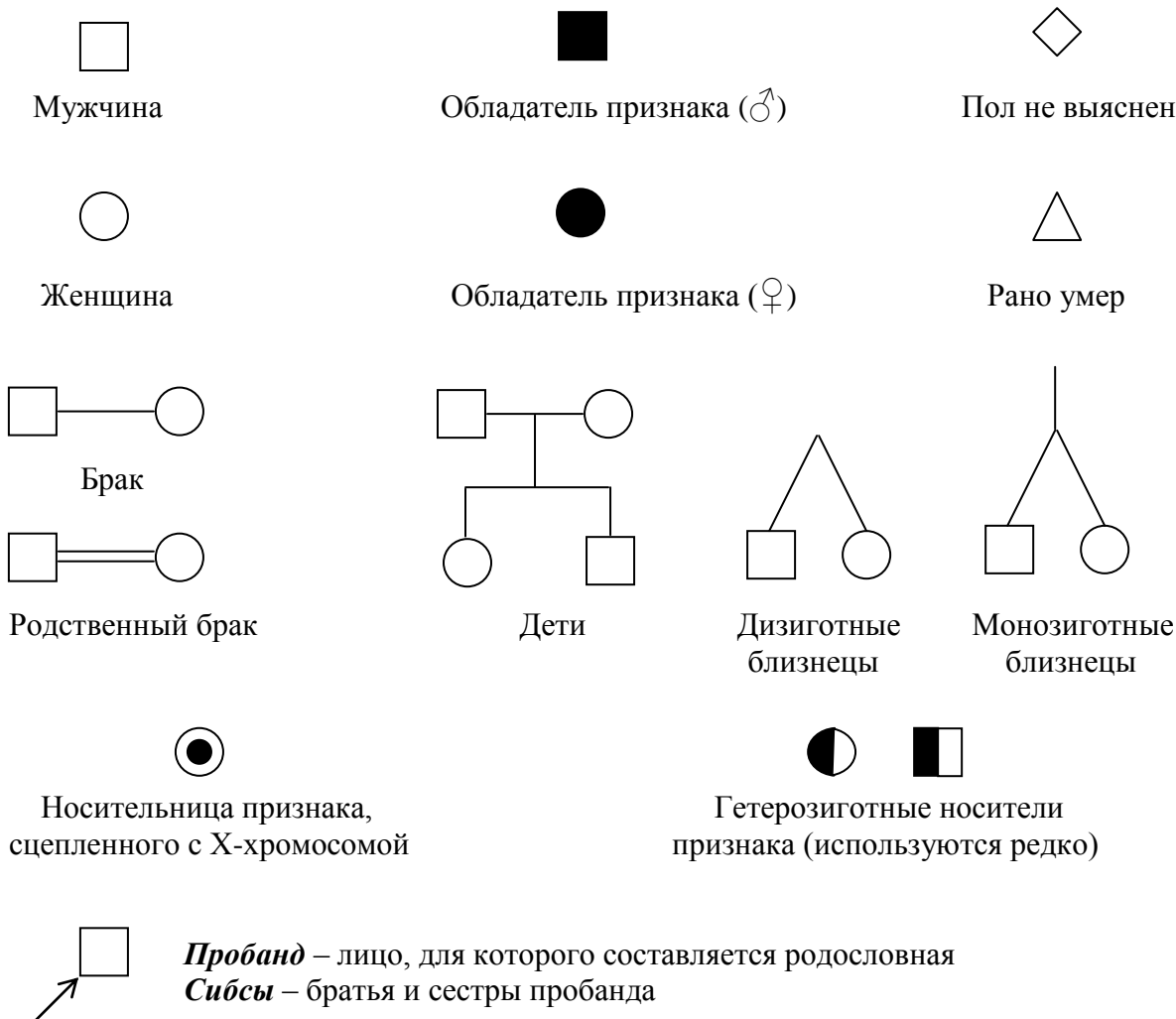
Ответ:

в  $F_1$  23 черных цыпленка

### 3.5. Анализ и составление родословных

Составление и анализ родословных являются основой генеалогического метода, который широко применяется для изучения наследования признаков у человека [12; 229].

#### Основные условные обозначения



#### Анализ родословных

Анализ родословных позволяет определить тип наследования признака и генотипы большинства членов родословной. Можно выделить основные черты разных типов наследования [3; 242].

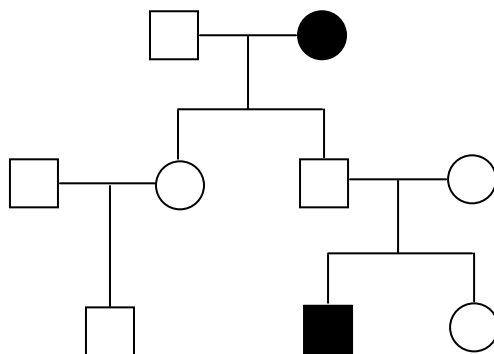
Таблица 4

#### Определение типа наследования признаков путем анализа родословных

Тип наследования	Частота встречаемости признака в ряду поколений	Частота встречаемости признака у ♀ и ♂	Вероятность проявления у потомства, если родитель обладает данным признаком
<b>Аутосомное наследование</b>			

<b>Аутосомно-доминантное</b>	Признак встречается часто, практически во всех поколениях.	Одинакова	100% или 50%
<b>Аутосомно-рецессивное</b>	Признак встречается редко, не во всех поколениях.	Одинакова	0% или 50%; может проявиться, если родители не обладают
<b>Наследование, сцепленное с полом</b>			
<b>X-доминантное</b>	Признак встречается часто, практически во всех поколениях.	Выше у ♀	1) ♀ $X^A X^A$ больна $\times$ ♂ $X^a Y$ здоров $\rightarrow$ в F проявляется у ♀ и ♂ 2) ♀ $X^A X^a$ здорова $\times$ ♂ $X^A Y$ болен $\rightarrow$ в F проявляется у ♀, у ♂ нет
<b>X-рецессивное</b>	Обычно признак проявляется через поколение.	Выше у ♂	1) ♀ $X^B X^b$ здорова $\times$ ♂ $X^B Y$ здоров $\rightarrow$ в F проявляется у 50% ♂ у ♀ нет 2) ♀ $X^B X^b$ здорова $\times$ ♂ $X^b Y$ болен $\rightarrow$ в F проявляется у 25% ♂ и у 25% ♀

**Задача №27.** По изображенной на рисунке родословной установите характер наследования признака. Определите генотип родителей и детей в первом поколении.



**Решение:**

Признак проявляется через поколение; частота проявления у ♀ и ♂ одинакова; признак не проявляется у потомков организмов, которые им обладали и проявляется у потомка организмов, которые им не обладали  $\rightarrow$  аутосомно-рецессивный тип наследования.

Генотипы родителей: ♀  $aa$  (проявляется признак), ♂  $A-$ , поскольку у потомков  $F_1$  признак не проявляется. Генотипы  $F_1$   $Aa$ , так как признак не проявляется.

**Ответ:**

- 1) аутосомно-рецессивный характер наследования признака;
- 2) генотипы  $P$  ♀  $aa$ , ♂  $A-$ ;
- 3) генотипы  $F_1$   $Aa$

### Составление родословных

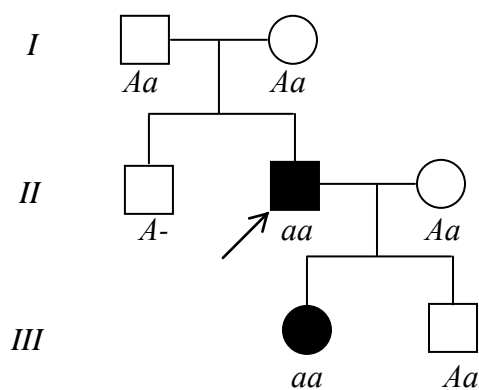
1. Составление родословной начинают с пробанда, размещая его таким образом, чтобы родословную можно было продолжать как вниз, так и вверх.
2. Каждое поколение родословной должно находиться на своем уровне. Для нумерации поколений используют римские цифры, для нумерации членов родословной – арабские.
3. На схеме родословной отмечают всех обладателей признака, при необходимости – носителей.
4. Указывают по возможности генотипы всех членов родословной.

**Задача №28.** Составить родословную мужчины-альбиноса, имеющего родителей и старшего брата с нормальной пигментацией кожи, который женат на женщине с нормальной пигментацией кожи. У них двое детей – дочь-альбинос и сын с нормальной пигментацией кожи.

Построение родословной начинаем с изображения пробанда, его брата и родителей, обозначаем обладателя признака. Затем рассматривает брак пробанда и фенотипы детей.

Определяем генотипы членов родословной. Анализ родословной позволяет сделать вывод о рецессивно-аутосомном типе наследования признака → пробанд имеет генотип  $aa$ , такой же генотип у его дочери-альбиноса. Родители пробанда, имеющие нормальную пигментацию кожи, являются гетерозиготами, так как их сын – альбинос. Генотип брата запишем как  $A-$ . Супруга пробанда несет ген альбинизма ( $Aa$ ), поскольку у дочери проявляется рецессивный признак. Генотип сына пробанда  $Aa$ .

Ответ:



## 4. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В МАТЕРИАЛАХ ЕГЭ ПО БИОЛОГИИ

### Задания части С

1. Генетические задачи традиционно включаются в часть С ЕГЭ (задание С6). Задания данного типа требуют свободного развернутого ответа и относятся к заданиям высокого уровня сложности.
2. Максимальный балл за решение задачи – 3.
3. Условие формулируется традиционным способом, в формулировке вопросов задачи всегда четко выделяется ряд элементов (3-4, реже 5).
4. Обычно в условии задачи содержится указание на необходимость записи **схемы решения задачи** («Составьте схему решения задачи»). Отсутствие подобного указания, тем не менее, предполагает наличие схемы решения, которая является подтверждением полученных результатов. Схема решения задачи оформляется традиционным способом (раздел 2.4). Схема может включать также краткую формулировку наиболее важных рассуждений, производимых в процессе решения задачи.
5. При выполнении заданий С6 ЕГЭ обязательное включение разделов «Дано» и «Найти» не требуется. Тем не менее, целесообразно придерживаться обычных правил оформления. Заполнение данных разделов позволит сконцентрироваться на условии задачи, понять суть вопросов, что будет способствовать успешному решению задачи.
6. Помимо составления схемы решения задачи, наиболее важным при выполнении заданий ЕГЭ является **запись ответа**. *Необходимо четко разграничить элементы ответа, при этом содержание каждого из элементов должно соответствовать одному из вопросов задачи.* Целесообразно произвести единую нумерацию вопросов и соответствующих элементов ответа.
7. При проверке задания С6 анализируется правильность решения (по представленной схеме), проверяется соответствие полученных ответов вопросам задачи, содержание каждого ответа путем сравнения с предложенными элементами верного ответа и указаниями к оцениванию [7; 205].

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (правильный ответ должен содержать следующие позиции)	
Элементы ответа: 1) 2) 3)	
Ответ правильный и полный, <u>включает все названные выше элементы ответа</u> , не содержит биологических ошибок	<b>3</b>
Ответ правильный, но неполный, <u>включает 2 из названных выше элементов ответа</u> , не содержит биологических ошибок	<b>2</b>

Ответ неполный, <u>включает 1 из названных выше элементов ответа</u> , возможны биологические неточности	<b>1</b>
Ответ неправильный	<b>0</b>
<b>Максимальный балл</b>	<b>3</b>

Необходимым условием успешного решения является анализ условия задачи, производимый в соответствии с этапами, предложенными в разделе 2.4. Именно анализ условия позволяет найти способ решения задачи и выработать план решения. Анализ условия проводится устно на этапе прочтения задачи.

Рассмотрим образцы анализа условия и решения некоторых типовых задач, наиболее часто встречающихся в материалах ЕГЭ.

**Задача №29. Отсутствие малых коренных зубов у человека наследуется как доминантный аутосомный признак. Определите генотипы и фенотипы родителей и потомства, если один из супругов имеет малые коренные зубы, а другой гетерозиготен по этому гену. Составьте схему решения задачи. Какова вероятность рождения детей с этим признаком?**

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - моногибридное (одна пара признаков);
- тип задачи - прямая (даны фенотипы родителей, определить генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, вероятность появления потомков с определенным фенотипом);
- тип наследования – аутосомное (есть информация в условии задачи);
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – I-II законы Менделя

#### Оформление решения задачи

<p>Дано:  A – отсутствие зубов  a – наличие зубов (норма)  P ♀ aa × ♂ Aa  норм. б/зубов</p>	<p>Решение:</p> $  \begin{array}{c}  P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \\ \text{aa} \\ \text{норм.} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{♂} \\ \text{Aa} \\ \text{б/зубов} \end{array} \\  G \quad \begin{array}{c} \text{a} \\ \text{A} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{a} \end{array} \\  F_1 \quad \begin{array}{c} \text{Aa} \\ \text{б/зубов} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{aa} \\ \text{норм.} \end{array}  \end{array}  $
<p>Найти:  1) генотипы и фенотипы P;  2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>;  3) вероятность F<sub>1</sub> без зубов</p>	<p>Ответ:  1) генотипы и фенотипы P:  ♀ aa - имеет малые коренные зубы, ♂ Aa – не имеет малых коренных зубов;  2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>:  Aa - не имеют малых коренных зубов, aa имеют малые коренные зубы;  3) вероятность рождения потомков без малых коренных зубов 50%.</p>



**Задача №30.** У кур простой (листовидный) гребень (а) рецессивен по отношению к розовидному (А), оперенные ноги (В) доминируют над голыми (b). Гены не сцеплены. Кур с листовидным гребнем и голыми ногами скрестили с дигетерозиготным петухом, имеющим розовидный гребень и оперенные ноги. Составьте схему решения задачи. Определите генотип родителей, генотип и фенотип гибридов первого поколения, число потомков с генотипом матери (в %).

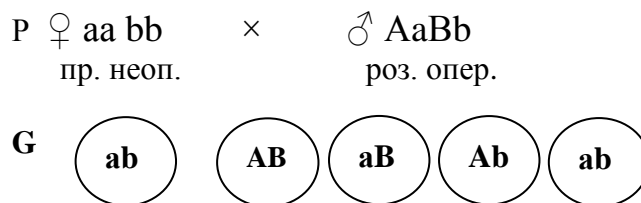
Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - дигибридное (две пары признаков);
- тип задачи - прямая (даны фенотипы родителей, определить генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, вероятность появления потомков с определенным фенотипом);
- тип наследования – независимое (есть информация в условии задачи);
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – III закон Менделя

Оформление решения задачи

Дано:  
 А – розовидный гребень  
 а – простой гребень  
 В – оперенные ноги  
 в – неоперенные ноги  
 Гены не сцеплены  
 P ♀ aabb × ♂ AaBb  
 пр. неоп. роз. опер.

Решение:



F<sub>1</sub>

	AB	aB	Ab	ab
ab	AaBb роз. опер.	aaBb пр. опер.	Aabb роз. неоп.	aabb пр. неоп.

Найти:

- 1) генотипы P;
- 2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>;
- 3) число F<sub>1</sub> с генотипом ♀ в %

Ответ:

- 1) генотипы P ♀ aabb, ♂ AaBb;
- 2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>  
 розовидный гребень - оперенные ноги AaBb,  
 простой гребень – оперенные ноги aaBb,  
 розовидный гребень – неоперенные ноги Aabb,  
 простой гребень – неоперенные ноги aabb;
- 3) генотип материнского организма aabb имеют 25 % потомков первого поколения

**Задача №31.** Дигетерозиготное растение гороха с гладкими семенами, имеющее усики, скрестили с растением с морщинистыми семенами, у которого усиков не было. Известно, что оба доминантных гена (гладкие семена и наличие усиков) локализованы в одной хромосоме, кроссинговер не происходит. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, фенотипы и генотипы потомства, соотношение особей с разными генотипами и фенотипами. Какой закон при этом проявляется?

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - дигибридное (две пары признаков);
- тип задачи - прямая (даны фенотипы родителей, определить генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, соотношение различных генотипов и фенотипов);
- тип наследования – сцепленное (есть информация в условии задачи), сцепление полное, кроссинговер не идет;
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – закон Моргана

Оформление решения задачи

Дано:  
 А – гладкие семена  
 а – морщинистые семена  
 В – наличие усиков  
 в – нет усиков  
 Гены сцеплены, кроссинговер не происходит  
 P ♀ AaBb × ♂ aabb  
 гл. ус. м. б/ус.

Найти:  
 1) генотипы P;  
 2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>;  
 3) соотношение генотипов и фенотипов в F<sub>1</sub>;  
 4) название закона

Решение:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{P} & \begin{array}{c} \text{♀} \\ \hline \text{A B} \\ \hline \text{a b} \end{array} & \begin{array}{c} \text{♂} \\ \hline \text{a b} \\ \hline \text{a b} \end{array} \\
 & \text{гл. ус.} & \text{м. б/ус.} \\
 \\
 \text{G} & \begin{array}{c} \text{A B} \\ \hline \text{a b} \end{array} & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \text{a b} \end{array} \\
 \\
 \text{F}_1 & \begin{array}{c} \text{A B} \\ \hline \text{a b} \end{array} & \begin{array}{c} \text{a b} \\ \hline \text{a b} \end{array} \\
 & \text{гл. ус.} & \text{м. б/ус.}
 \end{array}$$

Ответ:

- 1) генотипы P ♀ AaBb, ♂ aabb;
- 2) генотипы и фенотипы F<sub>1</sub>  
 гладкие семена – есть усики **AaBb**,  
 морщинистые семена – нет усиков **aabb**;
- 3) соотношение генотипов и фенотипов F<sub>1</sub> 1:1;
- 4) закон Моргана (закон сцепленного наследования генов)

**Задача №32.** У здоровой матери, не являющейся носителем гена гемофилии, и больного гемофилией отца (рецессивный признак - h) родились две дочери и два сына. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, генотипы потомства, соотношение генотипов и фенотипов, если признак свертываемости крови сцеплен с полом.

Проведем анализ условия задачи:

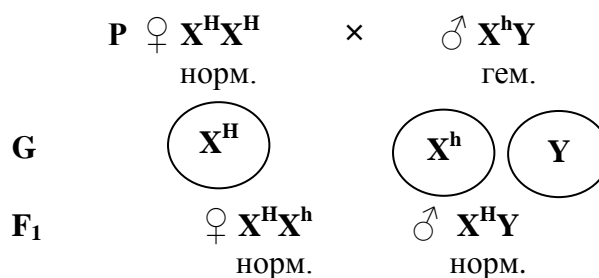
- тип скрещивания - моногибридное (одна пара признаков);
- тип задачи - прямая (даны фенотипы родителей, определить генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, соотношение различных генотипов и фенотипов);
- тип наследования – сцепленное с полом (есть информация в условии задачи);
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – наследование признаков, сцепленных с полом.

Оформление решения задачи

Дано:  
 Н - нормальная  
 свертываемость крови  
 h – гемофилия  
 Признак сцеплен с  
 полом  
 P ♀ X<sup>H</sup>X<sup>H</sup> × ♂ X<sup>h</sup>Y  
 норм. гем.  
 F<sub>1</sub> 2 ♀ и 2 ♂

Найти:  
 1) генотипы P;  
 2) генотипы F<sub>1</sub>;  
 3) соотношение  
 генотипов и  
 фенотипов F<sub>1</sub>

Решение:



Ответ:

- 1) генотипы P ♀ X<sup>H</sup>X<sup>H</sup>, ♂ X<sup>h</sup>Y;
- 2) генотипы и F<sub>1</sub> ♀ X<sup>H</sup>X<sup>h</sup>, ♂ X<sup>H</sup>Y;
- 3) обе дочери имеют нормальную свертываемость крови, являются носителями гена гемофилии, оба сына имеют нормальную свертываемость крови (расщепление по генотипу и фенотипу 1:1).

**Задания части А**

1. Задания части А требуют выбора одного ответа из четырех, относятся к заданиям базового или повышенного уровня сложности.
2. Содержание заданий части А разнообразно и требует как знания генетической терминологии и символики, так и навыков решения классических задач [19; 183].
3. Решение задач части А можно проводить традиционным способом. Задача решается на черновике, на основании чего выбирается верный ответ из четырех предложенных.
4. При наличии сформированных навыков решения задач различных типов возможно устное выполнение задания.
5. Многие задания части А составлены таким образом, что ответ на вопрос задачи может быть известен (расщепление при моногибридном скрещивании) или получен путем рассуждения (определение генотипов родителей по генотипу/фенотипу потомков). В этом случае решение задачи может служить лишь проверкой правильности ответа и выполняться при наличии времени.

Рассмотрим варианты выполнения некоторых заданий, наиболее типичных для части А. Одни из них выполнены традиционным способом (№33, 34), некоторые – с учетом замечаний п.5 (№35,36). Анализ условия задачи производится устно на этапе прочтения, при сформированных навыках решения занимает несколько секунд.

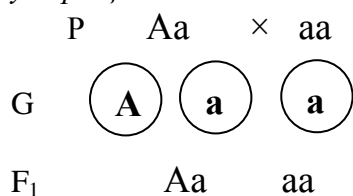
**Задача №33.** При скрещивании гетерозиготной особи с гомозиготной в  $F_1$  доля гетерозигот составит

1)25%                      2)50%                      3)75%                      4)100%

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - моногибридное (одна пара генов);
- тип задачи - прямая (даны генотипы родителей, определить вероятность появления потомков с определенным генотипом);
- тип наследования – аутосомное (отсутствуют указания на другие типы наследования);
- тип взаимодействия генов (не имеет определяющего значения для решения задачи) – полное доминирование (отсутствуют указания на другие типы взаимодействия);
- закономерность – I-II закон Менделя.

Запишем схему скрещивания:



Доля гетерозигот составила 50%. **Верный ответ – 2.**

**Задача №34.** В браке женщины с большими глазами и прямым носом и мужчины с маленькими глазами и римским носом родились четверо детей, половина из которых имела большие глаза и половина - римский нос. Определите генотип матери, если большие глаза (A) и римский нос (B) – доминантные признаки.

1)Aabb                      2)AaBB                      3)AABB                      4)AaBb

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - дигибридное (две пары признаков);
- тип задачи - обратная (даны фенотипы родителей, расщепление среди потомков, определить генотип матери);
- тип наследования – независимое (отсутствуют указания на другие типы наследования)
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – III закон Менделя

Дано:

A – большие глаза  
 a – маленькие глаза  
 B – римский нос  
 b – прямой нос  
 P ♀ большие глаза,  
 прямой нос × ♂  
 маленькие глаза,  
 римский нос  
 F<sub>1</sub> - 4, большие глаза и  
 римский нос - 2

Решение:

P ♀ A- bb                      ×                      ♂ aaB-  
 бол. пр.                      мал. рим.

Расщепление в потомстве по первому признаку 1:1, генотип ♂  
 aa → генотип ♀ Aa.

Расщепление в потомстве по второму признаку 1:1, генотип ♀  
 bb → генотип ♂ Bb.

P ♀ Aa bb                      ×                      ♂ aaBb  
 бол. пр.                      мал. рим.



Найти:

генотип ♀

		F <sub>1</sub>	
		aB	ab
Ab		AaBb бол. рим.	Aabb бол. пр.
ab		aaBb мал. рим.	aabb мал. пр.

Ответ: генотип матери Aabb

**Верный ответ – 1.**

**Задача №35. Определить генотипы родителей, если при скрещивании двух морских свинок с черной шерстью (доминантный признак) получено потомство, среди которого особи с белой шерстью составили 25%.**

1) AA × Aa                      2) Aa × AA                      3) Aa × Aa                      4) AA × AA

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - моногибридное (одна пара признаков);
- тип задачи - обратная (даны фенотипы родителей, расщепление среди потомков, определить генотипы родителей);
- тип наследования – аутосомное (отсутствуют указания на другие типы наследования);
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – I-II закон Менделя.

Доля потомства с белой шерстью - 1/4, то есть расщепление в потомстве 3:1. Генотипы родительских особей Aa × Aa. **Верный ответ – 3.**

**Задача №36. Цвет глаз у человека определяет аутосомный ген, дальтонизм – рецессивный ген, сцепленный с полом. Определите генотип кареглазой женщины с нормальным цветовым зрением, отец которой – дальтоник (кареглазость доминирует над голубоглазостью).**

1) AA X<sup>D</sup>X<sup>D</sup>                      2) Aa X<sup>d</sup>X<sup>d</sup>                      3) Aa X<sup>D</sup>X<sup>d</sup>                      4) aa X<sup>D</sup>X<sup>d</sup>

Проведем анализ условия задачи:

- тип скрещивания - дигибридное (две пары признаков);
- тип задачи - прямая (дан фенотип отца, определить генотип потомка);
- тип наследования – аутосомное по первой паре признаков, сцепленное с полом – по второй (есть информация в условии задачи);
- тип взаимодействия генов – полное доминирование (есть информация в условии задачи);
- закономерность – I-II закон Менделя и закономерности наследования признаков, сцепленных с полом.

Рассмотрим первую пару признаков. Женщина имеет карие глаза, генотип родителей неизвестен → генотип женщины A-

Рассмотрим вторую пару признаков. Женщина имеет нормальное цветовое зрение → хотя бы один ген D. Ее отец – дальтоник с генотипом X<sup>d</sup>Y → второй ген обязательно d.

Генотип ♀ A-X<sup>D</sup>X<sup>d</sup>

**Верный ответ – 3.**

## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

### Составление задач

Обучение составлению генетических задач является одним из необходимых условий эффективного формирования навыка решения задачи. При этом неотъемлемой частью деятельности по составлению задач является их решение. Именно в процессе решения выявляются как серьезные погрешности, так и небольшие неточности, допущенные при формулировке условия задачи.

Возможности процедуры составления задачи достаточно велики:

- прогнозирование основных этапов решения задачи, более глубокое понимание их содержания;
- моделирование этапа анализа задачи при ее составлении;
- освоение генетической терминологии и символики, проникновение в сущность генетических понятий путем их использования;
- формирование умения применять генетические закономерности при рассмотрении наследования признаков у конкретных биологических объектов;
- обеспечение более полного понимания сущности закономерностей наследования признаков;
- развитие информационно-коммуникативной культуры учащихся, формирование навыков письменной речи

Составлению задач должно предшествовать знание основных законов наследственности, а также специфических особенностей прямой и обратной задачи. Это не исключает возможность составления простейших задач уже на этапе изучения I и II законов Менделя. При наличии необходимых условий можно использовать составление задач при изучении любого раздела генетики.

При составлении задач необходимо особое внимание обращать на грамотность и точность формулировок, как с точки зрения биологии, так и с точки зрения русского языка. Наибольшую трудность в этом отношении представляют задачи, касающиеся человека, поскольку при их составлении используется иная лексика, обеспечивающая корректность выражений.

Следует также подробнее остановиться на составлении особой группы задач, речь в которых идет о несуществующих организмах (драконах, русалках, хрунявчиках и т.п.). Использование подобных задач является целесообразным, поскольку позволяет проникнуть в самую сущность генетической закономерности, применив ее к

наследованию признаков придуманных организмов. Тем не менее, при составлении фантастических задач и при использовании готовых, которых в настоящее время достаточно много, необходимо проявлять разумную осторожность. Следует придерживаться ряда основных правил.

1. Не рекомендуется использовать задания, связанные с составлением фантастических задач, на начальных этапах обучения решению.
2. В задачах подобного рода речь должна идти только о несуществующих организмах, поскольку характер наследования признаков у реальных организмов, строго определен, произвольные манипуляции с признаками биологических объектов недопустимы.
3. Придумав организм, необходимо выделить рассматриваемые признаки – одну или более пар, определить характер их наследования, тип взаимодействия генов.
4. При формулировке вопросов задачи необходимо учесть характер наследования признака, закономерность, которую будет иллюстрировать задача, содержание исходных данных.

Приведем несколько примеров заданий на составление задач.

***Задача №37. Составить и решить прямую задачу, используя следующую информацию: у человека наличие веснушек – доминантный признак, отсутствие – рецессивный.***

***Задача №38. Составить и решить обратную задачу, используя следующую информацию: у крупного рогатого скота отсутствие рогов (комолость) и черная шерсть – доминантные признаки, наличие рогов и красная шерсть – рецессивные. Признаки наследуются независимо.***

***Задача №39. Составить и решить прямую задачу, используя следующую информацию: у человека отсутствие потовых желез определяется рецессивным геном, локализованным в X-хромосоме.***

***Задача №40. Составить и решить прямую задачу, используя следующую информацию: у мыши крючковатый нос – доминантный признак, прямой – рецессивный.***

***Задача №41. Придумайте фантастический организм и составьте задачу на наследование у него двух пар признаков (обязательно определите, какие из признаков являются доминантными).***

### Решение фантастических задач

Использование задач, в которых речь идет о несуществующих организмах и их признаках, является, как уже отмечалось, целесообразным, поскольку позволяет глубже понять суть законов наследственности. Основные правила использования подобных задач перечислены в предыдущем разделе. Рассмотрим несколько конкретных примеров, в которых учтены все требования, предъявляемые к фантастическим задачам.

**Задача №42. Трудлюбивый муравей, женившись на ленивой стрекозе, надеялся, что их потомство будет помогать ему вести домашнее хозяйство. Оправдаются ли надежды муравья, если лень – доминантный признак, а его супруга – гомозигота?**

#### Оформление решения задачи

Дано:

A – лень

a – трудолюбие

P ♀ AA × ♂ aa  
лен. труд.

Найти:

вероятность

трудолюбивых F<sub>1</sub>

Решение:

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

Ответ:

все потомки окажутся ленивыми, и муравей по-прежнему будет трудиться один

**Задача №43. Желтолицый Чипполино, преодолев сопротивление и предрассудки богатых фруктов, женился на краснолицой Вишенке. Молодожены лили слезы радости – луковые горькие и вишневые сладкие. Желтое лицо и горькие слезы – доминантные признаки. Какие признаки будут иметь потомки Чипполино и Вишенки, если их папа гетерозиготен?**

#### Оформление решения задачи

Дано:

A – желтое лицо

a – красное лицо

B – горькие слезы

b – сладкие слезы

P ♀ aa bb × ♂ AaBb  
кр. сл. жел. г.

Найти:

фенотипы F<sub>1</sub>

Решение:

P ♀ aa bb × ♂ AaBb  
кр. сл. жел. г.  
G (ab) (AB) (aB) (Ab) (ab)  
F<sub>1</sub>

	AB	aB	Ab	ab
ab	AaBb жел. г.	aaBb кр. г.	Aabb жел. сл.	aabb кр. сл.

Ответ:

потомки будут иметь фенотипы четырех видов  
желтое лицо – горькие слезы,  
красное лицо – горькие слезы,  
желтое лицо – сладкие слезы,  
красное лицо – сладкие слезы.



**Задача №44.** *Василиса Прекрасная, она же – Василиса Премудрая полюбила самого красивого молодца в округе – Иванушку-дурачка и вышла за него замуж. Будут ли среди ее детей такие же, как мать, если отец Ивана отличался умом, а это – рецессивный признак, так же, как и красота.<sup>1</sup>*

Оформление решения задачи

<p>Дано:          А – глупость          а – ум          В – невзрачность          в – красота          Р ♀ ум кр. × ♂ гл. кр.          Отец Р ♂ ум (aa)</p>	<p>Решение:</p> $  \begin{array}{ccc}  \text{Р } \text{♀ } aa\ bb & \times & \text{♂ } Aabb \\  \text{ум. кр.} & & \text{гл. кр.} \\  \\  \text{G} & \text{ab} & \text{Ab} \quad \text{ab} \\  \\  \text{F}_1 & Aabb & aabb \\  & \text{гл. кр.} & \text{ум. кр.}  \end{array}  $
<p>Найти:          вероятность F<sub>1</sub> умные и красивые</p>	<p>Ответ:          половина детей Василисы и Иванушки унаследуют ум и красоту матери.</p>

Приведем несколько примеров подобных задач, составленных учащимися.

**Задача №45.** *У русалок ген А отвечает за зеленый хвост, ген а – за серебристый хвост, ген В определяет развитие золотых волос, ген в – красных волос. Можно ли ожидать появления в семье русалок ребенка с серебристым хвостом и красными волосами, если у матери зеленый хвост и золотые волосы (гомозигота по второму признаку), а у отца зеленый хвост и красные волосы (гетерозигота по первому признаку).*

**Задача №46.** *Желтобрюхие импуки с фиолетовыми ушами женятся исключительно на синеврохих импуканках, имеющих красные уши. Определить, какой процент детей будет похож на папу, если желтое брюхо и фиолетовые уши – доминантные признаки.*

**Задача №47.** *У лунатика наличие крылышек определяется доминантным геном А (летален в гомозиготном состоянии), наличие третьего глаза определяется доминантным геном В. В присутствии генов А и В в генотипе лунатика организм приобретает новый признак – начинает излучать свет. Определить генотипы и фенотипы потомков, полученных при скрещивании двух дигетерозигот.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Автором представленных задач является Н.М. Кочмарик, учитель биологии МОУ «Общеобразовательная Октябрьская средняя школа №2» Устьянского района Архангельской области

<sup>2</sup> Задачи составлены учащимися МОУ «Средняя общеобразовательная школа №6» г. Вологды.

### Использование иллюстраций при решении задач

Традиционно при решении генетических задач, особенно на начальных этапах работы, применяются рисунки организмов, наследование признаков которых рассматривается в задаче. Использование подобного приема позволяет наглядно представить фенотипы родительских организмов и их потомков, продемонстрировать соотношение между разными фенотипами [10; 49]. Тем не менее, применение иллюстраций для решения задач имеет ряд серьезных ограничений.

1. Иллюстрации информативны только в случае признаков, наглядно проявляющихся в фенотипе особи (окраска шерсти у животных, форма плодов у растений и т.п.).
2. Часто иллюстрации не дают полной информации о характере наследования признаков (например, о наличии сцепления с полом).
3. Использование иллюстраций предполагает такое их качество, которое обеспечит однозначное толкование фенотипического проявления того или иного признака.
4. Наиболее перспективным является использование, наряду с иллюстрациями на бумажных носителях, электронных иллюстраций, которые предоставляют более широкие возможности для формирования навыков решения задач.

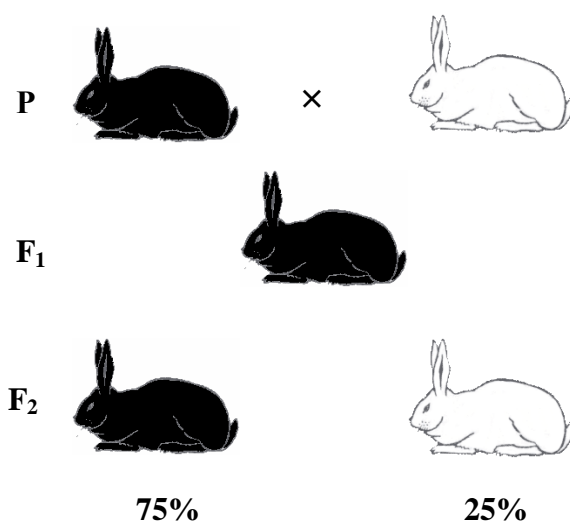
Приведем классический пример использования иллюстраций для решения задачи.

**Задача №47. Рассмотрите рисунки.**

**Какая окраска шерсти у кроликов доминирует?**

**Определите генотипы родительских организмов, потомков первого и второго поколения.**

**Какие генетические закономерности проявляются при наследовании окраски шерсти у кроликов?**



## 6. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

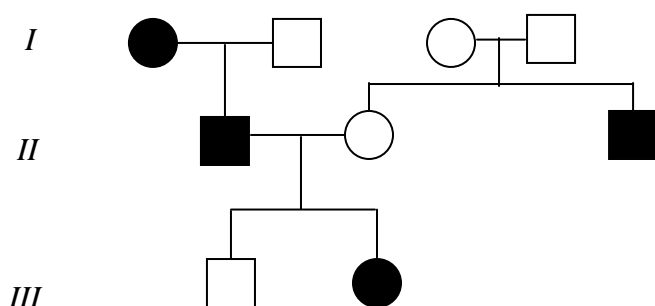
1. У томата гладкая кожица плодов доминирует над опушенной. Гомозиготное растение с гладкими плодами скрещивают с растением, имеющим опушенные плоды. В  $F_1$  получили 56 растений, в  $F_2$  496. Сколько растений  $F_1$  могут быть гетерозиготными? Сколько растений  $F_2$  могут иметь гладкие плоды? Сколько разных генотипов образуется в  $F_2$ ?
2. У ячменя раннеспелость доминирует над позднеспелостью. Растения  $F_1$  были опылены пыльцой позднеспелых растений. Получили 205 потомков. Сколько различных генотипов и фенотипов среди них? Сколько среди потомков раннеспелых растений?
3. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Какого цвета глаза могут быть у детей кареглазых мужчины и женщины?
4. У капусты устойчивость к мучнистой росе доминирует над восприимчивостью. Скрещивают гомозиготное растение, устойчивое к мучнистой росе, с восприимчивым растением. Какая часть гибридов  $F_2$  окажется устойчивой к заболеванию? Ответ дайте в процентах и долях единицы.
5. Полидактилия у человека наследуется как доминантный признак. Мать – шестипалая. Отец и сын имеют нормальное число пальцев. Какова вероятность рождения в этой семье шестипалого ребенка? Какова вероятность рождения здорового ребенка?
6. У каракульских овец серая окраска меха – доминантный признак, черная – рецессивный, доминантная гомозигота погибает на эмбриональных стадиях развития. При скрещивании серых овец с серыми баранами получены 93 ягненка. Сколько ягнят имеют серый мех? Сколько получено черных ягнят? Сколько ягнят всего должно было родиться?
7. У томатов нормальная высота растений доминирует над карликовостью. Определите генотипы скрещиваемых растений, если расщепление по этим признакам в потомстве составляет 3:1.
8. У коров черная окраска шерсти доминирует над красной. При скрещивании красного быка с черной коровой Зорькой родились только черные телята. При скрещивании того же быка с черной коровой Майкой в течение нескольких лет получено 3 черных и три красных теленка. Определить генотипы быка и коров.
9. У собак черная окраска шерсти доминирует над коричневой. При скрещивании коричневой самки с черным самцом в нескольких пометах получено 14 щенят,

- половина из них имеют черную, половина – коричневую шерсть. Определите генотипы родительских организмов.
10. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. У кареглазых родителей голубоглазая дочь. Определит генотипы родителей. Какой цвет глаз могут иметь внуки, если дочь выйдет замуж за гомозиготного кареглазого мужчину?
  11. У андалузских кур доминантные гомозиготы имеют черное оперение, рецессивные гомозиготы – белое, гетерозиготы – голубое оперение. Какова вероятность получения черных цыплят при скрещивании петуха и курицы с голубым оперением?
  12. Желтая морская свинка при скрещивании с белой всегда дает кремовых потомков. При скрещивании кремовых морских свинок между собой 50% потомков имеет кремовую шерсть, 25% – желтую шерсть и 25% - белую шерсть. Определите характер наследования признака. Могут ли появиться кремовые морские свинки при скрещивании двух желтых?
  13. У флоксов белая окраска цветка и плоская форма цветка наследуются как несцепленные аутосомно-доминантные признаки. Рecessивные гены обуславливают кремовую окраску и воронковидную форму венчика. Скрещивали гомозиготные растения, имеющие белый венчик плоской формы с растениями, имеющими кремовый венчик воронковидной формы. В первом поколении получено 90 растений, во втором – 556. Сколько растений в  $F_1$  могут иметь кремовые воронковидные цветки? Сколько растений в  $F_2$  будут дигетерозиготными? Сколько растений с кремовыми воронковидными цветками будет в  $F_2$ ?
  14. У пшеницы безостость доминирует над остистостью, а красная окраска колоса над белой. Определить соотношение фенотипов потомков, полученных при скрещивании дигетерозиготного безостого растения с красным колосом и остистого растения с белым колосом.
  15. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым, а способность лучше владеть правой рукой – над леворукостью. Голубоглазый правша, гетерозиготный по второму признаку, женился на кареглазой левше, гетерозиготной по первому признаку. Каких детей можно ожидать от этого брака?
  16. Жесткие волосы и наличие веснушек и человека наследуются как несцепленные аутосомно-доминантные признаки, мягкие волосы и отсутствие веснушек – аутосомно-рецессивные. Женщина с мягкими волосами и веснушками (гетерозигота) выходит замуж за гомозиготного мужчину с жесткими волосами и

- без веснушек. Какова вероятность рождения ребенка с мягкими волосами? Какова вероятность рождения ребенка с веснушками?
17. У гороха желтая окраска семян доминирует над зеленой, а гладкая поверхность семян над морщинистой. Растения гороха, полученные из желтых морщинистых семян, опылены пыльцой растения, полученного из зеленых гладких семян. Половина семян гибридных растений были желтыми гладкими, половина – зелеными гладкими. Определить генотипы родительских растений.
  18. У пшеницы безостость доминирует над остистостью, а красная окраска колоса над белой. Безостое растение с белым колосом скрещивают с остистым растением с красным колосом, в потомстве получено 28 безостых растений с красным колосом и 26 безостых растений с белым колосом. Определить генотипы родителей.
  19. У родителей со свободной мочкой уха и треугольной ямкой на подбородке родился ребенок со сросшейся мочкой уха и гладким подбородком. Определите генотипы родителей, первого ребенка, фенотипы других возможных потомков. Признаки наследуются независимо.
  20. Альбинизм и фенилкетонурия наследуются у человека как рецессивные аутосомные признаки. В семье отец – альбинос и болен фенилкетонурией, а мать дигетерозиготна по этим генам (гены, определяющие эти признаки, расположены в разных парах аутосом). Определите генотипы родителей, возможного потомства, вероятность рождения полностью здоровых детей, вероятность рождения детей, больных фенилкетонурией.
  21. У человека имеется две формы слепоты, каждая из которых определяется своим рецессивным аутосомным геном, гены локализованы в разных парах хромосом. Какова вероятность рождения зрячего ребенка, если его родители слепые (слепота вызвана разными генами, по другому гену родители гетерозиготны)?
  22. У мышей черная окраска тела доминирует над коричневой. Длина хвоста определяется доминантным геном, доминантные гомозиготы имеют хвост нормальной длины, гетерозиготы – укороченные хвосты, рецессивные гомозиготы – погибают на эмбриональных стадиях развития. Какое потомство можно ожидать от скрещивания ♀AaBb × ♂AABb?
  23. У кукурузы рецессивные гены, определяющие развитие скрученных листьев и карликовости, наследуются сцеплено. Скрещивали два гомозиготных растения – растение, имеющее нормальные листья и карликовый рост, и растение нормального роста со скрученными листьями. Определить фенотипы потомков от анализирующего скрещивания полученных гибридов (кроссинговер происходит).

24. У дрозофилы гены, обуславливающие длину крыльев и ног, локализованы в одной хромосоме. От скрещивания мух, имеющих короткие крылья и нормальные ноги, с мухами, имеющими нормальные крылья и короткие ноги, получили потомков, имеющих нормальные крылья и ноги. Определите, какое по фенотипу потомство можно получить от возвратного скрещивания гибридов с материнской особью (кроссинговер не происходит).
25. У кроликов пятнистая шерсть доминирует над сплошной, а короткая над длинной. При скрещивании пятнистой длинношерстной самки, гетерозиготной по первому признаку, с дигетерозиготным самцом, получили в нескольких пометах 24 крольчонка. Сколько потомков имеют сплошную окраску и длинную шерсть, сколько среди крольчат короткошерстных? Гены наследуются сцепленно, кроссинговер не идет.
26. У человека отсутствия потовых желез наследуется как рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой (наличие потовых желез – доминантный признак). Гетерозиготная здоровая женщина вышла замуж за здорового мужчину. Какова вероятность рождения в этом браке мальчиков без потовых желез? Могут ли родиться девочки без потовых желез?
27. У кошек ген В, отвечающий за окраску шерсти, сцеплен с полом. Доминантная аллель гена определяет рыжую окраску шерсти, рецессивная – черную, гетерозигота имеет черепаховую окраску шерсти. У черепаховой кошки родились черепаховый и рыжий котенок женского пола. Определите фенотип и генотип отца.
28. У дрозофилы гены, определяющие цвет глаз, локализованы в X-хромосоме, красный цвет глаз доминирует над белым. Определить вероятность получения потомства с белыми глазами от скрещивания белоглазой самки с красноглазым самцом.
29. У кур встречается сцепленный с полом летальный ген (а), вызывающий гибель эмбрионов, гетерозиготы по этому гену жизнеспособны. Скрестили нормальную курицу с гетерозиготным по этому гену петухом. Определите соотношение по полу среди выживших цыплят. У птиц гетерогаметен женский пол.
30. У человека отсутствие потовых желез наследуется как сцепленный с полом рецессивный признак, альбинизм – как аутосомный рецессивный. Родители здоровы, у сына – отсутствие пигментации и потовых желез. Определить вероятность рождения здорового сына.

31. У человека гипертрихоз (повышенное оволосение ушной раковины) наследуется как рецессивный, сцепленный с Y-хромосомой признак. Каких детей можно ожидать от брака мужчины с гипертрихозом и нормальной женщины?
32. У человека геморрагический диатез определяется рецессивным геном, аллели которого локализованы в X и Y-хромосоме. Определите возможные генотипы и фенотипы детей, если мать здорова (гомозигота), отец болен (гомозигота).
33. На рисунке изображена схема родословной семьи, некоторые члены которой имеют рыжие волосы. Определите характер наследования признака и генотипы всех членов семьи.



34. Мужчина нормального роста имеет сестру, страдающую одной из форм карликовости. Мать мужчины здорова, отец болен, дедушка по линии отца – карлик, бабушка здорова. Отец имеет двух здоровых сестер, сестру и брата - карликов. Сестра-карлик замужем за мужчиной-карликом, имеет сына нормального роста. Брат-карлик женат на здоровой женщине, у них две нормальные дочери и сын-карлик. Постройте схему родословной, определите генотипы всех членов семьи.
35. Мать и отец мужчины, больного гемофилией, имеют нормальную свертываемость крови. Дедушка со стороны матери страдает гемофилией, бабушка здорова. В семье отца больных гемофилией нет. От брака с женщиной, имеющей нормальную свертываемость крови, мужчина имеет четырех детей: двух здоровых дочерей, одного здорового сына и сына, больного гемофилией. Постройте схему родословной, определите генотипы всех членов семьи.





**Использование схемы гомологичных хромосом  
для определения типов гамет, образуемых организмами**

**Моногибридное скрещивание**

**Вариант 1.** В этом случае допускается существенное упрощение: хромосома рассматривается как единое целое, тот факт, что на последних этапах мейоза она состоит из двух хроматид, не учитывается. При изучении биологии на базовом уровне данное упрощение допустимо и оправданно, поскольку не искажает сущность механизма наследования признаков, одновременно обеспечивая возможность их понимания.

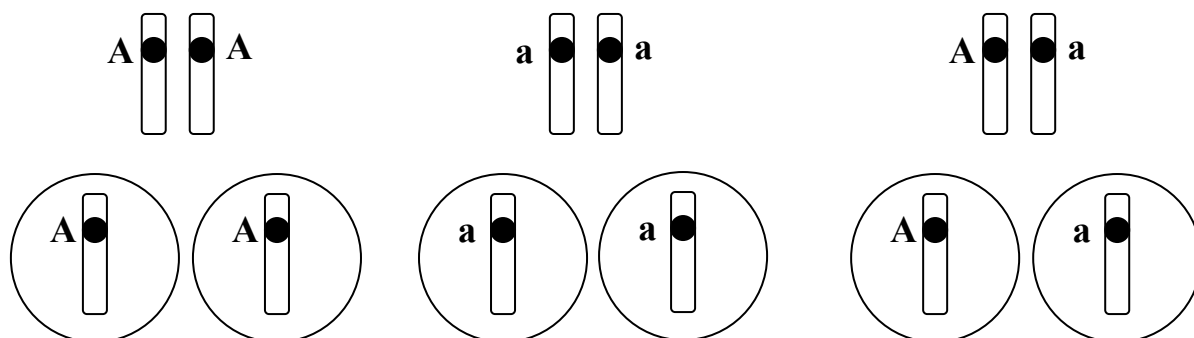
Данная схема наглядно демонстрирует тот факт, что при образовании гамет в каждую из них попадает одна гомологичная хромосома из пары и один аллельный ген. Все гаметы гомозиготного организма при этом одинаковы (один тип гамет), гетерозиготный организм образует несколько типов гамет.

Генотипы

Доминантная гомозигота (AA)

Рецессивная гомозигота (aa)

Гетерозигота (Aa)



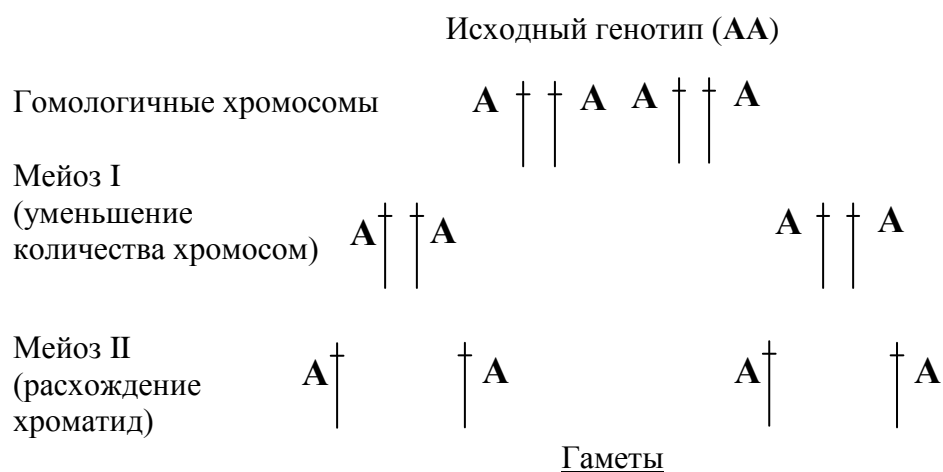
Гаметы

Один тип гамет (A)

Один тип гамет (a)

Два типа гамет (A,a)

**Вариант 2.** Второй вариант схемы предполагает изображение хромосом, состоящих из двух хроматид [17; 47]. В этом случае образование гамет гомозиготного и гетерозиготного организмов будет выглядеть следующим образом.



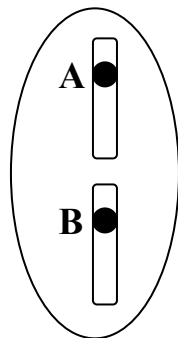
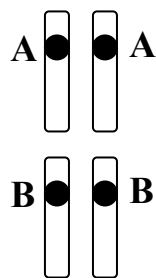
Данная схема более полно отражает сущность процесса мейотического деления, наглядно демонстрирует образование одного типа гамет у гомозиготного и нескольких типов гамет у гетерозиготного организма. Существенным недостатком схемы является усложнение при переходе к изучению дигибридного скрещивания, что затрудняет ее использование.

## Дигибридное скрещивание

При определении типов гамет организмов, различающихся по двум парам признаков, целесообразно использовать первый вариант схемы гомологичных хромосом. Допуская определенные упрощения, касающиеся механизмов процесса мейоза, схема наглядно иллюстрирует поведение двух пар аллельных генов, расположенных в разных парах гомологичных хромосом. Схема позволяет также отразить возможность произвольной ориентации пар хромосом в профазе I мейоза, ведущей к образованию четырех типов гамет у дигетерозиготного организма.

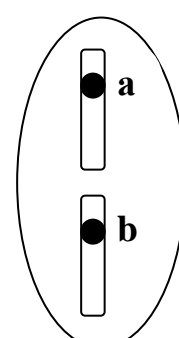
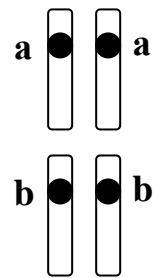
Рассмотрим особенности использования схемы на примере гомогиготных организмов и дигетерозиготы.

Генотип (**AABB**)



**AB**

Генотип (**aabb**)



**ab**

Гаметы

Генотип (AaBb)

В результате произвольной ориентации пар хромосом в профазе I мейоза возможны 2 варианта расположения хромосом

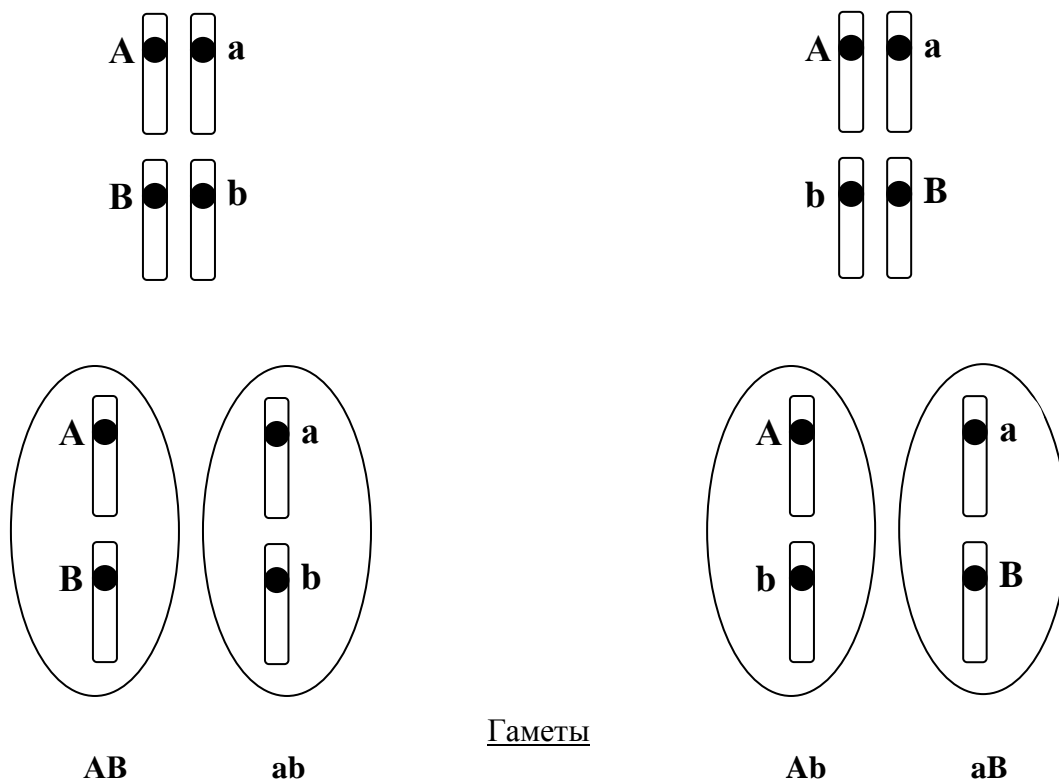


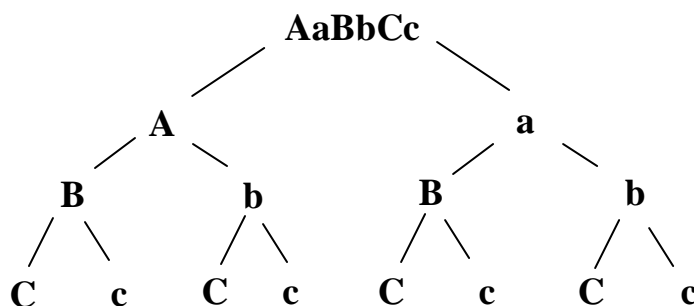
Таблица 5

## Типы гамет при дигибридном скрещивании

Генотип	AABB	AaBB	AABb	aaBB	aaBb	AAbb	Aabb	AaBb	aabb
Типы гамет	AB	AB	AB	aB	aB	Ab	Ab	AB	ab
		aB	Ab		ab		ab	Ab	
								aB	
								ab	

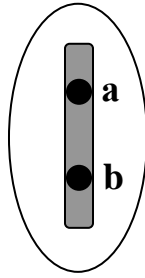
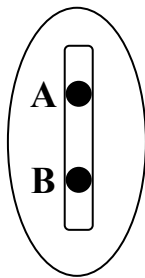
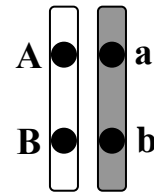
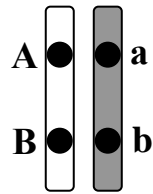
**Примечание.** Целесообразно создать условия для самостоятельного заполнения таблицы обучающимися. Дальнейшее ее использование существенно облегчает решение задач данного раздела.

## Полигибридное скрещивание



## Сцепленное наследование генов

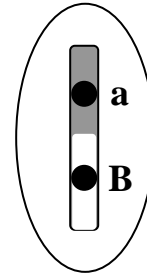
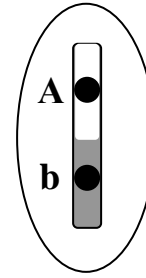
Генотип (AaBb)



Некроссоверные гаметы

**AB**

**ab**



Кроссоверные гаметы

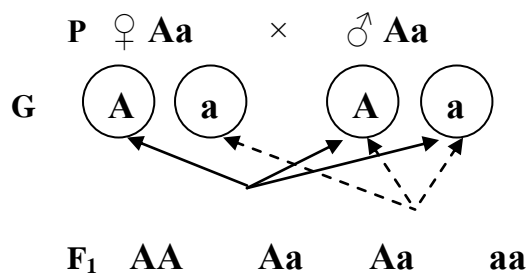
**Ab**

**aB**

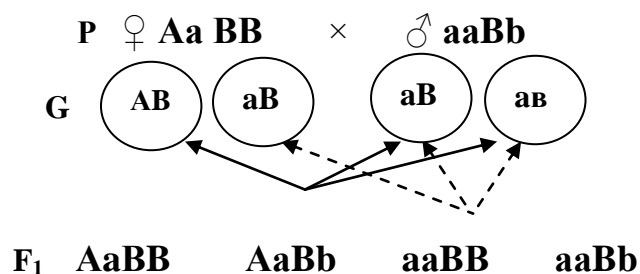
**Примечание.** Две пары аллельных генов одной группы сцепления могут располагаться в гомологичных хромосомах по-разному. В данном примере рассмотрено *цис-положение* (доминантные аллели расположены в одной хромосоме, рецессивные – в другой). В подавляющем большинстве задач на сцепленное наследование генов по умолчанию предполагается именно такой вариант расположения. На самом деле, наряду с цис-положением существует *транс-положение* (доминантные и рецессивные аллели находятся в разных гомологичных хромосомах). В задачах повышенного уровня сложности вариант расположения пар аллельных генов указывается.

## Определение генотипов организмов, полученных при слиянии гамет

### Использование стрелок. Моногибридное скрещивание



### Использование стрелок. Дигибридное скрещивание



### Решетка Пеннета. Моногибридное скрещивание

AA×aa		Aa×Aa		AA×Aa		aa×Aa		
	a	a		A	a		A	a
A	Aa	Aa	A	AA	Aa	A	AA	Aa
A	Aa	Aa	a	Aa	aa	A	AA	Aa
Нет расщепления		1AA:2Aa:1aa		1AA:1Aa		1Aa:1aa		

### Решетка Пеннета. Дигибридное скрещивание

(по вертикали – гаметы ♀, по горизонтали – гаметы ♂)

$$\text{♀ AaBb} \times \text{♂ AaBb}$$

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

**Характер расщепления  
при моногибридном и дигибридном скрещивании**

Таблица 6

**Характер расщепления при моногибридном скрещивании**

<b>Расщепление при полном доминировании</b>						
<b>Скрещивание</b>	<b>AA×AA</b>	<b>aa×aa</b>	<b>AA×aa</b>	<b>Aa×Aa</b>	<b>Aa×AA</b>	<b>Aa×aa</b>
<b>Расщепление по генотипу</b>	0	0	0	1:2:1	1:1	1:1
<b>Расщепление по фенотипу</b>	0	0	0	3:1	0	1:1
<b>Расщепление при неполном доминировании</b>						
<b>Скрещивание</b>	<b>AA×AA</b>	<b>aa×aa</b>	<b>AA×aa</b>	<b>Aa×Aa</b>	<b>Aa×AA</b>	<b>Aa×aa</b>
<b>Расщепление по генотипу</b>	0	0	0	1:2:1	1:1	1:1
<b>Расщепление по фенотипу</b>	0	0	0	1:2:1	1:1	1:1

Таблица 7

**Характер расщепления при дигибридном скрещивании**

	<b>Полное доминирование</b>	<b>Неполное доминирование</b>
<b>Расщепление по генотипу</b>	4:2:2:2:2:1:1:1:1	4:2:2:2:2:1:1:1:1
<b>Число разных генотипов</b>	9	9
<b>Расщепление по фенотипу</b>	9:3:3:1	4:2:2:2:2:1:1:1:1
<b>Число разных фенотипов</b>	4	9

## Организмы и признаки

## ПОЛНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ

Доминантный признак	Рецессивный признак
<b>Томат</b>	
Рассеченный лист	Цельнокрайний лист
Гладкая кожица плодов	Опушенная кожица плодов
Круглая форма плода	Овальная форма плода
Красная окраска плода	Желтая окраска плода
Нормальная высота	Карликовость
<b>Земляника</b>	
Розовые плоды	Белые плоды
Наличие усов	Отсутствие усов
<b>Морковь</b>	
Желтая окраска корнеплода	Красная окраска корнеплода
<b>Пшеница</b>	
Красная окраска колоса	Белая окраска колоса
Яровая (Vrn)	Озимая (vrn)
Безостость	Остистость
<b>Гречиха</b>	
Нормальный рост (D)	Ограниченный рост (d)
<b>Ячмень</b>	
Раннеспелость	Позднеспелость
Остистость колоса	Безостость колоса
Устойчивость к головне	Восприимчивость к головне
<b>Дурман</b>	
Пурпурная окраска цветка	Белая окраска цветка
Колючие семенные коробочки	Гладкие семенные коробочки
<b>Овес</b>	
Раскидистая форма метелки	Сжатая форма метелки
Нормальный рост	Гигантизм
Раннеспелость	Позднеспелость
<b>Горох</b>	
Желтая окраска семян	Зеленая окраска семян
Гладкая поверхность семян	Морщинистая поверхность семян
Высокий рост	Низкий рост
Пурпурная окраска цветков	Белая окраска цветков
<b>Арбуз</b>	
Зеленая окраска плодов	Полосатая окраска плодов
Округлые плоды	Удлиненные плоды
<b>Тыква</b>	
Шаровидные плоды	Удлиненные плоды
Желтая окраска плода	Белая окраска плода
Дисковидная форма плода	Сферическая форма плода
<b>Фасоль</b>	
Черная окраска семенной кожуры	Белая окраска семенной кожуры
Желтая окраска бобов	Зеленая окраска бобов
<b>Табак</b>	
Пурпурная окраска цветка	Белая окраска цветка



Устойчивость к мучнистой росе	Восприимчивость к мучнистой росе
<b>Флоксы</b>	
Белая окраска цветка	Кремовая окраска цветка
Плоская форма цветка	Воронковидная форма цветка
<b>Собака</b>	
Черная шерсть	Коричневая шерсть
Жесткая шерсть	Мягкая шерсть
Сплошная окраска	Пегая окраска
<b>Морская свинка</b>	
Длинная шерсть	Короткая шерсть
Курчавая шерсть	Гладкая шерсть
Черная окраска шерсти	Белая окраска шерсти
<b>Свинья</b>	
Черный цвет щетины	Рыжий цвет щетины
<b>Дрозофила</b>	
Серая окраска тела	Черная окраска тела
Нормальные крылья	Загнутые крылья
Нормальные крылья	Зачаточные крылья
<b>Курица</b>	
Оперенные ноги	Неоперенные ноги
Розовидный гребень	Простой гребень
Нормальное оперение	Шелковистое оперение
Черная окраска оперения	Бурая окраска оперения
Наличие хохла	Отсутствие хохла
<b>Крупный рогатый скот</b>	
Черная окраска шерсти	Красная окраска шерсти
Отсутствие рогов (комолость)	Наличие рогов
<b>Мышь</b>	
Длинные уши	Короткие
<b>Кролик</b>	
Серая окраска шерсти	Черная окраска шерсти
Шерсть нормальной длины	Короткая шерсть
<b>Человек</b>	
Близорукость	Нормальная острота зрения
Прямой разрез глаз	Косой разрез глаз
Нормальная форма эритроцитов	Серповидная форма эритроцитов
Нормальный слух	Одна из форм глухонемоты
Наличие резус-фактора	Отсутствие резус-фактора
Карий цвет глаз	Голубой цвет глаз
Нормальная пигментация	Альбинизм
Полидактилия (шестипалость)	Пятипалость
Норма	Фенилкетонурия
Праворукость	Леворукость
Жесткие волосы	Мягкие волосы
Наличие веснушек	Отсутствие веснушек
Широкие ноздри	Узкие ноздри
Высокая и узкая переносица	Низкая и широкая переносица
Свободная мочка уха	Приросшая мочка уха

**НЕПОЛНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ**

Доминантная гомозигота	Рецессивная гомозигота	Гетерозигота
------------------------	------------------------	--------------

<b><i>Душистый горошек</i></b>		
Красный цветок	Белый цветок	Розовый цветок
<b><i>Львиный зев</i></b>		
Красный цветок	Белый цветок	Розовый цветок
Широкий лист	Узкий лист	Лист средней ширины
<b><i>Ночная красавица (мирабилис)</i></b>		
Красный цветок	Белый цветок	Розовый цветок
<b><i>Куры андалузские</i></b>		
Курчавое оперение	Гладкое оперение	Слабокурчавое оперение
<b><i>Морская свинка</i></b>		
Желтый мех	Белый мех	Кремовый мех
<b><i>Человек</i></b>		
Нормальный гемоглобин	Серповидноклеточная анемия	Часть эритроцитов - серповидные
Курчавые волосы	Прямые волосы	Волнистые волосы

### ПРИЗНАКИ, СЦЕПЛЕННЫЕ С ПОЛОМ

Доминантный признак	Рецессивный признак
<b><i>Человек X-хромосома</i></b>	
Нормальная свертываемость крови	Гемофилия
Нормальное зрение	Дальтонизм
Нормальное зрение	Ночная («куриная») слепота
Нормальное развитие потовых желез	Отсутствие потовых желез
<b><i>Человек Y-хромосома</i></b>	
Норма	Гипертрихоз (повышенное оволосение ушной раковины)
Норма	Наличие перепонки между вторым и третьим пальцами ног
<b><i>Дрозофила</i></b>	
Серая окраска тела	Желтая окраска тела
Красный цвет глаз	Белый цвет глаз
<b><i>Кошка</i></b>	
Черная окраска шерсти	Желтая (рыжая) окраска шерсти Гетерозиготные самки имеют пеструю (черепаховую) окраску
<b><i>Курица</i></b>	
Полосатое оперение	Черное оперение

### ЛЕТАЛЬНЫЕ ГЕНЫ

Фенотип гетерозиготы (Aa)	Фенотип рецессивной гомозиготы (aa)
<b><i>Лиса</i></b>	
Платиновая окраска шерсти	Серебристо-серая окраска шерсти
<b><i>Мышь</i></b>	
Желтая окраска	Серая окраска
<b><i>Норка</i></b>	
Серебристо-соболиная окраска меха	Темно-коричневая окраска меха
<b><i>Каракульская овца</i></b>	
Серая окраска меха	Черная окраска меха
<b><i>Мексиканский дог</i></b>	
Отсутствие шерсти	Нормальная шерсть
<b><i>Курица</i></b>	
Короткие ноги	Нормальная длина ног

### Ответы к задачам для самостоятельного решения

1. а) 56; б)  $\approx 372$ ; в) 3
2. а) генотипов – 2, фенотипов – 2; б)  $\approx 103$
3. Карие и голубые
4. 75% (3/4)
5. а) 50%; б) 50%
6. а) 62; б) 31; в) 124
7. Aa
8. P<sub>1</sub> ♀ AA × ♂ aa, P<sub>2</sub> ♀ Aa × ♂ aa
9. P ♀ aa × ♂ Aa
10. а) Aa; б) карие
11. 25%
12. а) неполное доминирование; б) нет
13. а) 0; б)  $\approx 139$ ; в)  $\approx 35$
14. 25% безостых с красным колосом, 25% безостых с белым колосом, 25% остистых с красным колосом, 25% остистых с белым колосом.
15. 1 кареглазые правши : 1 кареглазые левши : 1 голубоглазые правши : 1 голубоглазые левши
16. а) 0; б) 50%
17. Aabb × aaBB
18. Aabb × aaBb
19. а) P ♀ AaBb × ♂ AaBb; б) aabb; в) свободная мочка – ямка на подбородке, свободная мочка – гладкий подбородок, сросшаяся мочка – ямка на подбородке, сросшаяся мочка – гладкий подбородок
20. а) P ♀ AaBb × ♂ aabb; б) AaBb, aabb, Aabb, aaBb в) 25%; г) 25%
21. 25%
22. 1/3 черных с нормальным хвостом : 2/3 черных с укороченным хвостом
23. Карликовый рост – нормальные листья, нормальный рост – нормальные листья, нормальный рост – скрученные листья, карликовый рост – скрученные листья.
24. 50% короткие крылья – нормальные ноги, 50% нормальные крылья – нормальные ноги.
25. а) 6; б) 18
26. а) 25% от общего числа потомков, 50% от общего числа мальчиков; б) не могут
27. ♂ X<sup>B</sup>Y рыжий

28. 50%

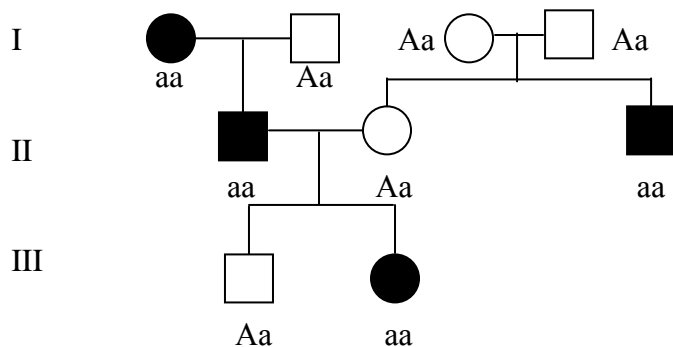
29. 1 ♀ : 2 ♂

30. 3/16

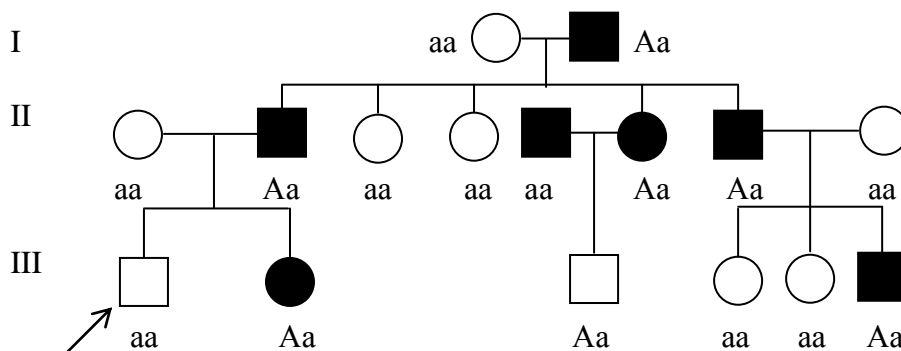
31. 50% здоровых ♀ и 50% ♂ с гипертрихозом.

32. Все потомки здоровы.

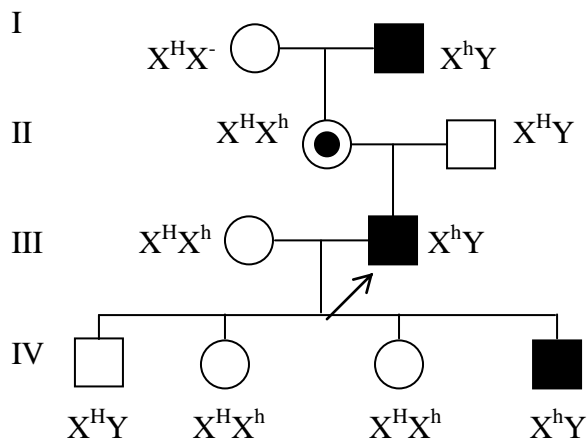
33. Рыжие волосы наследуются как рецессивно-аутосомный признак.



34. Данный вид карликовости наследуется как аутосомно-доминантный признак



35. Гемофилия наследуется как рецессивный признак, сцепленный с полом (ген локализован в X-хромосоме)



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Айала Ф., Кайгер Дж. Современная генетика. – М.: Мир, 1987. – 295 с.
2. Ватти К.В., Тихомирова М.М. Руководство к практическим занятиям по генетике. – М.: Просвещение, 1972. – 189 с.
3. Гончаров О.В. Генетика. Задачи. – Саратов: Лицей, 2005. – 352 с.
4. Гуляев Г.В. Задачник по генетике – М.: Колос, 1973. – 78 с.
5. Дикарев С.Д. Генетика: Сборник задач. – М.: Первое сентября, 2002. – 112 с.
6. Ефимова Т.М., Шубин А.О., Сухорукова Л.Н. Основы общей биологии. 9 класс: учеб. Для общеобразоват. учреждений. – М.: Мнемозина, 2007. – 288 с.
7. ЕГЭ 2008. Биология. Федеральный банк экзаменационных материалов / Автор-сост. Р.А. Петросова. – М.: Эксмо, 2008. – 272 с.
8. Кириленкова В.Н., Кишинская О.Ю. Постороение личного образовательного маршрута при изучении темы «Генетика» // Биология в школе, 2007, №8, с. 49-56.
9. Киселева З.С., Мягкова А.Н. Генетика. – М.: Просвещение, 1977. – 176 с.
10. Муртазин Г.М. Иллюстрированные карточки-задачи по генетике // Биология в школе, 2007, №4, с. 49-57.
11. Муртазин Г.М. Задачи и упражнения по общей биологии. – М.: Просвещение, 1972. – 315 с.
12. Общая биология: Учеб. Для 10-11 кл. шк. с углубл. изуч. биологии / Под ред. А.О. Рувинского. – М.: Просвещение, 1993. – 554 с.
13. Общая биология. Профильный уровень: учеб. для 10-11 кл. общеобразоват. учреждений / Под ред. Шумного В.К., Дымшица Г.М. – М.: Просвещение, 2006.
14. Петросова Р.А. Основы генетики. – М.: Дрофа, 2004. – 96с.
15. Сборник нормативных документов. Биология. – М.: Дрофа, 2004.
16. Сивоглазов В.И., Агафонова И.Б., Захарова Е.Т. Общая биология. Базовый уровень: учеб. для 10-11 кл. общеобразоват. учреждений. – М.: Дрофа, 2005. 368 с.
17. Филичкина Н.М., Захаров В.Б. Учимся решать задачи по генетике // Биология для школьников, 2003, №1, с. 47-56.
18. Фридман Л.М., Турецкий Е.Н. Как научиться решать задачи. – М.: Просвещение, 1984. – 175 с.
19. Фросин В.Н. Готовимся к единому государственному экзамену: Общая биология. – М.: - Дрофа, 2004. – 216 с.

**Федоркова Н.В.**

Решение задач по генетике. Учебно-методическое пособие. – Вологда: Издательский центр ВИРО, 2008, 86 с.

Пособие представляет собой систему рекомендаций и подборку заданий, способствующих формированию навыков решения генетических задач. Представленные материалы могут быть использованы при изучении биологии на базовом уровне в 10-11 классах средней школы, при изучении биологии в 9 классе основной школы, при проведении спецкурсов и семинаров в рамках повышения квалификации учителей биологии. Пособие адресовано учителям биологии общеобразовательных учреждений, преподавателям учреждений начального профессионального образования, методистам, студентам педагогических ВУЗов, учащимся.