



ИНСТИТУТ СОДЕРЖАНИЯ И МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

федеральное государственное
бюджетное научное учреждение

МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС

(БИОЛОГИЯ. 10 КЛАСС)

Сцепленное наследование признаков

АВТОР:

ПАРШУТИНА

ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА

к. п. н., заведующая лабораторией
естественно-научного образования
ФГБНУ «ИСМО»

РЕЦЕНЗЕНТ:

АСАНОВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА

к. п. н., старший научный сотрудник
лаборатории естественно-научного
образования ФГБНУ «ИСМО»

МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС

В кейсе рассматриваются общие принципы решения генетических задач по теме «Сцепленное наследование признаков». Приводятся необходимые теоретические сведения и примеры заданий с методическими комментариями, а также задания для самостоятельного выполнения.

Использование материалов кейса окажет помощь учителям в организации учебно-познавательной деятельности обучающихся по данной теме как на уроке, так и во внеурочное время, и будет способствовать успешной подготовке обучающихся к единому государственному экзамену (ЕГЭ) по биологии [1].

Учебный предмет: БИОЛОГИЯ

Тема: Сцепленное наследование признаков

Класс: 10

Раздел: Закономерности наследственности

АКТУАЛЬНОСТЬ

В обновлённом ФГОС среднего общего образования на базовом и углублённом уровнях имеются следующее требование к результатам обучения: владеть системой биологических знаний, которая включает в себя законы (единообразия потомков первого поколения, расщепления признаков, независимого наследования признаков Г. Менделя, сцепленного наследования признаков и нарушения сцепления генов Т. Моргана и др.); умение решать элементарные генетические задачи на моно- и дигибридное скрещивание, сцепленное наследование, составлять схемы моногибридного скрещивания для предсказания наследования признаков у организмов.

В федеральную рабочую программу СОО в 10 классе включена тема «Сцепленное наследование признаков» в содержание курсов биологии как базового, так и углублённого уровней [2,3]. К основным понятиям темы относятся: сцепленное наследование, нарушения сцепления генов, кроссинговер, рекомбинация генов, генетические карты, морганида.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ КОМПЕТЕНЦИИ

Предметная компетентность: свободное владение изучаемым материалом (сцепленное наследование признаков; хромосомная теория наследственности и др.); умение свободно решать задания ЕГЭ по теме «Сцепленное наследование признаков».

Методическая компетентность: умение организовать работу с учащимися с опорой на знания, полученные ими ранее при изучении других предметов; умение использовать разнообразный спектр материалов и заданий (книги, интернет-ресурсы), способных вызвать интерес к теме «Сцепленное наследование признаков»; умение разрабатывать (корректировать имеющиеся) дидактические и методические материалы, обеспечивающие достижение планируемых образовательных результатов по теме «Сцепленное наследование признаков».

Психолого-педагогическая компетентность: умение отбирать подходы и технологии к организации обучения и воспитания на основе включения всех обучающихся в образовательный процесс, в том числе с особыми

образовательными потребностями; умение отбирать учебное содержание для организации совместной (индивидуальной) учебной деятельности обучающихся, в том числе с особыми образовательными потребностями, в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов.

Коммуникативная компетентность: умение устанавливать отношения сотрудничества и вести диалог с учащимися, другими участниками образовательного процесса при изучении темы «Сцепленное наследование признаков»; умение разрабатывать (корректировать имеющиеся) дидактические и методические материалы, обеспечивающие достижение планируемых образовательных результатов по теме «Сцепленное наследование признаков».

МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

При изучении темы «Сцепленное наследование признаков» необходимо сформировать у обучающихся знания о закономерностях сцепленного наследования признаков у организмов. Актуализировать знания обучающихся о гаметогенезе, конъюгации гомологичных хромосом в мейозе и кроссинговере. Познакомить обучающихся с опытами Т.Х. Моргана; основными положениями хромосомной теории наследственности; раскрывать содержание закона сцепленного наследования признаков и закона нарушения сцепления между генами. Развивать умения обучающихся записывать схемы скрещивания, решать задачи на сцепленное наследование признаков, объяснять причины рекомбинации генов, определять число групп сцепления генов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Теоретическая часть

Сцепленное наследование признаков установил американский ученый Т.Х. Морган. Объектом для исследований была выбрана плодовая мушка дрозофила. Она легко разводится в лабораторных условиях, у нее происходит быстрая смена поколений, имеется только четыре пары довольно крупных хромосом и ярко выражены альтернативные признаки.

Для скрещивания Морган взял две чистые линии дрозофил с серым телом, нормальными крыльями (доминантные признаки) и с черным телом, зачаточными крыльями (рецессивные признаки).

В первом опыте были скрещены гомозиготные мухи с серым телом, нормальными крыльями ($AABB$) и мухи с черным телом, зачаточными крыльями ($aabb$). Первое поколение оказалось единообразным с серым телом и нормальными крыльями, т.е. соблюдался закон единообразия гибридов первого поколения. Затем полученные гибриды первого поколения скрещивались с рецессивной гомозиготной мухой. Опыт проводился в двух вариантах.

В первом случае гибридом с доминантными признаками был взят самец, а во втором случае – самка. В результате скрещивания должно было образоваться четыре фенотипические группы в соотношении: **1 серое тело,**

нормальные крылья : 1 серое тело, зачаточные крылья : 1 черное тело, нормальные крылья : 1 черное тело, зачаточные крылья.

Однако Морган получил только две фенотипические группы в соотношении 1 : 1 . Расщепление признаков по четырем группам, как при дигибридном скрещивании, не наблюдалось. Признаки окраски тела и формы крыльев наследовались совместно, так как гены, ответственные за их проявление, располагаются в одной паре гомологичных хромосом. Закон независимого наследования признаков, установленный Г. Менделем, оказался справедливым лишь для генов, расположенных в разных парах негомологичных хромосом. На основании результатов опытов Морган вывел закон сцепленного наследования признаков: гены, находящиеся в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются совместно, сцепленно.

Во втором варианте скрещивания Морган взял гетерозиготную самку и гомозиготного самца с рецессивными признаками. Результат скрещивания оказался иным: появились четыре фенотипические группы, причем, в неравных соотношениях (41,5% серое тело нормальные крылья : 41,5% черное тело, зачаточные крылья : 8,5% серое тело, зачаточные крылья : 8,5% черное тело, нормальные крылья). Сцепление генов нарушилось. Аллели разных генов, расположенные в гомологичных хромосомах, разделились и образовались новые сочетания признаков, т.е. произошла рекомбинация генов. Причём, у самок две половые хромосомы гомологичны друг другу, поэтому кроссинговер между ними был возможен, а у самцов две половые хромосомы негомологичны и кроссинговер между ними не происходил. На основании этого Морган вывел закон нарушения сцепления между генами: сцепление между генами нарушается при кроссинговере – обмене участками гомологичных хромосом в результате мейоза [5].

Открытия Моргана позволили сформулировать **основные положения хромосомной теории наследственности.**

1. Единицы наследственности – гены – расположены в хромосомах линейно.
2. Гены, находящие в одной хромосоме, наследуются совместно друг с другом, или сцепленно, образуя группу сцепления.
3. Пара гомологичных хромосом представляет собой одну группу сцепления. Число групп сцепления равно числу пар гомологичных хромосом.
4. Между гомологичными хромосомами может происходить перекрест (кроссинговер), приводящий к обмену генами и появлению новых рекомбинантных сочетаний признаков.
5. Частота кроссинговера прямо пропорциональна расстоянию между генами в хромосомах. Чем дальше гены расположены друг от друга, тем чаще между ними происходит кроссинговер.

Практическая часть

Рассмотрим общие принципы решения задач на тему «Сцепленное наследование».

Задачи на сцепленное наследование решаются аналогично задачам на моно- и дигибридное скрещивание. Однако при сцепленном наследовании гены, контролирующие развитие анализируемых признаков, локализованы

в одной хромосоме. Поэтому наследование этих признаков не подчиняется законам Менделя.

Помните, что:

1. Генотипы скрещиваемых особей и гибридов следует писать в хромосомной форме.
2. При записи генотипов следует учитывать расположение генов в хромосомах гомологичной пары: 1) доминантные аллели генов находятся в одной хромосоме, а рецессивные – в другой; 2) в хромосоме располагаются доминантная аллель одного гена и рецессивная – другого. Если в условии задачи не оговаривается расположение генов, значит, что доминантные аллели генов находятся в одной хромосоме, а рецессивные – в другой.
3. При полном сцеплении особь, гетерозиготная по всем рассматриваемым признакам, образует два типа гамет.
4. При неполном сцеплении происходит образование кроссоверных и некроссоверных гамет:
 - количество некроссоверных гамет всегда больше, чем кроссоверных;
 - организм всегда образует равное количество разных типов как кроссоверных, так и некроссоверных гамет;
 - процентное соотношение кроссоверных и некроссоверных гамет зависит от расстояния между генами;
 - если известно расстояние между генами (в процентах кроссинговера или морганидах), то количество кроссоверных гамет определенного типа можно вычислить по формуле:

$$n = \frac{\text{кроссинговера}}{2}$$

где n – количество кроссоверных гамет определённого типа;

- если известно количество кроссоверных особей, то процент кроссинговера между генами вычисляют по формуле

$$x = \frac{a + b}{n} \cdot 100\%$$

- если рассматриваются признаки, гены которых входят в состав разных групп сцепления, то вероятность объединения генов разных групп сцепления в одной гамете равна произведению вероятностей каждого гена, образующего эту гамету [4].

Расщепление гибридов при сцепленном наследовании отличается от расщепления при независимом наследовании. Рассчитываем и записываем формулы расщепления по фенотипу и генотипу только тогда, когда это требуется по условию задачи. **Чтобы определить вероятность появления разных сортов зигот, надо перемножить частоты гамет, образующих эту зиготу.**

Примеры решения задач

Задача 1 (базовый уровень)

Гомозиготное по обоим признакам гладкосемянное (А) растение гороха с усиками (В) скрестили с морщинистым (а) растением гороха без усиков (в). Гены указанных признаков (форма семени и наличие или отсутствие усиков) локализованы в одной хромосоме, поэтому эти два признака наследуются сцепленно. Каковы генотипы и фенотипы F_1 и F_2 ?

Дано:	Решение:
А – гладкосемянное	гл. усик. мор. б/ус.
В – с усиками	$P_1: \text{♀} AABV \times \text{♂} aavv$
а – морщинистые	G: $\begin{matrix} \text{AB} & & \text{av} \\ \text{---} & & \text{---} \end{matrix}$
семена	$F_1: AaBv - 100\% \text{ гладкосемянных}$
в – б/усиков	с усиками
$P: \text{♀} AABV \times \text{♂} aavv$	$P_2: \text{♀} AaBv \times \text{♂} AaBv$
$F_1 - ? F_2 - ?$	G: $\begin{matrix} \text{AB} & \text{av} & \text{AB} & \text{av} \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \end{matrix}$
(генотипы и фенотипы)	$F_2: AABV : AaBv : AaBv : aavv$
	гл. с ус. гл. с ус. гл. с ус. морщ. б/ус.

Ответ

$F_1: AaBv - 100\% \text{ гладкосемянных с усиками};$

$F_2: 1AABV : 2AaBv : 1aavv; 75\% \text{ растений гороха с гладкими семенами и с усиками и } 25\% \text{ растений с морщинистыми семенами и без усиков.}$

Задача 2 (углубленный уровень)

У кукурузы признаки жёлтых проростков, определяемых геном gl , и блестящих листьев – st , наследуются сцепленно и являются рецессивными по отношению к признакам зеленых проростков и матовых листьев. От скрещивания гомозиготных растений кукурузы, имеющих желтые проростки и блестящие листья, с растениями, имеющими зеленые проростки и матовые листья, получили 124 гибрида F_1 . От скрещивания растений F_1 с линией-анализатором получили 726 растений F_a , в том числе 310 с признаками доминантной родительской формы, 287 – рецессивной родительской формы, 129 – кроссоверных по данным генам.

- 1) Сколько типов гамет образует растение F_1 ?
- 2) Какой процент некроссоверных растений может быть среди гибридов F_a ?
- 3) Сколько генотипических классов получено в F_a ?
- 4) Сколько растений F_a (в %) могут дать нерасщепляющееся потомство?
- 5) Какой процент растений F_a может иметь желтые проростки и матовые листья?

Дано:

Gl — зеленые проростки

gl — желтые проростки

St — матовые листья

st — блестящие листья

F_1 — 124 растения

F_a — 726 растений, из них:

310 с зелеными проростками и матовыми листьями;

287 с желтыми проростками и блестящими листьями;

129 кроссоверных

- 1) Сколько типов гамет образует растение F_1 ?
- 2) Какой процент некроссоверных растений может быть среди гибридов F_a ?
- 3) Сколько генотипических классов получено в F_a ?
- 4) Сколько растений F_a (в %) могут дать нерасщепляющееся потомство?
- 5) Какой процент растений F_a может иметь желтые проростки и матовые листья?

Решение:

1. Записываем схему скрещивания. Согласно условию задачи, скрещиваемые растения гомозиготны.

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \frac{\text{glst}}{\text{glst}} \times \text{♂} \frac{\text{GlSt}}{\text{GlSt}} \\ \text{желт. блест.} \quad \text{зел. мат.} \end{array}$$

2. Определяем типы гамет скрещиваемых особей.

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \frac{\text{glst}}{\text{glst}} \times \text{♂} \frac{\text{GlSt}}{\text{GlSt}} \\ \text{желт. блест.} \quad \text{зел. мат.} \end{array}$$

Типы гамет $\textcircled{\text{glst}}$ $\textcircled{\text{GlSt}}$

3. Определяем генотипы и фенотипы потомков F_1 .

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \frac{\text{glst}}{\text{glst}} \times \text{♂} \frac{\text{GlSt}}{\text{GlSt}} \\ \text{желт. блест.} \quad \text{зел. мат.} \end{array}$$

Типы гамет $\textcircled{\text{glst}}$ $\textcircled{\text{GlSt}}$

$$F_1 \quad \begin{array}{c} \frac{\text{GlSt}}{\text{glst}} \\ \text{зел. мат.} \\ 100\% \end{array}$$

4. Записываем схему анализирующего скрещивания F_1 .

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \frac{\text{GlSt}}{\text{glst}} \times \text{♂} \frac{\text{glst}}{\text{glst}} \\ \text{зел. мат.} \quad \text{желт. блест.} \end{array}$$

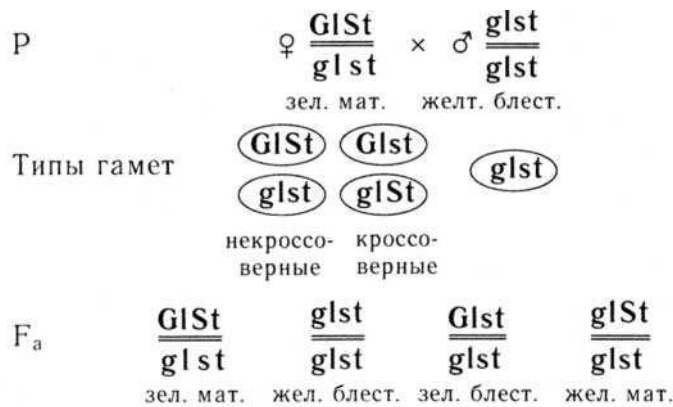
5. Определяем типы гамет. Потомки F_1 дигетерозиготны, поэтому они образуют по четыре типа гамет, растение линии-анализатора гомозиготно, поэтому образует один тип гамет.

$$P \quad \begin{array}{c} \text{♀} \frac{\text{GlSt}}{\text{glst}} \times \text{♂} \frac{\text{glst}}{\text{glst}} \\ \text{зел. мат.} \quad \text{желт. блест.} \end{array}$$

Типы гамет $\textcircled{\text{GlSt}}$ $\textcircled{\text{Glst}}$ $\textcircled{\text{glst}}$ $\textcircled{\text{glSt}}$

некроссо- кроссо-
верные верные

6. Получаем потомков F_a .



7. Проводим анализ скрещивания.

В F_a произошло расщепление. Образовалось четыре генотипических и четыре фенотипических класса – по два класса кроссоверных и некроссоверных растений. Всего в F_a 726 растений. 129 растений кроссоверных. Вычисляем процент кроссинговера по формуле:

$$x = \frac{a + b}{n} \cdot 100\% \approx 0,18 \cdot 100\% \approx 18\%$$

Образовалось кроссоверных особей 18% (по 9% каждого класса). Соответственно, некроссоверных особей образовалось 82% (100% – 18%) – по 41% каждого класса. Таким образом, в F_a произошло расщепление в соотношении: 41% растений с зелеными проростками и матовыми листьями : 41% с желтыми проростками и блестящими листьями : 9% с зелёными проростками и блестящими листьями : 9% с желтыми проростками и матовыми листьями.

8. Отвечаем на вопросы задачи.

1) Все растения F₁ дигетерозиготны. Поэтому они образуют 4 типа гамет.

2) Некроссоверные растения составляют ≈ 82% потомков F_a.

3) В F_a 4 генотипических класса.

4) Нерасщепляющееся потомство дают гомозиготные особи по доминантным (41%) и рецессивным (41%) признакам. 41% + 41% = 82%.

5) Желтые проростки и матовые листья будут иметь кроссоверных особей ≈ 9%.

Ответ: 1) 4; 2) ≈ 82%; 3) 4; 4) ≈ 82%; 5) ≈ 9%.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ С КРИТЕРИЯМИ ОЦЕНИВАНИЯ

Задача 1

При скрещивании самок жука жужелицы с коричневым широким телом и самцов жука жужелицы с зелёным узким телом всё потомство оказалось с коричневым узким телом. В результате анализирующего скрещивания гибридного потомства были получены четыре различные фенотипические

группы: 30, 28, 12 и 10 особей. Составьте схемы скрещиваний и определите генотипы родительских особей, генотипы и фенотипы потомства каждой группы в двух скрещиваниях, а также численность каждой группы во втором скрещивании. Объясните формирование четырех фенотипических групп в анализирующем скрещивании.

Ответ

1) P: ♀ AAbb x ♂ aaBB
 коричневое, зелёное,
 широкое тело узкое тело
 G: Ab aB

F₁:

AaBb - коричневое, узкое тело;

2) P: ♀ AaBb x ♂ aabb
 коричневое, зелёное,
 узкое тело широкое тело
 G: AB, Ab, ab, aB ab

F₂:

Aabb – коричневое, широкое тело;

aaBb – зелёное, узкое тело;

AaBb – коричневое, узкое тело;

aabb – зелёное, широкое тело;

3) Присутствие в потомстве двух многочисленных фенотипических групп особей (30 и 28) примерно в равных долях – это результат сцепленного наследования аллелей A и b, a и B между собой. Две малочисленные фенотипические группы (12 и 10) образуются в результате кроссинговера.

(Допускается иная генетическая символика, не искажающая смысла задачи)

Критерии оценивания выполнения заданий	Баллы
Ответ включает в себя все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает в себя два из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок	2
Ответ включает в себя один из названных выше элементов, который не содержит биологических ошибок	1
Ответ неправильный	0
<i>Максимальный балл</i>	3

Задача 2

В ходе эксперимента были скрещены две линии мышей: первая – с прямой шерстью нормальной длины, вторая – с извитой длинной шерстью. В результате гибриды первого поколения имели прямую шерсть нормальной длины. При анализирующем скрещивании полученных гибридов были выявлены четыре фенотипические группы: 53, 50, 14 и 17. Составьте схемы решения задачи, определить генотипы и фенотипы родительских особей и потомства каждой группы, а также объясните формирование четырех фенотипических групп.

Ответ

1) P: ♀ AABV x ♂ aabb
 прямая шерсть извитая
 нормальной длины длинная шерсть
G: AV ab

F₁:

AaVb – прямая шерсть нормальной длины;

2) P: ♀ AaVb x ♂ aabb
 прямая шерсть извитая
 нормальной длины длинная шерсть
G: AV, Ab, aV, ab ab

F₂:

AaVb – прямая шерсть нормальной длины (53 или 50 особей);

Aabb – прямая длинная шерсть (14 или 17 особей);

aaVb – извитая шерсть нормальной длины (17 или 14 особей);

aabb – извитая длинная шерсть (50 или 53 особей);

3) присутствие в потомстве двух больших фенотипических групп особей 50 (53) с прямой шерстью нормальной длины и 53 (50) с извитой длинной шерстью примерно в равных долях – это результат сцепленного наследования аллелей A и B, a и b между собой. Две другие малочисленные фенотипические группы (14 и 17) образуются в результате кроссинговера.

(Допускается иная генетическая символика, не искажающая смысла задачи)

Критерии оценивания выполнения заданий

Баллы

Ответ включает в себя все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок

3

Ответ включает в себя два из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок

2

Ответ включает в себя один из названных выше элементов, который не содержит биологических ошибок

1

Ответ неправильный

0

Максимальный балл

3

Задача 3

В результате скрещивания томата с нормальными листьями и овальными плодами с томатом, имеющим пятнистые листья и округлые плоды, всё потомство унаследовало нормальные листья и округлые плоды. В ходе анализирующего скрещивания гибридов первого поколения было получено четыре группы потомков с разными фенотипами: 12, 20, 78 и 90. Составьте схемы скрещиваний, указав генотипы родительских особей и генотипы, фенотипы и количество потомков в каждой группе. Постройте генетическую карту для генов, определяющих указанные признаки, и отметьте на ней местоположение каждого гена и расстояние между ними в процентах кроссинговера. Определите тип наследования этих генов.

Ответ

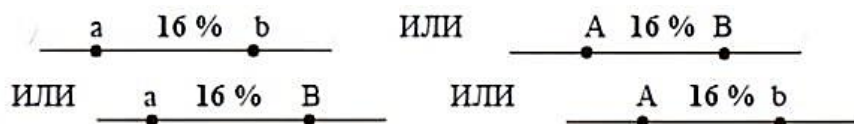
1) P: ♀ AAbb × ♂ aaBB
 нормальные листья, пятнистые листья,
 овальные плоды округлые плоды
 G: Ab aB
 F₁:

AaBb – нормальные листья, округлые плоды;

2) P: ♀ AaBb × ♂ aabb
 нормальные листья, пятнистые листья,
 округлые плоды овальные плоды
 G: AB, Ab, aB, ab ab
 F₂:

AaBb – нормальные листья, округлые плоды, 12 или 20;
 aaBb – пятнистые листья, округлые плоды, 78 или 90;
 Aabb – нормальные листья, овальные плоды, 90 или 78;
 aabb – пятнистые листья, овальные плоды, 20 или 12;

3)



Тип наследования генов – сцепленное наследование.

(Допускается иная генетическая символика, не искажающая смысла задачи)

Критерии оценивания выполнения заданий

Баллы

Ответ включает в себя все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок

3

Ответ включает в себя два из названных выше элементов, которые не содержат биологических ошибок	2
Ответ включает в себя один из названных выше элементов, который не содержит биологических ошибок	1
Ответ неправильный	0
<i>Максимальный балл</i>	3

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рохлов В.С., Петросова Р.А.* Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2024 года по биологии. – М.: ФИПИ, 2024. – 44 с. URL: [Электронный ресурс] Режим доступа: https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2024/bi_mr_2024.pdf?ysclid=m4estwz3ex29991715 (дата обращения: 02.12.2024).
2. Федеральная рабочая программа среднего общего образования: биология (базовый уровень) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://edsoo.ru> (дата обращения: 07.12.2024).
3. Федеральная рабочая программа среднего общего образования: биология (углубленный уровень) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://edsoo.ru> (дата обращения: 07.12.2024).
4. *Гончаров О.В.* Генетика. Задачи. – Саратов: Лицей, 2005. – 352 с. (Серия «Биология»).
5. *Теремов А.В., Петросова Р.А.* Как обучать биологии: Биологические системы и процессы. 10 класс. Методическое пособие для учителя/ А.В. Теремов, Р.А. Петросова. – М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2015. – 183 с.