

Московская олимпиада школьников по генетике, 16.02.2025. Заключительный этап. Теоретический тур. 11 класс

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: 83

Время на выполнение работы: 3 часа 55 минут.

Задание 1. Левые улитки (8 баллов)

Правозакрученность или левозакрученность раковин улиток определяется геном D , обладающим материнским эффектом. Если у улитки-матери есть аллель D , все ее дети будут с правозакрученной раковиной. Если улитка – гомозигота dd , то все ее дети будут с левозакрученной раковиной. В большой и равновесной популяции улиток 9% с левозакрученной раковиной, а 91% с правозакрученной. Ученые взяли и скрестили улиток из этой популяции между собой.

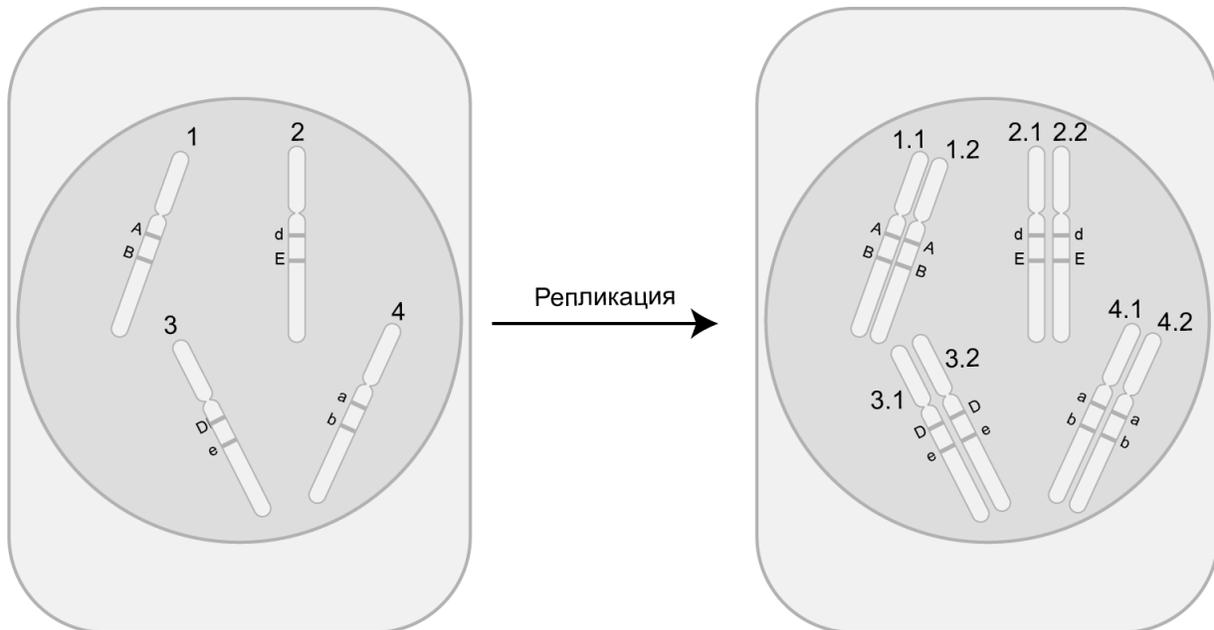
1.1 Какова частота аллеля D в этой популяции (1 балл)?

1.2 Какова вероятность того, что у улитки с левозакрученной раковиной все дети будут такими же, как она (2 балла)?

1.3. Какова вероятность того, что у улитки с правозакрученной раковиной все дети будут такими же, как она (5 баллов)?

Задание 2. Что с мейозом? (10 баллов)

Кроссинговер обеспечивает перемешивание генетического материала и появление новых комбинаций аллелей. У некоторого организма гены А, В, D и E располагаются на хромосомах так как показано на рисунке.



В результате мейотического деления данной клетки были получены гаметы AbDe, AbDE, aBde и aBdE.

2.1. Укажите комбинацию событий кроссинговер, которая могла привести к образованию таких гамет. В ответе запишите номера хроматид участвующих в кроссинговере разделив их знаком \times (например, 1.2 \times 2.1). Разные события кроссинговера разделите знаком $+$ (например, 1.2 \times 2.1 + 1.1 \times 2.2) (2 балла).

2.2. После первого деления мейоза в каждой клетке можно обнаружить 4 хроматиды. Укажите номера этих хроматид и аллели, располагающиеся в них. Считайте, что локусы А и D полностью сцеплены с центромерой (6 баллов).

	№ хроматиды	Локус 1 (сцепленный с центромерой)	Локус 2
КЛЕТКА 1			
КЛЕТКА 2			

2.3. Какую долю будут составлять указанные гаметы среди всех гамет данного организма, если гены А и В находятся на расстоянии 10 сМ, а D и E - 30 сМ. Ответ дайте в процентах, округлите до сотых (2 балла).

Гаметы:

AbDe

AbDE

aBde

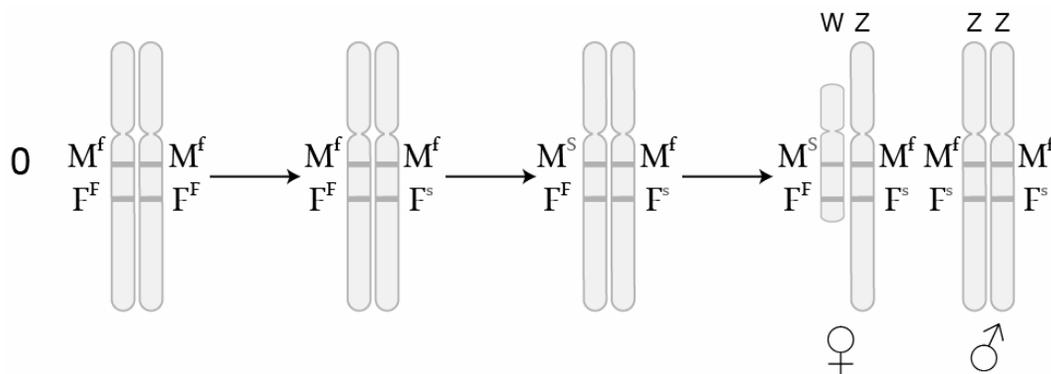
aBdE

Задание 3. Определение пола у растений (10 баллов)

У некоторых высших растений встречается многодомность – явление, при котором в популяции присутствуют как однополые, так и обоепные цветки. Эволюционно такие системы возникают из гермафродитной и могут являться переходными этапами на пути к двудомности.

ТИП МНОГОДОМНОСТИ	ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ПОЛЫ
Андродиэция	♂ + ♀
Гинодиэция	♀ + ♂
Триэция (трехдомность)	♂ + ♀ + ♀

Существует модель Чарльзвортса, которая описывает возможные эволюционные пути возникновения разных систем пола: M и F - локусы мужской и женской фертильности. Индексы F/f и S/s - доминантные /рецессивные аллели фертильности и стерильности соответственно.



Эта модель подразумевает последовательное возникновение 2 мутантных аллелей, ответственных за определенный тип стерильности. Впоследствии на аутосомных хромосомах формируется участок, в котором не происходит рекомбинация. Это приводит к формированию устойчивых комбинаций аллелей и формированию половых хромосом.

3.1. Изучите 4 схемы эволюционных событий согласно модели Чарльзвортса и заполните таблицу с системами пола. Считайте, что на отдельно взятом растении могут быть цветки только одного типа (мужские, женские, обоеполые или бесполое). Заполненную таблицу перенесите в бланк ответов (3 балла).

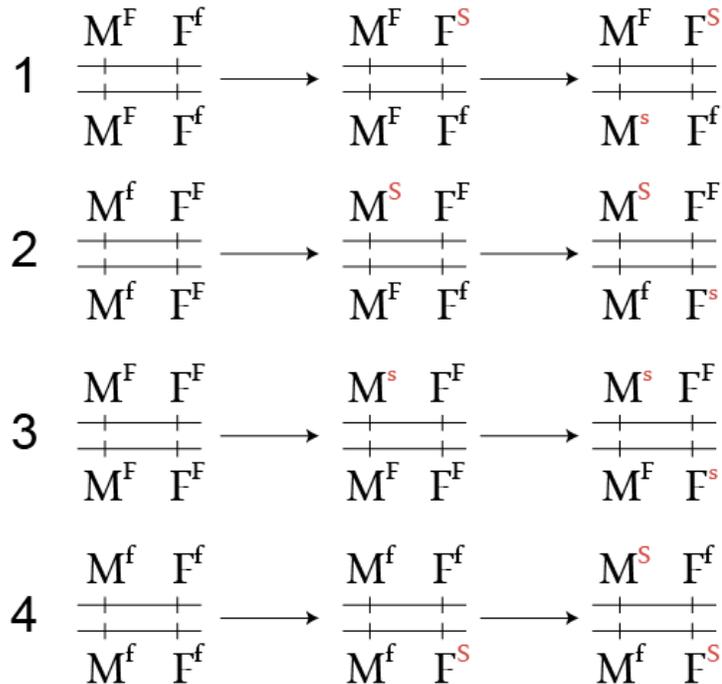


СХЕМА	ПОСЛЕ 1	ПОСЛЕ 2 МУТАЦИИ	ХРОМОСОМЫ ¹
0(пример)	Гинодиэция	Трехдомность	ZW
1			
2			
3			
4			

Хромосомы¹ – какая система пола будет получена после дифференциации половых хромосом – XY / ZW / нет (если на основе данных мутаций нельзя получить систему с двудомностью)

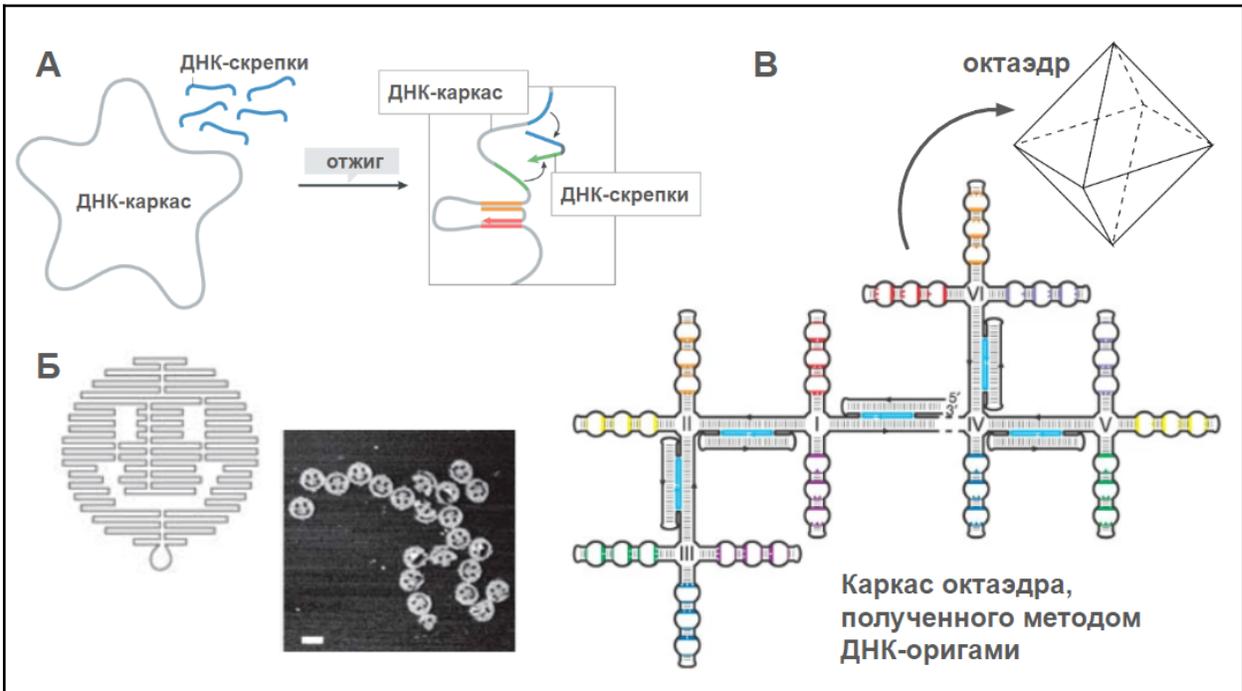
3.2. У *Земляники виргинской* половые хромосомы сформировались относительно недавно по эволюционным меркам, поэтому между локусами M и F все еще возможна рекомбинация при мейозе. Формирование половых хромосом этого растения происходило по механизму описанному в примере (0).

Мужское и женское растение земляники скрестили и получили следующее расщепление в потомстве: 47% бесполоых, 47% обоеполых, 3% женских, 3% мужских. Установите генотипы родителей и расстояние между локусами M и F (3 балла).

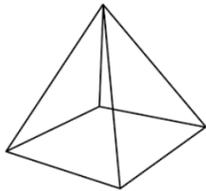
3.3. Какое соотношение полов стоит ожидать, во втором поколении от этого скрещивания? Считайте, что обоеполые особи формируют в 2 раза меньше гамет каждого типа по сравнению с однополыми. В расчетах округляйте до десятитысячных долей. Ответ дайте в процентах, округлите до сотых (1 балл).

Задание 4. ДНК-оригами (10 баллов)

Технология ДНК-оригами — это метод создания геометрических фигур в нанометровой шкале из длинных молекул ДНК. Для этого метода синтезируется длинная молекула ДНК (каркас), который затем складывается в нужную форму с помощью коротких “скрепок” благодаря комплементарным взаимодействиям между основаниями (Рис. А). Технологией ДНК-оригами возможно получать огромное разнообразие двумерных ДНК-фигур (рис. Б), однако настоящим прорывом стало доказательство возможности синтеза трехмерных структур. В одной из статей описывается получение ДНК-октаэдра из сложного ДНК-каркаса с использованием всего 5 скрепок (рис. В).



Внимательно изучив структуру ДНК-октаэдра, ответьте на следующие вопросы:



квадратная пирамида



шпилька ДНК

4.1. Возможно ли получить с помощью аналогичных ДНК-структур квадратную пирамиду? Если да, то какое максимальное число ДНК-шпилек будет в такой пирамиде (см. рис.)? (2 балла)

4.2. Какое минимальное число скрепок понадобится для сборки квадратной пирамиды из ДНК? (3 балла)

4.3. Считая, что вершины пирамиды представляют собой сложные структуры из нескольких ДНК-шпилек, рассчитайте, сколько существует уникальных структур каркасов, способных сложиться в ДНК-пирамиду с использованием минимального количества “скрепок”?

Свой ответ аргументируйте. Считайте, что последовательность каркаса одинакова, а каркасы, которые можно получить друг из друга поворотом молекулы без разрыва связей, НЕ считаются уникальными (5 баллов).

Задание 5. Резус-фактор (10 баллов)

В Соединенных Штатах Америки потомков от смешанных браков принято относить к Африканскому населению. Частота аллеля R, который ответственен за резус фактор у американцев-выходцев из Европы составляет 0.03, а в африканских племенах предках современных афроамериканцев она составляет 0.630. У современного афроамериканского населения частота данного аллеля составляет примерно 0.45.

5.1. Представим себе, что вы знаете, какая доля от общего количества людей в популяции мигрирует за одно поколение. Обозначьте эту долю, как m . Рассчитайте, как изменится частота аллеля за одно поколение миграций в коренной популяции. Ответ выразите в виде формулы, которая линейно зависит от m (3 балла).

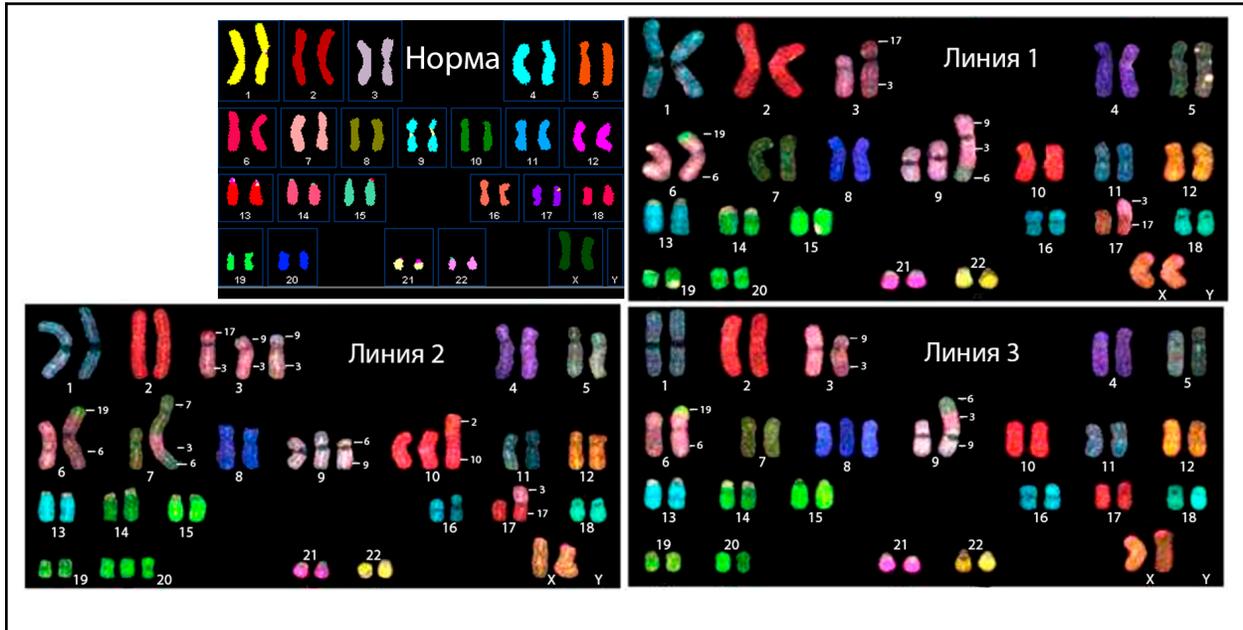
5.2. Рассчитайте, как изменилась разница в частоте между коренной популяцией и популяцией, из которой происходила миграция (2 балла).

5.3. Рассчитайте, какое количество времени назад началась миграция Африканского населения в США, если мощность миграции $m = 3.5\%$, а одно поколение, в среднем, длится 30 лет (5 баллов):

Задание 6. Геномная нестабильность (10 баллов)

Спектральное кариотипирование (SKY) - молекулярно-цитогенетический метод анализа кариотипа, основанный на принципе гибридизации несущих флуоресцентную метку зондов к последовательностям в составе хромосом. В данном подходе получается кариотип, в котором гомологичные пары хромосом визуализируются таким образом, чтобы они имели отличительные цвета. Метод SKY облегчает ученым выявление хромосомных аномалий по сравнению с обычным кариотипом и поэтому широко используется в генетическом анализе опухолей, для которых характерна крайняя геномная нестабильность.

В одном из таких анализов ученые решили проследить хромосомные перестройки по ходу превращения бессмертной линии эпителия молочной железы в злокачественную опухоль. На фотографиях ниже представлены SKY-кариотипы здоровой клетки молочной железы (“Норма”) и трех линий, полученных из клеток разной стадии злокачественности (“Линия 1–3”).



6.1. Можно ли по представленным фотографиям установить вид и пол организма из которого были получены линии? Аргументируйте свой ответ. (1 балл)

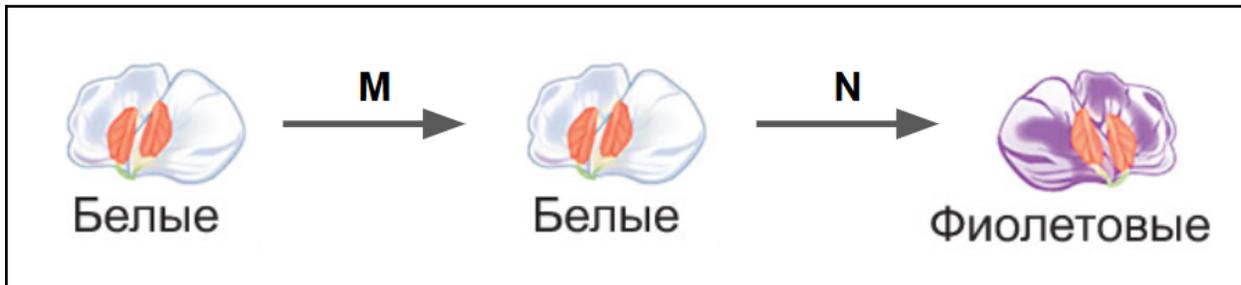
6.2. Расположите линии 1–3 в порядке увеличения их злокачественности и укажите, какие хромосомные мутации происходили в них при превращении в каждый новый тип по сравнению с предыдущим? Для этого в бланке ответов заполните таблицу по примеру ниже: (5 баллов)

Линия	Норма	Линия ____	Линия ____	Линия ____
Хромосомные мутации	-			

6.3. Проведя биоинформатический анализ регионов, затронутых в ходе хромосомных перестроек, вы обнаружили большой кластер генов кератинов, расположенных на коротком плече 17-й хромосомы. Вы также обнаружили очень важный для остановки клеточного цикла ген, расположенный на длинном плече 3-й хромосомы, чья повышенная активность приводит к гибели клеток. Можно ли предположить, как хромосомные перестройки будут влиять на фенотип клеток, которые переходят в состояние “Линия 2” из предыдущей степени злокачественности? Какая отличительная черта злокачественных опухолей при этом будет подвергаться изменению? (4 балла)

Задание 7. Менделевский фиолетовый (10 баллов).

Работы Г. Менделя по анализу наследования признаков на горохе посевном (*P. sativum*) знаменательны не только своими результатами, но и технологиями постановки экспериментов и анализа данных. Так, например, Г. Мендель особое внимание уделил выбору признаков гороха, определяемых одним геном, что позволило ему установить известные вам закономерности. Один из признаков, которые исследовал Мендель, был цвет венчика с доминированием фиолетовой окраски над белой. В вашей лаборатории появились белый и фиолетовый сорта гороха, которые, как заверяет поставщик, наследуют окраску венчика аналогично Менделевским сортам. Вы, однако, вырастив уже не одно поколение потомков этих сортов, подозреваете, что поставщик может вас обманывать. По вашей гипотезе цвет венчика у этих растений определяется двумя несцепленными генами (N и M), кодирующими ферменты одного пути синтеза пигмента.



7.1. Для проверки вашей гипотезы вы решили повторить эксперимент Менделя. Для этого вы взяли гетерозиготное растение $NnMm$ из вашей лаборатории и самоопылили его. Какое расщепление по фенотипам вы ожидаете увидеть в потомстве, предполагая, что другие гены не влияют на окраску венчика? (1 балл)

7.2. Ваш коллега убеждает вас в неверности вашей гипотезы, говоря, что в одном из своих скрещиваний получил расщепление по окраске 3:1. Считая, что в вашей лаборатории есть растения всех возможных генотипов по генам N и M, и предполагая, что другие гены не влияют на окраску венчика, докажите, что его аргумент не опровергает вашу гипотезу. Для этого составьте генетическую схему скрещивания, которое провел ваш коллега. (3 балла)

7.3. Ваш научный руководитель, услышав спор, утверждает, что “Менделевский фиолетовый” — это пигмент, похожий по химической структуре на ваш фиолетовый, но им не являющийся. Решив проверить его утверждение, вы провели самоопыление тригетерозиготы $CcMmNn$ и получили расщепление, близкое к 57 потомков с фиолетовыми венчиками и 7 с белыми. Считая, что ген C отвечает за синтез “Менделевского фиолетового” и не сцеплен с генами M и N , объясните полученные результаты и установите соответствие между фенотипом потомства и его генотипами, изобразив схему наследования. (6 баллов)

Задание 8. Папоротниковые перестройки (10 баллов)



У папоротника *Pteris minima* в спорангии формируется 32 споры, собранные в 8 тетрад. Было исследовано наследование трёх признаков – форма спор (A – лодковидная, a – помятая), накопление липидов в спорах (B – шипики есть, b – шипиков нет). Для исследования взяли дигетерозиготные растения, полученные в результате скрещивания двух чистых линий. Из незрелых спорангиев извлекали материнские клетки спор, их размещали на питательной среде в чашке Петри. В течение некоторого времени изучали фенотипы спор в сформировавшихся на питательной среде тетрадах. Результаты для 20 исследованных особей показаны в таблице 1.

8.1. Имеется ли сцепление между аллелями генов A и B ?

Что было бы в противоположной ситуации? Обоснуйте свой ответ одним-двумя предложениями (2 балла)

8.2. Объясните механизм формирования тетрад первого и второго типа. Какие события могли произойти перед мейозом и во время мейоза с материнскими клетками спор? (4 балла)

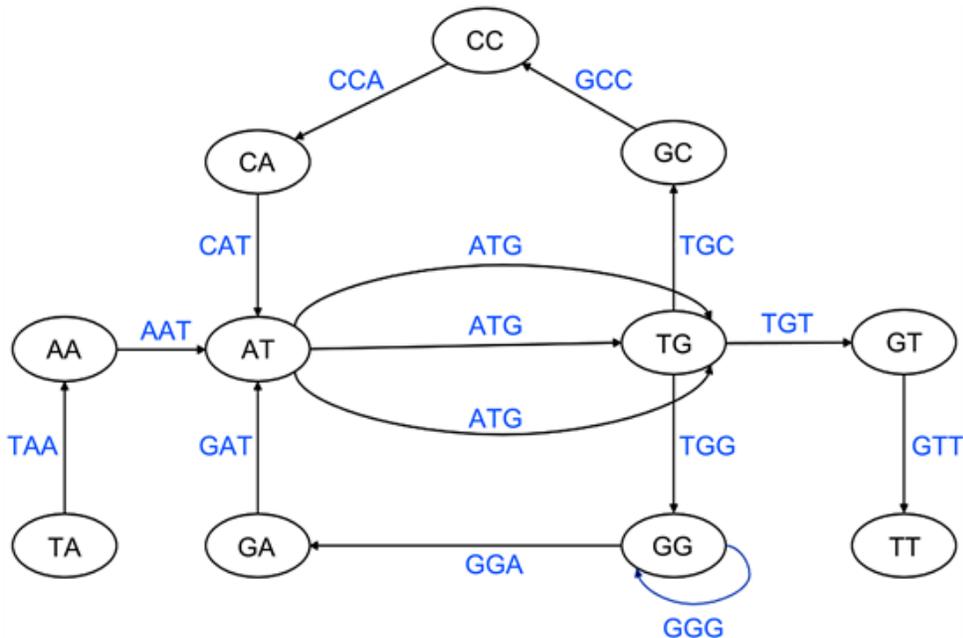
8.3. Пусть гены А и В сцеплены между собой. Известно, что расстояние от гена А до центromеры составляет 14 морганид, а от гена В до центromеры – 20. Заполните таблицу 2 и перенесите её в бланк ответов. Внесите в частоты фенотипических групп вычисления. Округление проводите до первого знака после запятой (4 балла).

Таблица 2		
	Вариант расположения генов «А-центromера-В»	Вариант расположения генов «А-В-центromера»
Расстояние между генами А-В		
Частота первой фенотипической группы тетрад		
Частота второй фенотипической группы тетрад		
Частота третьей фенотипической группы тетрад		

Задание 9. Сборка генома (5 баллов).

Графы Де-Брюйна широко используются при сборке (установлении последовательности) геномов. В таких графах в ребрах располагаются последовательности (k-меры), а в вершинах последовательности меньшего порядка (k-1 меры), причем ребро, соединяющее две вершины содержит k-мер, являющийся пересечением двух k-1 мера. Например, два k-1-мера ТА и АА объединяются в k-мер ТАА. Для того, чтобы установить последовательность генома по набору k-меров необходимо в представленном графе найти такой обход, в котором по каждому ребру графа проходят один раз.

9.1. Найдите такие обходы в графе и установите геномную последовательность, учитывая, что вершина начала ТА, а вершина конца ТТ (2 балла).



9.2. Обычно при сборке геномов величина k-меров существенно больше (примерно 50–100 нуклеотидов), а величина прочтений секвенатора обычно при этом составляет от 100 до 250 нуклеотидов. Считая, что все 4 нуклеотида в геноме встречаются с равной вероятностью, рассчитайте вероятность, встретить по случайным причинам последовательность прочтения в геноме. Ответ выразите в виде степени числа 2 (1 балл).

9.3. В реальных сборках геномов эукариот одной из самых частых проблем является то, что прочтение, а затем и k-мер не являются уникальными, а много раз повторяются в геноме, занимая при этом разное положение (разные геномные координаты). Приведите 2 причины наблюдаемому явлению (2 балла).