

Дорогие ребята!

Поздравляем вас с участием в заключительном теоретическом этапе Московской олимпиады школьников по генетике! Отвечая на вопросы и выполняя задания, не спешите, так как ответы не всегда очевидны и требуют применения не только биологических знаний, но и общей эрудиции, логики и творческого подхода. Успеха Вам в работе!

Максимальное количество баллов: 70

Время на выполнение работы: 4 часа.

Задание 1. Надкрылья златок (15 баллов)

Жуки златки (лат. *Buprestidae*) - довольно многочисленное семейство жесткокрылых, получивших особый интерес благодаря яркой и металлической расцветке их надкрылий. Представителей этого семейства использовали в искусстве еще в середине XV века для создания ювелирных украшений, одежды или даже декора потолков царских дворцов Бельгии.

В ходе изучения наследования окраски у самого известного представителя *Sternocera aequisignata* вы обнаружили три морфы с изумрудными, лазурными или бирюзовыми надкрыльями. Выбрав из свободно скрещивающейся лабораторной популяции ювенильных особей, вы провели ряд скрещиваний, чьи результаты приведены в таблице ниже:

Скрещивание	Родители	Потомство
1	лазурный х изумрудный	все лазурные
2	лазурный х лазурный	3/4 лазурные : 1/4 бирюзовые
3	изумрудный х изумрудный	3/4 изумрудные : 1/4 бирюзовые
4	лазурный х бирюзовый	1/2 лазурные : 1/2 бирюзовые
5	лазурный х лазурный	3/4 лазурные : 1/4 изумрудные
6	лазурный х изумрудный	1/2 лазурные : 1/2 изумрудные
7	лазурный х изумрудный	1/2 лазурные : 1/4 изумрудные : 1/4 бирюзовые
8	бирюзовый х бирюзовый	все бирюзовые

1.1. Исходя из результатов скрещивания, предположите, как наследуется окраска надкрылий у *Sternocera aequisignata*. Объясните ваш вывод о наследовании (3 балла).

Решение:

Расщепления в потомствах намекают на моногибридное наследование (1 балл). Единственное, что может породить данные расщепления — это множественный аллелизм (1 балл). Допустим, что у златок за окраску надкрылий ответственен ген w с аллельными вариантами w^b (лазурные), w^g (изумрудные) и w^t (бирюзовые). Из преобладания в потомстве большинства скрещиваний лазурных жуков можно предположить, что w^b доминирует над остальными аллелями. В то же время из скрещивания 3 видно, что w^g доминирует над w^t . Значит порядок доминирования аллелей $w^b > w^g > w^t$ (1 балл)

1.2. Установите все генотипы родителей и потомства в скрещиваниях (6 баллов).

Решение:

Из условий задачи популяция златок в лаборатории свободно скрещивается. Значит возможны как гомозиготные, так и гетерозиготные родители. Исходя из этого в некоторых случаях нельзя однозначно установить генотип и необходимо записывать генотип через генетический радикал “-”. Итого, наблюдаемые генотипы:

Скрещивание	Родители	Потомство
1	$wb / wb \times wg / -$	wb / wg или $wb / -$
2	$wb / wt \times wb / wt$	$3/4 wb / - : 1/4 wt / wt$
3	$wg / wt \times wg / wt$	$3/4 wg / - : 1/4 wt / wt$
4	$wb / wt \times wt / wt$	$1/2 wb / wt : 1/2 wt / wt$
5	$wb / wg \times wb / wg$	$3/4 wb / - : 1/4 wg / wg$
6	$wb / wg \times wg / wg$	$1/2 wb / wg : 1/2 wg / wg$
7	$wb / wt \times wg / wt$	$1/2 wb / - : 1/4 wg / wt : 1/4 wt / wt$
8	$wt / wt \times wt / wt$	wt / wt

По 0.375 балла за верную клетку в таблице ($0.375 * 16 = 6$ баллов). Допускается запись всех возможных генотипов вместо знака “-”, где это можно установить (например, в п.1 установить нельзя, а в п. 5 возможна запись “ $3/4 wb / wg$ и $wb / wb \dots$ ”).

1.3. Какая вероятность получить в потомстве от скрещивания изумрудной и бирюзовой златки особь с надкрыльями изумрудного цвета, если все аллели всех генов представлены в лабораторной популяции с одинаковыми частотами? Если родительская изумрудная особь была получена из скрещивания изумрудной и бирюзовой златок? (6 баллов)

Решение:

В первом случае мы можем однозначно установить только генотип бирюзового родителя (w^t / w^t), изумрудный родитель может быть как w^g / w^g (с вероятностью $1/2$), так и w^g / w^t (с вероятностью $1/2$). Из скрещивания $w^g / w^g \times w^t / w^t$ вероятность получить зеленого потомка составляет 1, а из скрещивания $w^g / w^t \times w^t / w^t$ - $1/2$. Значит по формуле полной вероятности: $P(\text{зеленого потомка}) = 1/2 * 1 + 1/2 * 1/2 = 3/4$. **(3 балла)**.

Если нам известно, что изумрудный родитель был получен из скрещивания бирюзовой златки, то мы однозначно устанавливаем его генотип w^g / w^t . Значит вероятность получить изумрудную особь от скрещивания такого генотипа с $w^t / w^t = 1/2$ **(3 балла)**

Задание 2. Окраска мышей (9 баллов).

Для анализа наследования цвета мышей Вы решили провести две цепочки скрещиваний. В первой цепочке Вы скрестили серую самку и белого самца из чистых линий, и в потомстве все детеныши оказались чёрного цвета. Скрестив их между собой, во втором поколении вы наблюдали расщепление 3:1 у самок и 4:3:1 у самцов. Во второй цепочке Вы решили скрестить белую самку и серого самца из чистых линий и получили черных самок и белых самцов. Во втором поколении обнаружилось расщепление 4:3:1 и у самцов, и у самок.

2.1. Как наследуется признак? Напишите генотипы родительских особей и генотипы потомков F1 для каждого скрещивания (4 балла). Ответ поясните.

Решение:

Так как наблюдаются различные расщепления среди самок и самцов, то как минимум один ген наследуется через X-хромосому **(0.5 балла)**. Из-за более сложных расщеплений (4:3:1) есть как минимум еще один ген, ответственный за окраску **(0.5 балла)**. Предположим систему из одного гена, сцепленного с X-хромосомой (обозначим его аллели как X^A и X^a), и одного аутосомного гена (обозначим его аллели как B и b). Так как признака всего 3 (черный, серый и белый), то это не независимое наследование, и можно предположить

несколько видов неаллельного взаимодействия (**0.5 балла**). Методом перебора и расписывания скрещиваний определим, что здесь наблюдается рецессивный эпистаз, где ген А в гомозиготном состоянии подавляет ген В (**0.5 балла**).

$X^aX^a_ _$, $X^aY_ _$ - белый (б)

X^A_bb - серый (с)

X^A_Bb - черный (ч)

Если в решении делается вывод о характере наследования генов, но обоснование представлено исключительно в виде расщеплений, то данный пункт оценивается в полный балл.

Распишем скрещивания:

- 1) Первая цепочка скрещиваний (**1 балл, по 0.25 балла за верно определенные родительские генотипы и генотипы потомков F1**):

P: X^AX^Abb x X^AYBB

F1: X^AX^aBb (ч), X^AYBb (ч)

F2:

	X^AX^A	X^AX^a	X^AY	X^aY
BB	X^AX^ABB (ч)	X^AX^aBB (ч)	X^AYBB (ч)	X^aYBB (б)
Bb	X^AX^ABb (ч)	X^AX^aBb (ч)	X^AYBb (ч)	X^aYBb (б)
Bb	X^AX^ABb (ч)	X^AX^aBb (ч)	X^AYBb (ч)	X^aYBb (б)
bb	X^AX^Abb (с)	X^AX^abb (с)	X^AYbb (с)	X^aYbb (б)

- 1) Вторая цепочка скрещиваний (**1 балл, по 0.25 балла за верно определенные родительские генотипы и генотипы потомков F1**):

P: X^aX^aBB x X^AYbb

F1: X^aX^aBb (ч), X^aYBb (б)

F2:

	X^aX^a	X^aX^a	X^aY	X^aY
BB	X^aX^aBB (ч)	X^aX^aBB (б)	X^aYBB (ч)	X^aYBB (б)
Bb	X^aX^aBb (ч)	X^aX^aBb (б)	X^aYBb (ч)	X^aYBb (б)
Bb	X^aX^aBb (ч)	X^aX^aBb (б)	X^aYBb (ч)	X^aYBb (б)
bb	X^aX^abb (с)	X^aX^abb (б)	X^aYbb (с)	X^aYbb (б)

В экспедиции Вы обнаружили изолированную популяцию мышей того же вида, у которых не было найдено белой окраски. Вы скрестили между собой двух черных мышей из этой популяции и в потомстве получили 2 серых и 5 чёрных мышей.

2.2. С какой вероятностью отдельно взятых черный мышенок из потомства будет гетерозиготным? (2 балла)

Решение:

В найденной популяции нет белого цвета, а соответственно там отсутствует аллель X^a , а значит дальше можно рассматривать только ген В (0.5 балла). Если в потомстве от чёрных мышей получили серых мышей, то родители были гетерозиготами (0.5 балла). Вероятность того, что любой чёрный мышонок имеет генотип bb равна нулю, так как мы уже знаем, что он чёрный, а соответственно генотип у него либо ВВ, либо Вb. Вероятность того, что его генотип Вb = $\frac{2}{3}$ (1 балл).

2.3. С какой вероятностью Вы бы получили в потомстве 3 серых и 4 черных мышей? (3 балла)

Решение (3 балла за верный расчет):

Вероятность того, что в потомстве родятся 3 серых и 4 черных мышей можно найти через формулу Бернулли: $C^3_7 * (\frac{1}{4})^3 * (\frac{3}{4})^4 = 0,173 = 17,3\%$

Задание 3. Всё про рис (15 баллов).

Рис посевной (*Oryza sativa*) восприимчив к грибному патогену *Magnaporthae grisea*, который вызывает пирикуляриоз - поражение побегов, приводящее к серьёзным потерям урожая. Скрининг устойчивых к патогену сортов риса позволил выявить три несцепленных друг с другом локуса - *Pi1*, *Piz-5*, *Pita*. Для всех трёх локусов известно по два аллеля, причём доминантные аллели возникли локально и недавно, пределы регионов выращивания соответствующих сортов они не покинули. Так как не было найдено сортовой линии, которая обладала бы доминантными мутациями во всех трёх локусах одновременно, для селекционной работы были выбраны три линии растений, каждая из которых гомозиготна по одному из трёх локусов (таблица 1).

Таблица 1. Используемые в задаче сорта риса, их генотип и место происхождения.

Название сортовой линии	Генотип	Происхождение
BNL1	<i>Pi1/Pi1</i>	Индия
BNL3	<i>Piz-5/Piz-5</i>	Индия
KC7, OPK1, AL18	<i>Pita/Pita</i>	Япония

Рис выращивают по всему миру в течение долгого времени, длительная изоляция привела к межсортовой несовместимости растений индийских и японских сортов. Выявлено пять дуаллельных локусов, отвечающих за мужскую стерильность, - *Sa*, *Sb*, *Sc*, *Sd*, *Se* - и один трёхаллельный локус *S5*, вызывающий женскую стерильность у гибридов индийских и японских сортов. Мужская стерильность наследуется по принципу полимерии; у индийских сортов эти локусы представлены аллелью *Si*, а у японских - *Sj*. Количество жизнеспособной пыльцы снижается при увеличении гетерозиготности растения по этим локусам; пентагетерозигота *Si/Sj* является стерильным по мужской сфере растением. В таблице 2 обобщена информация о локусах, связанных со стерильностью у риса. Женская стерильность возникает, если в растении сочетаются индийская аллель *Si* и японская аллель *Sj*. Японская аллель *Sn* является нейтральной, она не приводит к стерильности растения. Таблица 2. Локусы, связанные со стерильностью риса.

Название локуса	Аллели и условия стерильности
Мужская стерильность	

<i>Sa</i>	Для каждого локуса известно два аллеля. Индийские сорта несут аллель <i>Si</i> , а японские - <i>Sj</i> . Если растения гетерозиготны по локусу <i>Si/Sj</i> , то мужская фертильность снижается. Чем выше степень гетерозиготности по этим локусам, тем выше стерильность.
<i>Sb</i>	
<i>Sc</i>	
<i>Sd</i>	
<i>Se</i>	
Женская стерильность	
<i>S5</i>	Три аллеля - <i>Si</i> (индийская аллель), <i>Sj</i> (японская аллель), <i>Sn</i> (японская аллель). Индийские сорта гомозиготны <i>Si/Si</i> , среди японских есть гетерозиготы <i>Sj/Sn</i> . Растение не формирует яйцеклетку, если у него генотип <i>Si/Sj</i> .

Исследователям необходимо получить гибрид японских и индийских сортов риса, обладающих повышенной устойчивостью к прикуляриозу, то есть гомозиготных по всем трём генам устойчивости к патогену. Учитывая феномен стерильности гибридов между индийскими и японскими сортами, исследователи подобрали японские сорта, которые были получены в результате предварительного скрещивания с индийскими сортами. Для используемых в этой работе сортовых линий в результате анализа полиморфизма по молекулярным маркерам были установлены генотипы по локусам стерильности. Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3. Генотип сортовых линий по локусам стерильности.

Сортовая линия	Генотип по локусу					
	<i>Sa</i>	<i>Sb</i>	<i>Sc</i>	<i>Sd</i>	<i>Se</i>	<i>S5</i>
BNL1, BNL3	Sai/Sai	Sbi/Sbi	Sci/Sci	Sdi/Sdi	Sei/Sei	S5i/S5i
KC7	Sai/Sai	Sbj/Sbj	Scj/Scj	Sdj/Sdj	Sei/Sei	S5n/S5n
OPK1	Sai/Sai	Sbj/Sbj	Scj/Scj	Sdi/Sdi	Sej/Sej	S5j/S5j
AL18	Saj/Saj	Sbi/Sbi	Sci/Sci	Sdj/Sdj	Sej/Sej	S5j/S5j

3.1. Используя индийские сорта BNL1 и BNL3, выведите гибриды, которые обладали бы повышенной устойчивостью к грибному патогену. Сколько вариантов схем скрещивания Вы можете предложить? Для каждого варианта выведения устойчивых гибридов определите теоретическое количество гибридов в последнем скрещивании среди 3 760 отобранных растений, которые будут обладать повышенной устойчивостью и не дают расщепления по этому признаку при самоопылении. Какой вариант выведения устойчивых гибридов даст больший выход требуемого

растительного материала? Аргументируйте Ваш ответ схемами скрещиваний (5 баллов).

Решение:

Три варианта скрещивания (1 балл). Варианты 2 и 3 самые эффективные по выходу растительного материала (1 балл).

Так как скрещиваются индийские сорта, которые гексагомозиготны по локусам стерильности, в этой части задачи рассмотрение наследования по этим локусам опущено.

Первое скрещивание между линиями BNL1 и BNL3 даст гибридов $Pi1/Pi1 Piz-5/Piz5$. Далее можно действовать двумя путями.

Вариант 1 (1 балл: 0.25 за схему скрещивания, 0.5 за верно определенную долю устойчивых растений и 0.25 за верный расчет)

Произвести самоопыление полученных гибридов. Тогда среди полученных потомков $1/16$ особей будет иметь генотип $Pi1/Pi1 Piz-5/Piz-5$, именно они обладают повышенной устойчивостью и не дадут расщепление при самоопылении. 235 гибридов будут обладать повышенной устойчивостью и не дадут расщепления при самоопылении.

Вариант 2 (1 балл: 0.25 за схему скрещивания, 0.5 за верно определенную долю устойчивых растений и 0.25 за верный расчет).

Полученные дигетерозиготные гибриды скрестить с BNL1. Среди полученных гибридов второго поколения $1/2$ будет гомозиготна по локусу $Pi1$ и гетерозиготна по локусу $Piz-5$. Эти гибриды далее нужно скрестить с BNL3, и $1/2$ гибридов третьего поколения будет дигомозиготна и доминантна по локусам. 1 880 гибридов третьего поколения будут обладать повышенной устойчивостью и не дадут расщепления при самоопылении.

Вариант 3 (1 балл: 0.25 за схему скрещивания, 0.5 за верно определенную долю устойчивых растений и 0.25 за верный расчет)

Полученные дигетерозиготные гибриды скрестить с BNL3. Среди полученных гибридов второго поколения $1/2$ будет гомозиготна по локусу $Piz-5$ и гетерозиготна по локусу $Pi1$. Эти гибриды далее нужно скрестить с BNL1, и $1/2$ гибридов третьего поколения будет дигомозиготна и доминантна по локусам. 1 880 гибридов третьего поколения будут обладать повышенной устойчивостью и не дадут расщепления при самоопылении.

3.2. Далее нужно получить растения риса от скрещивания японских сортов, которые при гибридизации с индийскими растениями, полученными Вами в предыдущей части, дадут не только сверхустойчивые к грибу, но и максимально возможно фертильные гибриды.

С этой целью была произведена следующая схема скрещиваний японских сортов:

P: KC7 x AL18

↓
F₁ (X) Самоопыление

↓
F₂^a x ОРК1^a ^a Использованы гибриды с наибольшей мужской фертильностью, с наибольшим количеством аллелей *Si* в локусах *Sa-Se* и с генотипом *pp* по локусу *S5*

↓
F₃ (X) Самоопыление

↓
F₄^b ^b Для дальнейшей работы выбираются гибриды с наибольшей мужской фертильностью, с наибольшим количеством аллелей *Si* в локусах *Sa-Se* и с генотипом *pp* по локусу *S5*

Вспомните, что мужская стерильность определяется гетерозиготностью по пяти локусам *Sa-Se*.

Ответьте на вопросы по этой схеме скрещивания, аргументируя Ваши ответы (10 баллов).

Поколение	Вопрос задачи
F ₁	1. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₂	2. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₂	3. Какая доля генотипов обладает наибольшим количеством аллелей <i>Si</i> в локусах мужской стерильности? ^b
F ₂	4. Запишите генотип, который использован для скрещивания с растением линии ОРК1
F ₃	5. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₄	6. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₄	7. Запишите генотип, который нужно использовать для скрещивания с гибридом индийского сорта, который Вы получили в задании 1
F ₄	8. Вычислите долю генотипа, который нужно использовать для скрещивания с гибридом индийского сорта, который Вы получили в задании 1

^b В случае отсутствия расщепления впишите цифру 1

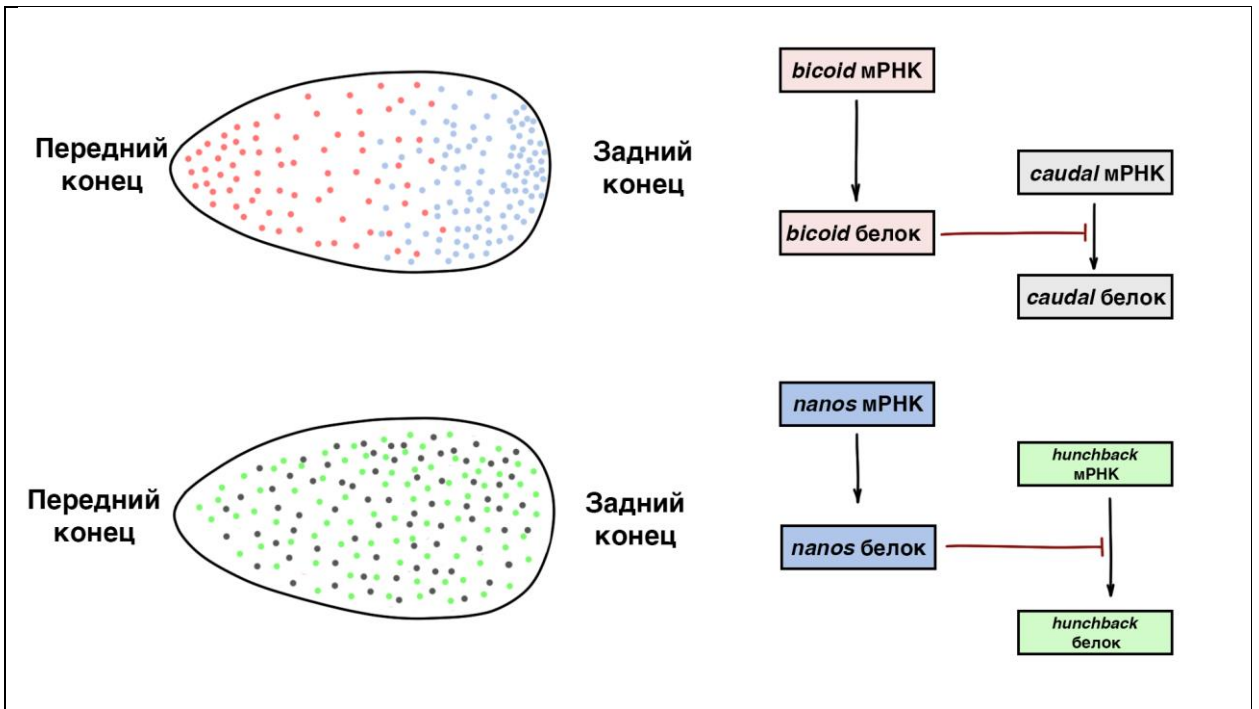
Решение:

1. В скрещивании KC7 x AL18 каждый родитель даст по одному типу гамет, поэтому все гибриды F₁ будут единообразны. Поэтому 1 **(1 балл)**
2. При самоопылении F₁ получится расщепление по локусам *Sa*, *Sb*, *Sc*, *Se*, *S5*. Самыми фертильными по пыльце будут генотипы, являющиеся наиболее гомозиготными по локусам. Доля гомозигот по локусам с расщеплением составляет $\frac{1}{2}$, а по локусу *Sd* - 1 (нет расщепления). Локус *S5* не влияет на мужскую стерильность. Возведя $\frac{1}{2}$ в четвёртую степень и умножив на две единицы, получаем $\frac{1}{16}$, именно такая доля у наиболее фертильных по пыльце генотипов. **(1 балл)**
3. В F₁ доля генотипов с наибольшим количеством аллелей *Si* в локусах мужской стерильности вычисляется так. Доля гомозигот *Si/Si* по локусам с расщеплением составляет $\frac{1}{4}$, а по локусу *Sd* - 1 (нет расщепления). Локус *S5* не влияет на мужскую стерильность. Поэтому $\frac{1}{4}$ возводится в четвёртую степень и умножается на две единицы. Получается $\frac{1}{256}$. **(2 балла)**
4. Генотип, использованный для скрещивания с ОРК1: *Sai/Sai Sbi/Sbi Sci/Sci Sdj/Sdj Sei/Sei S5n/S5n* **(1 балл)**
5. В скрещивании F₂ x ОРК1 каждый родитель даст по одному типу гамет, поэтому все гибриды F₃ будут единообразны, ответ - 1. **(1 балл)**
6. При самоопылении F₃ получится расщепление по локусам *Sb*, *Sc*, *Sd*, *Se*, *S5*. Самыми фертильными по пыльце будут генотипы, являющиеся наиболее гомозиготными по локусам. Доля гомозигот по локусам с расщеплением составляет $\frac{1}{2}$, а по локусу *Sa* - 1 (нет расщепления). Локус *S5* не влияет на мужскую стерильность. Возведя $\frac{1}{2}$ в четвёртую степень и умножив на две единицы, получаем $\frac{1}{16}$, именно такая доля у наиболее фертильных по пыльце генотипов. **(2 балла)**
7. Генотип, который нужно использовать для скрещивания с индийским гибридом из задания 1: *Sai/Sai Sbi/Sbi Sci/Sci Sdi/Sdi Sei/Sei S5n/S5n*. Нельзя выбирать растения с аллелями *S5j*, так как это снизит мужскую фертильность при скрещивании с индийским растением генотипа *S5i/S5i*. **(1 балл)**
8. В F₃ доля генотипа *Sai/Sai Sbi/Sbi Sci/Sci Sdi/Sdi Sei/Sei S5n/S5n* вычисляется так. Доля гомозигот *Si/Si* по локусам с расщеплением составляет $\frac{1}{4}$, а по локусу *Sa* - 1 (нет расщепления). Локус *S5* не влияет на мужскую стерильность. Поэтому $\frac{1}{4}$ возводится в четвёртую степень и умножается на две единицы. Получается $\frac{1}{256}$. **(1 балл)**

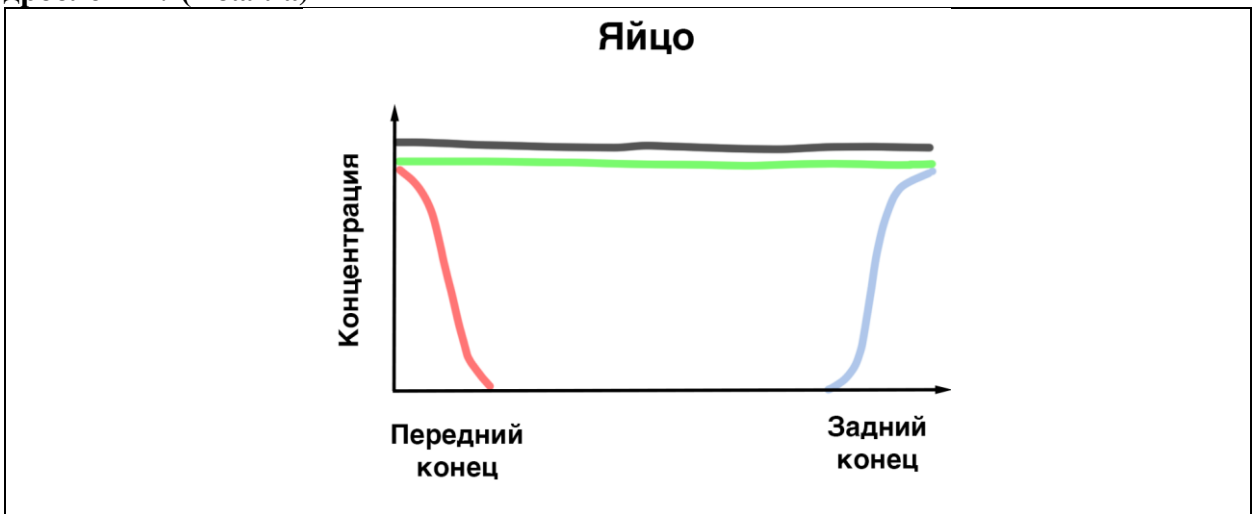
Задание 4. Развитие плодовой мушки (8 баллов).

Большинство животных имеют ярко выраженную полярность. Так, например, выделяют головной и хвостовой конец тела, спинную и брюшную сторону.

На рисунке показано схематично расположение мРНК двух генов *bicoid*, *nanos*, *hunchback* и *caudal* которые будут образовывать одноименные белки. На схеме регуляции показано, как эти белки взаимодействуют.

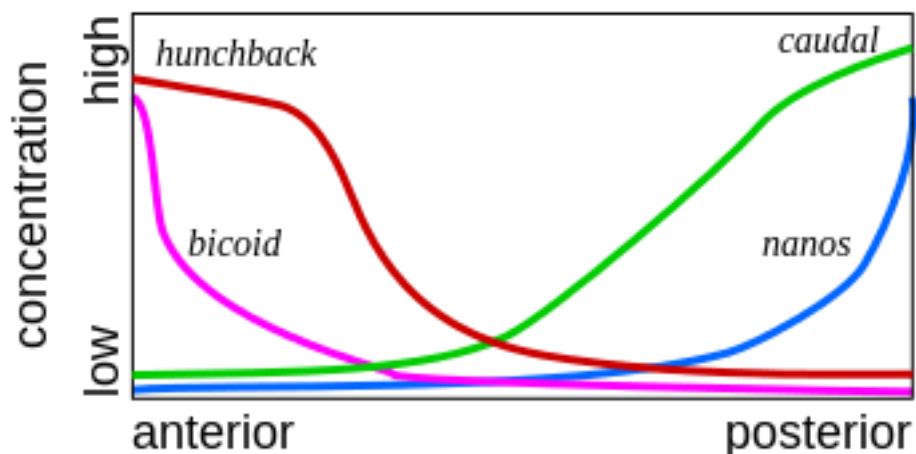


4.1. Если известно расположение мРНК генов в яйце, предположите (**нарисуйте график**), как будет выглядеть градиент *caudal* и *hunchback* в момент начала дробления? (2 балла)

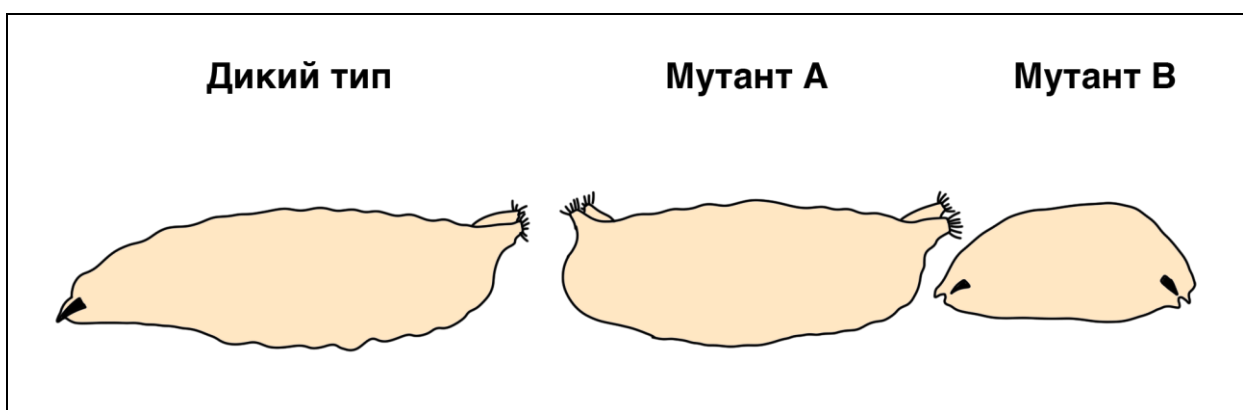


Решение:

Можно заметить, что согласно схеме белок *bicoid* ингибирует формирование белка *caudal*, а белок *nanos* ингибирует формирование белка *hunchback*. Таким образом (**по 1 баллу за каждый верный градиент**):



4.2. На рисунках изображена личинка дрозофилы, которая развивается нормально (дикий тип), а также мутанты с потерей функции по генам (*bicoid* и *nanos*). Предположите, какие мутации произошли в каждом мутантном организме (3 балла).

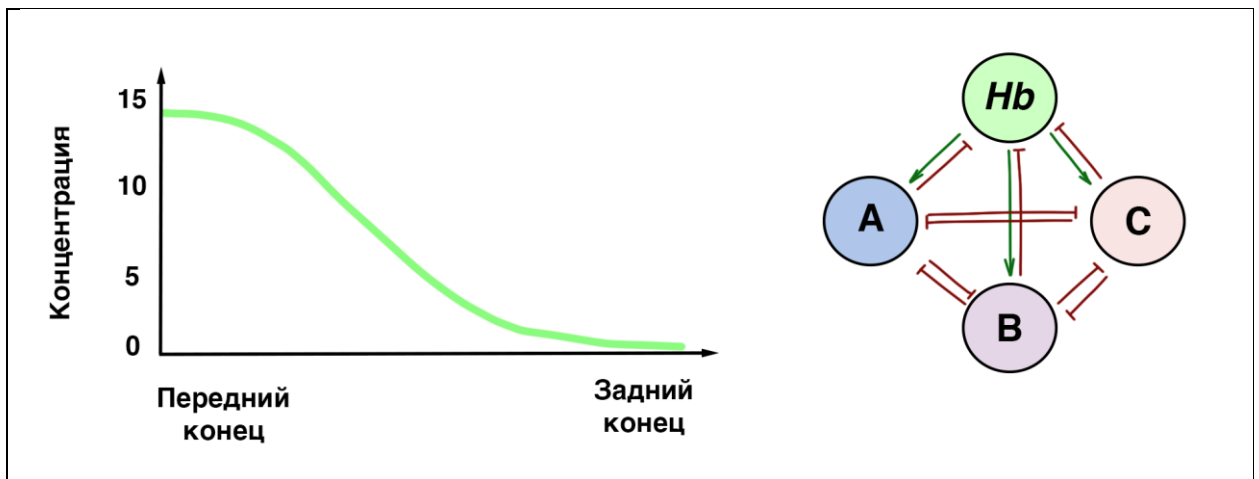


Решение:

А – мутант по гену *bicoid* – нормальный передний конец не формируется (у личинки 2 задних конца) (1.5 балла)

В – мутант по гену *nanos* – нормальный задний конец не формируется (у личинки 2 передних конца) (1.5 балла)

4.3. Дрозофила является сегментированным животным. Ген *hunchback* запускает другие гены развития, которые разделяют развивающийся зародыш на большее число сегментов. Известно, что ген А активируется только при высокой концентрации *hunchback* (выше 10 нмоль/л). Ген В активируется при средней концентрации *hunchback* (ниже 10 нмоль/л, но выше 5 нмоль/л), а ген С запускается при низкой концентрации *hunchback* (ниже 5 нмоль/л). На схеме показана схема взаиморегуляции генов. На графике показано распределение белка *hunchback* в цитоплазме дробящейся яйцеклетки. Предположите, как будет выглядеть распределение белков А, В, С на стадии позднего эмбриона (нарисуйте график аналогичный первому заданию) (3 балла).



Решение (по 1 баллу за каждый верный градиент):



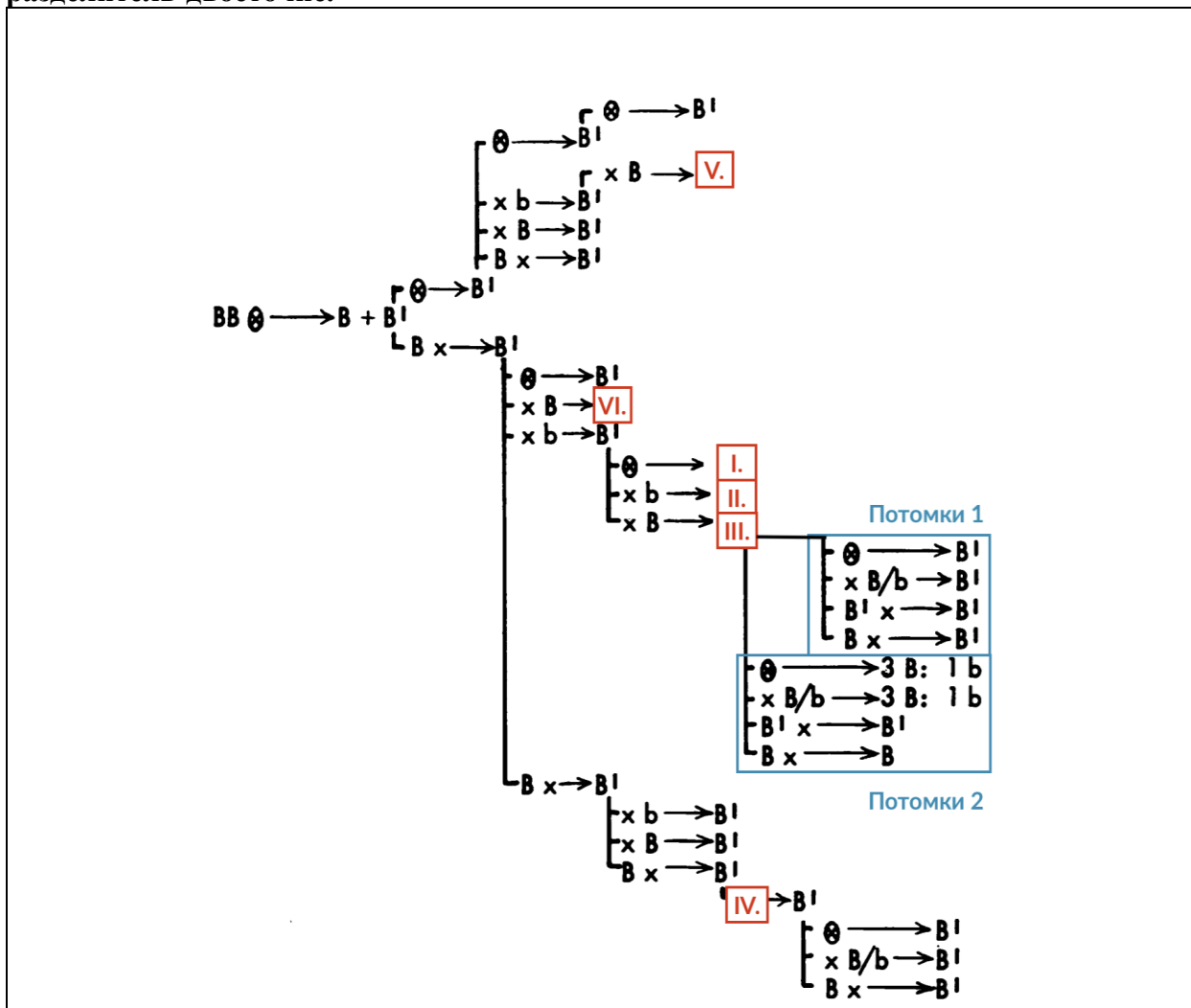
Задание 5. Парамутаген (15 баллов).

Вариант эпигенетического взаимодействия аллелей генов - парамутации - был открыт на кукурузе. *Парамутаген* – это аллель гена, который в гетерозиготном состоянии изменяет экспрессию другого аллеля того же гена, называемого парамутирующим, без изменения последовательности нуклеотидов. Когда парамутирующий ген изменяет свою экспрессию под действием парамутагена, он приобретает парамутагенные свойства. Зачастую аллель, подвергшийся парамутации, может вернуться к исходному уровню экспрессии только через несколько поколений.

У кукурузы известно несколько парамутирующих локусов. **Локус *b1*** отвечает за окраску узла и влагалища листа стебля, он не экспрессируется в цветке и плодах. Он имеет аллель-парамутаген *B'*, парамутирующий аллель *B-I* и нуль-аллель *b*; в гомозиготном состоянии они определяют тёмно-красную, светло-красную и зелёную окраску соответственно. Когда в гетерозиготе встречаются аллели *B'/B-I*, аллель *B-I* меняет экспрессию, становясь аллелью *B'**, развивается светлая окраска листа и стебля; поэтому генотип гетерозиготы в таком случае записывают как *B'/B'**.

5.1. Изучите фрагмент генеалогического дерева растений кукурузы, на которых указаны фенотипы родительских особей и их потомков по локусу *b1*. Заполните ячейки I–VI на генеалогическом дереве обозначениями фенотипов. Если для скрещивания нужно вписать несколько фенотипов, то напишите их через запятую или слеш. Если в потомстве получается несколько фенотипических групп, то укажите

коэффициенты расщепления перед фенотипами, фенотипы запишите через разделитель-двоеточие.



Для двух фрагментов дерева “потомки 1” и “потомки 2” подберите родительские фенотипы среди гибридов ячейки III (6 баллов).

Номер растения	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Потомки 1	Потомки 2
Фенотип								

Решение (6 баллов по 1 баллу за каждую верно заполненную клетку):

Номер растения	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Фенотип	3B':1b	1B':1b	1B':1B	B' / B	1B':1B	B'

5.2. Интересно то, что синтез антоцианов в пыльниках у кукурузы происходит только если в клетке одновременно экспрессируются транскрипционные факторы (ТФ) из двух семейств - bHLH и MYB. Локус *p11* кодирует MYB-ТФ и имеет парамутаген, парамутирующий аллель *Pl-Rh* и нуль-аллель *p11*. Фенотип у этого локуса определяется абсолютно так же, как в случае локуса *b1*. Доминантные аллели *p11* приводят к развитию окраски пыльников, если в клетках также будет экспрессироваться доминантный аллель локуса *r1* - *R-r*, то есть будет экспрессироваться два типа ТФ. *r1* также имеет рецессивный

аллель, обозначаемый *r-g*. Все три упомянутых локуса располагаются на разных хромосомах у кукурузы.

Самоопылили тригетерозиготное растение со светлыми листьями и светлыми пыльниками. Какая доля генотипов в первом поколении даст при последующем скрещивании с гетерозиготными по локусу *r1* растениями, имеющими тёмные листья и пыльники, расщепление по признаку окраски пыльников? Ответ аргументируйте, приведя схемы упомянутых скрещиваний (9 баллов).

Решение:

Скрестили растение с генотипом $R-r/r-g \text{ } P1'/p11 \text{ } B'b$ и растение с таким же генотипом (1 балл). Строим решётку Пеннета и распределяем гаметы от родителей, получая фенотипы потомства (4 балла по 0.0625 балла за каждый верно отмеченный и верно неотмеченный вариант).

	$B' \text{ } P1' \text{ } R$	$B' \text{ } P1' \text{ } r$	$B' \text{ } p11 \text{ } R$	$B' \text{ } p11 \text{ } r$	$b \text{ } P1' \text{ } R$	$b \text{ } P1' \text{ } r$	$b \text{ } p11 \text{ } R$	$b \text{ } p11 \text{ } r$
$B' \text{ } P1' \text{ } R$								
$B' \text{ } P1' \text{ } r$								
$B' \text{ } p11 \text{ } R$								
$B' \text{ } p11 \text{ } r$								
$b \text{ } P1' \text{ } R$								
$b \text{ } P1' \text{ } r$								
$b \text{ } p11 \text{ } R$								
$b \text{ } p11 \text{ } r$								

Для получения расщепления при скрещивании с $B/B \text{ } R-r/R-r \text{ } P1-Rh/P1-Rh$ необходимо получить расщепление по локусу *r1* или по локусу *p11* при условии наличия в доминантных аллелей *r1* (1 балл). Потомки первого поколения с генотипами $R-r/r-g$ и $r-g/r-g$ дадут расщепление, к тому же $R-r/R-r \text{ } P1'/p11$ даст расщепление по локусу *p11* (1 балл).

Суммируя доли этих потомков, получаем $\frac{7}{8}$ (2 балла)

Если в задании не нарисована решетка Пеннета, но, верно, подсчитана доля потомков при помощи алгебраического перемножения вероятностей генотипов или иным логичным образом, за решётку выставляется полный балл

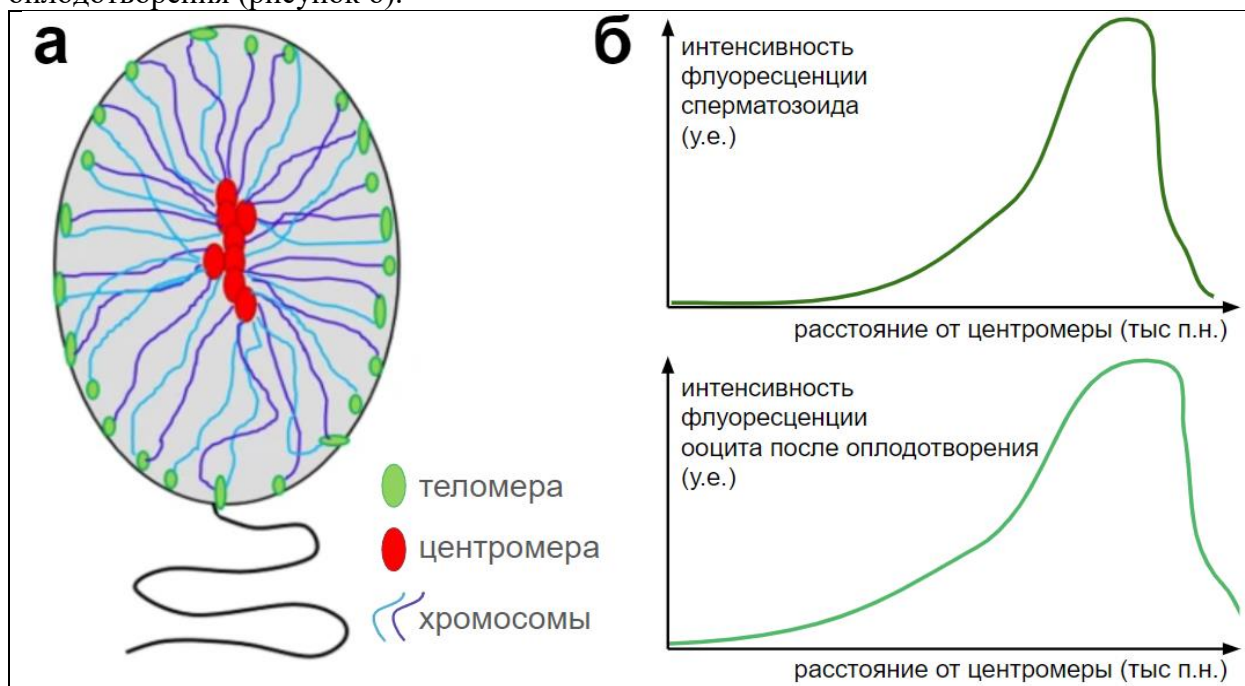
Если в задании ход рассуждений является верным, однако допущена арифметическая ошибка, то за всё задание снимается 2 балла.

Задание 6. ДНК сперматозоидов (8 баллов).

К настоящему времени очень популярным вопросом является изучение способов организации хроматина в ядре. Среди множества различных вариантов возможных укладок хроматина особенно выделяется укладка ДНК в ядре зрелых сперматозоидов, где вместо привычных гистонов роль компактизации выполняют малые (50–100 аминокислот)

положительно заряженные белки протамины. Хотя протамины и позволяют добиться крайне сильной степени компактизации ДНК и перевода ее в “молчащее” состояние, часть геномной ДНК сперматозоидов все равно остается связана с гистонами.

При изучении функции такой частичной компактизации генома в сперматозоидах проводилась оценка положения хромосом в ядре сперматозоида и экспрессии генов на разных участках хромосомы. В результате была предложена модель укладки хроматина, представленная на рисунке (а). Чтобы определить, активны ли конкретные участки хромосомы, вы вставляете в определенные участки аутосомы сперматозоида ген GFP и оцениваете флуоресценцию в сперматозоидах и в яйцеклетке на ранних этапах оплодотворения (рисунок б).



6.1. Предположите, в какой зоне ядра сперматозоида содержание протаминов будет наибольшим? Аргументируйте свой ответ (3 балла)

Решение:

Исходя из интенсивности флуоресценции мы можем сделать вывод об уровне экспрессии гена в зависимости от его положения на хромосоме. Так, наиболее активные области располагаются ближе к концу хромосом. По схеме строения сперматозоида можно утверждать, что концы хромосом расположены ближе к периферии, а середина ядра занята центромерными областями. И так как протамины, компактизуя ДНК приводят к переводу участка в молчащее состояние (указано в тексте), то скорее всего наибольшая доля протаминов содержится ближе к центру ядра

1 балл за верный ответ

2 балла за верную аргументацию

6.2. Почему интенсивность флуоресценции сперматозоида снижается к краю хромосомы? С каким типом наследования это может быть связано? (2 балла)

Решение:

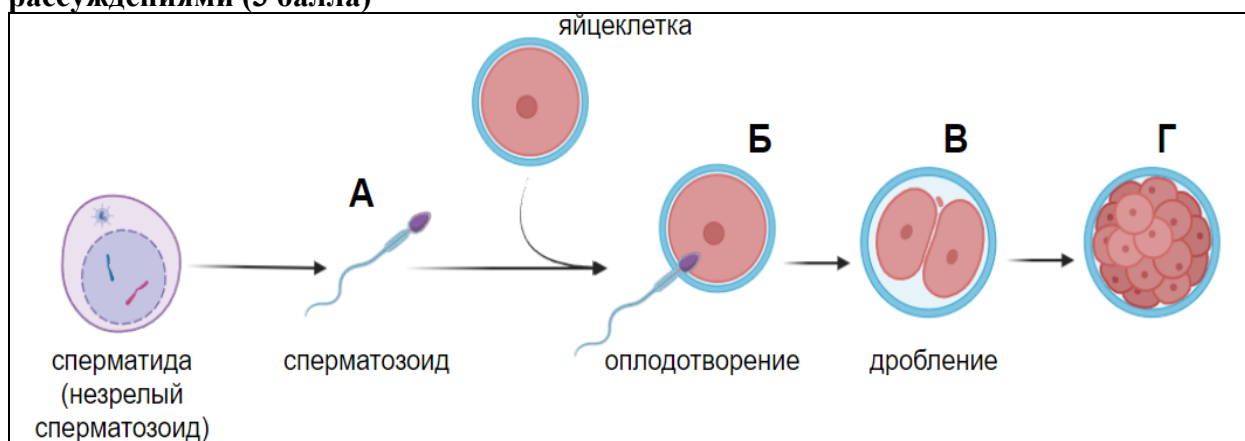
Так как профиль интенсивности флуоресценции в ооците после оплодотворения также снижается в теломерных областях, то “замалчивание” генов на конце не связано с протаминами (они заменяются на гистоны после оплодотворения). Другой способ регуляции активности генов, не модифицируя их последовательности, заключается в

модификации гистонов и метилировании ДНК. Правильно будет предположить, что в теломерных областях будет происходить эпигенетическое модифицирование генов и перевод их в неактивное состояние. Такие модификации связаны с эпигенетическим наследованием и импринтингом.

1 балл за верный ответ

1 балл за верную аргументацию

6.3. На рисунке ниже представлена схема основных стадий существования сперматозоида от момента его появления до слияния с ядром яйцеклетки и начала дробления. Расположите отмеченные на рисунке стадии (А-Г) в порядке увеличения количества активных генов в геноме сперматозоида. Подтвердите свой ответ рассуждениями (3 балла)



Решение:

Исходя из сравнения графиков интенсивности флуоресценции в сперматозоиде и ооците можно заметить, что область активного хроматина “расширяется” к центру хромосомы. Это связано с постепенной заменой протаминов на гистоны, поэтому все больше генов из сперматозоида начинают экспрессироваться после оплодотворения и в ходе эмбрионального развития. Таким образом по количеству увеличения активных генов отмеченные стадии располагаются в порядке А>Б>В>Г.

1 балл за верный ответ

2 балла за верную аргументацию