

Алгоритм успеха

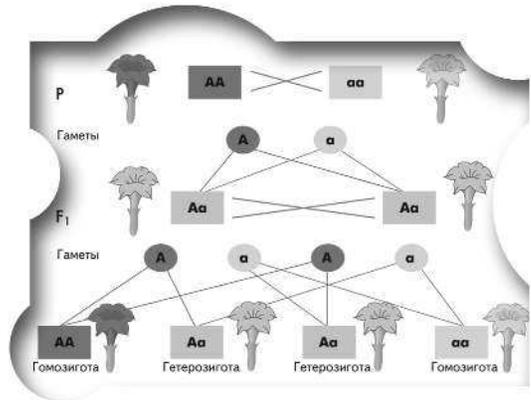
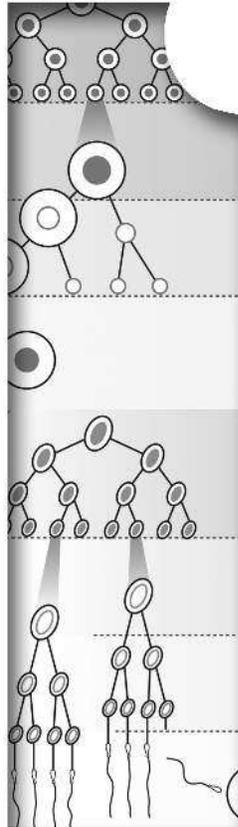
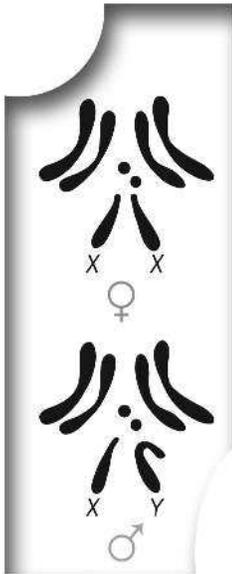
А.А. Медведева

# Как решать задачи по генетике

10–11 классы

Учебное пособие  
для учащихся  
общеобразовательных  
организаций

2-е издание,  
исправленное



Москва  
Издательский центр  
«Вентана-Граф»  
2016

ББК 28.04я72  
М42

**Медведева А.А.**

М42 Как решать задачи по генетике : 10–11 классы : учебное пособие для учащихся общеобразовательных организаций / А.А. Медведева. – 2-е изд., испр. – М. : Вентана-Граф, 2016. – 320 с.

ISBN 978-5-360-06733-7

Предлагаемое учебное пособие, входящее в систему учебно-методических комплектов «Алгоритм успеха», содержит 100 разноплановых задач по генетике с решениями и ответами. Процесс обучения решению таких задач способствует развитию умений логически мыслить, творчески анализировать теоретический материал, свободно оперировать генетическими терминами и понятиями, позволяет увидеть тесную взаимосвязь теории и практики. В Приложении предложены практические работы по генетике человека.

Пособие адресовано учащимся общеобразовательных учреждений. Также оно может быть полезно преподавателям биологии, абитуриентам и студентам биологических и медицинских высших и средних специальных учебных заведений.

ББК 28.04я72

ISBN 978-5-360-06733-7

© Медведева А.А., 2013  
© Издательский центр «Вентана-Граф», 2013  
© Медведева А.А., 2014, с изменениями  
© Издательский центр «Вентана-Граф», 2014,  
с изменениями

Автор выражает глубокую благодарность за оказанное содействие в подготовке настоящего издания:

**Владиславу Александровичу Западному**, кандидату исторических наук;

**Юлии Александровне Макеевой**, старшему методисту ИПК и ПРНО Московской области;

**Тамаре Афанасьевне Кокшаровой**, кандидату биологических наук, доценту кафедры генетики биологического факультета МГУ;

**Галине Фёдоровне Нестеровой**, кандидату биологических наук, доценту Санкт-Петербургского научно-исследовательского института психологии;

**Борису Ивановичу Березину**, кандидату физико-математических наук, доценту, заместителю декана факультета ВМиК МГУ;

**Татьяне Сергеевне Дудниковой**, программисту.

## Предисловие

Генетику — один из важнейших разделов современной биологии справедливо относят к числу точных наук, так как передача наследственной информации весьма строго подчиняется количественным закономерностям.

*П.Б. Гофман-Кадошников*

Задачник по общей и медицинской генетике. М., 1969

Это высказывание и определяет специфику преподавания генетики как в средней школе, так и в высших учебных заведениях. Успешному усвоению теоретических основ такого сложного раздела «Общей биологии», каким является раздел «Основы наследственности», в значительной степени способствует составление и решение задач по генетике.

Действительно, только в процессе выполнения этой работы можно научиться логически мыслить, воспринимать и творчески анализировать теоретический материал, свободно оперировать основными генетическими понятиями и терминами.

Включение в практику проведения занятий решения разноплановых задач способствует выявлению тесной взаимосвязи теории и практики. Задачи настоящего сборника основаны на реальных примерах из области генетики животных, растений и человека. Это позволит углубить и закрепить знания, полученные при изучении других разделов школьного курса биологии.

Наконец, решение задач по генетике помогает преподавателю контролировать «степень погружения» учащихся в предмет, так как каждая правильно решённая задача — это успешно поднятый пласт теории. В настоящее время генетические задачи широко используются для определения уровня подготовки по биологии у учащихся школ и абитуриентов.

Однако количество учебных пособий, где были бы предложены приёмы грамотного решения задач по генетике разных уровней сложности, явно недостаточно. Желание облегчить труд учителя и одновременно сделать оценку знаний учащихся более полной побудило автора к написанию настоящего учебного пособия.

В предлагаемом издании приведены общие методические рекомендации к решению задач по генетике. К каждой задаче даются подробное решение с унифицированной формой записи и ответ. Для облегчения работы каждую главу предваряет краткий теоретический абзац.

Наличие в пособии «Словаря основных понятий и терминов», а также рисунков, таблиц, схем, графиков, диаграмм и т. п. позволит чётче понять суть рассматриваемых в задачах проблем.

Термины и понятия, содержащиеся в словаре, в тексте выделены *полужирным курсивом*.

Несомненный интерес вызовут у учащихся практические работы по генетике человека, приведённые в Приложении. Многолетний преподавательский опыт автора свидетельствует о том, что выполнение таких работ повышает заинтересованность учащихся в изучении данного раздела. Практически каждый молодой человек охотно подключается к дискуссии, к поиску ответов на вопросы, которые, может быть, и прежде в какой-то мере волновали его. Теперь же эти «тайные» вопросы становятся почти или абсолютно доступными для понимания. Учащимся предоставляется реальный шанс ощутить себя в некотором роде «первооткрывателями»: опираясь на полученные знания, они получают возможность узнать о себе и о своих родственниках весьма интересные факты, заглянуть в своё будущее.

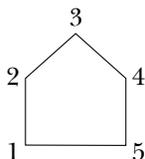
А если хотя бы немногие из них, наиболее увлечённые данным разделом биологии, сами начнут составлять свои собственные задачи по генетике (в основном, вероятно, это будут задачи по генетике человека), то можно будет сделать справедливый вывод: при изучении раздела «Основы наследственности» им удалось достичь максимально положительных результатов.

## Глава 1

### Некоторые общие методические рекомендации к решению задач по генетике

Прежде чем приступить к решению задач, представленных в предлагаемом пособии, рекомендуется чётко определить основные моменты, опираясь на которые в дальнейшем можно будет успешно решать практически любые задачи по генетике, сколь простыми или сложными они бы ни были.

В основу содержания данной главы заложено желание показать целесообразность и необходимость решения задач по предложенному ниже плану, последовательно переходя от одного пункта к другому.



1. Условие задачи.
2. Таблица «Ген – признак».
3. Схема скрещивания.
4. Решётка Пеннета.
5. Ответ.

#### 1.1. Условие задачи как источник информации

Задача должна быть подобрана таким образом, чтобы, по возможности, были совмещены требования, на первый взгляд кажущиеся несовместимыми: чёткое соответствие тому разделу теории, ознакомление с которым ведётся в настоящий момент, и захватывающе интересное содержание задачи.

Желательно, чтобы после ознакомления с условием задачи появилось стремление немедленно приступить к её решению. По-видимому, нужно исключать рассмотрение скучных по содержанию и однообразных задач, кочующих из одного сборника в другой. Решать же их приходится потому, что зачастую других задач просто нет в распоряжении преподавателя, а тратить силы и время на самостоятельное составление новых задач вряд ли представляется разумным.

Условие задачи должно в полной мере содержать информацию, которая необходима для её решения. Нужно, чтобы оно находилось перед тем, кто решает задачу, в течение всего процесса, позволяя ему вникнуть в суть выполняемой работы. Этому во многом будет способствовать составление таблицы «Ген – признак».

Пример составления таблицы.

Ген, контролирующий развитие изучаемого признака	Признак, развитие которого находится под контролем данного гена
A	Кареглазость
a	Голубоглазость

Или более коротко:

Ген	Признак
A	Кареглазость
a	Голубоглазость

При составлении таблицы из условия задачи должна быть почерпнута вся необходимая для её решения информация: наследование каких признаков прослеживается в данной задаче, доминантным (полного или неполного доминирования) или рецессивным геном контролируется развитие изучаемого признака, в аутосомах или половых хромосомах локализованы интересующие нас гены и т. д.

Из пары контрастных (от франц. *contraste* — «резко выраженная противоположность») альтернативных (от лат. *alter* — «один из двух») признаков в таблицу «Ген — признак» первым вносится тот, развитие которого находится под контролем **доминантного** (от лат. *dominantis* — «господствующий») гена. При записи в таблицу названия конкретного признака допустимо некоторое сокращение слов, например: «кареглаз.» вместо «кареглазость». Но при этом необходимо проявлять некоторую осмотрительность, так как в таком сокращённом варианте отдельные слова могут прозвучать несколько некорректно, например: «кар.» вместо «кареглазость». Доминантный ген, контролирующий наследование изучаемого признака, следует обозначать первой прописной буквой латинского алфавита (**A**). Следующей строкой вписывается родительский альтернативный признак, контролируемый **рецессивным** (от лат. *recessus* — «отступление») геном, наличие которого не выявляется у потомства первого поколения. Этот ген надо обозначать также первой, но уже строчной буквой латинского алфавита (**a**) и располагать строго под символом доминантного гена **A** (оба символа — в левой колонке таблицы).

Не следует для обозначения генов, контролирующих формирование тех или иных признаков, брать начальную букву слова, обозначающего название изучаемого признака, например:

Ген	Признак
П	Праворукость
л	Леворукость

Однако в генетике человека существуют три случая, когда не только допускается, но даже рекомендуется поступать именно так: обозначать ген буквой, связанной с названием признака (или первыми буквами, взятыми от латинского названия признака). Это относится к обозначению аутосомного наследования (резус-фактор – **Rh/rh**) и наследования, сцепленного с полом (дальтонизм – **X<sup>D</sup>/X<sup>d</sup>** и гемофилия – **X<sup>H</sup>/X<sup>h</sup>**).

Аутосомное наследование	Резус-фактор	<b>Rh/rh</b>
Наследование, сцепленное с полом	Дальтонизм	<b>X<sup>D</sup>/X<sup>d</sup></b>
	Гемофилия	<b>X<sup>H</sup>/X<sup>h</sup></b>

Хотя и здесь допустимо стандартное обозначение доминантного гена нормальной свёртываемости крови, локализованного в **X**-хромосоме, как **X<sup>A</sup>**. Тогда рецессивный ген несвёртываемости крови (ген гемофилии), локализованный в **X**-хромосоме, должен быть записан как **X<sup>a</sup>** (это относится также к резус-фактору и дальтонизму). Тем не менее лучше пользоваться «исключением из правил» (см. выше).

Если речь идёт о *неполном доминировании*, то в таблице «Ген – признак» доминантный ген записывают так же, как и при обычном (полном) доминировании, – верхней строкой (над рецессивным геном), но над буквой, обозначающей этот ген, рекомендуется ставить чёрточку: **Ā**. Такая запись демонстрирует относительную (неполную) доминантность этого гена (над изображением рецессивного гена (**a**) чёрточка не ставится).

Ген	Признак
<b>Ā</b>	Широкие листья
<b>a</b>	Узкие листья

Если речь идёт о решении задач не на моногибридное, а на полигибридное наследование, то, составляя таблицу «Ген – признак», сначала надо рассматривать признаки, контролируемые генами, локализованными в аутосомах, а затем уже признаки, находящиеся под контролем генов, расположенных в половых хромосомах (причём сначала – в X-, а потом – в Y-хромосоме).

Рассмотрим следующий пример: кареглазый дальтоник, страдающий гипертрихозом.

Составим таблицу «Ген – признак».

Ген		Признак
1 (I)	A	Карие глаза
	a	Голубые глаза
2 (II)	X <sup>D</sup>	Дальтонизм <sup>-</sup>
	X <sup>d</sup>	Дальтонизм <sup>+</sup>
3 (III)	Y <sup>B</sup>	Гипертрихоз <sup>-</sup>
	Y <sup>b</sup>	Гипертрихоз <sup>+</sup>

Каждую пару альтернативных признаков можно нумеровать либо арабскими, либо римскими цифрами. В рассматриваемом примере мы имеем дело с тригибридным скрещиванием и, соответственно, с тремя парами альтернативных признаков:

- 1-я пара – аутосомное наследование;
- 2-я пара – X-сцепленное наследование;
- 3-я пара – Y-сцепленное наследование.

Каждую пару аутосомных признаков можно отделять от последующей пары горизонтальными линиями, а аутосомное наследование от вариантов сцепленного с полом наследования – одной более яркой линией или двумя горизонтальными линиями.

### 1.3. Построение схемы скрещивания

В генетике человека вместо формулировки «схема скрещивания» иногда используют запись «схема брака», но вряд ли её можно считать более удачной.

При записи схемы скрещивания на первое место принято ставить обозначение особи женского пола, на второе – особи мужского пола. (Если стро-

го следовать данному правилу, то в дальнейшем можно не ставить перед каждой скрещиваемой формой символ, уточняющий, пол той или иной особи.)

♀ (зеркало Венеры) – символ особи женского пола (в генетике человека обозначается кружком ○);

♂ (щит и копьё Марса) – символ особи мужского пола (в генетике человека обозначается квадратом □).

Родительские организмы, участвующие в скрещивании, обозначают латинской буквой **P** (первая буква латинского слова *parenta* – «родители»). При этом обозначение каждого из родительских организмов может быть представлено в виде простой дроби: в числителе помещают фенотип особи относительно рассматриваемых признаков – одного или нескольких (в моно- или полигибридном скрещивании соответственно), в знаменателе – генотип – набор генов, ответственных за формирование фенотипа, представленного в числителе.

Например: голубоглазая женщина =  $\frac{\text{Голубоглазость}}{aa}$

Скрещивание в генетике обозначают знаком умножения – ×.

Потомство от скрещивания двух родительских форм называют **гибридным** (от лат. *hybrida* – «помесь»), а каждую возникшую в результате скрещивания особь (отдельного потомка) – **гибридом**.

Гибридное поколение обозначают латинской буквой **F** (первая буква латинского слова *fillii* – «дети») с цифровым индексом, показывающим, какое по счёту гибридное поколение имеется в виду (в данном случае – **F<sub>1</sub>**, так как речь идёт о детях) относительно скрещиваемых форм (**P**). Таким образом, в рассматриваемом варианте сочетание выглядит следующим образом: **F<sub>1</sub>** – дети.

Нетрудно догадаться, что **F<sub>2</sub>** – это второе гибридное поколение от **P**, то есть внуки **P** (дети детей); **F<sub>3</sub>** – третье гибридное поколение от **P**, то есть правнуки **P**, и т. д.

Между горизонталями **P** и **F<sub>1</sub>** располагается горизонталь, которую обозначают буквой **G** (первая буква греческих слов *gamete* и *gametes* – «супруга» и «супруг» соответственно).

На горизонтали **G** располагают типы (разновидности) гамет, которые способна создавать каждая из скрещиваемых форм (каждый из родительских организмов).

Если генотип особи – моногомодоминантный (**AA**), то на горизонтали **G** (по центру) записывают только одну букву **A**, так как все гаметы этой особи идентичны:

**P:**  $\frac{\quad}{AA}$

**G:** A

У особи с моногоморецессивным генотипом **aa** на горизонтали **G** следует записать один тип гамет: **a**, так как все половые клетки организма с таким генотипом (**aa**) абсолютно идентичны. То есть запись

**P:**  $\frac{\quad}{aa}$

**G:** a    a

не имеет смысла, так как речь идёт не о количестве гамет (их может быть очень много), а о том, сколько типов (разновидностей, вариантов) гамет может создать такой организм (**aa**): один тип (**a**). Верной будет следующая запись:

**P:**  $\frac{\quad}{aa}$

**G:** a

У особи с моногетерозиготным генотипом (**Aa**) в равном количестве образуются два типа гамет: **A** и **a**. При этом на горизонтали **G** следует располагать данные типы гамет строго под рассматриваемым генотипом, но на некотором расстоянии друг от друга, симметрично относительно записи самого генотипа **Aa**:

**P:**  $\frac{\quad}{Aa}$

**G:** A    a

Каждый тип гамет можно (но необязательно) помещать в кружок: **A** и **a**. Можно подчёркивать каждый тип гамет, то есть записывать так: **A** и **a**. Однако ставить знак препинания (запятую, точку с запятой или какой-либо другой) в целях отграничивания одного типа гамет от другого (например: **A, a** или **A; a**) не следует.

О том, какие типы (разновидности) гамет дают организмы в случае, если их генотипы — полигетерозиготы, подробно говорится в соответствующих главах данного пособия.

Для детального ознакомления с тем, как лучше записывать схему скрещивания, чтобы её наличие помогло быстро и правильно решать разноплановые задачи, разберём два примера.

### Пример № 1

Кареглазая женщина (южанка), в роду которой никогда не было голубоглазых, вступает в брак с мужчиной, имеющим голубые глаза.



Какое потомство (относительно цвета глаз) можно ожидать от этого брака?

#### Решение

Представим в виде дроби всех «действующих лиц»: мать, отца, их будущих детей. В числителе запишем фенотип женщины (цвет её глаз), в знаменателе – предполагаемый генотип, ответственный за данный фенотип:

$$\bigcirc \frac{\text{Карие глаза}}{A-}$$

так как известно, что ген кареглазости – аутосомно-доминантный ген (доминирование полное). Утверждение (южанка) об отсутствии голубоглазых людей в роду женщины (в настоящее время и прежде!), приведённое в условии задачи, даёт основание предположить, что её генотип – гомодоминантный (**AA**).

Аналогично представим информацию об избраннике женщины:

$$\square \frac{\text{Голубые глаза}}{aa}$$

Поскольку известно, что ген голубоглазости – аутосомно-рецессивный, то единственным условием проявления этого гена (**a**) в фенотипе (голубоглазость) может быть его пребывание в гомозиготном состоянии. Таким образом, генотип мужчины – гоморецессивная зигота (**aa**).

На строке, где будет записано, что женщина вступает в брак с мужчиной, слева ставим прописную латинскую букву **P** – родители будущих детей. При этом сначала, как уже рекомендовалось выше, помещаем информацию о матери ребёнка, затем – об отце. Тогда символы  $\bigcirc$  и  $\square$  при решении задачи в дальнейшем можно упразднить. Итак,

$$\mathbf{P:} \frac{\text{Карие глаза}}{AA} \times \frac{\text{Голубые глаза}}{aa}$$

Между дробями следует ставить знак умножения  $\times$  («регистрация брака» – шутка генетиков), причём не в виде точки ( $\cdot$ ), а именно так, как это представлено выше. Категорически не рекомендуется использование каких-либо других знаков препинания.

От знака умножения ( $\times$ ) проводим достаточно длинную вертикальную стрелку ( $\downarrow$ ), перпендикулярную горизонтали **P**, вплоть до третьей горизонтали, на которой разместим информацию об уже существующих или ожидаемых детях (**F<sub>1</sub>**) этих родителей (**P**). Слева – в самом начале строки, строго под буквой **P** (первая горизонталь) следует написать прописную латинскую букву **F** с нижним индексом **1**: **F<sub>1</sub>** – дети этих родителей. Дробь, представляющие собой информацию о фенотипах/генотипах **F<sub>1</sub>**, располагают на третьей горизонтали.

Так как мы определяем вероятность появления детей с определённым фенотипом/генотипом, то после дроби можно записать так: % ? (вероятность, выраженная в процентах). Следует отметить, что это не единственно допустимая форма записи ответа (именно в процентах, например 25 %). Возможен расчёт вероятности в долях или в частях, например: «каждый четвёртый ребёнок» или «одна четверть всех детей».

Между горизонталями **I (P)** и **III (F<sub>1</sub>)** – на горизонтали **II** – ставим прописную латинскую букву **G**. Здесь располагаем все возможные типы гамет, вырабатываемых организмами родителей.

Под генотипом матери (в данном случае **AA**) надо написать одну букву **A**, так как при таком генотипе, какой рассматривается в данном примере (моногодоминантная зигота), будет только один тип гамет, а именно **A**.

Аналогично рассуждаем о типах гамет мужчины, генотип которого – моногорецессивная зигота (**aa**). У него только один тип гамет – **a**.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{P:} \quad \frac{\text{Карие глаза}}{\mathbf{AA}} \quad \times \quad \frac{\text{Голубые глаза}}{\mathbf{aa}} \\
 \\
 \mathbf{G:} \quad \quad \mathbf{A} \quad \quad \quad \quad \mathbf{a} \\
 \\
 \mathbf{F_1:} \quad 100\% \quad \frac{\text{Карие глаза}}{\mathbf{Aa}}
 \end{array}$$

Такова запись схемы скрещивания для рассматриваемой задачи.

Если генотипы одного из родителей или и того и другого из них невозможно сразу записать однозначно так, как это было продемонстрировано выше, то возникает необходимость в использовании какой-либо дополнительной информации. Например, данных о родителях родителей будущего ребёнка, то есть о его бабушках и дедушках по материнской и/или отцовской линии. В отличие от предыдущей схемы скрещивания, которую условно можно назвать одноуровневой, нередко при изучении той или иной родословной (древа жизни), приходится изображать более сложную схему скрещивания, которую (также условно) можно определить как многоуровневую.

Простейший её вариант – двухуровневая схема скрещивания – будет представлен ниже.

В данном случае происходит некоторое перемещение «действующих лиц»: родители (**P**) будущего или существующего ребёнка (**F<sub>1</sub>**) теперь сами будут рассматриваться как дети (**P** → **F<sub>1</sub>**), а ребёнок (**F<sub>1</sub>**), о будущем которого идёт речь, с горизонтали **F<sub>1</sub>** переходит на горизонталь (**F<sub>2</sub>**).

При этом на горизонтали **P** теперь будут уже две пары родителей – бабушки и дедушки ребёнка (**F<sub>2</sub>**) по материнской и отцовской линии.

В качестве примера построения такой двухуровневой схемы скрещивания может быть рассмотрено решение примера № 2.

### Пример № 2

Молодые люди, не страдающие нарушением слуха и речи, вступают в брак. Мать невесты и отец жениха — глухонемые.



*Следует ли молодым людям опасаться рождения у них глухонемого ребёнка?*

### Решение

Ген нормально развитой речи и нормального слуха – аутосомно-доминантный (**A**), ген глухонемоты – аутосомно-рецессивный (**a**). Обозначим условно фенотипы здоровых и страдающих указанным недугом людей как **N** и **≠N** соответственно.

Единственно верная схема скрещивания для этой задачи приводится без особых комментариев.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{P:} \quad \frac{\neq N}{aa} \quad \times \quad \frac{N}{A-} \qquad \frac{N}{A-} \quad \times \quad \frac{\neq N}{aa} \\
 \mathbf{G:} \quad a \qquad \qquad \downarrow A \quad - \quad A \quad - \quad \downarrow a \\
 \mathbf{F_1:} \quad \frac{N}{Aa} \qquad \qquad \times \qquad \frac{N}{Aa} \\
 \mathbf{G:} \quad A \quad a \qquad \qquad \downarrow \\
 \mathbf{F_2:} \quad \qquad \qquad \frac{1/4 \quad \neq N}{aa}
 \end{array}$$

Из приведённой схемы скрещивания следует, что генотипы вступающих в брак здоровых молодых людей – это моногетерозиготы. Генотипы

отца невесты и матери жениха не могут быть записаны однозначно, поэтому используем фенотипический радикал (**A—**). Следовательно, вероятность рождения у них глухонемого ребёнка равна 25 % (II закон Менделя).

Здесь следует оговориться. Мы рассмотрели случаи врождённой глухонемоты у представителей того и другого рода. Если же допустить, что хотя бы в роду одного из вступающих в брак глухонемота была приобретённой (вследствие контузии, травмы, перенесённых в детстве инфекций), то ход рассуждений (и конечный результат) должен быть представлен несколько иначе.

Допустим, дедушка по отцовской линии глухонемым стал после перенесённой контузии, а до контузии прекрасно говорил и замечательно слышал. В роду у него, так же как и у его жены, бабушки ребёнка по отцовской линии, глухонемых не было никогда.

Схема скрещивания показывает, насколько всё теперь будет выглядеть иначе.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{P:} \quad \frac{\neq N}{aa} \times \frac{N}{A-} \qquad \frac{N}{AA} \times \frac{N}{AA} \\
 \mathbf{G:} \quad a \qquad \downarrow \quad A \quad - \qquad A \qquad \downarrow \qquad A \\
 \mathbf{F_1:} \quad \frac{N}{Aa} \qquad \qquad \times \qquad \frac{N}{AA} \\
 \mathbf{G:} \quad A \quad a \qquad \qquad \downarrow \qquad A \\
 \mathbf{F_2:} \quad \qquad 100\% \frac{N}{A-}
 \end{array}$$

Все дети в данной семье (**F<sub>2</sub>**) будут без рассматриваемой патологии, способными и говорить, и слышать.

Правда, генотипы только 50 % из них будут лишены дефектного гена.

$$\mathbf{F_2:} \quad \frac{\text{Нормальные речь и слух}}{AA}$$

Генотипы других 50 % детей будут нести ген глухонемоты.

$$\mathbf{F_2:} \quad \frac{\text{Нормальные речь и слух}}{Aa}$$

И через несколько поколений, если произойдёт «печальная встреча» одного рецессивного гена **a** с другим рецессивным геном **a** (когда, по воле