

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: 3 часа 55 минут.

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).

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

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)

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.

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 черных мышонок из потомства будет гетерозиготным? (2 балла)

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

Задание 3. Всё про рис (15 баллов).

Рис посевной (*Oryza sativa*) восприимчив к грибному патогену *Magnaporthae grisea*, который вызывает пирикулярриоз - 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.

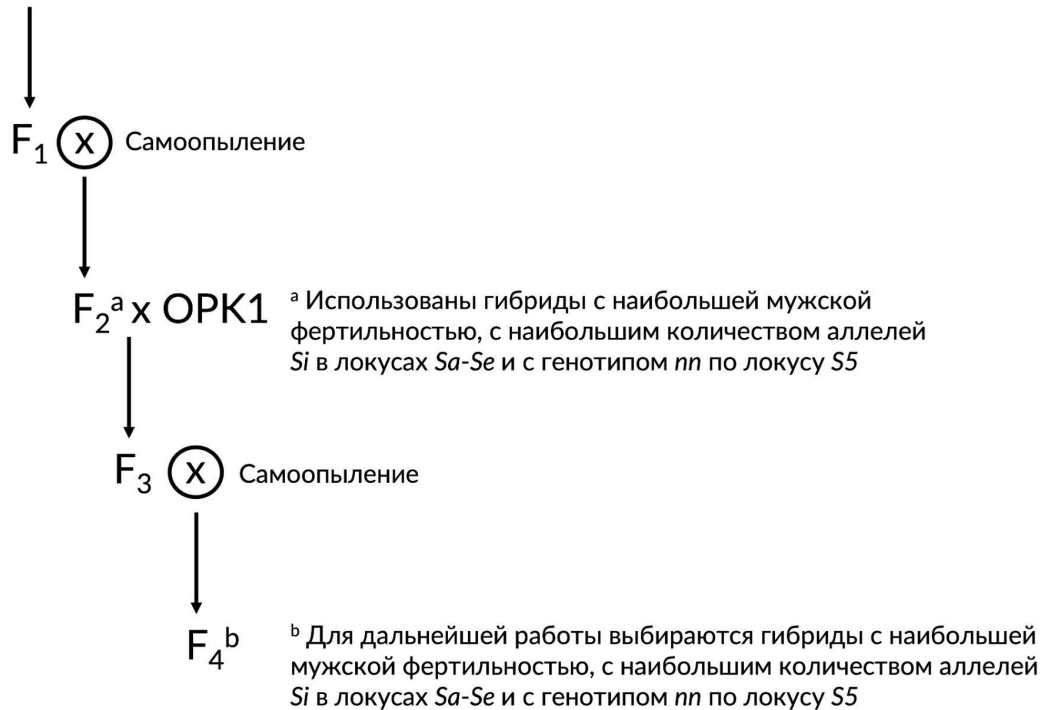
Таблица 3. Генотип сортовых линий по локусам стерильности.

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).

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



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

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

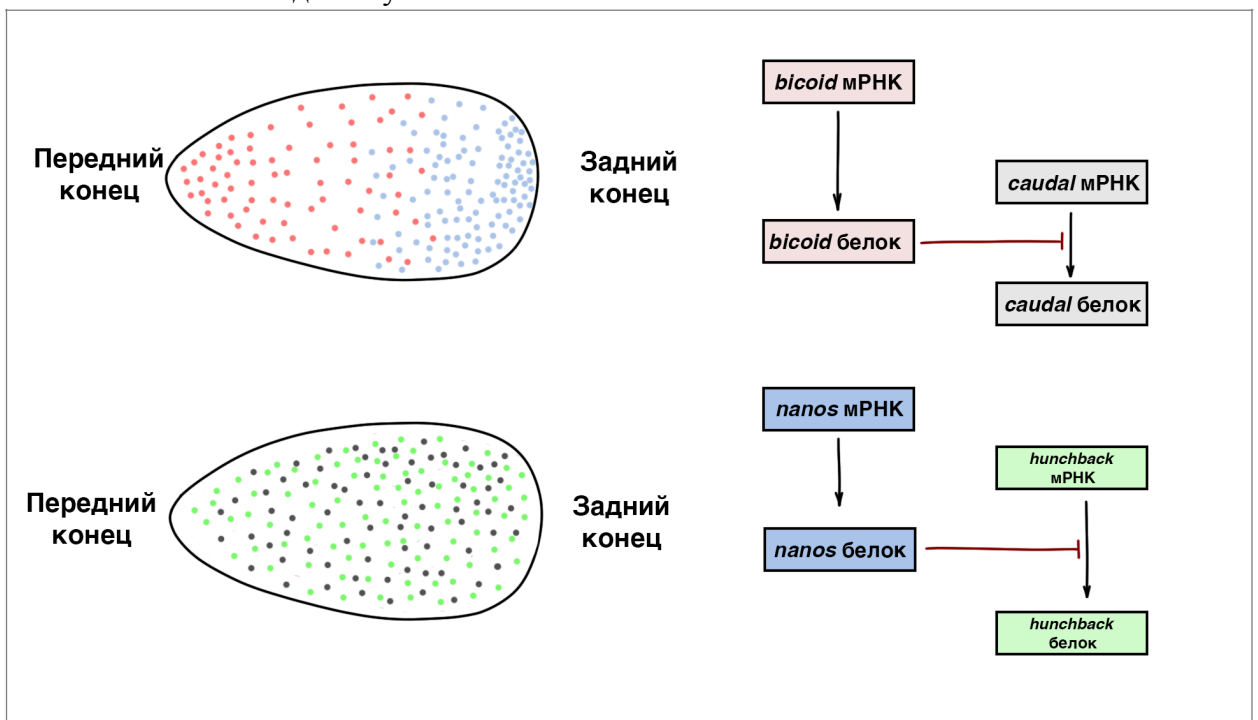
Поколение	Вопрос задачи
F ₁	1. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₂	2. Какая доля генотипов обладает наибольшей мужской фертильностью? ^b
F ₂	3. Какая доля генотипов обладает наибольшим количеством аллелей <i>Si</i> в локусах мужской стерильности? ^b
F ₂	4. Запишите 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

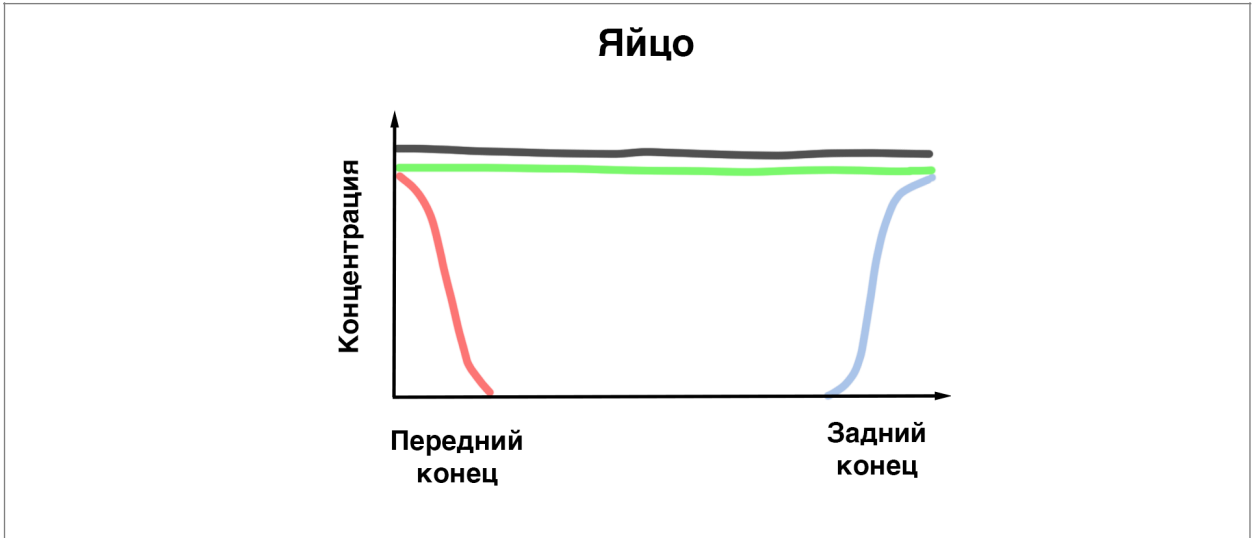
Задание 4. Развитие плодовой мушки (8 баллов).

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

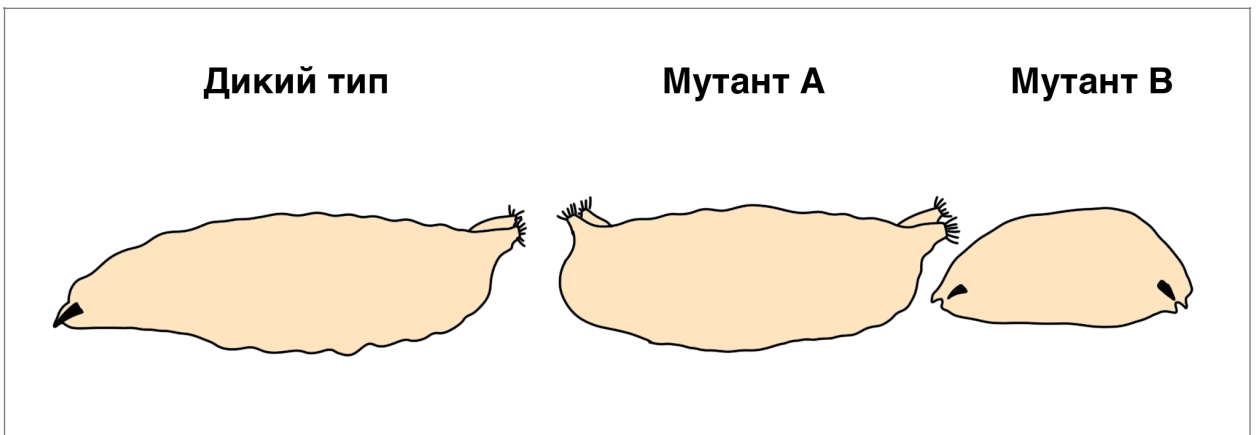
На рисунке показано схематично расположение мРНК двух генов *bicoid*, *nanos*, *hunchback* и *caudal* которые будут образовывать одноименные белки. На схеме регуляции показано, как эти белки взаимодействуют.



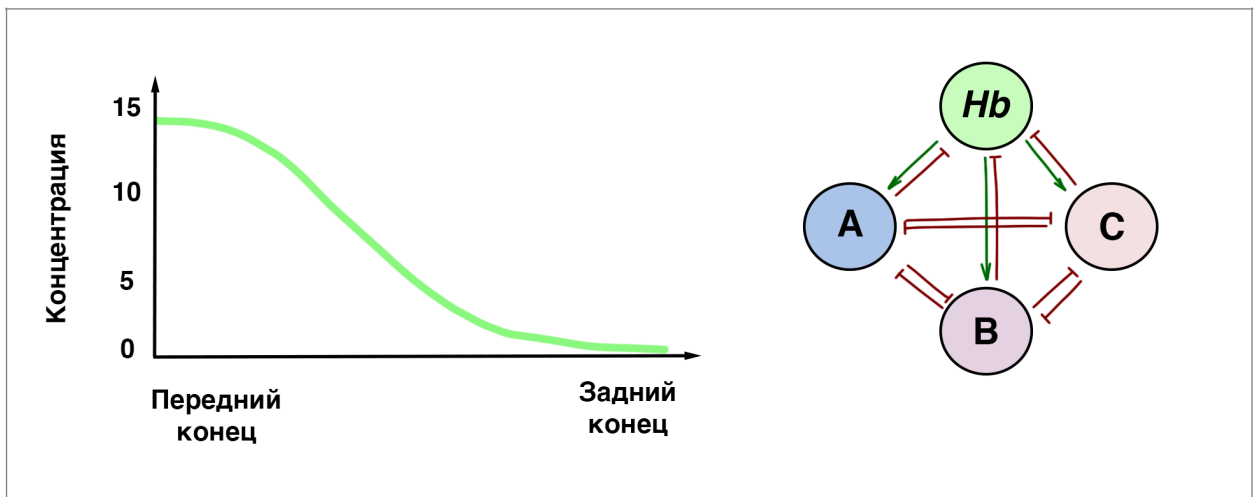
4.1. Если известно расположение мРНК генов в яйце, предположите (нарисуйте график), как будет выглядеть градиент *caudal* и *hunchback* в момент начала дробления? (2 балла)



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).



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).

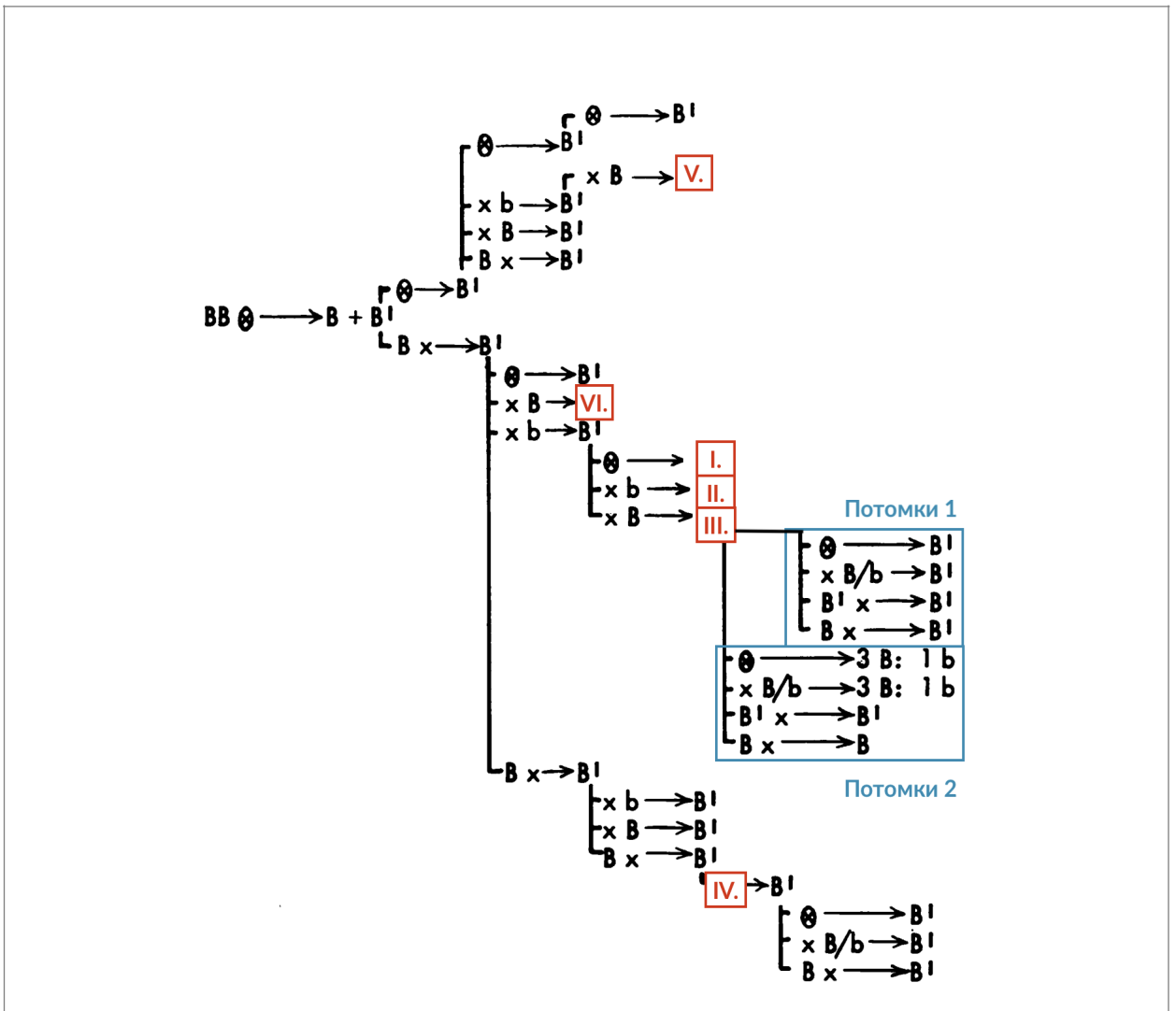


Задание 5. Парамутаген (15 баллов).

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								

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. Лocus *pl1* кодирует MYB-ТФ и имеет парамутаген, парамутирующий аллель *Pl-Rh* и нуль-аллель *pl1*. Фенотип у этого локуса определяется абсолютно так же, как в случае локуса *b1*. Доминантные аллели *pl1* 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.

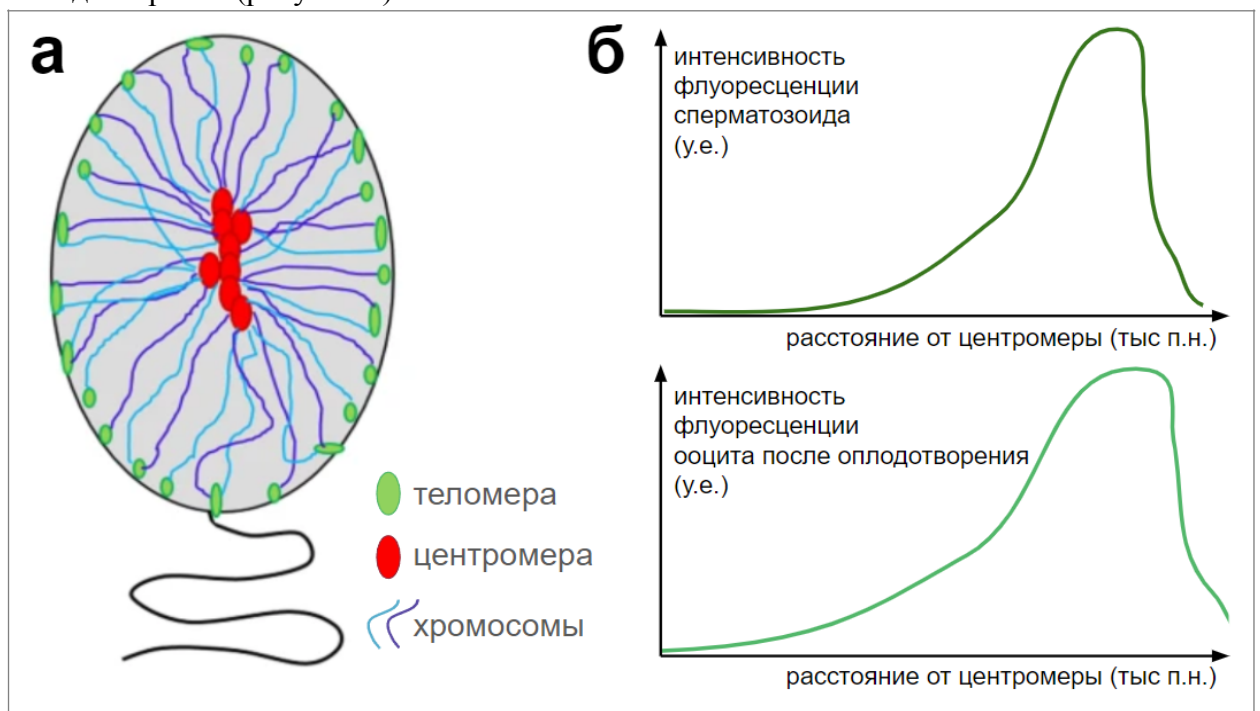
Самоопылили тригетерозиготное растение со светлыми листьями и светлыми пыльниками. Какая доля генотипов в первом поколении даст при последующем скрещивании с гетерозиготными по локусу *r1* растениями, имеющими тёмные

листья и пыльники, расщепление по признаку окраски пыльников? Ответ аргументируйте, приведя схемы упомянутых скрещиваний (9 баллов).

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)

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

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)

