

---

**БИБЛИОТЕКА ПЕДИАТРИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

**Н.С. АБДУКАЕВА, Н.С. КОСЕНКОВА  
Н.В. ВАСИЛЬЕВА, А.В. КУРАЖОВА  
О.В. ФРОЛОВА, К.А. ФЕДЮК  
Н.В. ХАРИТОНОВА, К.Б. ФРОЛОВ**

---

**ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ. ГЕНЕТИКА  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ**

**Учебное пособие для иностранных слушателей  
подготовительного отделения**

---

*Санкт-Петербург*

---

Министерство  
здравоохранения  
Российской Федерации



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Педиатрический  
Медицинский  
Университет

---

---

Н.С. АБДУКАЕВА  
Н.С. КОСЕНКОВА  
Н.В. ВАСИЛЬЕВА  
А.В. КУРАЖОВА  
О.В. ФРОЛОВА, К.А. ФЕДЮК  
Н.В. ХАРИТОНОВА, К.Б. ФРОЛОВ

# ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ. ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Учебное пособие  
для иностранных слушателей  
подготовительного отделения

УДК 576.35+575.1+577

ББК 28.7

Д29

Д29 Деление клетки. Генетика. Молекулярная биология. Учебное пособие для иностранных слушателей подготовительного отделения / Н.С. Абдукаева, Н.С. Косенкова, Н.В. Васильева [и др.] – 60 с.

**ISBN 978-5-907565-08-1**

Задания по молекулярной биологии и генетике составлены на основании многолетнего опыта преподавания молекулярной биологии и генетики на кафедре медицинской биологии Санкт-Петербургского педиатрического университета. Предлагаемые задания помогут иностранным слушателям подготовительного отделения углубить свои знания в области общих закономерностей наследования признаков, развить навыки решения задач по молекулярной биологии и классической генетике, подготовиться к сдаче вступительных испытаний.

**Авторский коллектив** – сотрудники кафедры медицинской биологии: зав. кафедрой, доц. Н.С. Абдукаева, доц. Н.С. Косенкова, ст. преп. Н.В. Васильева, доц. А.В. Куражова, доц. О.В. Фролова, ст. преп. К.А. Федюк, ст. преп. Н.В. Харитонова, ст. преп. К.Б. Фролов.

**Рецензенты:**

зав. каф. гистологии и эмбриологии им. профессора А.Г. Кнорре СПбГПМУ,

к.м.н. В.Г. Кожухарь;

м.н.с. Зоологического института РАН З.И. Старунова

УДК 576.35+575.1+577

ББК 28.7

*Утверждено учебно-методическим советом Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

Выпускается при поддержке Фонда научно-образовательных инициатив  
«Здоровые дети – будущее страны»

**ISBN 978-5-907565-08-1**

© СПбГПМУ, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Сборник заданий по молекулярной биологии и генетике предназначен для иностранных слушателей подготовительного отделения СПбГПМУ. Учебное пособие включает четыре раздела:

1. Деление клетки.
2. Генетика.
3. Молекулярная генетика.
4. Словарь терминов и понятий.

Раздел «Деление клетки» включает задачи по темам «Митоз» и «Мейоз». Второй раздел «Генетика» посвящён закономерностям наследования, установленными Г. Менделем; в подразделе «Моногибридное скрещивание» приведены задачи на полное и неполное доминирование, наследование групп крови; в подразделе «Дигибридное скрещивание» – задачи на независимое наследование признаков, требующие знания цитологических основ размножения. Во второй раздел включены задачи для закрепления знаний по основным положениям хромосомной теории наследственности Т. Моргана и задания на анализ родословных. В разделе «Молекулярная генетика» представлены задания по структуре нуклеиновых кислот, свойствам генетического кода и синтезу белка.

Тексту задач предшествует пояснительный текст, в котором даны рекомендации к решению задач. В мини-словаре терминов содержатся основные генетические понятия.

Предлагаемые задачи составлены преподавателями кафедры, а также заимствованы из задачников и сборников заданий ЕГЭ: Абдукаева Н.С. и др. Методическое пособие по генетике для студентов медицинских вузов (2017), Ватти К.В., Тихомирова М.М. Руководство к практическим занятиям по генетике (1972), Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф. Задачник по общей и медицинской генетике (1976), Рохлов В.С. ЕГЭ 2021. Биология. 30 вариантов. Типовые экзаменационные варианты (2020).

# ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ

## Клеточный цикл

Клеточный цикл – индивидуальная жизнь клетки, время существования клетки между двумя делениями или между её образованием и гибелью. Состоит из интерфазы и митоза.

### Интерфаза

Интерфаза значительно более длительна, чем митоз (обычно занимает не менее 90% всего времени клеточного цикла) и подразделяется на три периода: пресинтетический или постмитотический ( $G_1$ ), синтетический (S) и постсинтетический или премитотический ( $G_2$ ) (рис. 1).

**Пресинтетический** ( $G_1$ ) период наступает сразу же после митотического деления клетки и длится от нескольких часов до нескольких дней. В этот период клетка активно синтезирует РНК и белки, благодаря чему она достигает нормальных размеров и восстанавливает необходимый набор органоидов.

Специализирующиеся клетки, незапрограммированные на дальнейшее деление, вступают в период митотического покоя ( $G_0$ ), заканчивающийся гибелью клетки.

**Синтетический** (S) период длится у большинства клеток 8–12 часов. В этом периоде происходит репликация ДНК и синтез белков, в частности гистонов, которые поступают в ядро из цитоплазмы и связываются с вновь синтезированной ДНК. В результате происходит удвоение числа хромосом. Одновременно удваивается число центриолей.

**Постсинтетический** ( $G_2$ ) период продолжается 3–6 часов. В течение этого периода клетка осуществляет непосредственную подготовку к делению. Запасается энергия, синтезируются РНК и белки (в частности тубулин для построения микротрубочек веретена деления), необходимые для процесса деления.

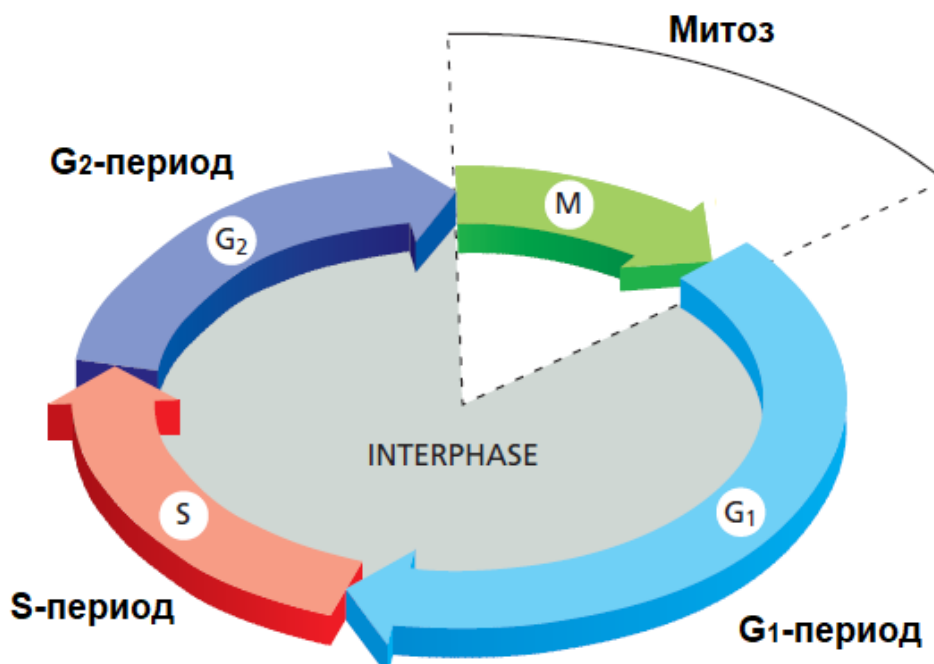


Рис. 1. Клеточный цикл (по Alberts et al., 2015).

## Митоз

Митоз (от греч. *mitos* – нить), называемый также непрямым делением клеток, следует за  $G_2$ -периодом и завершает клеточный цикл. Он длится несколько часов и обеспечивает равномерное распределение генетического материала между дочерними ядрами (клетками). Митоз включает 4 основные фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (рис. 2).

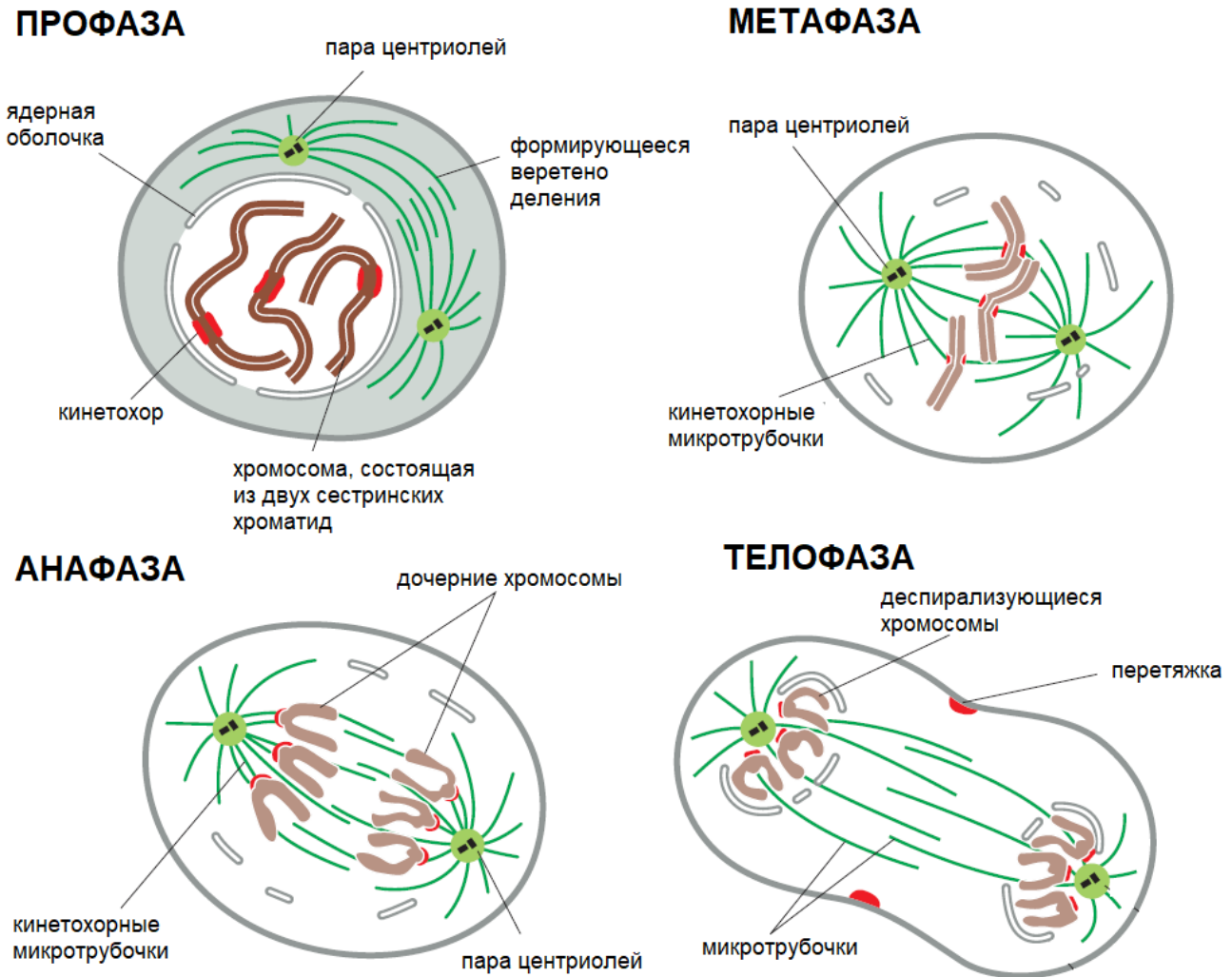


Рис. 2. Фазы митоза: профазу, метафазу, анафазу, телофазу (по Alberts et al., 2015).

**Профаза** начинается с конденсации хроматина и компактизации хромосом, которые становятся видимыми в световой микроскоп. Каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид, связанных в области центромеры. Ядрышко исчезает. Центриоли расходятся к противоположным полюсам клетки, от них отходят нити митотического веретена деления, построенные из микротрубочек. Ядерная оболочка к концу фазы распадается на мембранные пузырьки, сходные с элементами ЭПС. Кариоплазма смешивается с цитоплазмой. Веретено деления располагается в ядерной области, центромеры прикрепляются к микротрубочкам веретена деления.

**Метафаза** соответствует максимальному уровню компактизации хромосом, которые выстраиваются на экваторе клетки, образуя метафазную пластинку.

**Анафаза** начинается с синхронного разделения центромер всех хромосом. В результате этого сестринские хроматиды становятся самостоятельными хромосомами и расходятся к противоположным полюсам клетки. Это движение происходит за счет укорочения нитей митотического веретена.

**Телофаза** – конечная стадия митоза. Хромосомы собираются у полюсов делящейся клетки. Вокруг хромосом формируется ядерная оболочка, начинается деспирализация хромосом, вновь появляются ядрышки.

Деление клетки заканчивается разделением цитоплазмы – цитокинезом. У животных и растительных клеток цитокинез происходит по-разному. Цитоплазма животной клетки делится перетяжкой, которая постепенно углубляется от краев к центру. В растительной клетке цитоплазма делится с помощью перегородки, которая формируется от центра к периферии.

### **Значение митоза**

В результате митоза получаются два ядра (две клетки), содержащие совершенно одинаковую наследственную информацию, причем точно такую, какую имела материнская клетка. Таким образом, митоз способствует поддержанию генетической стабильности (постоянства числа хромосом в клеточных поколениях). Митоз лежит в основе бесполого размножения организмов, является его цитологической основой. За счет митоза увеличивается число клеток многоклеточного организма, митоз обеспечивает процессы роста и регенерации.

### **Мейоз**

Мейоз (от греч. *meiosis* – уменьшение) – форма деления клеток, сопровождающаяся уменьшением их пloidности (из одной диплоидной клетки образуется 4 гаплоидных клетки). Мейоз называют также редукционным делением (от лат. *reductio* – уменьшение). Мейоз состоит из двух делений по четыре фазы каждое: профазы, метафазы, анафазы, телофазы (рис. 3).

Поведение хромосом в первом мейотическом делении существенно отличается от поведения хромосом в фазах митоза. При мейозе перед расхождением хромосом происходит конъюгация (совмещение по всей длине) гомологичных хромосом с образованием тетрады, состоящей из четырёх хроматид.

Вслед за конъюгацией происходит кроссинговер (перекрест), при котором хроматиды гомологичных хромосом обмениваются участками (рис. 4). Обмениваться может разное количество участков хроматид.

В результате кроссинговера меняется структура участвующих в нём хроматид. Кроссинговер приводит к рекомбинации хроматид (формированию хроматид с новой, отличной от родительской комбинацией генетического материала).

В метафазе первого мейотического деления (метафазе I) биваленты – пары гомологичных хромосом (тетрады хроматид) выстраиваются в экваториальной плоскости таким образом, что гомологи в бивалентах лежат с разных сторон экватора.

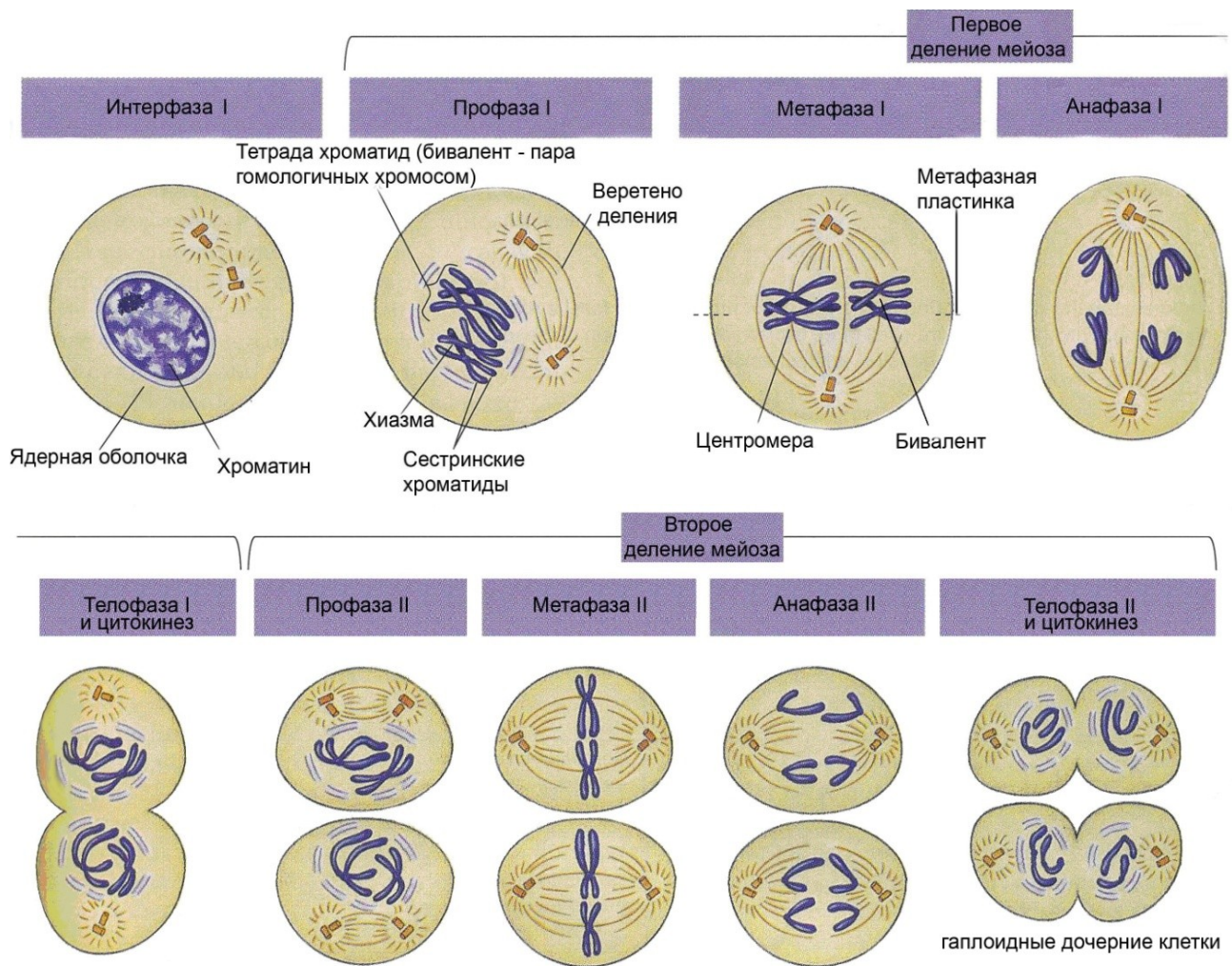


Рис. 3. Распределение хромосом в процессе образования половых клеток (мейоз) (Campbell, 1993).

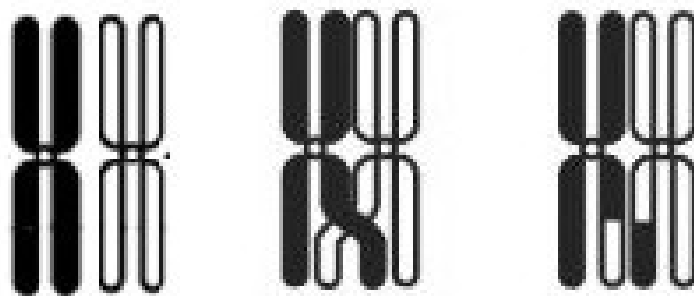


Рис. 4. Схема кроссинговера.

В анафазе I гомологичные хромосомы расходятся к полюсам клетки. Хромосомы из разных пар расходятся свободно и независимо друг от друга. Таким образом, у каждого полюса оказываются по одному представителю из каждой пары хромосом.

В телофазе I образуются две клетки с гаплоидным набором хромосом, каждая хромосома состоит из двух хроматид ( $n2c$ ).

В результате первого мейотического деления образуются две дочерние клетки с гаплоидным ( $n$ ) набором хромосом, которые без периода интерфазы вступают во второе мейотическое деление.



Второе мейотическое деление протекает как обычный митоз, но перед ним нет удвоения ДНК (отсутствует интерфаза).

В метафазе второго мейотического деления хромосомы, состоящие из двух хроматид, выстраиваются в экваториальной плоскости.

В анафазе II происходит разрыв центромер, хроматиды каждой хромосомы расходятся к противоположным полюсам клетки

В телофазе II из одной клетки, вступившей в мейоз, образуются четыре дочерние клетки с гаплоидным набором хромосом, неидентичные друг другу (nc).

Краткое описание стадий мейоза представлено в таблице 1.

Таблица 1

**Краткая характеристика стадий мейоза**

Периоды	Процессы
Интерфаза I	Репликация хромосомного материала ( $2n4c$ ).
Профаза I	Происходит спирализация хромосом. В отличие от профазы митоза гомологичные хромосомы (отцовская и материнская) конъюгируют (соединяются) и между ними происходит обмен участками (кроссинговер). Исчезает ядерная оболочка, центриоли расходятся к полюсам клетки и организуют веретено деления.
Метафаза I	Биваленты – пары гомологичных хромосом (тетрады хроматид) выстраиваются по экватору клетки.
Анафаза I	Из каждой пары гомологичных хромосом одна движется к одному полюсу, другая к другому.
Телофаза I	Хромосомы, состоящие из двух хроматид каждая, достигают полюсов клетки, вокруг них формируется ядерная оболочка. В образовавшихся ядрах клетки содержится одинарный набор хромосом, но каждая хромосома содержит две дочерние хроматиды. Затем происходит деление клетки на две дочерние ( $n2c$ ).
Интерфаза II	Короткий период без репликации ДНК
Профаза II	Подобна профазе митоза.
Метафаза II	Подобна метафазе митоза.
Анафаза II	К противоположным полюсам клетки расходятся хроматиды.
Телофаза II	В телофазе II формируются четыре клетки, содержащие гаплоидный набор однохроматидных хромосом (nc).

**Значение мейоза**

Мейоз сохраняет постоянство числа хромосом в клетках организма, т.к. при слиянии гамет (гаплоидный набор хромосом) восстанавливается диплоидный набор хромосом; обеспечивает комбинативную изменчивость (рекомбинация генов в процессе мейоза приводит к разнообразию половых клеток).

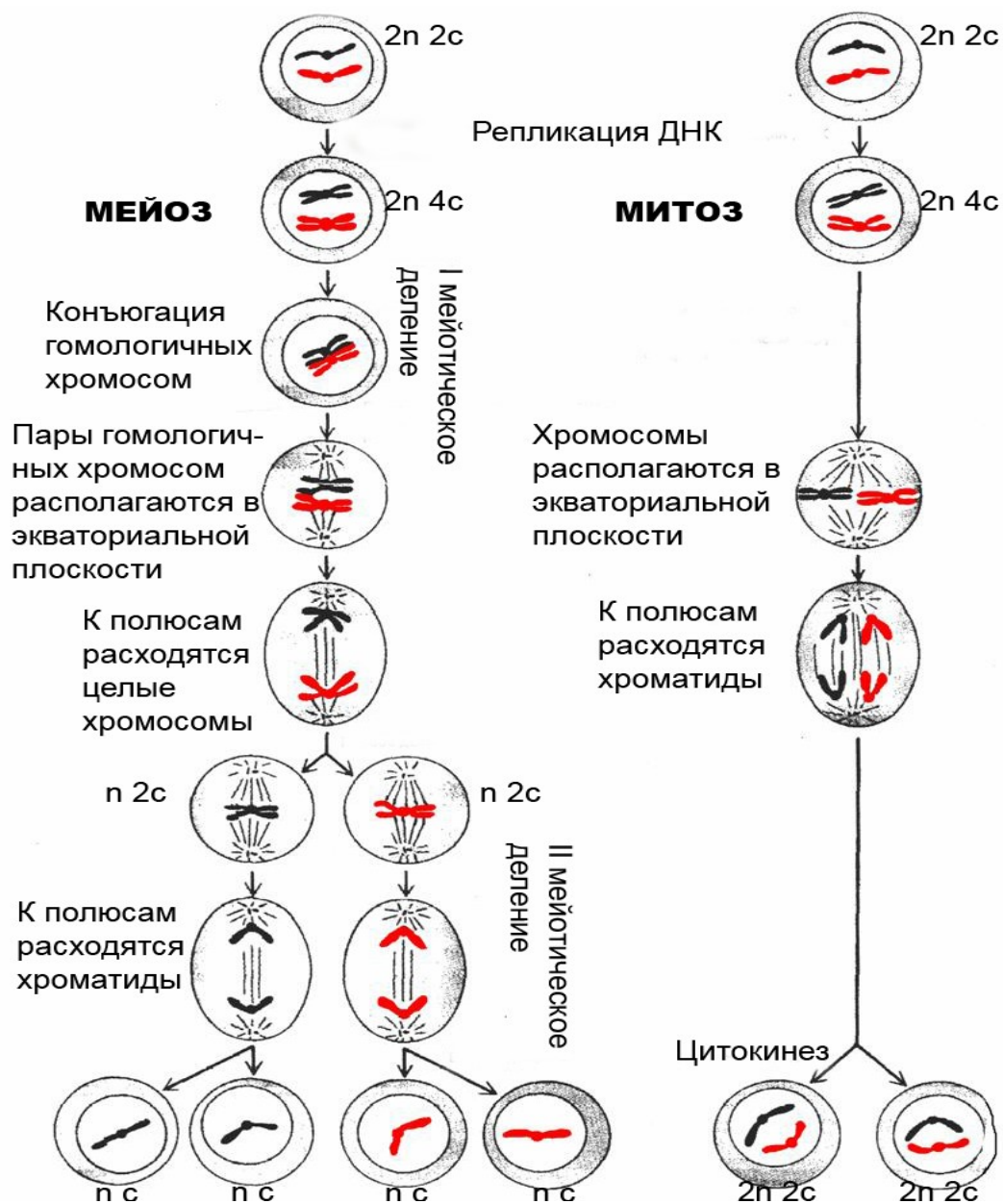


Рис. 5. Сравнительная схема митоза и мейоза.  
 n – число хромосом в клетке, c – число хроматид в клетке.

### Задачи

- Установите последовательность изменений, происходящих с хромосомами в процессе митоза.
  - деление центромеры и образование из хроматид хромосом
  - расхождение гомологичных хроматид к разным полюсам клетки
  - расположение хромосом в плоскости экватора
  - свободное расположение хромосом в цитоплазме
- Удвоение ДНК и образование двух хроматид происходит в
  - профазе первого деления мейоза
  - профазе второго деления мейоза

- В) интерфазе перед первым делением
- Г) интерфазе перед вторым делением

3. Установите последовательность процессов, происходящих в мейозе.
- 1) расхождение сестринских хромосом (хроматид) к полюсам клетки
  - 2) обмен генами между гомологичными хромосомами
  - 3) конъюгация гомологичных хромосом
  - 4) расхождение гомологичных хромосом к полюсам клетки
  - 5) образование четырёх клеток с гаплоидным набором хромосом

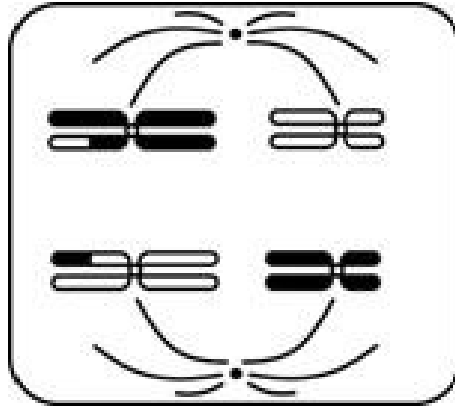
5. Установите соответствие между процессами и фазами митоза: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРОЦЕССЫ	ФАЗЫ МИТОЗА
А) Сестринские хромосомы расходятся к полюсам клетки.	1) анафаза
Б) Хромосомы деспирализуются.	2) телофаза
В) Образуется ядерная оболочка.	
Г) Разрушается веретено деления.	
Д) Центромеры хромосом разъединяются.	

5. Установите соответствие между характеристиками и фазами деления клетки – к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

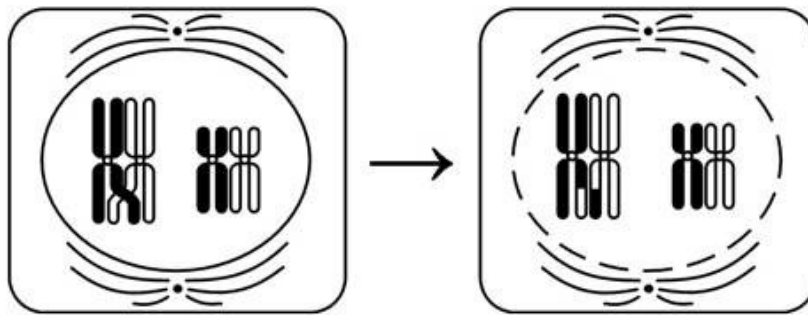
ХАРАКТЕРИСТИКИ	ФАЗЫ ДЕЛЕНИЯ
А) деление центромер хромосом	1) метафаза митоза
Б) выстраивание хромосом по экватору клетки	2) анафаза митоза
В) формирование веретена деления	3) профазы I мейоза
Г) обмен участками хромосом	
Д) набор хромосом и число молекул ДНК в клетке – $4n4c$	

6. Установите последовательность процессов, происходящих в мейозе.
- 1) деление центромер и расхождение сестринских хроматид
  - 2) обмен участками между гомологичными хромосомами
  - 3) конъюгация гомологичных хромосом
  - 4) расхождение гомологичных хромосом к полюсам клетки
  - 5) образование четырёх клеток с гаплоидным набором хромосом
7. Какая фаза деления клетки изображена на рисунке?

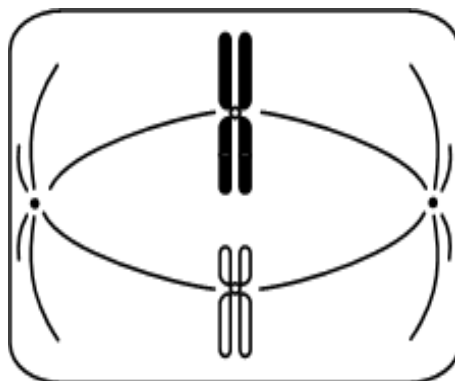


- 1) метафаза мейоза II
- 2) метафаза мейоза I
- 3) анафаза мейоза I
- 4) анафаза мейоза II

8. Назовите тип и фазу деления изображённых на рисунке клеток. Ответ обоснуйте.



9. Рассмотрите рисунок с изображением делящейся клетки. Определите тип и фазу деления клетки, а также какие процессы происходят в клетке в этой фазе. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины из списка. Для каждой ячейки, обозначенной буквами, выберите соответствующий термин из предложенного списка.

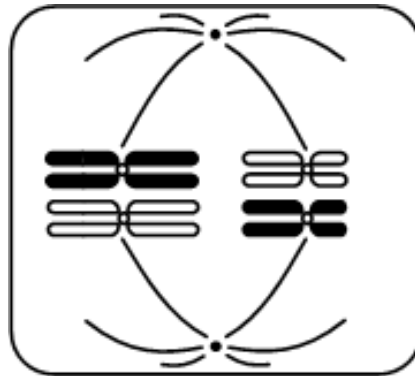


- 1) Митоз
- 2) Мейоз I
- 3) Мейоз II

- 4) Профаза
- 5) Метафаза
- 6) Анафаза
- 7) Телофаза
- 8) Хромосомы спирализуются
- 9) Двухроматидные гомологичные хромосомы выстраиваются на экваторе клетки
- 10) Двухроматидные хромосомы передвигаются к полюсам клетки.

А) Тип деления	
Б) Фаза	
В) Чем характеризуется деление клетки	

10. Определите тип и фазу деления диплоидной клетки, изображенной на рисунке. Дайте обоснованный ответ. Приведите доказательства.



11. Выберите три правильных ответа. Какие процессы происходят в профазе первого деления мейоза

- 1) образование двух ядер
- 2) расхождение гомологичных хромосом
- 3) образование метафазной пластинки
- 4) сближение гомологичных хромосом
- 5) обмен участками между гомологичными хромосомами
- 6) спирализация хромосом

12. С каким набором генетического материала клетка вступает во второе мейотическое деление?

- 1)  $2n4c$
- 2)  $2n2c$
- 3)  $n2c$
- 4)  $nc$

13. Чем профазы первого деления мейоза отличается от профазы митоза?

- 1) исчезает ядерная оболочка
- 2) происходит спирализация хромосом
- 3) происходит конъюгация хромосом

4) хромосомы располагаются беспорядочно

14. Какие процессы характерны для интерфазы клетки?

- 1) восстановление ядрышек
- 2) расхождение центриолей к полюсам клетки
- 3) разрушение ядерной оболочки
- 4) увеличение числа митохондрий и пластид
- 5) репликация ДНК
- 6) синтез белков рибосом

15. Сколько аутосом содержит соматическая клетка птицы, если её диплоидный набор составляет 78 хромосом? В ответе запишите только соответствующее число.

16. Сколько хромосом имеет соматическая клетка животного, если гаметы содержат 38 хромосом? В ответе запишите только соответствующее число.

17. Сколько половых хромосом содержит соматическая клетка млекопитающего, если в ней содержится 60 хромосом? Ответ поясните.

18. Сколько половых хромосом содержится в соматической клетке млекопитающего? В ответе запишите только соответствующее число.

19. В соматической клетке мыши 40 хромосом. Сколько половых хромосом содержит такая клетка мыши? В ответе запишите только количество хромосом.

20. Сперматозоид краба содержит 127 хромосом. Какой набор имеет соматическая клетка краба? Ответ поясните.

21. Сколько молекул ДНК будет содержать каждая хромосома в конце интерфазы? В ответе запишите только цифру.

22. В ядрах клеток желудка крольчихи находится по 44 хромосомы. Сколько хромосом будет иметь ядро ее зиготы? В ответе запишите только число.

23. Для соматической клетки животного характерен диплоидный набор хромосом. Определите хромосомный набор ( $n$ ) и число молекул ДНК ( $c$ ) в клетке при гаметогенезе в метафазе II мейоза и анафазе II мейоза. Объясните полученные результаты.

24. В кариотипе крысы 42 хромосомы. Определите число хромосом и молекул ДНК в клетках яичников при овогенезе перед началом мейоза и после мейоза I. Дайте названия этих клеток и периодов овогенеза, в которых они находятся. Объясните полученные результаты на каждом этапе.

25. У шимпанзе в соматических клетках 48 хромосом. Определите хромо-

сомный набор и число молекул ДНК в клетках перед началом мейоза, в анафазе мейоза I и в профазе мейоза II. Объясните ответ в каждом случае.

26. Хромосомный набор соматических клеток человека равен 46. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК при сперматогенезе в ядре после телофазы мейоза I и в анафазе мейоза II.

27. Хромосомный набор соматических клеток картофеля равен 48. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в клетках при мейозе в профазе мейоза I и метафазе мейоза II. Объясните все полученные результаты.

28. Соматические клетки дрозофилы содержат 8 хромосом. Как изменится число хромосом и молекул ДНК в ядре при гаметогенезе перед началом деления и в конце телофазы мейоза I? Объясните полученные результаты.

29. Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах одной соматической клетки человека в начале интерфазы составляет около  $6 \cdot 10^{-9}$  мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядрах клеток при овогенезе непосредственно перед началом мейоза и в анафазе мейоза I. Объясните полученные результаты.

# ГЕНЕТИКА

## МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

### Законы, установленные при моногибридном скрещивании

Закон единообразия гибридов первого поколения (первый закон): *при скрещивании гомозиготных организмов с альтернативными признаками все особи первого поколения будут единообразными.*

Закон расщепления (второй закон): *во втором поколении происходит расщепление гибридов по генотипу и фенотипу (при полном доминировании расщепление по фенотипу 3 : 1, а по генотипу 1 : 2 : 1).*

Для объяснения причин расщепления Мендель выдвинул гипотезу чистоты гамет, согласно которой в генотипе гетерозиготного организма разные аллели генов не смешиваются и не изменяют друг друга, а при образовании гамет попадают в разные гаметы (гаметы чисты от второго, парного, аллеля). При слиянии гамет парность аллелей восстанавливается.

Цитологическое обоснование моногибридного скрещивания базируется на поведении хромосом в мейозе и случайной встрече гамет при оплодотворении (рис. 6).

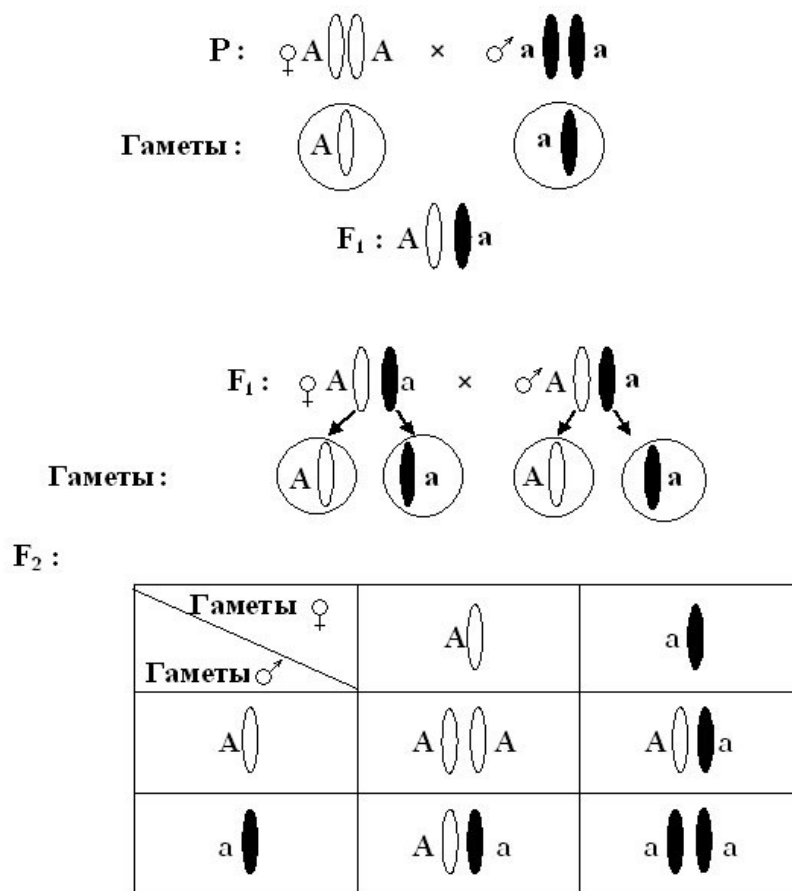


Рис. 6. Цитологические основы моногибридного скрещивания.

Пример – окраска семян гороха. *A* – аллель желтой окраски, *a* – аллель зеленой окраски.



Условие выполнения законов Менделя при моногибридном скрещивании – аллельные гены должны взаимодействовать по принципу полного доминирования.

**Полное доминирование** – один аллель гена (доминантный) полностью подавляет проявление другого (рецессивного). При скрещивании гомозиготных организмов с альтернативными признаками (например, растений гороха с желтыми и зелеными семенами) все особи первого поколения будут единообразными и иметь доминантный признак (желтые семена).

Во втором поколении при полном доминировании происходит расщепление по фенотипу в отношении 3:1 (т. е. 3/4 растений будут иметь желтые семена, а 1/4 – зеленые), а по генотипу 1:2:1.

P:	<i>AA</i>	x	<i>aa</i>	
	желтые		зеленые	
Гаметы:	<i>A</i>		<i>a</i>	
F <sub>1</sub>	<i>Aa</i>	x	<i>Aa</i>	
	100% желтые			
Гаметы:	<i>A, a</i>		<i>A, a</i>	
F <sub>2</sub>	<i>AA, Aa, Aa,</i>		<i>aa</i>	
	желтые		зеленые	
	<b>расщепление по генотипу 1<i>AA</i> : 2<i>Aa</i> : 1<i>aa</i></b>			
	<b>расщепление по фенотипу 3<i>A-</i> : 1<i>aa</i></b>			

При полном доминировании организм с доминантным признаком может быть гомо- или гетерозиготным, поэтому для определения генотипа проводят **анализирующее скрещивание** – с гомозиготой по рецессивным аллелям (*aa*).

Анализирующее скрещивание:				
P	<i>AA</i>	x	<i>aa</i>	
G	<i>A</i>		<i>a</i>	
F <sub>a</sub>	<i>Aa</i> 100%			
	<b>единообразие</b>			
P	<i>Aa</i>	x	<i>aa</i>	
G	<i>A, a</i>		<i>a</i>	
F <sub>a</sub>	50% <i>Aa</i> : <i>aa</i> 50%			
	<b>расщепление 1:1</b>			

Признаки человека, наследование которых подчиняется законам Менделя, получили название менделирующих. Например, карие и голубые глаза, наличие веснушек или их отсутствие; многие патологические признаки, в том числе болезни обмена веществ (ферментопатии).

Однако большинство признаков человека являются полигенными (за проявление признака отвечает группа генов). Следует отметить, что некоторые полигенные признаки имитируют моногенное наследование.

Резус-фактор – это белок, антиген, который находится на поверхности эритроцитов. Он обнаружен в 1940 году К. Ландштейнером и А. Вейнером в крови макака рода Резус. Около 85% европейцев (более 90% жителей других частей света) имеют резус-фактор и соответственно являются резус-положительными. Остальные – резус-отрицательные.

*Rh* – образование резус-антигенов

*rh* – отсутствие резус-антигенов

генотипы *RhRh* и *Rhrh* соответствуют фенотипу  $Rh^+$

генотип *rhrh* соответствует фенотипу  $Rh^-$

Система резус не имеет в норме одноименных антител (агглютининов), но они могут появиться, если человеку с резус-отрицательной кровью перелить резус-положительную кровь. Резус крови играет важную роль в формировании так называемой гемолитической желтухи новорожденных, вызываемой вследствие резус-конфликта иммунизированной матери и эритроцитов плода.

**Неполное доминирование** – вид взаимодействия аллельных генов, при котором у гетерозигот наблюдается промежуточное проявление признака, вследствие чего расщепление по фенотипу и генотипу совпадает.

Например, при скрещивании растений львиного зева с красной и белой окраской цветков у гибридных форм окраска цветков розовая, т. е. промежуточная.

При неполном доминировании во втором поколении расщепление по фенотипу и генотипу совпадает и равно отношению 1 : 2 : 1 ( $1AA : 2Aa : 1aa$ ). Это связано с тем, что доминантное гомозиготное растение *AA* отличается от гетерозиготного *Aa* по окраске цветков. В первом случае окраска красная, а во втором розовая.

В результате во втором поколении образуется три (вместо двух) фенотипических класса: с доминантным, промежуточным и рецессивным признаками.

P	<i>AA</i> красные цветки	x	<i>aa</i> белые цветки
Гаметы	<i>A</i>		<i>a</i>
F <sub>1</sub>	<i>Aa</i> розовые цветки	x	<i>Aa</i> розовые цветки
Гаметы	<i>A, a</i>		<i>A, a</i>
F <sub>2</sub>	<i>1AA</i> красные цветки 25%		<i>2Aa</i> розовые цветки 50%
			<i>1aa</i> белые цветки 25%

Неполное доминирование у человека наблюдается при серповидно-клеточной анемии и других гемоглобинопатиях. У гетерозигот наблюдается легкая форма анемии, а у гомозигот – тяжелая.

**Кодоминирование** – вид аллельного взаимодействия, при котором разные аллели гена проявляются в равной степени (пример – четвертая группа крови в системе АВО).

**Множественные аллели.** Один ген может иметь не два альтернативных состояния (доминантное и рецессивное), а более, образуя серии множественных аллелей. Серии множественных аллелей возникают в результате мутирования одного гена в ряд состояний. В диплоидном организме присутствуют только два любых аллеля из этой серии, между которыми возможны разные типы аллельных взаимодействий (полное доминирование, неполное доминирование, кодоминирование).

Множественные аллели воздействуют лишь на один признак, обуславливая различия в его проявлении. Примером множественного аллелизма у человека является наследование групп крови в системе АВО. Первая группа крови (О) определяется рецессивным геном  $i$  (генотип  $ii$ ), вторая группа крови (А) обусловлена доминантным аллелем  $I^A$  (генотипы  $I^A I^A$ ,  $I^A i$ ), третья группа крови (В) – доминантным аллелем  $I^B$  (генотипы  $I^B I^B$ ,  $I^B i$ ), четвертая группа крови (АВ) обусловлена явлением кодоминирования (генотип  $I^A I^B$ ).

**Летальные гены.** Мутантные гены у человека различаются по влиянию на жизнеспособность и продолжительность жизни. Известны так называемые летальные гены, вызывающие внутриутробную смерть или гибель вскоре после рождения. Летальные гены могут быть доминантными и рецессивными. Доминантная мутация брахидактилии проявляется у гетерозигот в виде укорочения пальцев, однако в гомозиготном состоянии развивается летальный эффект - гибель зародыша на ранних стадиях внутриутробного развития.

Летальные гены изменяют соотношение при расщеплении в потомстве от скрещивания гетерозиготных организмов, причем гибель потомков и доминантные, и рецессивные летальные гены вызывают только в гомозиготном состоянии:

Р	$Aa$	x	$Aa$		Р	$Aa$	x	$Aa$
G	$A, a$		$A, a$		G	$A, a$		$a$
F <sub>1</sub>	$1AA$ (леталь) : $2Aa$ : $1aa$				F <sub>1</sub>	$1AA$ : $2Aa$ : $1aa$ (леталь)		

**расщепление по фенотипу 2:1**

## Задачи

1. Темные волосы определяются доминантным аутосомным геном, светлые – его рецессивным аллелем. Женщина имеет светлые волосы, её муж гетерозиготен. Какого цвета у него волосы? Дети с какими волосами могут родиться в этой семье?
2. Карие глаза – доминантный аутосомный признак, голубые – рецессивный. В семье, где оба супруга имеют карие глаза, родился ребенок с голубыми глазами. Какова вероятность его рождения?
3. У хомяков рыжая окраска доминирует над белой, а длинная шерсть над короткой. Рыжую длинношерстную дигетерозиготную самку скрестили с белым короткошерстным самцом. Каких потомков и в каком соотношении получили?
4. Кохинуровые норки (светлая окраска с черным крестом на спине) получаются от скрещивания белых норок с темными. Скрещивание белых норок дает белое потомство, а скрещивание темных – темное. 1) Какое потомство получится от скрещивания кохинуровых норок с белыми? 2) От скрещивания кохинуровых норок получено потомство 74 белых, 77 черных и 152 кохинуровых. Сколько особей из них и какие будут гомозиготными?
5. На звероферме получен приплод в 356 норок. Из них 267 норок имеют коричневый мех и 89 – голубовато-серый. Определите генотипы исходных форм, если известно, что коричневый цвет доминирует над голубовато-серым.
6. У собак черный цвет шерсти доминирует над коричневым. Черная самка скрещивалась с коричневым самцом. Получено 15 черных и 13 коричневых щенков. Определите генотипы родителей и потомства.
7. Короткошерстного ангорского кролика скрестили с двумя длинношерстными крольчихами. От одной в нескольких пометах было получено 25 длинношерстных крольчат, а от другой – 15 длинношерстных и 14 короткошерстных. Каковы генотипы кролика и обеих крольчих?
8. При скрещивании рыжих коров с белым быком все телята оказываются чалыми. При скрещивании чалых коров с чалым быком получили 10 рыжих телят, 19 чалых и 9 белых. Какое потомство и в каком соотношении можно получить от скрещивания чалой коровы с белым быком?
9. При скрещивании красноплодной земляники между собой всегда получают красные ягоды, а при скрещивании белоплодной - белые ягоды. В результате скрещивания этих сортов между собой получают розовые ягоды. Какое потомство получится при скрещивании растения с розовыми ягодами с белоплодным растением?
10. При скрещивании серых овец между собой в потомстве получили 20 серых ягнят и 11 черных. При скрещивании серых овец с черными получили 18 серых ягнят и 19 черных. Как наследуется окраска шерсти у овец?
11. Ген вьющихся волос доминирует над геном прямых волос. Какова вероятность появления ребенка с прямыми волосами, если известно, что отец мужа и мать жены имели прямые волосы, а мать мужа и отец жены имели вьющиеся волосы, как и все их предки?

12. Мужчина страдает тяжелой рецессивной болезнью – фиброзом поджелудочной железы. Собираясь жениться, он опасается рождения больного ребенка. У будущей жены в трех известных поколениях подобных больных не было. Служит ли это гарантией того, что в семье не появится больной ребенок?
13. Наличие пигмента в волосах и радужной оболочке у человека доминирует над альбинизмом. 1) Муж и жена гетерозиготны по пигментации волос. Какова вероятность рождения ребенка-альбиноса? 2) В семье, где один из супругов альбинос, а другой нормален, родились двуйцевые близнецы, один из которых нормален, а другой альбинос. Какова вероятность рождения следующего ребенка альбиносом?
14. У человека ген полидактилии (шестипалость) доминирует над геном нормального строения кисти. 1) Оба родителя гетерозиготны. Определите вероятность рождения шестипалых детей. 2) В семье, где один из родителей имеет нормальное строение кисти, а второй – шестипалый, родился ребенок с нормальным строением кисти. Какова вероятность рождения следующего ребенка тоже без аномалий?
15. Серповидно-клеточная анемия (изменение нормального гемоглобина А на гемоглобин S, результате чего эритроциты принимают форму серпа) наследуется как неполностью доминантный аутосомный признак. Заболевание у гомозигот приводит к смерти, гетерозиготы жизнеспособны. Люди, имеющие гемоглобин S, не болеют малярией. 1) Какова вероятность рождения детей, устойчивых к малярии в семье, где один из родителей гетерозиготен, а другой нормален в отношении этого признака. 2) Какова вероятность рождения детей, неустойчивых к малярии, в семье, где оба родителя устойчивы к этому заболеванию?
16. Ахондроплазия (наследственная карликовость) – это доминантный аутосомный признак. В семье, где оба супруга страдают ахондроплазией, родился нормальный ребенок. Какова вероятность того, что следующий ребенок будет также нормальный?
17. Голубоглазый мужчина, родители которого имели карие глаза, женился на кареглазой женщине, у отца которой глаза были голубые, а у матери – карие. Какие дети могут родиться в этой семье, если известно, что кареглазость доминирует над голубоглазостью?
18. Резус-положительность наследуется как доминантный признак и определяется аллелем Rh, а резус-отрицательность – рецессивный признак и определяется аллелем rh. Может ли родиться резус-отрицательный ребенок в семье, где муж резус-отрицателен, а жена – резус-положительна, если известно, что мать жены резус отрицательна?
19. Муж резус-положителен, жена резус-отрицательна. У них есть резус-отрицательный ребенок. Какова вероятность его рождения?
20. У матери I группа крови, а у отца – IV. Могут ли дети унаследовать группы крови одного из своих родителей?
21. У мальчика I группа крови, а у его сестры – IV. Какова вероятность того, у их родителей родится ребенок с III группой крови?

22. Родители имеют II и III группы крови. У них есть ребенок с I группой крови. Какие еще группы крови могут быть у их детей?
23. У ребенка IV группа крови, у его матери – II, у отца – III. У бабушки со стороны матери II группа крови, у бабушки со стороны отца – III. Обе его бабушки имеют I группу крови. Какова вероятность того, что следующий ребенок в этой семье унаследует группу крови бабушек?
24. В семье, где муж имеет I группу крови, а жена – II, есть двое детей. У одного ребенка II группа крови, у другого – I группа крови. Напишите генотипы всех членов семьи.
25. У отца III группа крови, у матери – I, у их ребенка I группа крови. Какова вероятность рождения в этой семье ребенка с III группой крови?
26. У кареглазых родителей родился голубоглазый ребенок. Определите возможное соотношение фенотипов потомков у таких родителей (карий цвет глаз доминирует над голубыми глазами). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение всех получившихся потомков по фенотипу у этих родителей, в порядке их убывания.
27. Сколько разных фенотипов получится при самоопылении растений с розовыми лепестками венчика в случае неполного доминирования? Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр.
28. У темноволосых родителей родилась светловолосая дочь. Определите какое потомство по фенотипу ( $F_2$ ) появится при замужестве дочери с темноволосым гомозиготным мужчиной, если темные волосы – доминантный признак. Сколько детей по этому признаку будут похожи на мать? Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр.
29. Сколько процентов гомозигот возможно в потомстве при скрещивании гетерозиготного по одной паре признаков растения с рецессивной гомозиготой? Ответ запишите в виде числа.
30. Какой процент организмов по фенотипу получится в потомстве, если скрестили гетерозиготные и гомозиготные по доминантному гену растения? Ответ запишите в виде числа.
31. Какое соотношение организмов по генотипу получится в многочисленном потомстве, если скрестили гетерозиготные растения с растениями, гомозиготными по доминантному гену? Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение всех получившихся потомков по генотипу у этих родителей в порядке их убывания.
32. Определите, сколько генотипических групп образуется при моногибридном скрещивании особей при неполном доминировании ( $Aa \times Aa$ ). Ответ запишите в виде суммы цифр.
33. Определите, сколько фенотипических групп образуется при моногибридном скрещивании особей при неполном доминировании ( $AA \times aa$ ). Ответ запишите в виде суммы цифр.
34. Скрестили растения чистых линий томата с округлыми и грушевидными плодами ( $A$  – округлая форма плодов). Получившихся потомков в  $F_1$  скрестили между собой. Определите соотношение потомков по фенотипу во втором ( $F_2$ ) поколении при полном доминировании признака. Ответ запишите

те в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов, в порядке их убывания.

35. От скрещивания черных кроликов в потомстве появились семь черных и два белых кролика. Какова вероятность (в %) получения белых кроликов от последующих скрещиваний этих же родителей? Ответ запишите в виде числа.
36. При скрещивании двух растений ночной красавицы с красными (А) и белыми (а) цветками получили всё потомство растений с розовыми цветками. Полученные растения скрестили между собой. Какова вероятность (в %) получения растений с белыми цветками во втором поколении ( $F_2$ ) у ночной красавицы? Ответ запишите в виде числа.
37. У крупного рогатого скота ген безрогости (комолости) доминирует над геном рогатости. Скрестили гетерозиготного быка с гетерозиготными коровами. Какова вероятность (в %) рождения у этой пары животных рогатого потомства? Ответ запишите в виде числа.
38. У женщины, вступившей в брак, нет веснушек (А — наличие веснушек). Родители её мужа гомозиготны по этому признаку и имеют веснушки. Какова вероятность (в %) рождения детей с веснушками у женщины при таких условиях? Ответ запишите в виде числа.
39. Определите соотношение фенотипов у потомков при моногибридном скрещивании двух гетерозиготных организмов при неполном доминировании. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов.
40. Определите соотношение фенотипов у потомков при скрещивании двух гетерозиготных мух дрозофил с серым телом (полное доминирование). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (в порядке их убывания, без дополнительных знаков).
41. Определите соотношение фенотипов у потомков при моногибридном скрещивании двух гетерозиготных мух дрозофил со скрученными крыльями (полное доминирование, доминантные гомозиготы не выживают). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (в порядке их убывания, без дополнительных знаков).
42. Определите соотношение фенотипов у потомков при моногибридном скрещивании двух гетерозиготных мух дрозофил со скрученными крыльями (полное доминирование, доминантные гомозиготы не выживают). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (в порядке их убывания, без дополнительных знаков).
43. Определите вероятность в процентах появления рецессивной гомозиготы в потомстве от скрещивания гетерозиготных растений при полном доминировании. Ответ запишите в виде числа.
44. Определите вероятность в процентах проявления доминантного фенотипа в потомстве от скрещивания гетерозиготных растений при неполном доминировании. Ответ запишите в виде числа.

45. Определите вероятность в процентах появления длиннокрылой дрозофилы в потомстве от скрещивания гетерозиготных длиннокрылых мух. Ответ запишите в виде числа.
46. Определите вероятность в процентах появления белоглазых самцов при скрещивании гомозиготной красноглазой (доминантный признак) самки мухи и белоглазого самца. Ответ запишите в виде числа.
47. Определите вероятность в процентах рождения ребёнка с III группой крови у родителей с I и IV группами. Ответ запишите в виде числа.
48. Определите вероятность в процентах проявления промежуточного фенотипа при анализирующем скрещивании гетерозиготы при неполном доминировании. Ответ запишите в виде числа.
49. Определите вероятность в процентах появления ребёнка с I группой крови от брака гетерозиготных родителей с II и IV группами крови. Ответ запишите в виде числа.
50. Определите вероятность в процентах появления потомства с серым телом при скрещивании двух серых гетерозиготных мух при полном доминировании. Ответ запишите в виде числа.
51. Какова вероятность (в %) рождения гомозиготного потомства при скрещивании гомозиготного и гетерозиготного организмов? В ответе запишите только целое число.



## ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

**Закон независимого наследования признаков (третий закон):** при скрещивании организмов, отличающихся по двум парам признаков, расщепление по каждой паре происходит независимо от других пар признаков.

Условия выполнения:

- 1) гены, отвечающие за разные признаки, находятся в разных (негомолотичных) хромосомах;
- 2) не должно быть взаимодействия неаллельных генов.

Цитологические основы дигибридного скрещивания – рис. 7.

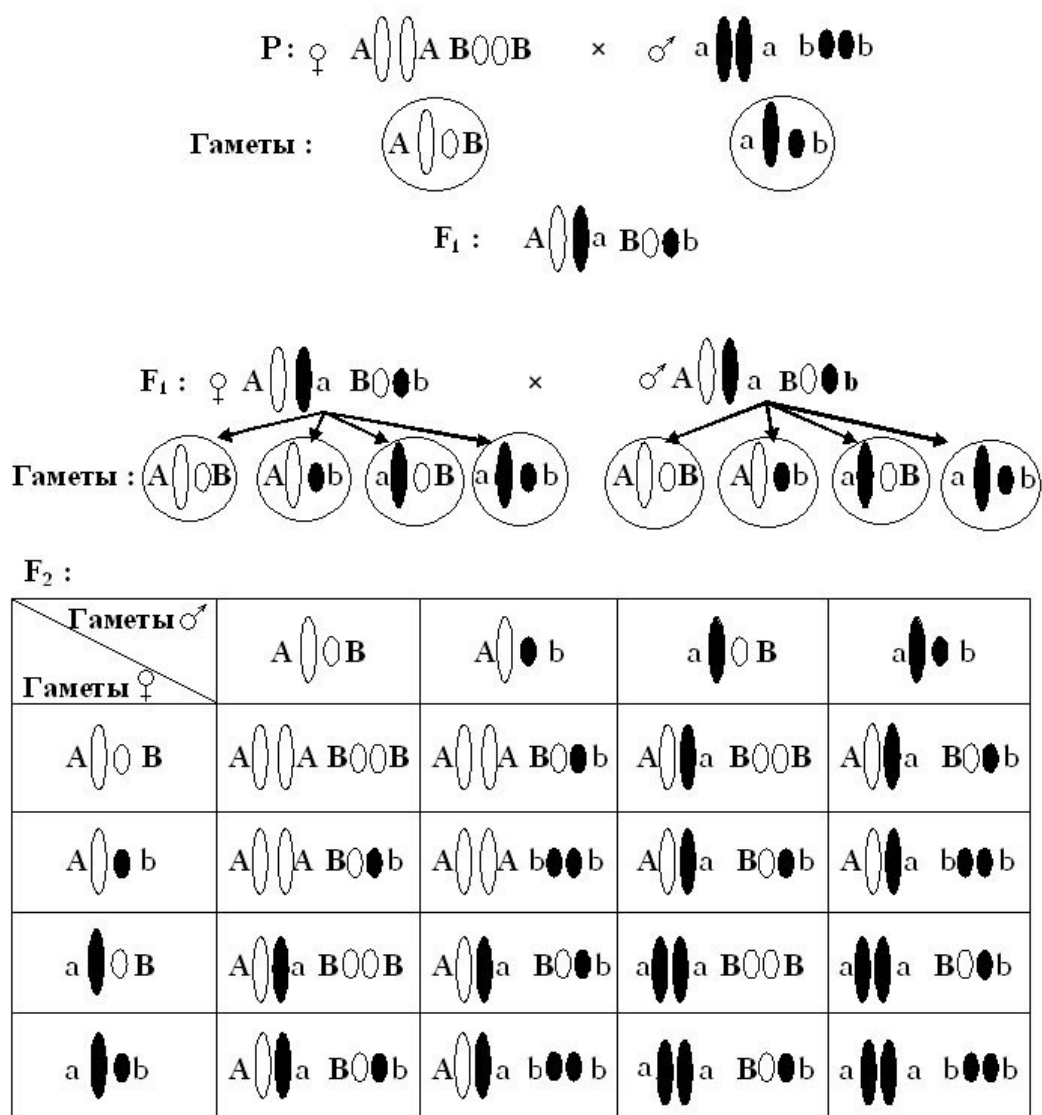


Рис. 7. Цитологические основы дигибридного скрещивания.

Пример – окраска и форма семян гороха. *A* – аллель желтой окраски, *a* – аллель зеленой окраски; *B* – аллель гладкой формы, *b* – аллель морщинистой формы.

При дигибридном скрещивании родительские особи различаются по двум парам контрастных альтернативных признаков. Например, у одного сорта гороха окраска семян желтая, форма морщинистая, а у другого – зеленая и гладкая.

При дигибридном скрещивании расщепление во втором поколении идет по фенотипу 9:3:3:1. Для определения характера расщепления в  $F_2$  удобно пользоваться решеткой Пеннета. Для ее составления по вертикали выписывают женские гаметы, а по горизонтали – мужские. В клетках таблицы, находящихся на пересечении горизонтальных и вертикальных линий, выписывают генотипы  $F_2$ . По решетке Пеннета можно определить фенотип и генотип особей  $F_2$  и частоту их встречаемости при разных генотипах родителей.

Приведем схему расщепления при дигибридном скрещивании и построим решетку Пеннета.

P  $AABB \times aabb$   
 Гаметы  $AB \quad ab$   
 $F_1 \quad AaBb \times AaBb$   
 $F_2$

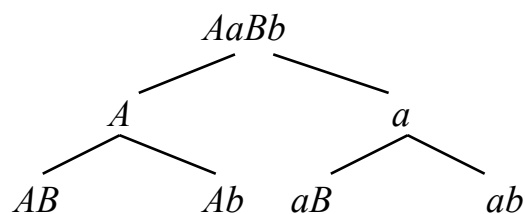
Гаметы	$AB$	$Ab$	$aB$	$ab$
$AB$	$AABB$	$AABb$	$AaBB$	$AaBb$
$Ab$	$AABb$	$AAbb$	$AbBb$	$Aabb$
$aB$	$AaBB$	$AaBb$	$aaBB$	$aaBb$
$ab$	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$

Расщепление по фенотипу:  $9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb$ .

Наблюдаемое при дигибридном скрещивании расщепление в  $F_2$  по фенотипу в отношении 9:3:3:1 связано с тем, что расщепление в обеих парах генов происходит независимо друг от друга. Поэтому дигетерозигота  $AaBb$  образует 4 типа гамет в равных количествах. В двух из них ( $AB$  и  $ab$ ) гены находятся в том же сочетании, как у исходных родителей, а в двух других ( $Ab$  и  $aB$ ) в новых сочетаниях. Эти закономерности, отмеченные Менделем в опытах с горохом, были подтверждены в дальнейшем на различных объектах и получили название закона независимого комбинирования генов.

При решении задач важно правильно выписать типы гамет, образуемые гибридом  $F_1$ . Число различных типов гамет вычисляется по формуле  $2^n$ , где  $n$  означает число генов, по которым данный гибрид гетерозиготен. Так, для моногетерозиготы  $Aa$   $n=1$ , а число типов гамет  $2^1=2$  ( $A$  и  $a$ ); для дигетерозиготы  $AaBb$   $n=2$ , число типов гамет  $2^2=4$  ( $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$ ,  $ab$ ). У дигетерозиготы  $AaBb$  аллели разных генов располагаются в негомологичных хромосомах ( $A$  и  $a$  – в одной паре гомологичных хромосом,  $B$  и  $b$  – в другой). В мейозе при образовании гамет негомологичные хромосомы расходятся независимо друг от друга. Это определяет равновероятное образование всех возможных комбинаций аллелей разных генов. В результате аллель  $A$  с равной вероятностью может соединиться с  $B$  и  $b$ , а аллель  $a$  с  $B$  и  $b$ . Таким образом, образуется четыре типа гамет:  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$  и  $ab$ .

Для удобства выписывания всех типов гамет гибрида (например,  $AaBb$ ) можно использовать следующий простой прием. Из возможных гамет половина будет иметь аллель  $A$  и половина – аллель  $a$ . Каждый аллель  $A$  и  $a$  может сочетаться с аллелем  $B$  и с аллелем  $b$ .



Число генетически возможных комбинаций в потомстве гибридов по фенотипу и генотипу зависит от числа анализируемых генов. Число разных фенотипов в потомстве гибрида вычисляется по формуле  $2^n$ , где  $n$  – число генов в гетерозиготном состоянии. По этой же формуле определяется число типов гамет гибрида. Например, при моногибридном скрещивании число разных классов фенотипов  $2^n=2$ , при дигибридном –  $2^n=4$ .

При дигибридном скрещивании в  $F_2$  при неполном доминировании по одной аллельной паре генов расщепление по фенотипу составит 3:6:3:1:2:1, а по двум аллельным генам – 1:2:1:2:4:2:1:2:1. В этом нетрудно убедиться, построив решетку Пеннета.

### Задачи

- Сколько типов гамет и какие образуют следующие организмы: AABV; AaBb; AaBV, AaBb?
- У кур белое оперение доминирует над окрашенным, гороховидный гребень над листовидным.
  - При скрещивании двух кур, имеющих белую окраску и гороховидный гребень, среди потомков были белые цыплята с листовидным гребнем и окрашенные цыплята с гороховидным гребнем. Определите генотипы родителей и потомства. Напишите данное скрещивание.
  - Все цыплята, полученные при скрещивании белой с листовидным гребнем курицы с петухом, имеющим гороховидный гребень и окрашенное оперение, имели белую окраску и гороховидный гребень. Какое потомство можно получить при скрещивании гибридов первого поколения между собой?
- У кур ген розовидного гребня доминирует над геном простого гребня, а по генам черной и белой окраски наблюдается неполное доминирование: гетерозиготные особи имеют голубую окраску. Если скрестить птицу, имеющую розовидный гребень и черную окраску, с белой птицей с простым гребнем, то все потомство будет иметь розовидный гребень и голубую окраску. Какое соотношение фенотипов можно получить, скрещивая гибриды первого поколения между собой?
- У кур черная окраска оперения доминирует над бурой, наличие хохла – над его отсутствием. Гены находятся в разных парах хромосом.
  - При скрещивании черной без хохла курицы с бурым хохлатым петухом все потомство хохлатое и имеет черную окраску. Определите генотипы родителей и потомства. Напишите данное скрещивание.

- 2) Бурый хохлатый петух скрещен с черной курицей без хохла. В их потомстве половина цыплят черных хохлатых и половина бурых хохлатых. Каковы генотипы родителей и их потомства?
- 3) От скрещивания черных хохлатых петуха и курицы получено 49 цыплят: 27 черных хохлатых, 3 бурых без хохла, 10 бурых хохлатых и 9 черных без хохла. Как наследуются признаки? Каковы генотипы петуха, курицы и потомства?
5. Плоды томатов бывают красные и желтые, гладкие и пушистые. Ген красного цвета доминирует над желтым, а ген гладкой поверхности плодов над пушистостью. Обе пары генов находятся в разных хромосомах. Какое потомство можно ожидать от скрещивания дигетерозиготного растения с особью, гомозиготной по двум рецессивным признакам?
6. При скрещивании высокорослых томатов с некротическими листьями с карликовыми растениями, имеющими нормальные листья, все гибриды первого поколения оказались высокорослыми с нормальными листьями. Во втором поколении получили 90 высокорослых растений с нормальными листьями, 31 высокорослых с некротическими листьями, 29 карликовых с нормальными, 10 карликовых с некротическими листьями. Напишите данные скрещивания.
7. У растений томата ген пурпурной окраски стеблей доминирует над геном зеленой окраски, а ген красной окраски плодов доминирует над геном желтой окраски. Определите вероятность появления в потомстве растений с зелеными стеблями и красными плодами при скрещивании растений, гетерозиготных по этим признакам.
8. У морских свинок курчавая шерсть доминирует над гладкой, а черная окраска над белой. Гены двух признаков находятся в разных хромосомах
- 1) Какое потомство и в каком соотношении можно получить при скрещивании двух дигетерозиготных особей?
- 2) Самца морской свинки, имеющего белую курчавую шерсть, скрестили с гладкошерстной черной окраски самкой. В нескольких пометах этой пары получено: 8 свинок с курчавой черной шерстью, 7 – с курчавой белой шерстью, 7 – с гладкой черной и 8 – с гладкой белой. Определите генотипы родителей и потомства.
9. При скрещивании высокорослого растения душистого горошка, имеющего морщинистые семена, с карликовым растением с круглыми семенами, все гибриды первого поколения имели высокий рост и круглые семена. Какова вероятность появления в потомстве высоких растений с морщинистыми семенами при скрещивании гибридов первого поколения между собой?
10. У гороха ген длинного стебля доминирует над геном короткого стебля, а ген красной окраски цветов – над геном белой окраски. Признаки не сцеплены. При скрещивании двух растений, имеющих длинные стебли и красные цветки, среди потомков были растения с белыми цветками и коротким стеблем. Определите, какова вероятность появления таких растений в данном скрещивании.
11. Зеленая корка арбуза доминирует над полосатой, а круглая форма плода – над удлинённой. Гены, определяющие эти признаки, локализованы в разных парах хромосом.

- 1) Какое потомство и в каком соотношении можно ожидать от скрещивания дигетерозиготных зеленых круглых арбузов с полосатыми удлиненными арбузами?
  - 2) Какова вероятность появления полосатых длинных арбузов от скрещивания полосатых круглых гетерозиготных по второму признаку арбузов с зелеными длинными арбузами, гетерозиготными по первому признаку?
  - 3) При скрещивании зеленых круглых арбузов с полосатыми удлиненными получены: 25% зеленых круглых, 25% зеленых удлиненных, 25% полосатых круглых, 25% полосатых удлиненных арбузов. Определите генотипы родительских форм и потомства.
12. У собак черный цвет шерсти доминирует над кофейным, а короткая шерсть над длинной. Обе пары генов не сцеплены.
- 1) Кофейную короткошерстную собаку скрещивали с черной длинношерстной. Все потомки от этого скрещивания были черными короткошерстными. Их скрестили с кофейными короткошерстными собаками, все предки которых были короткошерстными. Какой процент кофейных короткошерстных щенков можно ожидать от такого скрещивания?
  - 2) Охотник купил собаку черную с короткой шерстью и хочет быть уверен, что она не несет генов кофейного цвета и длинной шерсти. Какого партнера по фенотипу и генотипу надо подобрать для скрещивания, чтобы проверить генотип купленной собаки?
13. У собак длинная шерсть и стоячее ухо являются рецессивными по отношению к короткой шерсти и висячему уху.
- 1) Какое потомство получится при скрещивании гетерозиготных короткошерстных собак со стоячими ушами и гетерозиготных вислоухих с длинной шерстью?
  - 2) Скрестили гетерозиготных короткошерстных собак со стоячими ушами и гетерозиготных вислоухих с длинной шерстью. Получили 40 щенков. Сколько типов гамет образуют родительские особи? Сколько разных генотипов и фенотипов щенков получится в этом скрещивании? Сколько будет вислоухих щенков с короткой шерстью? Сколько щенков будет с длинной шерстью?
14. У крупного рогатого скота латвийской породы гены красной и белой шерсти в гетерозиготном состоянии дают чалую окраску, а ген комолости доминирует над геном рогатости. Какое потомство получится от скрещивания чалой рогатой коровы с чалым комолым быком, мать которого была рогатой?
15. Черная масть крупного рогатого скота доминирует над рыжей, а белоглодость над сплошной окраской головы. Гены обоих признаков находятся в разных хромосомах. Какое потомство можно получить от скрещивания гетерозиготного черного быка со сплошной окраской головы с рыжей белогловой коровой, если последняя гетерозиготна по белогловости?
16. У крупного рогатого скота ген комолости доминирует над геном рогатости, а ген черного цвета – над красным. Гены обоих признаков находятся в разных хромосомах. Скрещиваются гетерозиготный черный комолый бык с

красной рогатой коровой. Какова вероятность получить рогатых телят красного цвета?

17. У пшеницы безостость доминирует над остистостью, а красная окраска колоса – над белой. Оба гена не сцеплены. Скрещивались растения безостого белоколосного сорта с остистым красноколосным. В потомстве получено 40 растений безостых красноколосных и 37 безостых белоколосных. Определите генотипы скрещиваемых растений и потомства.
18. У мышей желтая шерсть доминирует над серой, а длинные уши – над короткими. Гены обоих признаков находятся в разных хромосомах. Гомозиготные желтые мыши погибают до рождения. Желтых длинноухих мышей, все предки которых были длинноухими, скрестили с желтыми короткоухими мышами. Определите возможные фенотипы потомства и их количественные соотношения.
19. У львиного зева красная окраска цветка не полностью доминирует над белой. У гетерозигот окраска розовая. Нормальная форма цветка доминирует над пилорической. Оба гена находятся в аутосомах и не сцеплены.
  - 1) Скрещивались два растения. Одно имело белые цветки нормальной формы, а другое красные нормальные. В потомстве было получено 90 растений с розовыми цветками нормальной формы и 30 с розовыми цветками пилорической формы. Определите генотипы родителей и потомства.
  - 2) Скрещивались два растения. Одно из них имело белые цветки пилорической формы. В потомстве получены растения, имеющие розовые цветки нормальной формы, розовые пилорические, белые нормальные и белые пилорические. Определить фенотип и генотип второго родительского растения, а также генотипы потомства.
20. У флоксов белая окраска цветков и плоский венчик определяются доминантными генами из разных аллельных пар, кремовая окраска и воронковидный венчик – рецессивными. Растение с белыми воронковидными цветками скрещено с растением, имеющим кремовые плоские цветки. В потомстве 25% растений имеют цветки белые плоские, 25% – белые воронковидные, 25% – кремовые плоские и 25% – кремовые воронковидные. Определите генотипы исходных растений. Дайте цитологическое обоснование.
21. У дурмана колючая коробочка доминирует над гладкой, а красные цветки – над белыми. Скрещивались растения с красными цветками и колючими коробочками с растениями, имеющими белые цветки и гладкие коробочки. Среди гибридов первого поколения были растения с белыми цветками и гладкими коробочками. Определите генотипы родителей и потомков и дайте цитологическое обоснование решения задачи.
22. У малины колючий стебель доминирует над гладким, красная окраска плодов – над желтой. Скрещивались между собой растения с красными плодами и колючим стеблем. Среди потомства появились растения с желтыми плодами и гладким стеблем. Определите генотипы родительских форм и их потомков, объясните решение цитологически.
23. Скрещиваются двудомные растения: генотип мужского растения  $Aabb$ , а генотип женского  $aaBb$ . Определите возможные варианты генотипов зародыша и эндосперма.

24. Каково число различных типов гамет, генотипов и фенотипов в потомстве самоопыляющегося растения, гетерозиготного по трем парам генов?
25. У кошек породы скоттишфолд ген короткой шерсти доминирует над геном длинной, а ген вислоухости над геном стоячих ушей. Гены обоих признаков находятся в разных хромосомах. При этом ген вислоухости в гомозиготном состоянии чреват патологическими изменениями конечностей. При скрещивании между собой здоровых вислоухих короткошерстных кошек в потомстве появился длинношерстный котенок со стоячими ушами. Какие фенотипы потомков и в каком соотношении можно ожидать при повторном скрещивании тех же животных?
26. При скрещивании низкорослых растений кукурузы с гладкими окрашенными семенами с высокорослыми растениями, имеющими гладкие неокрашенные семена, в потомстве получено 60 растений высокорослых с окрашенными гладкими семенами и 20 высокорослых с окрашенными морщинистыми. Определите генотипы родителей и потомков.
27. У кроликов короткая шерсть доминирует над длинной, черная окраска над белой, длинные уши над короткими. Гены не сцеплены. При скрещивании короткошерстной черной короткоухой самки с короткошерстным белым длинноухим самцом получено 3 крольчонка короткошерстных черных длинноухих, 3 короткошерстных белых длинноухих, 1 длинношерстный черный длинноухий и 1 длинношерстный белый длинноухий. Определите генотипы родителей и потомков.
28. При скрещивании двух платиновых короткошерстных норок в нескольких пометах получили 18 платиновых короткошерстных потомков, 6 платиновых длинношерстных, 9 коричневых короткошерстных и 3 коричневых длинношерстных. Какое потомство можно получить, если для исходных родительских форм провести анализирующее скрещивание?
29. Одинаковых серых длинноногих овец с нормальными ушами скрестили с одинаковыми серыми коротконогими баранами, имеющими нормальные уши. От этого скрещивания получили коротконогих ягнят, среди которых 4 были серыми с нормальными ушами, 2 – серыми с большими ушами, 2 – серыми с маленькими ушами, 2 – черными с нормальными ушами, 1 – черным с большими ушами и 1 – черным с маленькими ушами. Как наследуются окраска, размер ушей и длина ног у овец? Напишите данное скрещивание.
30. У человека ген карих глаз доминирует над геном голубых глаз, а умение владеть преимущественно правой рукой – над леворукостью. Гены не сцеплены.
- 1) Голубоглазый правша женился на кареглазой правше. У них родились двое детей: кареглазый левша и голубоглазый правша. Определите вероятность рождения в этой семье голубоглазых детей, владеющих преимущественно левой рукой.
  - 2) Кареглазый правша женился на кареглазой правше. Супруги дигетерозиготны. Все ли их дети будут похожи на своих родителей?
  - 3) Кареглазый мужчина-левша, отец которого был голубоглазым, женился на голубоглазой женщине-правше, мать которой была левшой. Какие дети могут родиться в этой семье?

31. Альбинизм (отсутствие пигмента) наследуется как рецессивный признак; вьющиеся волосы доминируют над прямыми волосами. Супруги имеют вьющиеся волосы и нормальную пигментацию. У них родился сын с прямыми волосами и альбинос. Определить вероятность рождения второго ребенка с такими же признаками.
32. Двоюродные брат и сестра, оба правши, вступили в брак. Жена была способна свертывать язык в трубочку. У мужа эта способность отсутствовала. От этого брака родился ребенок-левша, не способный свертывать язык в трубочку. Леворукость наследуется как рецессивный признак, способность свертывать язык – как доминантный. Определите генотипы членов семьи.
33. У человека ген, вызывающий одну из форм наследственной глухонемой, рецессивен по отношению к гену нормального слуха, умение владеть правой рукой доминирует над умением владеть левой. Супруги – правши с нормальным слухом. У них родился сын – глухонемой левша. Определите вероятность рождения этого ребенка.
34. Фенилкетонурия наследуется как рецессивный признак, а карий цвет глаз доминирует над голубым цветом. У кареглазых, здоровых супругов, родилась голубоглазая дочь, больная фенилкетонурией. Определите вероятность рождения второго ребенка с таким же генотипом.
35. У человека синдактилия (сращение пальцев) и глаукома (нарушение оттока глазной жидкости, приводящее к потере зрения) определяются аутосомными доминантными генами, локализованными в разных парах хромосом. Женщина, страдающая глаукомой, вышла замуж за мужчину с синдактилией. Мать женщины, так же как и многие ее родственники, страдала глаукомой, а отец здоров. У матери мужчины была синдактилия, а все родственники по линии отца не имели этой аномалии. Определить вероятность рождения ребенка с двумя заболеваниями сразу и ребенка с одним из этих наследственных нарушений.
36. Если отец глухонемой (рецессивный признак) с белым локоном надо лбом (доминантный признак), мать здорова и не имеет белой пряди, а ребенок глухонемой с белой прядью, то можно ли сказать, что он унаследовал признаки от отца?
37. В браке двух нормальных людей появился глухонемой ребенок альбинос. Объясните, почему это могло произойти и напишите генотипы родителей и ребенка.
38. У человека некоторые формы близорукости доминируют над нормальным зрением, а карий цвет глаз над голубым. Гены обеих пар не сцеплены.
- 1) Какое потомство можно ожидать от брака дигетерозиготных родителей? 2) Какое потомство можно ожидать от брака близорукого кареглазого мужчины с женщиной, имеющей голубые глаза и нормальное зрение, если известно, что отец мужчины был близоруким и голубоглазым, а мать имела нормальное зрение и карие глаза?
39. В брак вступили голубоглазый мужчина, гетерозиготный по гену серповидноклеточной анемии и женщина с нормальным гемоглобином и карими глазами (отец ее голубоглазый). Определите вероятные фенотипы детей, если



известно, что карий цвет глаз доминирует над голубым, а серповидно-клеточная анемия наследуется как неполностью доминантный признак: у гомозигот развивается тяжелая форма анемии, у гетерозигот – легкая.

40. Синдром длинного Q-T интервала – это заболевание сердца, вызванное нарушением работы калиевых каналов в сердечной мышце. Различные типы синдрома длинного Q-T интервала определяются разными доминантными аутосомными генами. Мужчина, мать которого здорова, имеет синдром длинного Q-T интервала типа 1. Его жена унаследовала от своей матери синдром длинного Q-T интервала типа 2, отец жены был здоров. Могут ли в такой семье родиться здоровые дети?
41. Рыжеволосый (доминантный признак) и без веснушек (рецессивный признак) мужчина и русоволосая с веснушками женщина имеют пятерых детей, трое детей – рыжеволосые с веснушками, один ребенок русоволосый без веснушек, один – русоволосый с веснушками. Какова вероятность появления в этой семье рыжеволосого ребенка без веснушек? Дайте цитологическое обоснование решения задачи.
42. Мужчина с резус-отрицательной кровью IV группы женился на женщине с резус-положительной кровью III группы. У отца жены была резус-отрицательная кровь I группы. В семье имеется 2 ребенка. Первый – с резус-отрицательной кровью I группы, второй – с резус-положительной кровью III группы. Судебно-медицинская экспертиза установила, что один из этих детей – внебрачный. По какой из двух пар аллелей исключается отцовство?
43. Женщина, имеющая III группу крови и положительный резус-фактор, вышла замуж за мужчину со II группой крови и положительным резус-фактором. У них родился ребенок с I группой крови и отрицательным резус-фактором. Определите вероятность рождения второго ребенка с таким же генотипом.
44. Мать резус-отрицательная с I группой крови имеет двойняшек – мальчика и девочку. Девочка резус-отрицательная с III группой крови, мальчик резус-отрицательный со II группой крови. Какой генотип по резус-фактору и группам крови может иметь отец?
45. Оба родителя имеют II группу крови и легкую форму талассемии. У них родился ребенок с I группой крови, страдающий тяжелой формой талассемии. Талассемия наследуется как аутосомный признак с неполным доминированием, несцепленный с группой крови. Определите вероятность рождения здоровых детей со II группой крови.
46. Мужчина, имеющий III группу крови, резус-положительный (его мать была резус-отрицательной с I группой крови), женился на женщине, имеющей I группу крови и резус-отрицательной. Какие возможны варианты по группам крови и резус-фактору у детей?
47. У человека вьющиеся волосы и карие глаза определяются доминантными аутосомными несцепленными генами. В семье, где у жены вьющиеся волосы и голубые глаза, а у мужа гладкие волосы и карие глаза, есть трое детей. У первого ребенка гладкие волосы, карие глаза и I группа крови, у второго – вьющиеся волосы, голубые глаза и III группа крови, у третьего – вьющиеся

волосы, карие глаза и IV группа крови. Может ли в такой семье родиться ребенок с вьющимися волосами, карими глазами и II группой крови?

48. Скрестили два дигетерозиготных растения тыквы с жёлтыми круглыми плодами. Определите соотношение фенотипов гибридов первого поколения при полном доминировании (гены окраски и формы тыквы находятся в разных парах гомологичных хромосом). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов, в порядке их убывания.
49. Скрестили при дигибридном скрещивании два растения: одно – дигомозиготное по доминантным генам, а второе – дигомозиготное по рецессивным генам. Определите, сколько фенотипов образуется в потомстве при таком скрещивании. Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр, соответствующих количеству фенотипов в потомстве.
52. Скрестили гомозиготные растения гороха с желтыми круглыми семенами (А – желтые, В – круглые) с растениями, имеющими зеленые морщинистые семена. В дальнейшем полученные особи из  $F_1$  скрестили между собой. Гены окраски и формы семян у гороха находятся в разных парах гомологичных хромосом. Определите соотношение потомков по фенотипам в  $F_2$ , ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение всех получившихся потомков по фенотипу у этих родителей в порядке их убывания.
53. Определите число фенотипических групп в потомстве гороха ( $F_2$ ), если скрестили гомозиготные растения гороха с желтыми круглыми семенами (А – желтые, В – круглые) с растениями, имеющими зеленые морщинистые семена. В дальнейшем полученные особи скрестили между собой. Гены окраски и формы семян у гороха находятся в разных парах гомологичных хромосом. Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр.
54. Определите суммарное число генотипических групп в потомстве гороха ( $F_2$ ), если скрестили дигомозиготные растения гороха с желтыми круглыми семенами (А – желтые, В – круглые) с растениями, имеющими зеленые морщинистые семена. В дальнейшем полученные особи скрестили между собой. Гены окраски и формы семян у гороха находятся в разных парах гомологичных хромосом. Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр.
55. Определите, сколько фенотипических групп получится в потомстве при скрещивании морских свинок с генотипами  $AAbb$  и  $aaBB$ . Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр.
56. Определите соотношение фенотипических групп особей при скрещивании дигетерозиготных растений томата с рецессивными по обоим признакам особями, если в потомстве получены следующие генотипы растений:  $AaBb$ ,  $aaBb$ ,  $Aabb$  и  $aabb$ . Пары генов находятся в разных парах гомологичных хромосом. Соотношение фенотипических групп запишите в виде цифры или последовательности цифр.
57. Скрестили растения чистых линий гороха с жёлтыми гладкими семенами и зелёными морщинистыми семенами (А – жёлтая окраска семян; В – гладкая форма семян). Гены находятся в двух парах хромосом. Получившихся по-

- томков в  $F_1$  скрестили между собой. Сколько фенотипических групп получено в  $F_2$ ? Ответ запишите в виде числа.
58. Скрестили дигетерозиготные растения гороха с жёлтыми гладкими семенами. Гены находятся в двух парах хромосом. Сколько групп по генотипу получено в потомстве? Ответ запишите в виде числа.
59. Определите соотношение генотипов у потомков при анализирующем скрещивании дигетерозиготы. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов.
60. Определите соотношение фенотипов у потомков при скрещивании двух дигетерозигот при полном доминировании и независимом наследовании. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (в порядке их убывания, без дополнительных знаков).
61. Определите соотношение генотипов при скрещивании гетерозиготного растения гороха с гладкими семенами и растения с морщинистыми семенами. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов.
62. Определите соотношение фенотипов у потомков при скрещивании двух дигетерозигот дрозофил с серым телом и нормальной формой крыльев (гены находятся в разных парах аутосом). Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (в порядке их убывания, без дополнительных знаков).
63. Определите вероятность в процентах появления рецессивной дигомозиготы в потомстве от анализирующего скрещивания дигетерозиготных растений при полном доминировании и независимом наследовании. Ответ запишите в виде числа.
64. Определите вероятность в процентах рождения сына с I группой крови и отрицательным резусом от брака гетерозиготной женщины с III группой крови и отрицательным резусом и мужчины с I группой крови и положительным резусом (тоже гетерозигота). Ответ запишите в виде числа.
65. Определите соотношение генотипов в потомстве при анализирующем скрещивании, если генотип родительской особи –  $AaBb$  при полном доминировании и независимом наследовании признаков. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся генотипов (без дополнительных знаков).
66. Сколько разных генотипов получится у потомства при анализирующем скрещивании организма с генотипом  $AaBB$  (полное доминирование и независимое наследование признаков)? В ответе запишите только количество генотипов.
67. Определите соотношение фенотипов у потомков при скрещивании дигетерозиготного растения гороха с растением, гомозиготным по рецессивным признакам. Гены двух признаков расположены в разных парах хромосом. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов (без дополнительных знаков).
68. Сколько различных фенотипов проявится в анализирующем скрещивании дигетерозиготы, если признаки доминируют полностью и наследуются независимо? В ответе запишите только количество фенотипов.

## СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ

В соответствии с законом Г.Менделя о независимом комбинировании признаков, гены, определяющие признаки, располагаются в негомологичных хромосомах. Известно, что в организме число генов очень велико, а число хромосом относительно мало.

В 1909–1911 гг. американские исследователи во главе с Томасом Морганом в экспериментах на плодовой мушке дрозофиле доказали, что, если гены локализованы в одной хромосоме, то признаки определяемые этими генами, наследуются совместно, или сцеплено.

Закономерность совместного наследования признаков была сформулирована Т.Морганом и считается четвертым законом генетики, носящим его имя: *гены, расположенные в одной хромосоме наследуются совместно (сцепленно), но сцепление генов не абсолютно и может нарушаться при кроссинговере.*

При решении задач на сцепленное наследование рекомендуется вводить обозначение хромосомы в которой локализованы эти гены (рис. 8).

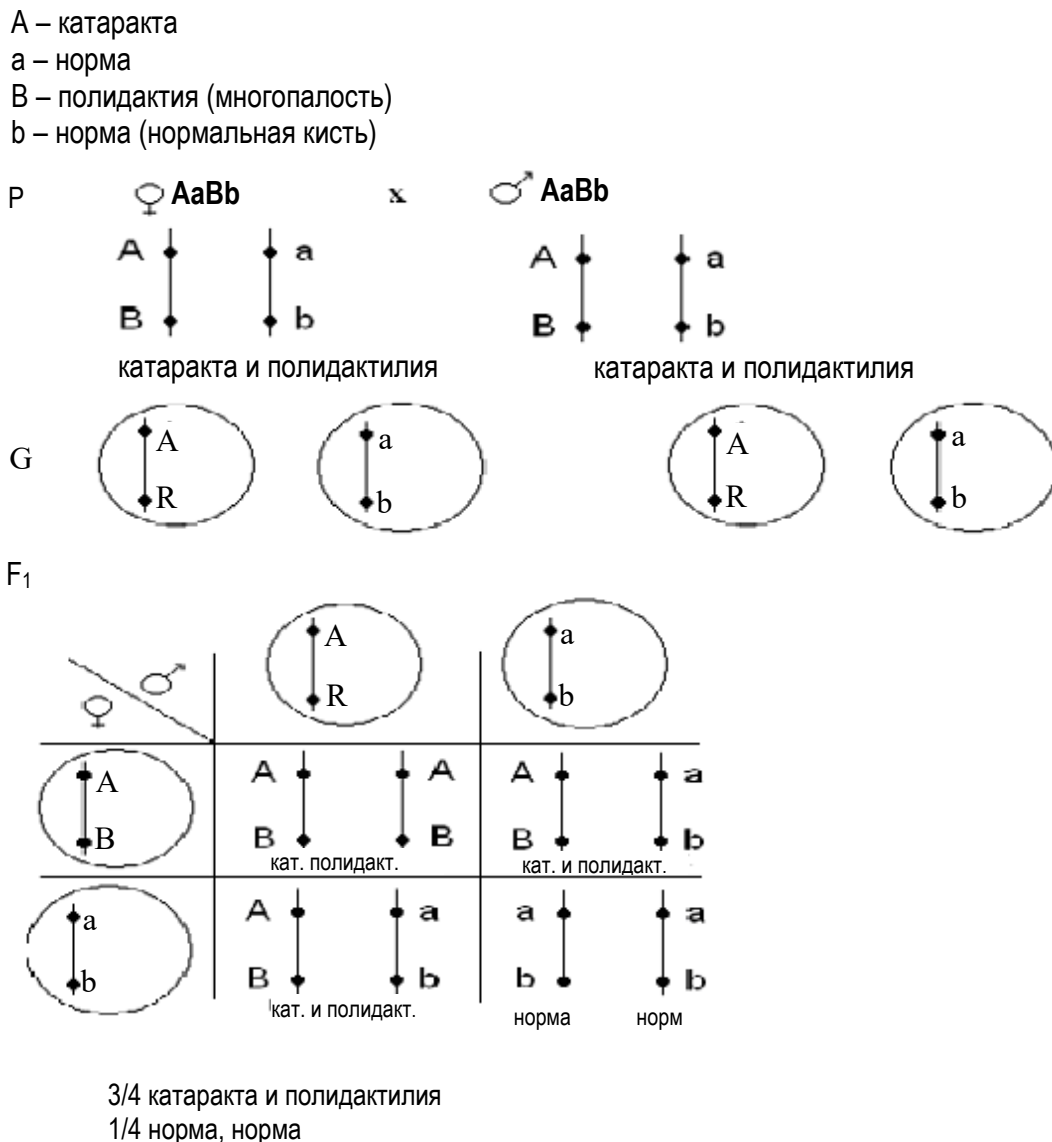


Рис. 8. Сцепленные гены.

Когда гены находятся в разных парах хромосом, генотип дигетерозиготы записывается как  $AaBb$  или

$$\begin{array}{cc} A & B \\ \equiv & \equiv \\ a & b \end{array}$$

(две черточки означают, что организм диплоидный).

Если гены находятся в одной паре гомологичных хромосом, то запись видоизменяется:

$$\begin{array}{cc} A & B \\ \equiv \equiv & \\ a & b \end{array}$$

При этом аллели одного гена ( $Aa$  и  $Bb$ ), находящиеся в гомологичных хромосомах, пишутся в одинаковых локусах.

Пусть доминантные гены  $AB$  располагаются в одной гомологичной хромосоме, а их рецессивные аллельные гены  $ab$  – в другой. Гены тесно сцеплены.

Проведем скрещивание двух дигетерозигот:

$$\begin{array}{l} P \\ \text{Гаметы} \\ F_2 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} \begin{array}{cc} A & B \\ \equiv \equiv & \\ a & b \end{array} & \times & \begin{array}{cc} A & B \\ \equiv \equiv & \\ a & b \end{array} \\ \begin{array}{cc} \underline{AB} & \underline{ab} \end{array} & & \begin{array}{cc} \underline{AB} & \underline{ab} \end{array} \\ \begin{array}{ccc} A & B & a & b \\ 1 & \equiv \equiv & 2 & \equiv \equiv & 1 & \equiv \equiv \\ A & B & a & b & a & b \end{array} \end{array}$$

### Расщепление по фенотипу 3:1

Из приведенных данных следует, что при сцепленном наследовании расщепление во втором поколении по фенотипу равно 3:1 (вместо 9:3:3:1 при независимом дигибридном скрещивании, т. е.:

$$\begin{array}{ccc} A & B & A & B \\ \equiv & \equiv & \times & \equiv & \equiv \\ a & b & & a & b \end{array}$$

При локализации генов  $A$  и  $B$  в одной хромосоме иным будет расщепление и в анализирующем скрещивании:

$$\begin{array}{l} P \\ \text{Гаметы} \end{array} \quad \begin{array}{ccc} \begin{array}{cc} A & B \\ \equiv \equiv & \\ a & b \end{array} & \times & \begin{array}{cc} a & b \\ \equiv \equiv & \\ a & b \end{array} \\ \begin{array}{cc} \underline{AB}, & \underline{ab} \end{array} & & \begin{array}{cc} \underline{ab} \end{array} \end{array}$$

$$F_1 \quad \begin{array}{cc} A B & a b \\ 1 \text{ =====} & : 1 \text{ =====} \\ a b & a b \end{array}$$

### Расщепление по фенотипу 1: 1

Следовательно, в анализирующем скрещивании при сцепленном наследовании расщепление по фенотипу 1: 1. Отметим, что в случае независимого наследования при анализирующем скрещивании

$$\begin{array}{cc} A & B & & a & b \\ \text{====} & \text{====} & \times & \text{====} & \text{====} \\ a & b & & a & b \end{array}$$

в потомстве дигетерозиготы образуется четыре разных фенотипа (и генотипа) в равном соотношении особей каждого фенотипа, т. е. 1:1: 1: 1.

В исследованиях ученых школы Т. Моргана было показано, что сила сцепления разных генов неодинакова. В случае полного сцепления (см. выше приведенное скрещивание) в потомстве дигетерозиготы при анализирующем скрещивании будут возникать особи, имеющие только родительское сочетание признаков в равном количественном отношении 1: 1. При неполном сцеплении в потомстве от анализирующего скрещивания наряду с фенотипом обеих родительских форм будут возникать особи с иным сочетанием признаков, причем количество их будет невелико. Эти особи называются кроссоверными. Их появление связано с обменом идентичными участками гомологичных хромосом с содержащимися в них генами. Этот процесс происходит в мейозе и получил название кроссинговера.

Количество кроссоверных особей в потомстве при анализирующем скрещивании отражает расстояние между генами в хромосоме. За единицу расстояния между генами принята одна морганида, которая равна 1% кроссоверных потомков при анализирующем скрещивании.

Гены, расположенные в одной хромосоме, составляют одну группу сцепления. Количество групп сцепления равно гаплоидному числу хромосом диплоидного организма.

### Задачи

1. У кроликов один из типов пятнистости доминирует над сплошной окраской, а нормальная шерсть – над ангорской. Скрещивают пятнистого кролика с нормальной шерстью с ангорской крольчихой со сплошной окраской. В потомстве получено 26 ангорских пятнистых крольчат, 144 ангорских со сплошной окраской, 157 пятнистых с нормальной шерстью и 23 с нормальной шерстью и сплошной окраской. Как наследуются эти признаки?
2. Скрещены две линии томатов: в одной все растения имеют опушенный эпидермис и незаостренные плоды, во второй – растения с нормальным эпи-

дермисом и заостренными плодами. Все гибриды первого поколения были с опушенным эпидермисом и незаостренными плодами. В анализирующем скрещивании получилось следующее расщепление: растений с опушенным эпидермисом и незаостренными плодами – 87, растений с нормальным эпидермисом и заостренными плодами – 85, растений с опушенным эпидермисом и заостренными плодами – 13, растений с нормальным эпидермисом и незаостренными плодами – 15. Как наследуются эти признаки? Докажите.

3. Катаракта и полидактилия у человека обусловлены доминантными аутосомными тесно сцепленными генами.
  - 1) Какое потомство следует ожидать в семье, где муж нормален, а жена дигетерозиготна, при этом ген катаракты она унаследовала от отца, а ген полидактилии – от матери?
  - 2) Женщина, мать которой была здорова, а отец болел катарактой и полидактилией и был гомозиготен, вышла замуж за здорового мужчину. Какие у них могут родиться дети?
  - 3) Какое потомство можно ожидать в семье у родителей, гетерозиготных по обоим признакам, если известно, что матери обоих супругов страдали только катарактой, а отцы – только полидактилией?
4. У улитки коричневый цвет раковины доминирует над желтым, полосатая окраска рецессивна по отношению к сплошной. Гены тесно сцеплены. Какое потомство будет получено при скрещивании желтой полосатой улитки с дигетерозиготной коричневой со сплошной окраской улиткой, если известно, что гены коричневого цвета и сплошной окраски она получила от одного родителя.
5. Определите, сколько возможных вариантов половых клеток образуется у дигетерозиготы, если гены находятся в одной паре гомологичных хромосом, а при образовании гамет происходит кроссинговер. Ответ запишите в виде цифры или последовательности цифр, начиная с наибольшей.
6. Определите соотношение фенотипов у потомков при анализирующем скрещивании дигетерозиготного хомяка при полном сцеплении генов. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов.
7. Определите соотношение фенотипов у потомков при дигибридном скрещивании двух гетерозиготных организмов при неполном доминировании по каждому из полностью сцепленных признаков. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов, в порядке их убывания, без дополнительных знаков.
8. Определите вероятность в процентах проявления доминантного фенотипа по обоим признакам при анализирующем скрещивании дигетерозиготы при полном сцеплении генов. Ответ запишите в виде числа.

## НАСЛЕДОВАНИЕ, СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ

В начале нашего столетия цитологическими исследованиями было установлено, что особи мужского и женского пола различаются по хромосомным наборам. Хромосомы, по которым различаются организмы мужского и женского полов, получили название половых хромосом. Половая хромосома, присутствующая у обоих полов – X-хромосома, половая хромосома, присутствующая у одного из полов – Y-хромосома. Неполовые хромосомы называются аутосомами.

Сочетание половых хромосом у разных видов организмов различно. У многих животных и человека, например, особи женского пола имеют набор половых хромосом XX, а особи мужского пола XY. С другой стороны, у птиц, шелкопряда, некоторых рыб и др., наоборот, особи женского пола имеют половые хромосомы XY, а особи мужского пола – XX (таблица 2).

Таблица 2

**Основные типы определения пола**

Название типа и определение пола	Организмы	Соматические клетки		Гаметы		Гетерогаметный пол
		♀	♂	♀	♂	
XY	Человек, млекопитающие, дрозофила и др. виды	XX	XY	X и X	X и Y	Мужской
XY	Птицы, бабочки	XY	XX	X и Y	X и X	Женский

Известно немало признаков, определяемых генами, которые локализованы в X-хромосоме. К ним относятся, например, гемофилия (несвертываемость крови), дальтонизм (цветовая слепота), ихтиоз (чешуйчатость кожи) и др. Такие признаки, как гипертрихоз (волосатость ушных мочек), перепончатость, наследуется сцепленно с Y-хромосомой у мужчин. Признаки, определяемые генами, находящимися в половых хромосомах, называются признаками, сцепленными с полом. Y-хромосома не содержит генов, имеющих в X-хромосоме. Поэтому гены, находящиеся в X-хромосоме, не имеют аллелей в Y-хромосоме. У гетерогаметного организма даже рецессивные аллели, находящиеся в X-хромосоме, проявляются.

### Задачи

1. Мужчина-гемофилик (несвёртываемость крови, рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой) женился на женщине с нормальным зрением, но имевшей отца-гемофилика. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы мужчины и женщины, генотипы и фенотипы возможного потомства. Какова вероятность рождения дочерей и сыновей-гемофиликов?
2. В семье, где родители имеют нормальное цветовое зрение, сын – дальтоник. Гены нормального цветового зрения (D) и дальтонизма (d) располагаются в



X-хромосоме. Определите генотипы родителей, сына-дальтоника, пол и вероятность рождения детей – носителей гена дальтонизма. Составьте схему решения задачи.

3. У человека ген нормального слуха (В) доминирует над геном глухоты и находится в аутосоме; ген цветовой слепоты (дальтонизма – d) рецессивный и сцеплен с X-хромосомой. В семье, где мать страдала глухотой, но имела нормальное цветовое зрение, а отец – с нормальным слухом (гомозиготен) и дальтоник, родилась девочка-дальтоник с нормальным слухом. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, дочери, возможные генотипы детей и вероятность в будущем рождения в этой семье детей-дальтоников с нормальным слухом, а также глухих дальтоников.
4. Гены окраски шерсти кошек расположены в X-хромосоме. Черная окраска определяется геном  $X^B$ , рыжая — геном  $X^b$ , гетерозиготы имеют черепаховую окраску. От черной кошки и рыжего кота родились: один черепаховый и один черный котенок. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей и потомства, возможный пол котят.
5. У мужа и жены нормальное зрение, несмотря на то, что отцы обоих супругов страдают цветовой слепотой (дальтонизмом). Ген дальтонизма рецессивен и сцеплен с X-хромосомой ( $X^d$ ). Муж имеет третью группу крови (у его матери была первая группа), его жена имеет четвертую группу крови. Определите генотипы мужа и жены. Составьте схему решения задачи. Какова вероятность рождения у них сына с нормальным зрением и второй группой крови и дочери-дальтоника с третьей группой крови?
6. У человека наследование альбинизма не сцеплено с полом (А — наличие меланина в клетках кожи, а — отсутствие меланина в клетках кожи — альбинизм), а гемофилии — сцеплено с полом ( $X^H$  — нормальная свёртываемость крови,  $X^h$  — гемофилия). Определите генотипы родителей, а также возможные генотипы, пол и фенотипы детей от брака дигомозиготной нормальной по обоим аллелям женщины и мужчины-альбиноса, больного гемофилией. Составьте схему решения задачи.
7. В скрещивании двух дрозофил с нормальными крыльями и серым телом в потомстве появился самец с редуцированными крыльями и желтым телом. Этого самца скрестили с родительской самкой. Форма крыльев у дрозофилы определяется аутосомным геном, ген окраски тела находится в X-хромосоме. Гетерогаметным полом у дрозофилы является мужской пол. Составьте схемы скрещиваний, определите генотипы и фенотипы родительских особей и потомства в скрещиваниях. Какие законы действуют в скрещиваниях? Какая часть потомства во втором скрещивании фенотипически сходна с исходной женской особью?
8. Кареглазая женщина с нормальным зрением, отец которой имел голубые глаза и страдал цветовой слепотой, выходит замуж за голубоглазого мужчину с нормальным зрением. Ген карих глаз наследуется как аутосомный доминантный, а ген цветовой слепоты (дальтонизма) — как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, генотипы и фенотипы возможного потомства.

9. У человека катаракта (заболевание глаз) зависит от доминантного аутосомного гена, а ихтиоз (заболевание кожи) – от рецессивного гена, сцепленного и X-хромосомой. Женщина со здоровыми глазами и больная ихтиозом выходит замуж за мужчину, больного катарактой, имеющего здоровую кожу, мать которого тоже страдала катарактой, а у отца этих заболеваний не было. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, возможные генотипы и фенотипы детей.
10. У дрозофилы гены цвета глаз и длины крыльев расположены в X-хромосоме. Красный цвет глаз доминирует над белым, длинные крылья – над маленькими. Какие типы гамет образует дигетерозиготная самка, получившая ген красных глаз от одного родителя, а ген длинных крыльев от другого.
11. У дрозофилы гены цвета глаз и длины крыльев расположены в X-хромосоме, красный цвет глаз доминирует над белым, длинные крылья – над маленькими. Скрестили красноглазую с длинными крыльями самку с белоглазым самцом с маленькими крыльями. В первом поколении получили самцов с красными глазами и маленькими крыльями и самцов с белыми глазами и длинными крыльями. Определите генотипы родителей и потомства.
12. У канареек сцепленный с X-хромосомой доминантный ген определяет зеленую окраску оперения, его рецессивный аллель – коричневую. Наличие хохолка зависит от аутосомного доминантного гена, его отсутствие – от его рецессивного аллеля. Зеленый канар без хохолка скрещен с зеленой хохлатой самкой. В потомстве был один птенец коричневый без хохла. Какова вероятность появления зеленых птенцов без хохла при повторном использовании той же родительской пары?
13. У кур полосатая окраска оперения определяется доминантным сцепленным с X-хромосомой геном, черная – его рецессивным аллелем. Гетерогаметным у птиц является женский пол. Аутосомный доминантный ген в гетерозиготном состоянии обуславливает коротконогость, а в гомозиготном имеет летальный эффект в эмбриональный период развития. Рецессивная гомозигота имеет нормальную длину ног. Полосатый коротконогий петух скрещен с черной коротконогой курицей. В потомстве были получены как полосатые, так и черные курочки. Какова вероятность появления полосатого длинноногого петушка при повторном использовании той же родительской пары?
14. В семье, где жена имеет I группу крови, а муж IV, родился сын-дальтоник с III группой крови. Оба родителя различают цвета нормально. Определите вероятность рождения здорового сына и возможные группы крови его. Дальтонизм наследуется как рецессивный сцепленный с X-хромосомой признак.
15. Потемнение зубов может определяться двумя доминантными генами, один из которых расположен в аутосомах, другой в X-хромосоме. В семье родителей, имеющих темные зубы, родились девочка и мальчик с нормальным цветом зубов. Определите вероятность рождения в этой семье следующего ребенка тоже без аномалии, если удалось установить, что темные зубы матери обусловлены лишь геном, сцепленным с X-хромосомой, а темные зубы отца – аутосомным геном, по которому он гетерозиготен.

16. Напишите генотип здоровой женщины, у которой отец был гемофиликом, а мать – альбиносом, и укажите типы гамет, которые образуются у этой женщины. Гемофилия наследуется как сцепленный с X-хромосомой рецессивный признак, альбинизм – рецессивный аутосомный признак.
17. Может ли признак, сцепленный с полом, передаваться от отца к сыну?
18. Здоровая женщина, имеющая отца с цветовой слепотой, выходит замуж за здорового мужчину. Какие возможны дети, если ген цветовой слепоты локализован в X-хромосоме?
19. Мужчина, больной гемофилией, вступает в брак со здоровой женщиной, отец которой страдал гемофилией. Определите вероятность рождения в этой семье здоровых детей.
20. Гипертрихоз (вырастание волос на краю ушной раковины) наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой. Какова вероятность рождения детей и внуков с этим признаком в семье, где отец и дедушка обладают гипертрихозом?
21. Одна из форм агаммаглобулинемии наследуется как аутосомно-рецессивный признак, другая – как рецессив, сцепленный с X-хромосомой. Определите вероятность рождения больных детей в семье, где известно, что мать гетерозиготна по обоим парам генов, а отец здоров и имеет лишь доминантные гены анализируемых аллелей.
22. У родителей со II группой крови родился сын с I группой крови и гемофилик. Оба родителя не страдают этой болезнью. Определите вероятность рождения второго ребенка здоровым и возможные группы крови его. Гемофилия наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак.
23. В семье есть четверо детей: здоровая девочка с I группой крови, мальчик, больной нефролитиазом (камни в почках) со II группой крови, здоровый мальчик с IV группой крови и больная девочка со II группой крови. Наследственный нефролитиаз – это рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой. Какие еще дети могут родиться в этой семье?
24. В семье, где жена имеет II группу крови, а муж – III, и оба супруга здоровы, родился сын-гемофилик с III группой крови. Известно, что мать жены и отец мужа имели I группу крови. Гемофилия наследуется как рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой. Определите вероятность рождения в этой семье здорового сына с IV группой крови.
25. Определите соотношение фенотипов у потомков от скрещивания белоглазых (а) самок дрозофил и самцов с красными глазами. Известно, что ген, определяющий цвет глаз, находится в X-хромосоме. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение получившихся фенотипов.
26. Определите вероятность в процентах рождения сына дальтоника от брака женщины с дальтонизмом и здорового мужчины. Ответ запишите в виде числа.

## АНАЛИЗ РОДОСЛОВНЫХ

Сбор сведений о семье начинается с человека, называемого *пробандом*.

### Графическое изображение родословной

По завершении сбора сведений приступают к графическому изображению родословной. Для этой цели разработана система условных обозначений.

Поколения в родословной обозначаются римскими цифрами, которые ставятся слева от родословной. Арабскими цифрами нумеруются родственники одного поколения слева направо. Братья и сестры располагаются в порядке рождения и именуются *сибсами*. Изображение родословной необходимо начинать с самого старшего поколения. К родословной записывается легенда.

### Анализ родословной

Анализ родословной включает следующие этапы:

1. Следует установить, является ли данный признак наследственным. Если признак в родословной встречается несколько раз в разных поколениях, то можно предполагать, что этот признак имеет наследственную природу.

2. На втором этапе анализа следует определить тип наследования признака. С этой целью анализируя родословную, обращают внимание на следующее:

- встречается ли изучаемый признак во всех поколениях;
- многие ли члены семьи обладают этим признаком;
- одинакова ли частота проявления признака у обоих полов;
- у лиц какого пола он встречается чаще;
- лицам какого пола передается признак от больного отца или больной матери;
- есть ли в родословной семье, где у обоих здоровых родителей родились больные дети;
- есть ли в родословной семье, где у обоих больных родителей родились здоровые дети
- какая часть потомства имеет наследуемый признак в семьях, где один из родителей болен.

### Характерные черты аутосомно-доминантного наследования

1. Признак проявляется в равной степени у представителей обоих полов.
2. В родословной признак встречается в каждом поколении.
3. Дети, имеющие признак, рождаются в семье, где хотя бы один из родителей имеет этот признак.

### Характерные черты аутосомно-рецессивного наследования

1. Признак проявляется в равной степени у представителей обоих полов.
2. В родословной признак встречается не в каждом поколении, число людей, имеющих признак, относительно невелико.
3. Дети, имеющие признак, обычно рождаются в семьях, где оба родителя этого признака не имеют; частота рождения детей с признаком возрастает в родственных браках.

### Характерные черты X-сцепленного доминантного наследования

1. От женщины признак может передаваться как сыновьям, так и дочерям.
2. От мужчины признак наследуют только его дочери, все его сыновья признака не имеют.

### Характерные черты X-сцепленного рецессивного наследования

1. Признак, как правило, проявляется только у мужчин.
2. Гетерозиготные женщины-носительницы признака не имеют, но у них могут быть потомки мужского пола с этим признаком.

### Характерные черты Y-сцепленного наследования

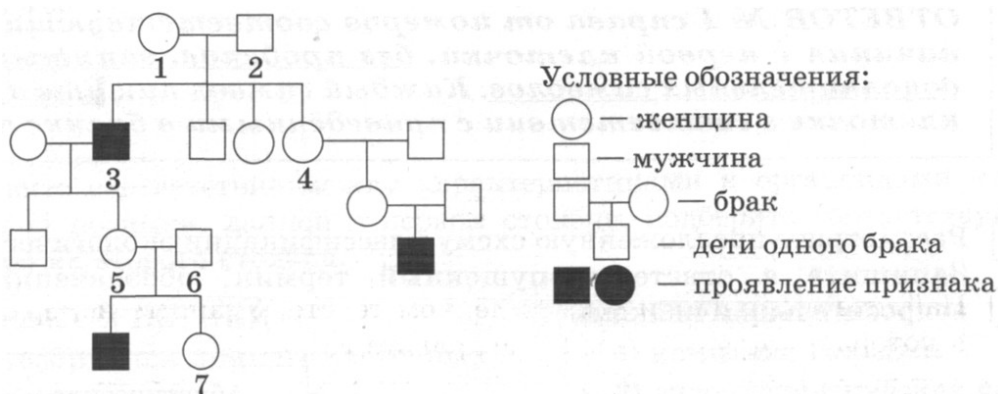
1. Признак имеют только мужчины.
2. Признак передается только по мужской линии.

### Характерные черты цитоплазматического наследования

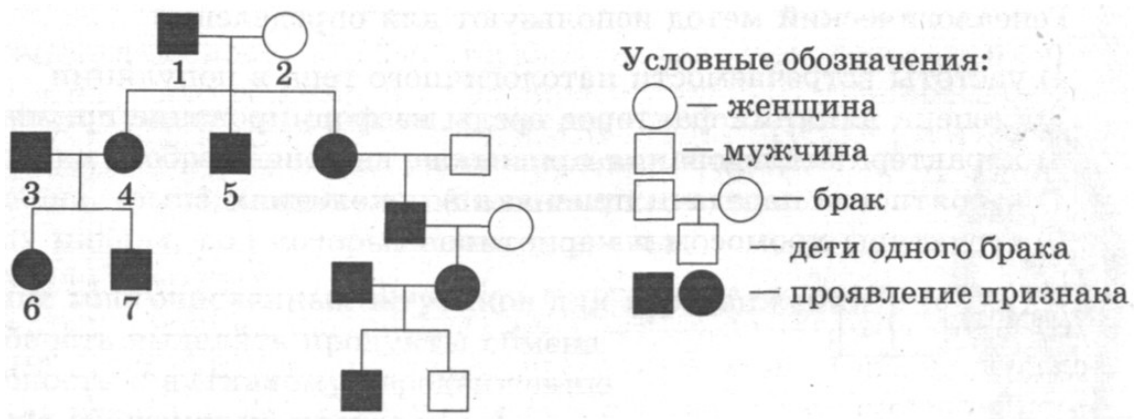
1. Признак передается от матери всем детям независимо от пола ребенка.
2. Отцы, имеющие признак, не передают его ни сыновьям, ни дочерям.

## Задачи

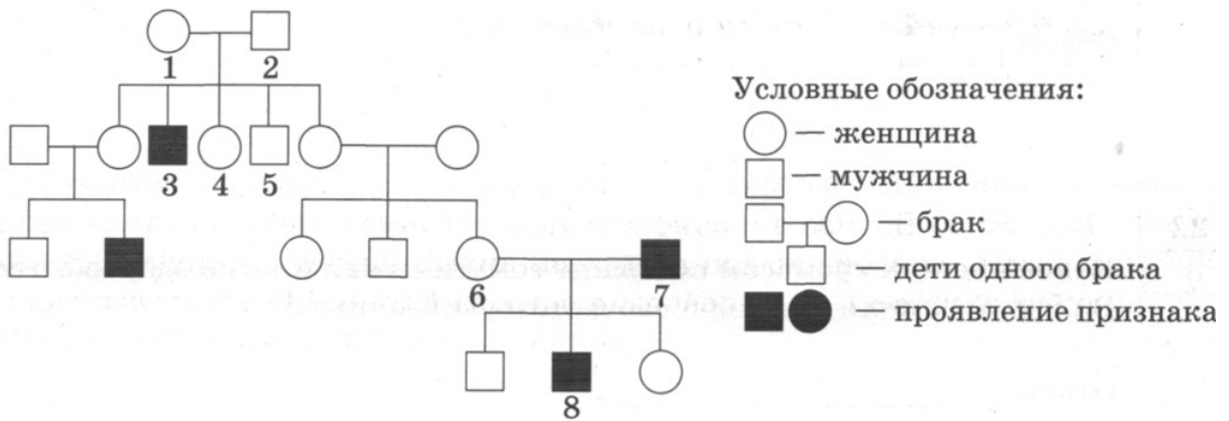
1. По изображённой на рисунке родословной человека определите и объясните характер проявления признака, выделенного чёрным цветом (доминантный или рецессивный, сцеплен или не сцеплен с полом). Определите генотипы родителей и потомков, обозначенных на рисунке цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Какова вероятность рождения ребёнка с признаком, выделенным чёрным цветом, у женщины 7, если у мужчины этот признак будет отсутствовать?



2. По изображённой на рисунке родословной определите и объясните характер наследования признака, выделенного чёрным цветом (доминантный или рецессивный, сцеплен или не сцеплен с полом). Определите все возможные генотипы родителей, потомков, обозначенных на рисунке цифрами 1, 2, 4, 5, 6, 7. Какова вероятность рождения ребёнка с признаком, выделенным чёрным цветом, у родителей 3, 4?



3. По изображённой на рисунке родословной установите характер наследования признака, выделенного чёрным цветом (доминантный или рецессивный, сцеплен или не сцеплен с полом), и обоснуйте его. Определите генотипы родителей 1 и 2, потомков 3, 4, 5, 6, 7 и 8. Установите вероятность рождения у родителей 6 и 7 ребёнка с признаком, выделенным на рисунке родословной чёрным цветом



# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА

## НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Нуклеиновые кислоты – гетерополимеры, мономерами которых служат нуклеотиды. Каждый нуклеотид состоит из остатка фосфорной кислоты, пятиуглеродного сахара – пентозы (рибозы или дезоксирибозы) и азотистого основания. Азотистые основания могут быть производными пурина (пуриновые основания – аденин и гуанин) или пиримидина (пиримидиновые основания – цитозин, тимин и урацил). В молекуле пентозы атомы углерода пронумерованы. Они обозначены цифрами с одним штрихом. В рибозе, в отличие от дезоксирибозы, с атомом 2' связана ОН-группа. В результате присоединения азотистого основания к атому 1' пентозы образуется нуклеозид. При присоединении к атому 5' пентозы остатка фосфорной кислоты формируется нуклеотид. Между пуриновыми и пиримидиновым азотистыми основаниями могут образовываться водородные связи, аденин комплементарен тимину и урацилу, гуанин — цитозину. Между гуанином и цитозином образуются три водородные связи, аденином и тиминном или урацилом – две водородные связи. Благодаря комплементарному взаимодействию азотистых оснований удерживаются вместе две нити ДНК и образуются петли в молекулах РНК.

### *ДНК*

ДНК (*дезоксирибонуклеиновая кислота*) образована двумя полинуклеотидными цепями, которые образуют двойную спираль. Нуклеотиды ДНК состоят из пятиуглеродного сахара дезоксирибозы, остатка фосфорной кислоты и азотистого основания гуанина (Г), цитозина (Ц), аденина (А) или тимина (Т).

Цепи комплементарны и удерживаются вместе водородными связями между комплементарными азотистыми основаниями. Комплементарные пары образуют аденин и тимин, а также гуанин и цитозин. Сахарофосфатные группировки нуклеотидов находятся снаружи двойной спирали, а азотистые основания — внутри. Число пуриновых оснований в ДНК всегда равно числу пиримидиновых. Количество аденина равно количеству тимина, количество гуанина равно количеству цитозина. Эта закономерность называется правилом Чаргаффа. Нуклеотиды, образующие полинуклеотидные цепи, соединяются друг с другом фосфодиэфирными связями. Каждая нить имеет 5' и 3' конец. Цепи ДНК антипараллельны, то есть 5' конец одной нити соответствует 3' концу другой нити.

В ДНК заключена генетическая информация, то есть информация о структуре и деятельности клеток, о всех признаках каждой клетки и об организме в целом. Участок ДНК, несущий информацию об одной полипептидной цепи, называется геном. Наследственная информация хранится в ДНК, реализуется в процессе биосинтеза белка и передается следующим поколениям при делении клетки.

Перед делением клеток происходит репликация (самоудвоение) молекулы ДНК. Экспериментально доказано, что самоудвоение ДНК осуществляется по полуконсервативному механизму. С помощью фермента ДНК-полимеразы про-

исходит раскручивание обеих цепей ДНК и каждая из них служит матрицей для синтеза новой дочерней молекулы ДНК. В результате образуются две новые молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты. Они идентичны друг другу и материнской молекуле. Благодаря самоудвоению ДНК осуществляется передача наследственных свойств от материнских клеток дочерним.

### **РНК**

РНК (*рибонуклеиновая кислота*) представляет собой одноцепочечную молекулу. Нуклеотиды РНК состоят из пятиуглеродного сахара рибозы, остатка фосфорной кислоты и азотистого основания — цитозина, гуанина, аденина или урацила. Нуклеотиды, образующие эту полинуклеотидную цепь, соединяются друг с другом при помощи фосфодиэфирной ковалентной связи. Полинуклеотидная цепь имеет 5' конец и 3' конец, которые обладают разными химическими свойствами. Удлинение полинуклеотидной цепи в процессе ее синтеза всегда происходит в направлении от 5' конца к 3' концу. Полинуклеотидная цепь — это первичная структура РНК, РНК может образовывать петли, которые удерживаются водородными связями между комплементарными нуклеотидами. Так образуется вторичная структура РНК.

По выполняемым функциям выделяют три вида РНК:

1. Транспортная (т-РНК) состоит из 80–100 нуклеотидов, содержится в основном в цитоплазме клетки. Функция тРНК — перенос аминокислот к месту синтеза белка (в рибосомы). Полинуклеотидная цепь т-РНК образует три петли. т-РНК имеет два активных центра. Один из них соединяется с определенной аминокислотой, другой находится на вершине средней петли, состоит из 3 нуклеотидов и служит для комплементарного соединения с молекулой и-РНК (антикодон).

2. Рибосомная (р-РНК) — состоит из 3–5 тысяч нуклеотидов, составляющих основу рибосомы.

3. Информационная (и-РНК) содержится в ядре и цитоплазме. Функция — перенос информации о структуре белка от ДНК к месту синтеза белка в рибосомах. Размер и-РНК зависит от длины участка ДНК, на котором они синтезированы (от 300 до 30 000 нуклеотидов).

### **БИОСИНТЕЗ БЕЛКА**

Информация о последовательности аминокислот белка закодирована в виде последовательности нуклеотидов ДНК. Реализация наследственной информации происходит в процессе биосинтеза белка.

Синтез белка осуществляется в два этапа:

1. Транскрипция.
2. Трансляция.

Транскрипция — это синтез РНК на матрице ДНК. У эукариот происходит в ядре, у прокариот — в цитоплазме. В результате транскрипции синтезируются информационные (матричные), рибосомные и транспортные РНК. Транскрип-



цию осуществляет фермент РНК-полимераза. Соединение нуклеотидов происходит по принципу комплементарности: аденину (А) ДНК комплементарен урацил (У) РНК, тимину (Т) – аденин (А), гуанину (Г) – цитозин (Ц), цитозину (Ц) – гуанин (Г). Последовательность нуклеотидов в молекуле и-РНК определяется последовательностью нуклеотидов в молекуле ДНК.

Трансляция – это процесс синтеза полипептидной цепи в рибосоме на матрице иРНК. В синтезе белка участвуют разные виды РНК: информационная и-РНК (матричная м-РНК), транспортная т-РНК, рибосомальная р-РНК. Р-РНК входит в состав рибосом, т-РНК транспортирует аминокислоты к рибосоме, и-РНК служит матрицей для синтеза полипептида. Синтез белка происходит в рибосоме на матрице и-РНК.

Хранение и реализация наследственной информации о структуре полипептида происходит в соответствии с принципами генетического кода.

В состав белков входят 20 аминокислот. Каждая аминокислота кодируется тройкой азотистых оснований – триплетом (кодоном). Последовательность расположения нуклеотидов в и-РНК, определяет порядок размещения аминокислот в молекуле белка. Из таблицы генетического кода (таблица 3) видно, что в ряде случаев одна и та же аминокислота кодируется не одним, а несколькими триплетами.

Таблица 3

Таблица генетического кода

Первый нуклеотид	Второй нуклеотид				Третий нуклеотид
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тир	Цис	У
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц
	Лей	Сер	Стоп	Стоп	А
	Лей	Сер	Стоп	Три	Г
Ц	Лей	Про	Гис	Арг	У
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц
	Лей	Про	Глн	Арг	А
	Лей	Про	Глн	Арг	Г
А	Иле	Тре	Асн	Сер	У
	Иле	Тре	Асн	Сер	Ц
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Гли	У
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц
	Вал	Ала	Глу	Гли	А
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г

Основные свойства генетического кода:

1. Код триплетный, т.е. каждая аминокислота кодируется группой из трех нуклеотидов.
2. Код неперекрывающийся, т.е. один и тот же нуклеотид не может одновременно входить в состав двух соседних триплетов.
3. Код считывается с закрепленной точки в виде триплетов; не имеет никаких запятых, разделяющих триплеты и указывающих, как выбирать нужные.

4. Код вырожденный, так как одна аминокислота может кодироваться не одним, а несколькими триплетами нуклеотидов. Например, аминокислота метионин кодируется одним триплетом АУГ, тирозин – двумя (УАУ и УАЦ), валин – четырьмя (ГУУ, ГУА, ГУЦ и ГУГ) и т.д.

5. Код однозначный, так как каждый триплет кодирует только одну аминокислоту.

6. Код универсальный, так как он одинаков у всех живых организмов.

7. Код имеет сигналы окончания трансляции – стоп-кодоны; иницирующим кодоном служит кодон АУГ.

### Примеры решения и оформления задач

**Задача:** Участок гена, кодирующего полипептид, состоит из последовательности нуклеотидов: 3'- ТАЦ ААА ГГЦ АЦА ТАТ ТЦЦ - 5'. Составьте схему трансляции на рибосоме. Какие изменения произойдут в случае выпадения тринадцатого слева нуклеотида?

**Решение:** Фрагмент ДНК начинается с 3'-конца, значит, это транскрибируемая ДНК. По принципу комплементарности находим иРНК (мРНК):

ДНК: 3'- ТАЦ ААА ГГЦ АЦА ТАТ ТЦЦ - 5'

иРНК: 5'- АУГ УУУ ЦЦГ УГУ АУА АГГ - 3'

По таблице генетического кода находим последовательность аминокислот в полипептиде:

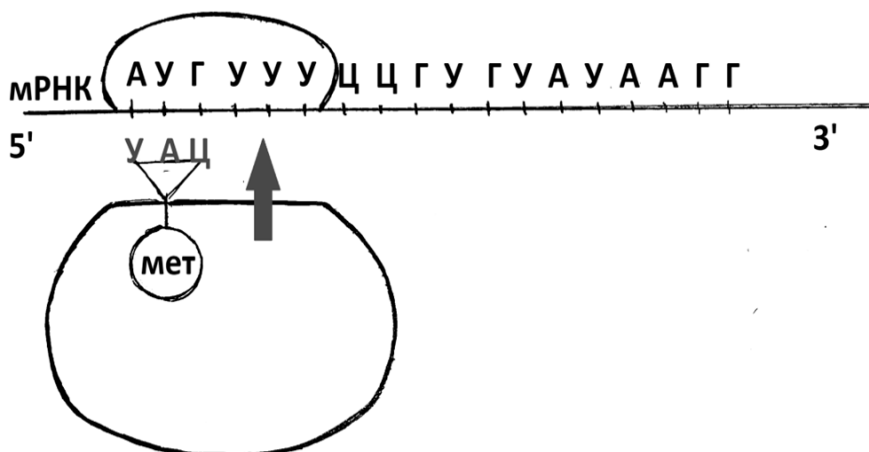
иРНК: 5'- АУГ УУУ ЦЦГ УГУ АУА АГГ - 3'

Полипептид: мет – фен – про – цис – иле – арг

Во фрагменте мРНК присутствует старт-кодон АУГ и схема начинается с этапа инициации трансляции.

### Схема трансляции

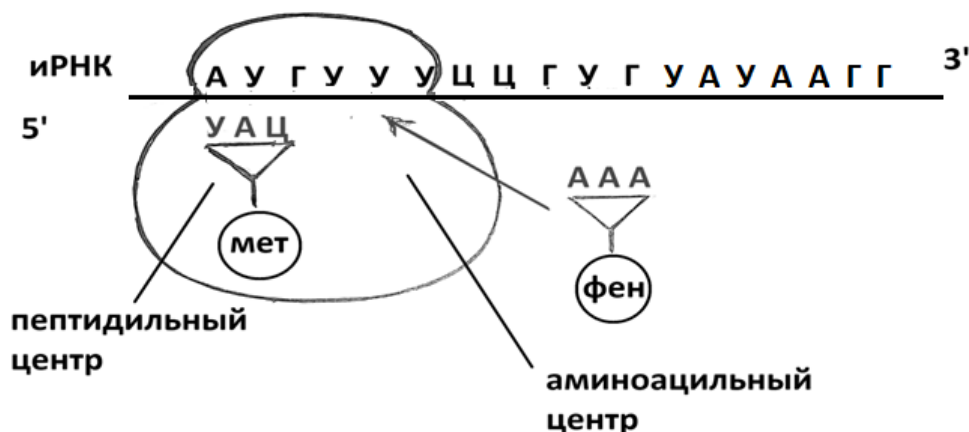
#### I. Инициация – начало синтеза полипептида



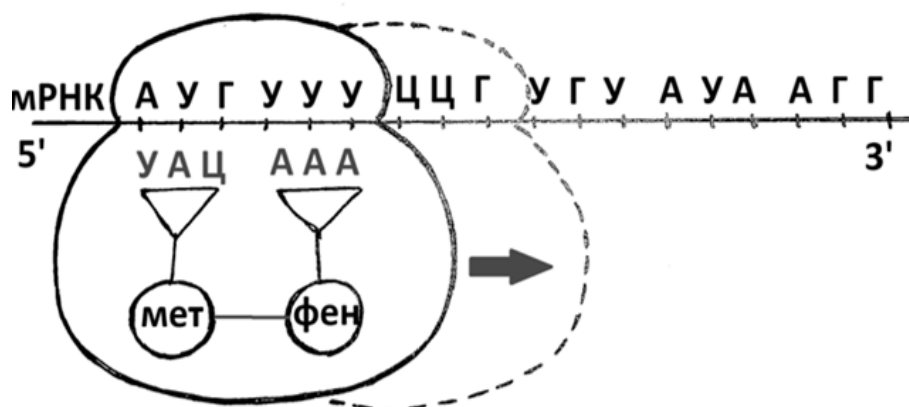
С мРНК соединяется малая субъединица рибосомы и тРНК, несущая метионин, который соответствует старт-кодону АУГ. Между комплементарными нуклеотидами старт-кодона АУГ мРНК и антикодона УАЦ тРНК образуются временные водородные связи.

Затем к этому комплексу присоединяется большая субъединица, и формируется работающая рибосома.

## II. Элонгация – удлинение полипептида

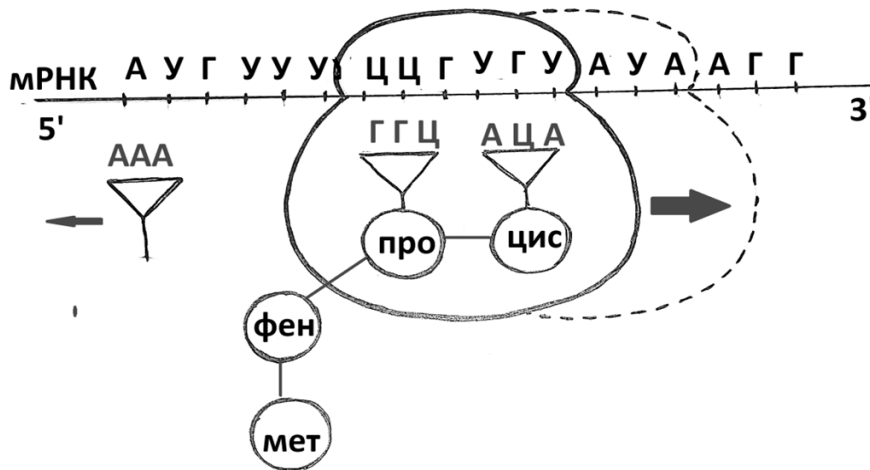
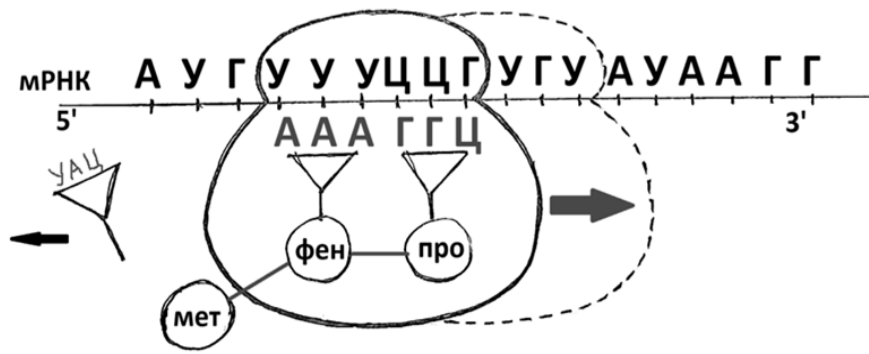


В рибосоме формируются активные центры. Старт-кодон оказывается в пептидильном центре рибосомы, а в аминоацильном центре находится кодон УУУ. К нему подходит вторая тРНК с антикодоном ААА и аминокислотой фенилаланин.

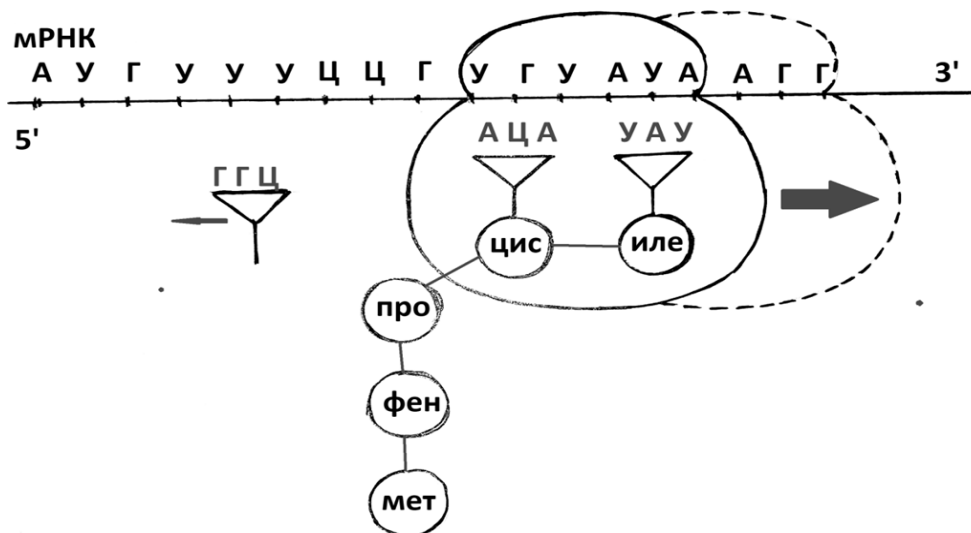


Между комплементарными нуклеотидами кодона и антикодона образуются временные водородные связи. В рибосоме с мРНК оказываются связаны две тРНК. Между аминокислотами образуется пептидная связь. Далее рибосома перемещается на один триплет от 5'-конца к 3'-концу мРНК. Т-РНК, которая принесла метионин, отделяется от мРНК и уходит из рибосомы.

Процесс роста полипептидной цепи (элонгация) продолжается.



Последовательно в аминокислотный центр рибосомы будут подходить различные тРНК и приносить аминокислоты. Между аминокислотами будут образовываться пептидные связи. Оставив аминокислоту, т-РНК будут покидать рибосому, а рибосома будет перемещаться на один триплет от 5'-конца к 3'-концу мРНК.



В случае выпадения 13 нуклеотида слева:

Исходная ДНК: 3'- ТАЦ ААА ГГЦ АЦА ТАТ ТЦЦ - 5'

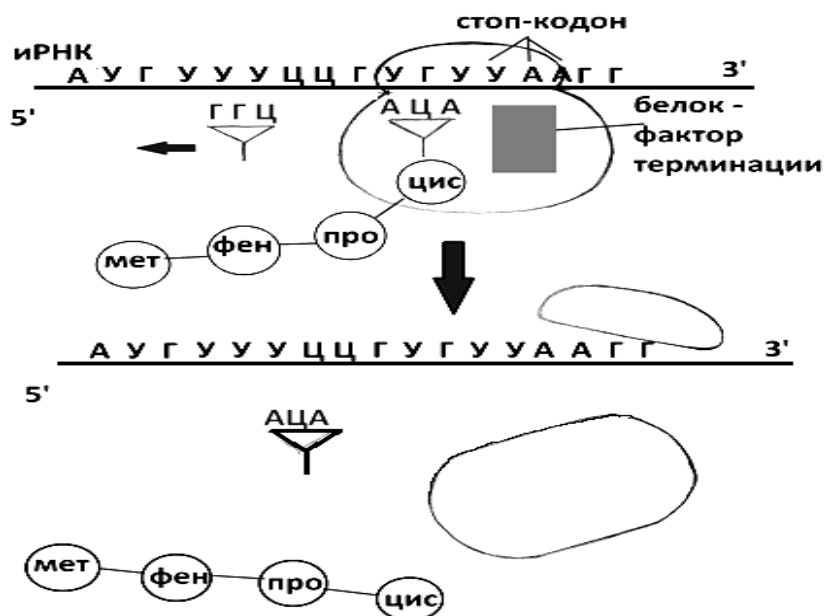
После выпадения нуклеотида: 3'- ТАЦ ААА ГГЦ АЦА АТТ ЦЦ - 5'

иРНК: 5'- АУГ УУУ ЦЦГ УГУ УАА ГГ - 3'

Полипептид: мет – фен – про - цис

В результате мутации возник стоп-кодон, следовательно, произойдет терминация трансляции.

### III. Терминация – конец синтеза полипептида



Когда в аминокислотном центре оказывается стоп-кодон, синтез полипептида прекращается, фактор терминации вызывает диссоциацию комплекса на иРНК, тРНК, полипептид и субъединицы рибосомы.

**Задача:** Фрагмент молекулы ДНК, на котором закодирован участок центральной петли тРНК, представлен последовательностью нуклеотидов: 5'- АГЦ ГАГ ТАГ ЦАЦ ГГГ - 3'. Определите последовательность нуклеотидов второй цепи молекулы ДНК, нуклеотидную последовательность участка центральной петли тРНК и установите аминокислоту, которую будет переносить эта тРНК, если третий триплет соответствует антикодону тРНК.

**Решение:** По правилу комплементарности находим последовательность нуклеотидов второй цепи молекулы ДНК:

5'- АГЦ ГАГ ТАГ ЦАЦ ГГГ - 3'

3'- ТЦГ ЦТЦ АТЦ ГТГ ЦЦЦ - 5'.

Верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая.

Все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. По второй цепи молекулы ДНК по правилу комплементарности определяем последовательность нуклеотидов участка центральной петли тРНК.

ДНК (транскрибируемая): 3'- ТЦГ ЦТЦ АТЦ ГТГ ЦЦЦ - 5'

Центральная петля тРНК: 5'- АГЦ ГАГ УАГ ЦАЦ ГГГ - 3'.

Третий триплет 5'- УАГ - 3' соответствует антикодону тРНК. Для того, чтобы определить кодон иРНК надо установить порядок нуклеотидов антикодона тРНК от 3' → к 5' и получим 3'-ГАУ- 5'.

Антикодон 3'-ГАУ- 5' соответствует кодону на иРНК 5'- ЦУА - 3'.

По таблице генетического кода кодону 5'-ЦУА-3' соответствует аминокислота – **серин**, которую будет переносить данная тРНК.

**Задача:** В трансляции участвовали молекулы тРНК с антикодонами: ГАУ, УАА, УЦГ, ГАЦ, которые представлены от 5' конца к 3' концу. Определите последовательность нуклеотидов участка смысловой и транскрибируемой цепей ДНК, последовательность нуклеотидов фрагмента иРНК и последовательность аминокислот в молекуле синтезируемого фрагмента белка.

**Решение:** По антикодонам т-РНК определяем последовательность нуклеотидов иРНК по принципу комплементарности. Сначала ориентируем антикодоны тРНК (3' → 5') по правилу антипараллельности так, как они присоединяются в процессе трансляции к кодонам иРНК.

тРНК: 3'УАГ 5', 3'ААУ 5', 3'ГЦУ 5', 3'ЦАГ 5'

иРНК: 5'- АУЦ УУА ЦГА ГУЦ - 3'

По последовательности нуклеотидов найденной иРНК по правилу комплементарности и антипараллельности находим транскрибируемую ДНК, затем на её основе строим смысловую.

ДНК (смысловая): 5' - АТЦ ТТА ЦГА ГУЦ - 3'

ДНК (транскрибируемая): 3' - ТАГ ААУ ГЦУ ЦАГ - 5'.

По кодонам иРНК определяем последовательность аминокислот с помощью таблицы генетического кода

иРНК: 5'- АУЦ УУА ЦГА ГУЦ - 3'

полипептид: Иле – Лей – Арг – Вал

### Задачи

1. В ДНК на долю нуклеотидов с гуанином приходится 15%. Определите процентное содержание нуклеотидов с тиминном, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
2. Участок одной из двух цепей молекулы ДНК содержит 250 нуклеотидов с аденином (А), 75 нуклеотидов с тиминном (Т), 100 нуклеотидов с гуанином (Г) и 25 нуклеотидов с цитозином (Ц). Какое количество нуклеотидов содержится в двух цепях ДНК? В ответе запишите только соответствующее количество нуклеотидов.
3. Фрагмент двуцепочечной молекулы ДНК содержит 180 нуклеотидов, 49 из которых в качестве азотистого основания имеют цитозин. Определите количество нуклеотидов с тиминном, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
4. Двуцепочечный фрагмент ДНК содержит 43 нуклеотида с аденином и 29 нуклеотидов с цитозином. Определите общее количество нуклеотидов, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
5. Фрагмент одной цепи ДНК имеет следующий состав нуклеотидов: ЦАТГГЦТАТ. Определите число триплетов во второй цепи ДНК этой же молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.

6. В ДНК на долю нуклеотидов с цитозином приходится 23%. Определите процентное содержание нуклеотидов с тиминном, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
7. Участок одной из двух цепей молекулы ДНК содержит 200 нуклеотидов с аденином (А), 100 нуклеотидов с тиминном (Т), 150 нуклеотидов с гуанином (Г) и 50 нуклеотидов с цитозином (Ц). Какое количество нуклеотидов содержится в двух цепях ДНК? В ответе запишите только соответствующее число.
8. Участок двуцепочечной молекулы ДНК содержит 240 нуклеотидов, 67 из которых в качестве азотистого основания имеют аденин. Определите количество нуклеотидов с цитозином, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
9. Двуцепочечный фрагмент ДНК содержит 53 нуклеотида с тиминном и 18 нуклеотидов с цитозином. Определите общее количество нуклеотидов, входящих в состав молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
10. Какое число триплетов кодируют 27 аминокислот? В ответе запишите только соответствующее число.
11. Сколько нуклеотидов входит в состав гена, кодирующего информацию о первичной структуре белка, который содержит 50 аминокислотных остатков? В ответе запишите только количество нуклеотидов.
12. Полипептид состоит из 40 аминокислотных звеньев. Определите число нуклеотидов на участке гена, кодирующих эти аминокислоты в полипептиде. В ответе запишите только соответствующее число.
13. Сколько нуклеотидов составляют один кодовый триплет иРНК? В ответе запишите только количество нуклеотидов в кодовом триплете.
14. Сколько нуклеотидов входит в состав антикодона тРНК? В ответе запишите только количество нуклеотидов антикодона.
15. Фрагмент одной цепи ДНК имеет следующий состав нуклеотидов: ЦАТГГЦТАТ. Определите число триплетов во второй цепи ДНК этой же молекулы. В ответе запишите только соответствующее число.
16. Фрагмент одной цепи ДНК содержит следующую последовательность нуклеотидов: АААТГАЦГТГГЦТТТ. Определите, сколько аминокислот будет в нем закодировано. В ответе запишите только соответствующее число.
17. Фрагмент цепи иРНК содержит следующую последовательность нуклеотидов: ГААЦГАЦГУУГЦГГААУ.  
Определите сколько аминокислот будет содержаться во фрагменте полипептида, синтезированного в рибосоме на предложенной последовательности иРНК? В ответе запишите соответствующее число.
18. В процессе трансляции участвовало 40 молекул тРНК. Определите нуклеотидов в гене, который кодирует этот белок. В ответе запишите соответствующее число.
19. Белок состоит из 134 аминокислот. Установите число молекул тРНК, которые необходимы для синтеза данного белка. В ответе запишите соответствующее число.
20. Участок одной из двух цепей молекулы ДНК содержит 300 нуклеотидов с аденином (А), 100 нуклеотидов с тиминном (Т), 150 нуклеотидов с гуанином (Г) и

- 200 нуклеотидов с цитозином (Ц). какое количество нуклеотидов с А, Т, Г и Ц содержится в двухцепочечной молекуле ДНК? Сколько аминокислот должен содержать белок, кодируемый этим участком молекулы ДНК? Ответ поясните.
21. Белок состоит из 100 аминокислот. Установите, во сколько раз молекулярная масса участка гена, кодирующего данный белок, превышает молекулярную массу белка, если средняя молекулярная масса аминокислоты — 110, а нуклеотида — 300. Ответ поясните.
  22. Участок цепи ДНК, кодирующий первичную структуру полипептида, состоит из 15 нуклеотидов. Определите число нуклеотидов на иРНК, кодирующих аминокислоты, число аминокислот в полипептиде и количество тРНК, необходимых для переноса этих аминокислот к месту синтеза. Ответ поясните.
  23. Белок состоит из 130 аминокислот. Установите число нуклеотидов в иРНК и ДНК, кодирующих данный белок и число молекул тРНК, которые необходимы для синтеза данного белка. Ответ поясните.
  24. В процессе трансляции участвовало 30 молекул тРНК. Определите число аминокислот, входящих в состав синтезируемого белка, а также число триплетов и нуклеотидов в гене, кодирующем этот белок.
  25. Гормон окситоцин имеет белковую природу. В процессе трансляции его молекулы участвовало 9 молекул тРНК. Определите число аминокислот, входящих в состав синтезируемого белка, а также число триплетов и нуклеотидов, которые кодируют этот белок. Ответ поясните.
  26. Фрагмент транскрибируемой цепи ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: ТАЦЦГТЦААТТААА. Определите последовательность нуклеотидов на иРНК, антикодоны тРНК и аминокислотную последовательность соответствующего фрагмента молекулы белка, используя таблицу генетического кода.
  27. Фрагмент цепи иРНК имеет последовательность нуклеотидов: ЦГАГУАУГЦУГГ. Определите последовательность нуклеотидов на ДНК, антикодоны тРНК и последовательность аминокислот, которая соответствует данному фрагменту гена, используя таблицу генетического кода.
  28. В биосинтезе фрагмента молекулы белка участвовали последовательно молекулы тРНК с антикодонами ЦГЦ, УЦЦ, ГЦА, АГА, ЦГА. Определите аминокислотную последовательность синтезируемого фрагмента молекулы белка и нуклеотидную последовательность участка двухцепочечной молекулы ДНК, в которой закодирована информация о первичной структуре фрагмента белка. Обоснуйте последовательность Ваших действий. Для решения задания используйте таблицу генетического кода.
  29. В биосинтезе полипептида участвуют молекулы тРНК с антикодонами УГА, АУГ, АГУ, ГГЦ, ААУ. Определите нуклеотидную последовательность участка каждой цепи молекулы ДНК, который несет информацию о синтезируемом полипептиде, и число нуклеотидов, содержащих аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), цитозин (Ц). Ответ поясните.
  30. Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой синтезируется участок центральной петли тРНК, имеет следующую последовательность нуклеотидов: ГАГТАТАГЦЦГАТАТ.



Установите нуклеотидную последовательность участка тРНК, который синтезируется на данном фрагменте, и аминокислоту, которую будет переносить эта тРНК в процессе биосинтеза белка, если третий триплет соответствует антикодону тРНК. Ответ поясните. Для решения задания используйте таблицу генетического кода.

31. Генетический аппарат вируса представлен молекулой РНК. Фрагмент этой молекулы имеет нуклеотидную последовательность: ГУГАУАГГУЦУАУЦУ. Определите нуклеотидную последовательность фрагмента двуцепочечной молекулы ДНК, которая синтезируется в результате обратной транскрипции на РНК вируса. Установите последовательность нуклеотидов в иРНК и аминокислот во фрагменте белка вируса, которая закодирована в найденном фрагменте ДНК. Матрицей для синтеза иРНК, на которой идёт синтез вирусного белка, является вторая цепь ДНК, которая комплементарна первой цепи ДНК, найденной по вирусной РНК. Для решения задания используйте таблицу генетического кода.
32. Некоторые вирусы в качестве генетического материала несут РНК. Такие вирусы, заразив клетку, встраивают ДНК-копию своего генома в геном клетки хозяина. В клетку проникла вирусная РНК следующей последовательности: ЦГААГЦГУУГЦГ. Определите, какова будет последовательность вирусного белка, если матрицей для синтеза иРНК служит цепь, комплементарная вирусной РНК. Ответ поясните. Для решения задания используйте таблицу генетического кода.
33. В последовательности одной из исходных цепей ДНК АГЦАГГТАА произошла мутация – выпадение второго нуклеотида в третьем триплете. Используя таблицу генетического кода, определите исходную аминокислотную последовательность. Изменится ли первичная структура полипептида? Ответ поясните. К какому виду мутаций относится данное изменение?
34. Фрагмент одной из цепей ДНК имеет последовательность нуклеотидов ТЦАГГАТГЦАТГАЦЦ. Определите последовательность нуклеотидов иРНК и порядок расположения аминокислот в соответствующем полипептиде. Объясните, что произойдет со структурой фрагмента молекулы белка, если в первом триплете цепи ДНК произошло удвоение третьего нуклеотида.
35. Фрагмент цепи ДНК имеет последовательность нуклеотидов ТТТАГЦТГТЦГГААГ. В результате произошедшей мутации в третьем триплете третий нуклеотид заменен на нуклеотид А. Определите последовательность нуклеотидов на иРНК по исходному фрагменту цепи ДНК и измененному. Что произойдет с фрагментом полипептида и его свойствами после возникшей мутации ДНК? Дайте объяснения, используя свои знания о свойствах генетического кода. Для решения задачи используйте таблицу генетического кода.
36. Молекулы тРНК, несущие соответствующие антикодоны, входят в рибосому в следующем порядке: ЦГЦ, ЦЦУ, АЦГ, АГА, АГЦ. Определите последовательность нуклеотидов смысловой и транскрибируемой цепей ДНК, иРНК и аминокислот в молекуле синтезируемого фрагмента белка. Ответ поясните. Для решения задания используйте таблицу генетического кода. При выполнении задания учитывайте, что антикодоны тРНК антипараллельны кодонам иРНК.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

**Альбинизм** – врожденное отсутствие пигментации покровов, радужной оболочки глаз. У человека частота появления альбиносов 1:20000 – 1:40000. Наследуется по аутосомно – рецессивному типу.

**Аллель** – одно из двух или более состояний гена.

**Антикодон** – группа из трех нуклеотидов на т-РНК, комплементарная триплету на и-РНК.

**Арахнодактилия** – необычно длинные и тонкие пальцы.

**Аутосома** – любая неполовая хромосома. У человека имеется 22 пары аутосом в соматических клетках.

**Аутосомно–доминантное наследование** – тип наследования, при котором одного мутантного аллеля, локализованного в аутосоме, достаточно, чтобы болезнь (или признак). Мутантный аллель является доминантным.

**Аутосомно-рецессивный тип наследования** – тип наследования признака или болезни, при котором мутантный (рецессивный) аллель, локализованный в аутосоме, должен быть унаследован от обоих родителей.

**Болезнь с наследственной предрасположенностью.** В отличие от генных и хромосомных болезней, развитие заболеваний с наследственной предрасположенностью обусловлено не только наследственными факторами, но и влиянием внешней среды. Наследственная предрасположенность может определяться как одним геном, и тогда говорят о моногенной предрасположенности, так и совместным действием нескольких генов – в этом случае имеет место полигенная основа.

**Гемофилия** – наследственные заболевания, обусловленные недостаточность факторов свертываемости крови. Классическая форма гемофилии связана с резким снижением антигемофильного глобулина. Наследуется по рецессивному типу, сцепленному с X-хромосомой.

**Генетический код** – единая система записи наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот, свойственная живым организмам.

**Геном** – совокупность генов, характерных для гаплоидного набора хромосом данного вида организмов. Представляет генетическую характеристику вида.

**Генотип** – генетическая конституция организма, совокупность всех наследственных задатков данной клетки или организма.

**Гипертрихоз** – наличие грубых длинных пигментированных волос на места, где в норме расположены пушковые волосы.

**Голандрическое наследование** – наследование сцепленное с Y-хромосомой.

**Гомозигота** – клетка (или организм), содержащая одинаковые аллели в идентичных участках гомологичных хромосом.

**Гомологичные хромосомы** – хромосомы, содержащие одинаковый набор генов, сходные по морфологическим признакам, конъюгирующие в профазе мейоза.

**Группа сцепления** – гены, расположенные в одной хромосоме.

**Галактоземия** – заболевание, вызванное нарушением обмена простых сахаров.

**Дальтонизм** – наследственное расстройство цветового зрения. Дальтоники не различают красный и зеленый цвета. Наследуется по рецессивному типу, сцепленному с X-хромосомой.

**Инбридинг** – скрещивание организмов, имеющих общих предков.

**Ихтиоз** – «чешуйчатая кожа», наличие плотных сероватых чешуек на коже, напоминающих рыбью чешую.

**Кариотип** – совокупность признаков хромосомного набора (число, размер, форма хромосом), характерных для определенного вида.

**Кодон** – участок информационной РНК, состоящей из трех последовательных нуклеотидов (триплет).

**Плейотропия** – множественное действие гена, см. синдром Марфана.

**Полигенное наследование** – многие признаки нормальные и аномальные, обусловлены взаимодействием нескольких генов. При полигенном наследовании для того, чтобы заболевание проявилось, необходимо унаследовать целый комплекс генов. Как правило, полигенное наследование характерно для заболеваний с наследственной предрасположенностью.

**Синдром Марфана** – одна из форм врожденной генерализованной патологии соединительной ткани. Впервые синдром описан в 1886 году. Больные СМ имеют характерный внешний вид: отличаются высоким ростом, астеническим телосложением, количество подкожно-жировой клетчатки у них снижено, конечности удлинены, размах рук превышает длину тела. Отличаются длинные тонкие пальцы. Более, чем у половины больных отмечается деформация грудной клетки (воронкообразная, килевидная), искривление позвоночника. Наблюдаются нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы и органов зрения – подвывихи и вывих хрусталика, отслойка сетчатки и другие нарушения. Наследуется по аутосомно-доминантному типу.

**Фенилкетонурия (ФКУ)** – самое распространенное заболевание, вызванное нарушением аминокислотного обмена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Грачева Т.И., Васильева Н.В. Задания по молекулярной биологии и генетике для иностранных слушателей подготовительного отделения. СПб.: СПбГПМУ; 2019.
2. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Васильева Н.В. и др. Сборник задач по генетике и молекулярной биологии. СПб.: СПбГПМУ; 2021.
3. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Грачева Т.И. и др. Задания по курсу биологии для самостоятельной работы студентов. Раздел «Клетка – миниатюрная биосистема». СПб.: СПбГПМУ; 2020.
4. Абдукаева Н.С., Кинжибулатова Р.Ж., Косенкова Н.С. и др. Задания по биологии клетки для самостоятельной работы студентов. СПб.: СПбГПМУ; 2013.
5. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Грачева Т.И., Васильева Н.В. Рабочая тетрадь по биологии для студентов 1 курса. Издание шестое, переработанное и дополненное. СПб.: Янус; 2017.
6. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Васильева Н.В., Грачева Т.И. Опыт преподавания молекулярной биологии на подготовительном отделении для иностранных граждан в СПбГПМУ. Успехи современной науки и образования. 2017; 2(6): 86–90.
7. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Заяц С.Д. и др. Методическое пособие по генетике для студентов медицинских вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное. СПб.: Янус; 2017.
8. Абдукаева Н.С., Косенкова Н.С., Грачева Т.И., Васильева Н.В. Клетка – миниатюрная биосистема. СПб.: Янус; 2018.
9. Ватти К.В., Тихомирова М.М. Руководство к практическим занятиям по генетике. М.: Просвещение; 1972.
10. Рохлов В.С., Котикова Н.В., Саленко В.Б. ЕГЭ 2019. Биология. 30 вариантов. Типовые экзаменационные варианты. М.: Национальное образование; 2018.
11. Рохлов В.С., Котикова Н.В., Саленко В.Б. ЕГЭ 2021. Биология. 30 вариантов. Типовые экзаменационные варианты. М.: Национальное образование; 2020.
12. Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф. Задачник по общей и медицинской генетике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа; 1984.
13. Brooker R.J., Widmaier E, Grayam L., Stalig P. Biology, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Education. 2017.
14. Campbell N.A. Biology. 3rd Edition, Benjamin/Cummings, Francis Group, Redwood City. 1993.
15. Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky et al. Campbell biology Campbell. Description: Twelfth edition. New York, NY: Pearson; 2020.
16. Mason K.A., Losos J.B., S.R. Singer. Biology, 7<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Education. 2017.
17. Abdukaeva N.S., Kosenkova N.S., Grachova T.I., Vasilyeva N.V. Review questions on cell biology and genetics for students. St.-Petersburg: SPSPMU publishing; 2019.
18. Alberts B., Johnson A., Lewis J. et al. Molecular biology of the cell, 6<sup>th</sup> Edition. Garland Science, Taylor & Francis Group, LLC; 2015.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Деление клетки.....	4
Генетика. Моногибридное скрещивание.....	15
Дигибридное скрещивание.....	24
Сцепленное наследование.....	35
Наследование, сцепленное с полом.....	39
Анализ родословных .....	43
Молекулярная биология.....	45
Словарь терминов и понятий .....	57
Литература.....	59

---

Учебное издание

**Абдукаева** Нелли Сулеймановна, **Косенкова** Наталия Сергеевна,  
**Васильева** Нина Вадимовна, **Куражова** Анна Вадимовна,  
**Фролова** Ольга Владимировна, **Федюк** Ксения Александровна,  
**Харитоновна** Наталия Валерьевна, **Фролов** Кирилл Борисович

**Деление клетки. Генетика. Молекулярная биология**

*Учебное пособие для иностранных слушателей подготовительного отделения*

Подписано в печать 22.12.2021 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Объем 3,75 печ. л. Тираж 50 экз. Заказ № 130.

Отпечатано в ЦМТ СПбГПМУ

ISBN 978-5-907565-08-1