

Задание 10 – 11 класса. Вариант I.

Блок 1 [1]

Задача 1 (4 балла). Ознакомьтесь с предложенной ситуацией и выберите из списка форму обучения, которая наилучшим образом характеризует описанный процесс обучения животных. Формы обучения:

- А. Габитуация (от англ. *habituation* – привыкание).
- Б. Сенситизация (от лат. *sensibilis* – чувствительный).
- В. Инструментальное обучение.
- Г. Аверсия (от англ. *aversion* – отвращение).
- Д. Латентное обучение (от лат. *latens, latentis* – скрытый, тайный, невидимый).
- Е. Обучение посредством наблюдения.
- Ж. Импринтинг (от англ. *to imprint* – отпечатать, запечатлеть).
- З. Инсайт (от англ. *insight* – прозрение, озарение).

Ситуация. Улитка-ахатина ползёт по столу. Экспериментатор ударяет легонько по столу рукой – моллюск прячется в раковину. Через какое-то время, когда моллюск снова начинает ползти, снова следует лёгкий удар по столу – снова моллюск прячется. Через несколько таких повторений ахатина всё меньше и меньше прячется в раковину, а вскоре и вовсе перестаёт обращать внимание на сотрясение стола.

Ответ: А. Габитуация (от англ. *habituation* – привыкание).

Задача 2 (3 балла). Укажите порядок протекания фаз жизненного цикла у хламидомонады:

а) зигота – мейоз – зооспоры – митоз – зооспоры – митоз – гаметы – половой процесс;

б) зигота – митоз – зооспоры – митоз – зооспоры – мейоз – гаметы – половой процесс;

в) зигота – митоз – зооспоры – мейоз – зооспоры – митоз – гаметы – половой процесс;

г) зигота – мейоз – гаметы – половой процесс – митоз – зооспоры – митоз – зооспоры;

д) зигота – митоз – митоспоры – элиминация 3 спор в тетраде – митоз – зооспоры – мейоз – гаметы – половой процесс.



Задача 3 (10 баллов). С помощью буквенного шифра дайте описание растения, представленного на рисунке.

Семейство: А – Розоцветные; Б – Крестоцветные; В – Орхидные; Г – Бобовые; Д – Лилейные; Е – Злаковые.

Цветок: Ж – актиноморфный; З – зигоморфный; И – неправильный

Завязь: К – верхняя; Л – нижняя

Плод: М – ягода; Н – орешек или многоорешек; О – костянка; П – зерновка; Р – семянка; С – стручок или стручочек; Т – боб; У – коробочка

Околоцветник: Ф – двойной; Х – простой; Ц – редуцированный

Ответ: На рисунке представлен *Венерин башмачок (Paphiopedilum)* – растение из семейства Орхидных. Остальные «школьные» семейства явно не подходят.

Шифр ответа: В, З, Л, У, Ф или Х (равнозначные).

Критерий: по 2 балла за каждую правильную букву шифра.

Задача 4 (14 баллов). Изучите схему жизненного цикла паразитического червя и ответьте на вопросы.

Данный паразитический червь относится к таксону (систематической группе):

- А. Ленточные черви.
- Б. Круглые черви.
- В. Сосальщикои.**
- Г. Кольчатые черви.
- Д. Ни к одному из перечисленных.

Какие утверждения об особенностях жизненного цикла данного вида паразитов верные, а какие – нет:

Е. В жизненном цикле два промежуточных хозяина.

Ж. Окончательным хозяином является брюхоногий моллюск.

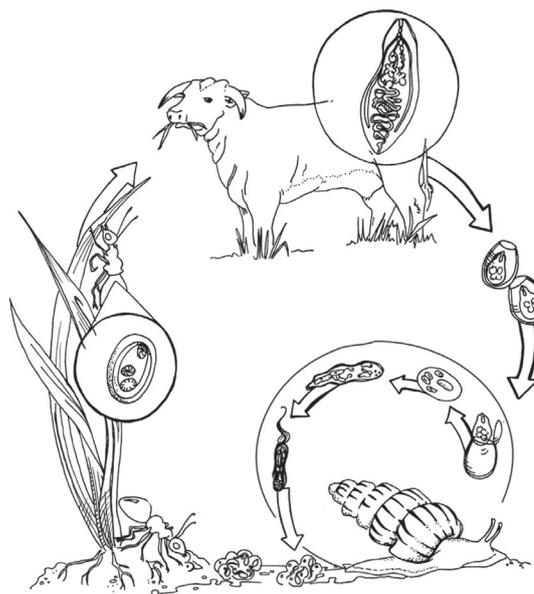
3. Жизненный цикл замыкается без выхода паразита во внешнюю среду.

И. Окончательный хозяин заражается при поедании промежуточного хозяина.

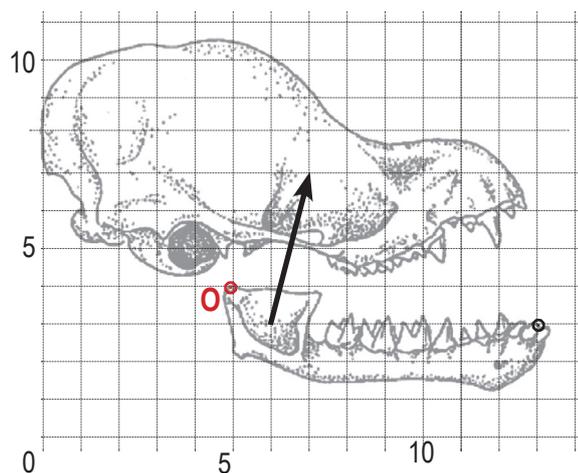
К. В ходе жизненного цикла данный паразит размножается только один раз.

Критерий: Правильные ответы выделены красным жирным шрифтом. Нужно правильно выбрать один ответ из А–Д. За один правильный выбор – 4 балла.

Далее идут 5 утверждений. Если участник не указал, верное утверждение или неверное, то ответ не засчитывается. Если правильно указаны верные и неверные утверждения, то за каждое присваивается по 2 балла. Максимальный балл за задание – 14 баллов.



Блок 2 [4]



Задача 5 (21 балл).

А (4 балла). На рисунке слева показан череп млекопитающего. Определите, к какому отряду оно относится. **Ответ: Рукокрылые.**

Б (4 балла). Какой тип зубов оказался в точке с координатами [13; 3] (отмечено черной точкой)? **Ответ: Резцы.**

В (3 балла). Укажите координаты точки опоры рычага на нижней челюсти в форме [x; y]. **Ответ: Точка О [5; 4].**

Г (10 баллов). При откусывании пищи жевательная и височная мышцы создали результирующую силу 100 Н, которая приложена к определенной точке в направлении, показанном на рисунке

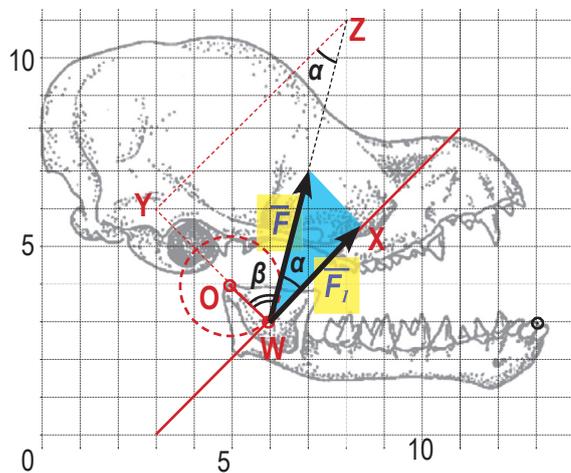
вектором, и тянет нижнюю челюсть вверх. Рассчитайте силу, с которой сжимаются зубы в точке [12; 3]. Для упрощения расчетов примите, что жевательная мышца прикреплена в точках, отмеченных стрелками. Весом нижней челюсти и трением в системе пренебречь.

Решение. Результирующая сила, судя по обозначениям на рисунке, приложена к нижней челюсти в точке с координатой [6; 3]. Обозначим её как точку *W*. Именно сюда приложена сила, поднимающая челюсть вверх.

Форма челюсти довольно сложная. Тем не менее, челюсть обладает достаточной прочностью. Поэтому мы можем предположить, что челюсть должна начать вращательное движение относительно точки *O*. При этом для расчета вклада приложенной силы *F* во вращательное движение, нам потребуется узнать проекцию этого вектора на касательную к окружности, проведенную через точку *W* [6; 3]. Обозначим эту проекцию как *F*₁. Очевидно, что эта проекция равна $F_1 = F \times \cos \alpha$.

Проведём дополнительное построение: продолжим лучи [WO] и [WF] далее так, чтобы получился треугольник *WYZ* с целочисленными координатами. Угол ∠XWZ равен углу ∠WZY (докажите самостоятельно).

Теперь рассчитаем значение $\cos \alpha$, исходя из прямоугольного треугольника *WYZ*.



Длина гипотенузы

$$|WZ| = \sqrt{(8-6)^2 + (11-3)^2} = \sqrt{2^2 + 8^2} = \sqrt{4 + 64} = \sqrt{68}$$

Длина катета

$$|YZ| = \sqrt{(8-3)^2 + (11-6)^2} = \sqrt{5^2 + 5^2} = \sqrt{25 + 25} = \sqrt{50}$$

Отсюда

$$\cos \alpha = |YZ| / |WZ| = \sqrt{50} / \sqrt{68} = \sqrt{25} / \sqrt{34}$$

Соответственно, проекция силы F на касательную, проведённую в точке W , составляет:

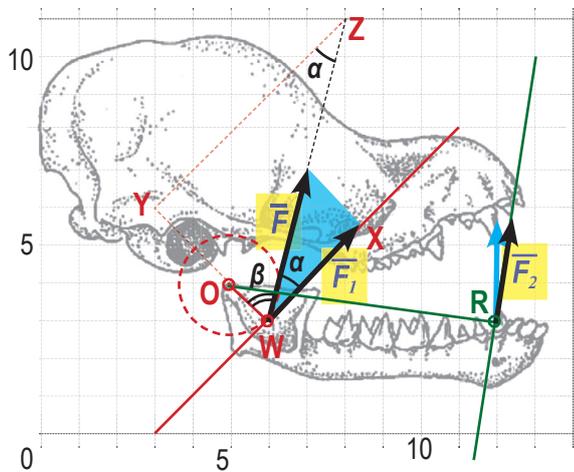
$$F_1 = F \times \cos \alpha = 100 \text{ Н} \times \sqrt{25} / \sqrt{34} = 100 \text{ Н} \times 5 / \sqrt{34} = (500 / \sqrt{34}) \text{ Н}$$

Длина плеча $|OW|$ приложенной силы равна $\sqrt{2}$.

Произведение силы на её рычаг должно быть одинаково по всей нижней челюсти, т.е.

$$F_1 \times |OW| = F_2 \times |OR|$$

Из этого соотношения вычленим силу сжатия зубов в точке R [12; 3]. Рассчитаем длину отрезка $|OR|$.



$$|OR| = \sqrt{(12-5)^2 + (4-3)^2} = \sqrt{16 + 1} = \sqrt{17}$$

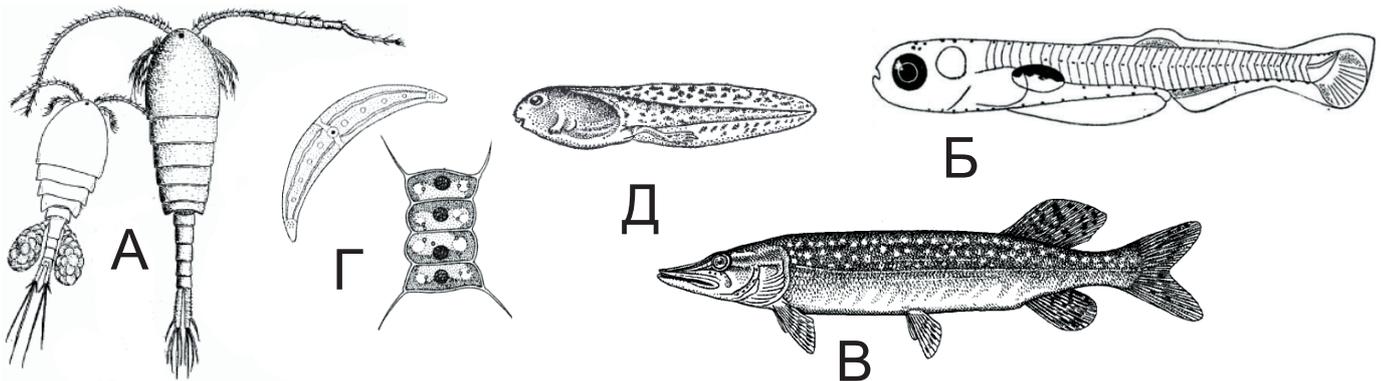
Составляем пропорцию, из которой получим силу, приложенную к точке [12; 3]:

$$F_2 = [F_1 \times |OW|] / |OR| \approx [(500 / \sqrt{34}) \text{ Н} \times \sqrt{2}] / \sqrt{17} = (500 / \sqrt{17}) \text{ Н} / \sqrt{17} = 500 / 17 \approx 29.4 \text{ Н}$$

Ответ. Сила, с которой сжимаются зубы в точке [12; 3], примерно равна 30 Н.

Не будет ошибкой, если в решении есть расчёт силы в строго вертикальном направлении (голубая стрелка). Величина уменьшится в $7 / \sqrt{50}$ раз, и станет равной 29.1 Н.

Задача 6 (4 балла). На рисунке изображены несколько организмов (в разном масштабе). Составьте из предложенных организмов максимально длинную пищевую цепь.



Ответ: Г-А-Б-В

Задача 7 (16 баллов). С целью повышения естественной продуктивности в выростные рыборазводные пруды вносят удобрения. Оптимальное соотношение N/P для максимального развития фитопланктона составляет 15:1.

А. Для получения максимального прироста биомассы водорослей (10 т/га) за период откорма в пруд с двухлетками карпа предполагали добавить суммарно 10 т навоза, в котором содержание азота 0,5%, а фосфора – 0,1%. Какое количество аммиачной селитры (NH_4NO_3) необходимо добавить дополнительно к органическим удобрениям, чтобы получить

максимальный прирост биомассы водорослей?

Б. Водоросли составляют 70 % рациона рыб, а 30% приходится на зоопланктон. Допустим, что двухлетки до пересадки в следующий пруд полностью съедят как фитопланктон, так и зоопланктон. Какое количество рыбного корма на основе протеинов необходимо дополнительно внести в водоём, чтобы получить прирост биомассы рыб 850 кг/га?

Примите, что прирост биомассы составляет 10% от биомассы потреблённой пищи.

Решение.

А. Рассчитаем количество селитры, которое необходимо добавить, чтобы соотношение азота и фосфора соответствовало оптимальному.

1. В навозе содержание азота и фосфора:

$(10 \text{ т} \times 0,5):100=50 \text{ кг}$ – азот

$(10 \text{ т} \times 0,1):100=10 \text{ кг}$ – фосфор, соотношение азота к фосфору 5:1, следовательно, необходимо добавить 100 кг азота ($150:10 = 15:1$)

(4 балла)

2. Рассчитаем необходимое количество селитры, в котором содержится 100 кг азота:

$(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (2 \times 14 + 48 + 4 \times 1) = 80 \text{ у.е.}$, содержание азота – 30 у.е., следовательно, 100 кг азота содержатся в $(80 \times 100):28=286 \text{ кг}$ селитры.

(4 балла)

Б. Составим трофическую цепь.

Фитопланктон поедается как рыбами, так и зоопланктоном.

Допустим, что в пруду выросла биомасса зоопланктона, равная x кг.

Если считать, что в биомассу следующего трофического уровня включается только 10%, то масса водорослей, съеденных зоопланктоном, составит $10x$.

Очевидно, что карпам достанется $[10000 - 10x]$ кг водорослей.

Известно, что фитопланктон составляет 70% рациона, а зоопланктон – 30% рациона.

Тогда масса зоопланктона $[x]$ относится к массе оставшегося фитопланктона $[10000 - 10x]$ как 30 к 70.

Отсюда составим пропорцию:

$x / [10000 - 10x] = 30 / 70 = 3/7$, откуда выразим массу зоопланктона:

$7x = [10000 - 10x] \times 3$

$7x = 10000 - 30x$

$37x = 30000$

$x = 810 \text{ кг}$

Фитопланктона при этом останется:

$10000 - 810 \times 10 = 10000 - 8100 = 1900 \text{ кг}$

Суммарно рыбы съедят $1900 + 810 \text{ кг} = 2710 \text{ кг}$

Т.е. прирост биомассы рыб составит 271 кг **(4 балла)**

Чтобы получить 850 кг/га, рыбы за счет добавленного корма должны прибавить:

$850 - 271 = 579 \text{ кг}$, следовательно, белкового корма необходимо добавить 5790 кг **(4 балла)**

Ответ:

А – добавить 286 кг аммиачной селитры

Б – прирост двухлеток составит 270 кг/га, а чтобы достичь прироста 850 кг/га, нужно дополнительно добавить 5790 кг корма.

Задача 8 (4 балла). На рисунке ► показана схема строения уха. Укажите, какие структуры на рисунке обозначены цифрами 1–4:

А. Евстахиева труба.

Б. Ушная раковина – 1.

В. Барабанная перепонка.

Г. Полукружный канал – 2.

Д. Слуховой нерв – 4.

Е. Ушной канал.

Ж. Улитка.

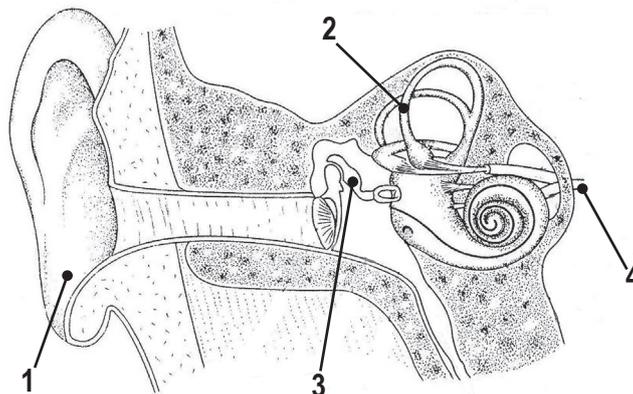
З. Наковальня – 3.

И. Гиппокамп.

К. Стремечко.

Л. Сильвиев проток.

М. Молоточек.

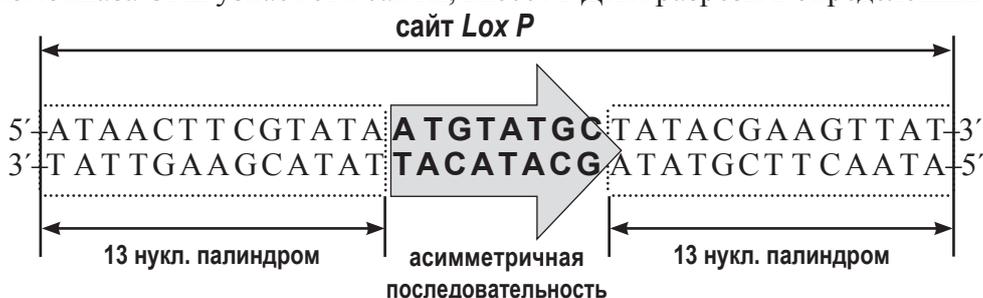


Блок 3 [3]

В современной генетической инженерии часто применяют технологии, связанные с гомологичной рекомбинацией ДНК непосредственно в живом объекте. Один из примеров – система CRE-LoxP.

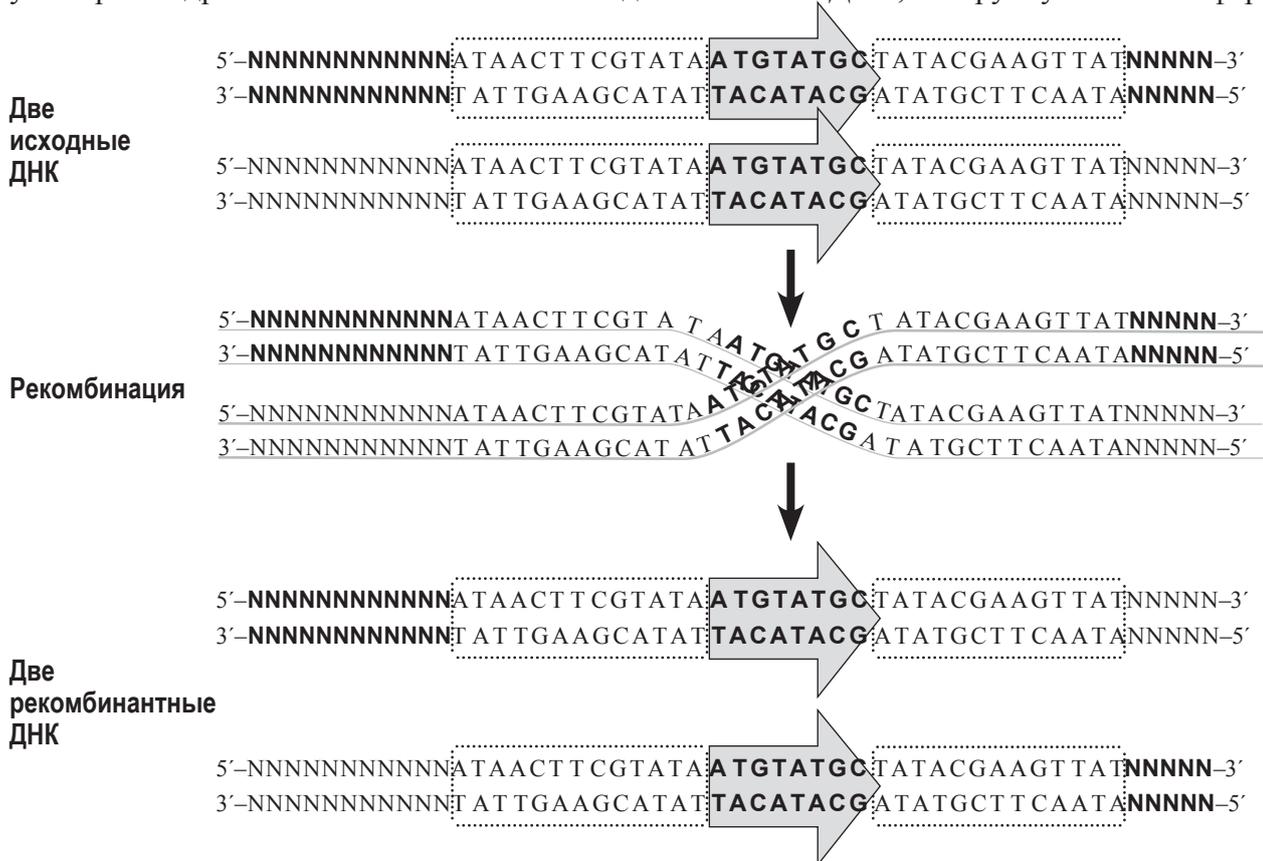
Lox P – это последовательность нуклеотидов в ДНК фага P1. Она состоит из 34 нуклеотидов. В середине располагается несимметричная последовательность из 8 нуклеотидов (показана серой стрелкой на рисунке). По краям располагаются так называемые палиндромные последовательности из 13 нуклеотидов (выделены на рисунке как пунктирные блоки). Они симметричны (чтобы в этом убедиться, достаточно прочитать обе последовательности от 5'-конца к 3'-концу). Именно эти палиндромные участки узнаёт особый фермент, вызывающий рекомбинацию, который обозначают CRE. Будем в дальнейшем называть этот фермент рекомбиназой CRE.

Для того, чтобы состоялась рекомбинация, два сайта *Lox P* должны расположиться параллельно друг другу. Рекомбиназа CRE узнает эти сайты, внесет в ДНК разрезы в определённых местах, а затем



соединит по-новому две нити ДНК (т.е. произойдет рекомбинация).

Аналогично работает и другая система гомологичной рекомбинации – Flp-FRT, обнаруженная у пекарских дрожжей. Сайт *FRT* – это последовательность ДНК, которую узнает свой фермент гомо-

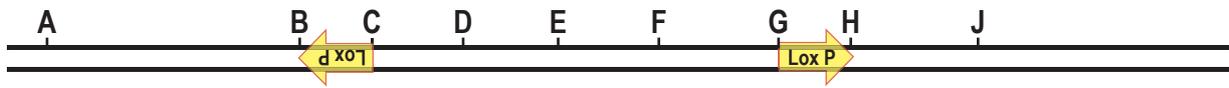


логичной рекомбинации – флиппаза (Flp). При рекомбинации две молекулы ДНК должны ориентироваться параллельно друг другу сайтами *FRT*, и только в этом случае произойдет рекомбинация.

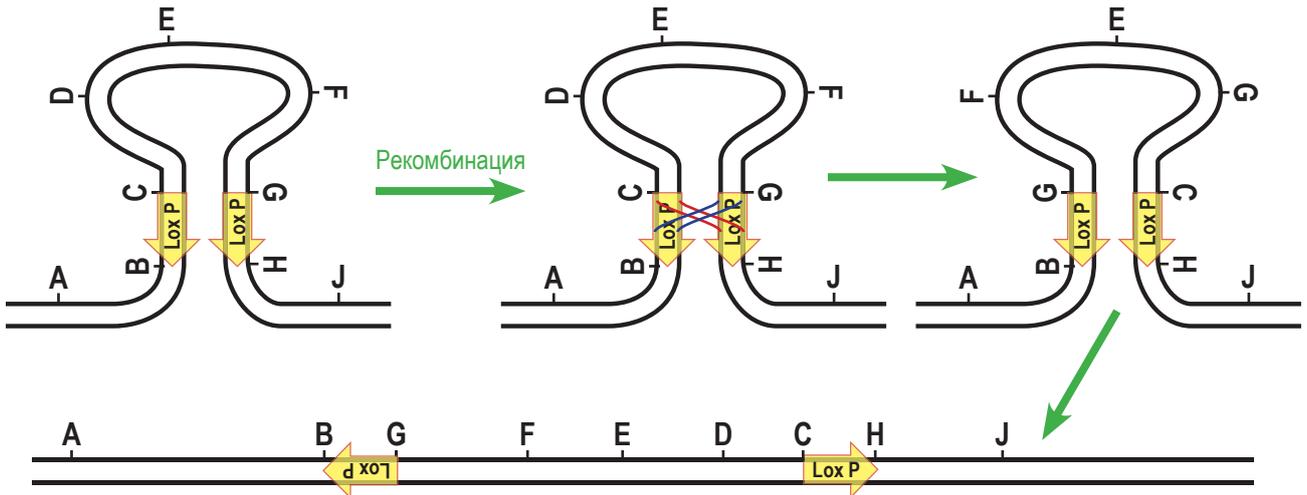
Заметим, что флиппаза Flp узнает только свою последовательность *FRT*, но не может работать с сайтами *Lox P*, а рекомбиназа CRE узнает только свои сайты *Lox P*, но не работает с сайтами *FRT*.

Предварительное доказательство (лемма) к задаче 9 (5 баллов).

1 (2 балла). Докажем, что при гомологичной рекомбинации по «перевернутым» (инвертированным) повторам происходит «переворот» последовательности ДНК, находящейся между повторами. Для этого нарисуем молекулу ДНК и условно обозначим на ней буквами несколько точек.



Затем «изогнём» молекулу так, чтобы повторы, обозначенные стрелками, встали параллельно друг другу. После обмена участками и «распрямления» окажется, что центральная

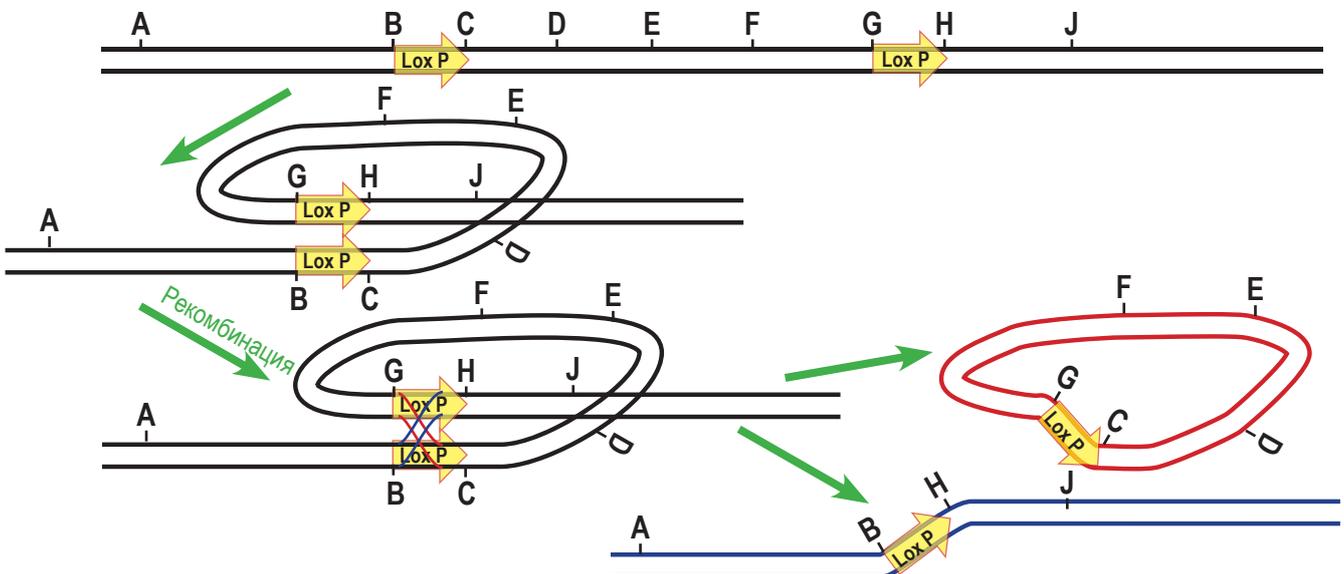


часть между повторами «перевернулась».

2 (3 балла). Докажем, что при гомологичной рекомбинации по прямым повторам происходит образование кольцевой ДНК, при этом из линейной последовательности ДНК «удаляется» участок, находящейся между повторами. Для этого используем тот же приём: нарисуем молекулу ДНК и условно обозначим на ней буквами несколько точек.

Только в этом случае для того, чтобы прямые повторы встали параллельно друг другу, придётся хитроумно изогнуть молекулу так, чтобы от конца одного из повторов (точка C) шли точки D, E, F, а потом начинался новый повтор (в точке G).

После рекомбинации точки C и G поменяются местами, и в результате получится кольцевая ДНК (C, D, E, F, G) и линейный участок (A, B, H, J). Будем считать, что кольцевая ДНК как бы «исчезает» (не может реплицироваться в клетке).

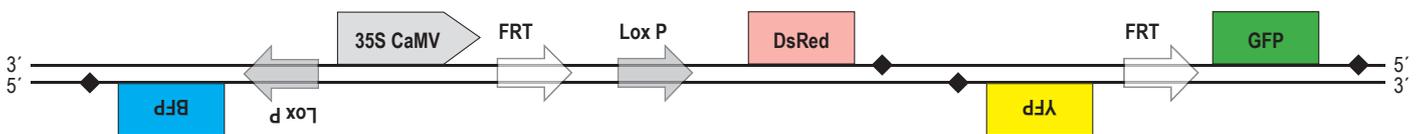


Задача 9 (8 баллов).

Для исследования различных процессов в живых организмах используют флуоресцентные белки. При облучении, например, ультрафиолетовым светом такой белок светится в видимой части спектра. Получены зеленый (GFP, green fluorescent protein), синий (BFP, blue fluorescent protein), желтый (YFP, yellow fluorescent protein) и даже красный (DsRed, из коралла *Discosoma striata*) флуоресцентные белки. В генно-инженерных конструкциях их ставят под определенные промоторы. В зависимости от этого в живом объекте светятся разные части.

35 *CaMV* – промотор, который работает во всех клетках растений. Генный инженер создал конструкцию, схематическая карта которой приведена ниже. Промотор условно изображён в форме пятиугольника, кодирующие части генов – в форме серых прямоугольников, сайты *Lox P* и *FRT* – в виде стрелок, показывающих направление асимметричной части. Для получения белкового продукта необходимо, чтобы кодирующая часть оказалась на той же цепи ДНК, что и промотор, находилась в верной ориентации (и при этом – в сторону 5'-конца нити ДНК относительно промотора). Последовательности *Lox P* и *FRT* достаточно короткие и не мешают считыванию и-РНК. Чёрными ромбами обозначены терминаторы транскрипции. Считайте, что в этом месте матричный синтез и-РНК прекращается.

А. Каким цветом должны светиться клетки, в которых содержится данная генно-инженерная



конструкция? Почему?

Б. Нарисуйте в тех же условных обозначениях структуру приведённого участка ДНК после действия рекомбиназы CRE. (Считайте, что при этом рекомбинация произошла только один раз!) Изменится ли после этого свечение клеток?

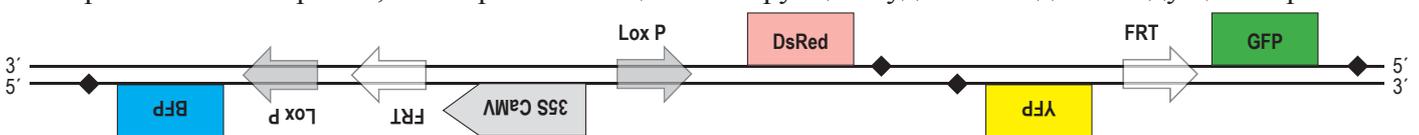
В. Нарисуйте в тех же условных обозначениях структуру приведённого участка ДНК после действия флиппазы F₁r. (Считайте, что при этом рекомбинация произошла только один раз!) Изменится ли после этого свечение клеток?

Г. Предположим, что на исходную последовательность ДНК в генно-инженерной конструкции сначала подействовали рекомбиназой CRE, а после этого – флиппазой F₁r. Нарисуйте схему строения ДНК для этого случая. Каким будет свечение клеток?

Решение.

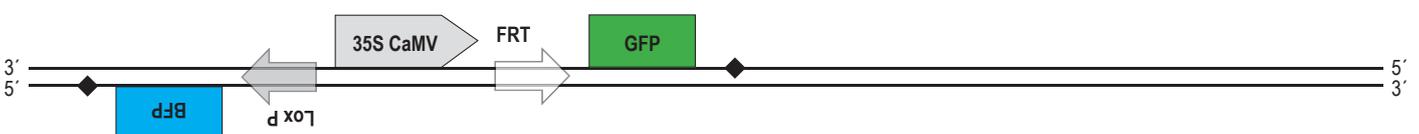
А (2 балла). Поскольку после 35S-промотора на той же цепи ДНК располагается кодирующая часть гена DsRed, клетки должны светиться красным светом.

Б (2 балла). Рекомбиназа CRE узнаёт последовательности *Lox P*. Если повторы расположены инвертированно, то произойдёт «переворот» последовательности ДНК, расположенной между повторами. Таким образом, после рекомбинации конструкция будет выглядеть следующим образом:



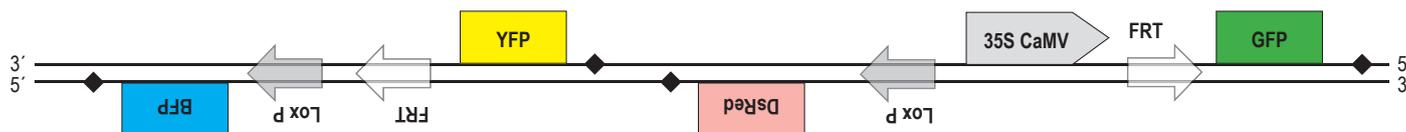
Свечение клеток изменится, поскольку после промотора на той же цепи ДНК окажется гена *BFP*, обеспечивающий синее свечение клеток.

В (2 балла). При рекомбинации по прямым повторам происходит потеря участка ДНК, расположенного между ними. Из двух повторов остаётся только один. Таким образом, после рекомбинации по сайтам *FRT* конструкция будет выглядеть следующим образом:



Клетки будут светиться зелёным светом за счёт того, что под промотором оказалась кодирующая последовательность гена *GFP*.

Г (2 балла). После действия рекомбиназы CRE те последовательности, на которые может действовать флиппаза F_{lp}, «перевернулись», и вместо прямых стали инвертированными. После рекомбинации участок между ними также должен «перевернуться»:



В этом случае клетки также будут светиться зелёным светом за счёт того, что под промотором оказалась кодирующая последовательность гена *GFP*.

Задача 10 (11 баллов).

В геном одного из растений ввели генно-инженерную конструкцию, похожую на использованную в предыдущем задании. Но промотор был заменён на другой – *APETALA 3*, который включается в лепестках и тычинках. В дальнейшем получили чистую линию трансгенных растений (линия №1).

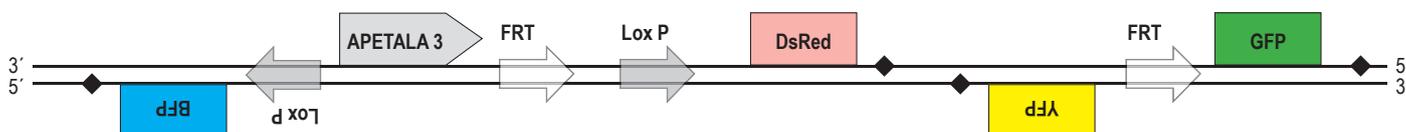


Рис 1.

Другие растение трансформировали конструкцией, в которой кодирующая часть гена *CRE* была поставлена под промотор *LEA*, активирующийся на поздних стадиях формирования зародыша, а кодирующая часть гена *Flp* – под промотор *CAULIFLOWER*, который активен в чашелистиках и лепестках. После этого удалось получить чистую линию №2.

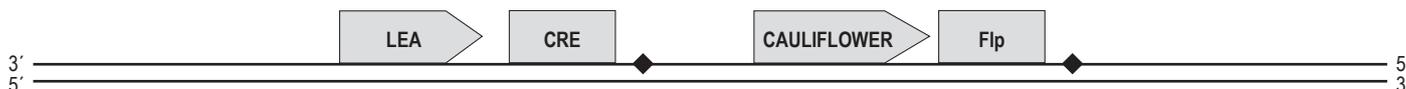


Рис 2.

А (2 балла). Какие органы будут светиться у растений из линии №1? Растений из линии №2?

Ответ: Красным светом будут светиться лепестки и тычинки, поскольку промотор *APETALA 3* активен именно в этих органах. У линии №2 свечения не будет, поскольку в неё не были введены гены, кодирующие флуоресцентные белки.

Б (2 балла). Каким будет фенотип растений первого поколения гибридов между линиями №1 и №2? Для обоснования ответа опишите структуру генно-инженерной конструкции с флуоресцентными белками.

Ответ: Поскольку рекомбиназа CRE подействовала на поздних этапах развития зародыша, то у всех потомков F₁ произойдёт рекомбинация по сайтам *LoxP*. Строение этого участка ДНК будет следующим:

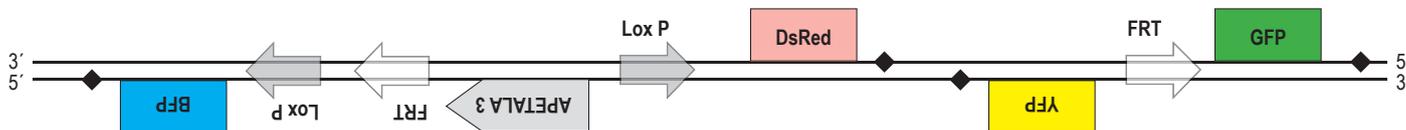


Рис 3.

В чашелистиках и лепестках на эту последовательность ДНК подействует флиппаза. Это приведёт к тому, что участок между сайтами *FRT* «перевернётся»:

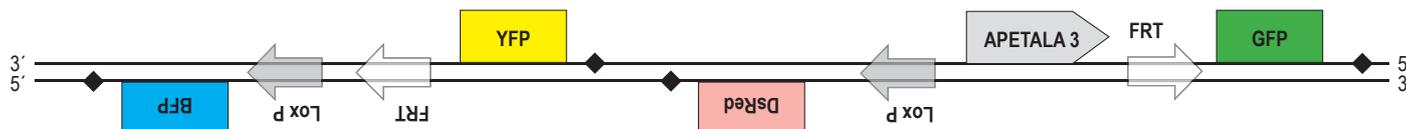


Рис 4.

Это означает, что после включения промотора *APETALA 3* в лепестках и тычинках лепестки будут светиться зелёным светом (результат двух рекомбинаций), а тычинки – синим светом (результат только одной рекомбинации). Остальные части растения не должны светиться.

В. Каким будет расщепление по фенотипами и генотипам среди потомков второго поколения, полученных при самоопылении гибридов первого поколения? Считайте, что генно-инженерные конструкции наследуются независимо, а кроссинговер внутри конструкций не происходит.

Решение.

Условно обозначим исходную вставку, несущую гены флуоресцирующих белков, в линии №1 как L_1 (см. рисунок 1 в условии задачи), а отсутствие вставки обозначим как l_0 .

Аналогично обозначим генно-инженерную конструкцию, несущую гены рекомбиназы и флипазы, в линии №2 как R (см. рис. 2), а отсутствие вставки будем обозначать как r_0 .

Тогда генотипы родительских линий:

P: Линия №1 – $L_1L_1 r_0r_0$ × Линия №2 $l_0l_0 RR$

Сразу после скрещивания генотипы зигот:

F1: $L_1l_0 Rr_0$

(2 балла за генотипы без учёта рекомбинации)

Но уже при формировании зародыша «включится» рекомбиназа CRE, что приведёт к изменению структуры ДНК-вставки L_1 . Обозначим получившийся вариант вставки, которая потенциально могла бы светиться синим светом, как L_2 (см. рис. 3 из ответа Б).

Ни в пестиках, ни в тычинках гены CRE и Flp не «включаются» (не экспрессируются), поэтому потомкам F2 могут достаться либо L_2 , либо l_0 .

Гаметы: $1/4 L_2R$ $1/4 L_2r$ $1/4 l_0R$ $1/4 l_0r$

Генотипы зигот сразу после образования

(1 балл за расщепление во втором поколении без учета рекомбинации):

	$1/4 L_2R$	$1/4 L_2r$	$1/4 l_0R$	$1/4 l_0r$
$1/4 L_2R$	$L_2L_2 RR$	$L_2L_2 Rr$	$L_2l_0 RR$	$L_2l_0 Rr$
$1/4 L_2r$	$L_2L_2 Rr$	$L_2L_2 rr$	$L_2l_0 Rr$	$L_2l_0 rr$
$1/4 l_0R$	$L_2l_0 RR$	$L_2l_0 Rr$	$l_0l_0 RR$	$l_0l_0 Rr$
$1/4 l_0r$	$L_2l_0 Rr$	$L_2l_0 rr$	$l_0l_0 Rr$	$l_0l_0 rr$

Жёлтой заливкой показаны генотипы, в которых не присутствует вставка с рекомбиназами, поэтому генотипы изменяться не будут. Красными точечными рамками показаны генотипы, в которых нет вставку с флуоресцентными белками. В этом случае рекомбинации также не будет. У этих $1/4$ растений с генотипом l_0l_0 свечения не будет ни в одном из органов.

У $3/16$ растений с генотипом $L_2l_0 rr$ будет свечение и чашелистиков, и лепестков синим светом.

(1 балл за указание фенотипов)

У остальных $9/16$ растений с генотипами L_2 - R - на поздних этапах образования зародыша произойдёт рекомбинация по сайтам *LoxP*. Вставка перейдёт обратно в форму L_1 , которая будет сохраняться по мере вегетативного развития. При образовании лепестков и чашелистиков начнёт экспрессироваться ген *Flp*, что приведёт к рекомбинации по прямым повторам *FRT*. Участок между ними, содержащий гены *DsRed* и *YFP*, будет утрачен, а промотор APETA-LA 3 как бы «приблизится» к кодирующей части гена *GFP*. Таким образом, лепестки у этих растений будут светиться зелёным светом, а тычинки – красным.

(3 балла за анализ рекомбинации и активности генов у потомков F2).

Ответ: среди потомков второго поколения $1/4$ растений не будут светиться вообще, у $3/16$ растений и чашелистики, и лепестки будут светиться синим светом, а у оставшихся $9/16$ растений лепестки будут светиться зелёным, тогда как свечение тычинок будет красным.

Задание 10 – 11 класса. Вариант II.

Блок 1 [4]

Задача 1 (4 балла). Ознакомьтесь с предложенной ситуацией и выберите из списка форму обучения, которая наилучшим образом характеризует описанный процесс обучения животных. Формы обучения:

- А. Габитуация (от англ. *habituation* – привыкание).
- Б. Сенситизация (от лат. *sensibilis* – чувствительный).
- В. Инструментальное обучение.
- Г. Аверсия (от англ. *aversion* – отвращение).
- Д. Латентное обучение (от лат. *latens, latentis* – скрытый, тайный, невидимый).
- Е. Обучение посредством наблюдения.
- Ж. Импринтинг (от англ. *to imprint* – отпечатать, запечатлеть).
- З. Инсайт (от англ. *insight* – прозрение, озарение).

Ситуация. Студент в общежитии решил подкрепиться за чужой счёт. Он залез в общественный холодильник и стащил оттуда чью-то зелёную котлетку и немедленно её съел. Через пару часов студент почувствовал признаки сильного пищевого отравления. Помучившись целый день, он выздоровел и в течение следующих трёх месяцев избегал зелёных котлеток в холодильнике.

Ответ: Г. Аверсия.

Задача 2 (3 балла). Укажите порядок расположения тканей листа С-4 растений (сверху вниз):

- а) эпидерма – мезофилл – ксилема – клетки обкладки – флоэма;
- б) эпидерма – клетки обкладки – мезофилл – ксилема – флоэма;
- в) эпидерма – столбчатый мезофилл – флоэма – ксилема – губчатый мезофилл;
- г) столбчатый мезофилл – ксилема – эпидерма – флоэма – губчатый мезофилл;
- д) эпидерма – мезофилл – клетки обкладки – ксилема – флоэма.**



Задача 3 (10 баллов). С помощью буквенного шифра дайте описание растения, представленного на рис.

Семейство: А – Розоцветные; Б – Крестоцветные; В – Паслёновые; Г – Бобовые; Д – Лилейные; Е – Злаковые.

Цветок: Ж – актиноморфный; З – зигоморфный; И – неправильный

Завязь: К – верхняя; Л – нижняя

Плод: М – ягода; Н – орешек или многоорешек; О – костянка; П – зерновка; Р – семянка; С – стручок или стручочек; Т – боб; У – коробочка

Околоцветник: Ф – двойной; Х – простой; Ц – редуцированный.

Ответ: На рисунке представлен *Шиповник майский* – растение из семейства Розоцветных (типовой представитель «школьного» семейства).

Шифр ответа: А, Ж, К, Н, Ф.

Критерий: по 2 балла за каждую правильную букву шифра.

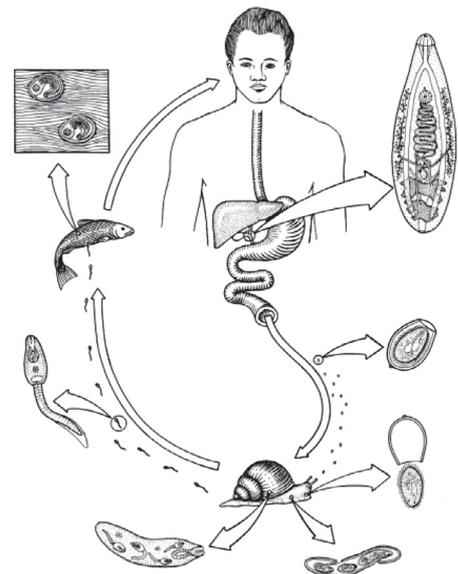
Задача 4 (14 баллов). Изучите схему жизненного цикла паразитического червя и ответьте на вопросы.

Данный паразитический червь относится к таксону (систематической группе):

- А. Ленточные черви.
- Б. Круглые черви.
- В. Сосальщикообразные.**
- Г. Кольчатые черви.
- Д. Ни к одному из перечисленных.

Какие утверждения об особенностях жизненного цикла данного вида паразитов верные, а какие – нет:

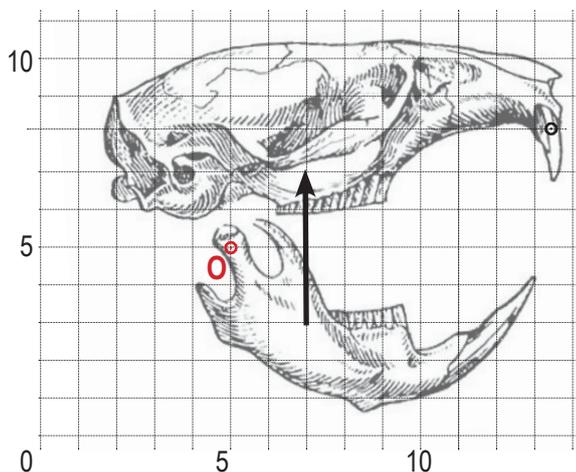
- Е. В жизненном цикле два промежуточных хозяина.**
- Ж. Человек является окончательным хозяином данного паразита.**
- З. Все хозяева заражаются данным паразитом в процессе питания.
- И. В жизненном цикле две разных личиночных стадии, плавающих в воде.
- К. Данный паразит размножается в каждом из своих хозяев.



Критерий: Правильные ответы выделены красным жирным шрифтом. Нужно правильно выбрать один ответ из **А–Д**. За один правильный выбор – 4 балла.

Далее идут 5 утверждений. Если участник не указал, верное утверждение или неверное, то ответ не засчитывается. Если правильно указаны верные и неверные утверждения, то за каждое присваивается по 2 балла. Максимальный балл за задание – 14 баллов.

Блок 2 [8]



Задача 5 (21 балл).

А (4 балла). На рисунке слева показан череп млекопитающего. Определите, к какому отряду оно относится. **Ответ: Грызуны**

Б (4 балла). Какой тип зубов оказался в точке с координатами [13,5; 8] (отмечено черной точкой)? **Ответ: Резцы**

В (3 балла). Укажите координаты точки опоры рычага на нижней челюсти в форме [x; y].

Ответ: точка O [5; 5]

Г (10 баллов). При откусывании пищи жевательная и височная мышцы создали результирующую силу 50 Н, которая приложена к точке [7; 3] в направлении, показанном на рисунке вектором, и тянет нижнюю челюсть вверх. Рассчитайте силу, с которой сжимаются зубы в точке [13; 4]. Весом нижней челюсти и трением в системе пренебречь.

Решение. Результирующая сила, судя по обозначениям на рисунке, приложена к нижней челюсти в точке с координатой [7; 3]. Обозначим её как точку W . Именно сюда приложена сила, поднимающая челюсть вверх.

Форма челюсти довольно сложная. Тем не менее, челюсть обладает достаточной прочностью. Поэтому мы можем предположить, что челюсть должна начать вращательное движение относительно точки O . При этом для расчета вклада приложенной силы F во вращательное движение, нам потребуется узнать проекцию этого вектора на касательную к окружности, проведенную через точку W [7; 3]. Обозначим эту проекцию как F_1 . Очевидно, что эта проекция равна $F_1 = F \times \cos \alpha$.

Из чертежа очевидно, что луч $[WZ)$ является биссектрисой прямого угла $\angle OWX$. Таким образом, $\alpha = 45^\circ$.

$F_1 = F \times \cos \alpha = 50 \text{ Н} / \sqrt{2} \approx 35.4 \text{ Н}$
 Длина плеча $|OW|$ приложенной силы равна $2\sqrt{2}$.
 Произведение силы на её рычаг должно быть одинаково по всей нижней челюсти, т.е.

$F_1 \times |OW| = F_2 \times |OR|$

Из этого соотношения вычленим силу сжатия зубов в точке R [13; 4]. Рассчитаем длину отрезка $|OR|$.

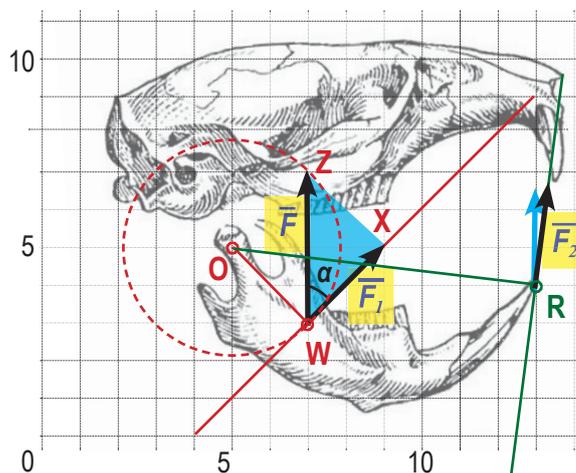
$$|OR| = \sqrt{(13 - 5)^2 + (5 - 4)^2} = \sqrt{64 + 1} = \sqrt{65}$$

Составляем пропорцию, из которой получим силу, приложенную к точке [13; 4]:

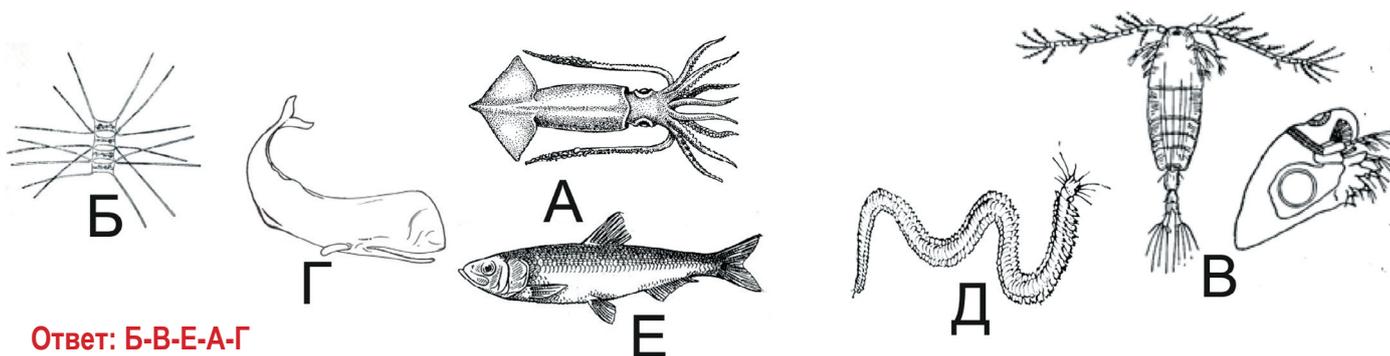
$$F_2 = [F_1 \times |OW|] / |OR| = [(50 / \sqrt{2}) \text{ Н} \times 2\sqrt{2}] / \sqrt{65} = (100 / \sqrt{65}) \text{ Н} \approx 12.4 \text{ Н}$$

Ответ. Сила, с которой сжимаются зубы в точке [13; 4], примерно равна 12.4 Н.

Не будет ошибкой, если в решении есть расчёт силы в строго вертикальном направлении (голубая стрелка). Величина уменьшится в $8 / \sqrt{65}$ раз, и станет равной 12.3 Н.



Задача 6 (4 балла). На рисунке изображены несколько организмов (в разном масштабе). Составьте из предложенных организмов максимально длинную пищевую цепь.



Ответ: Б-В-Е-А-Г

Задача 7 (16 баллов). При совместном выращивании толстолобика и бестера (гибрид стерляди и белуги). В выростные рыбопродуктивные пруды вносят удобрения. Оптимальное соотношение N/P для максимального развития фитопланктона составляет 15:1.

А. Для получения максимального прироста биомассы водорослей (10 т/га) за период откорма в пруд предполагали добавить суммарно 10 т навоза, в котором содержание азота 0,5%, а фосфора – 0,1%. Какое количество мочевины ($\text{NH}_2\text{--CO--NH}_2$) необходимо добавить дополнительно к органическим удобрениям, чтобы получить максимальный прирост биомассы растений?

Б. Какой прирост биомассы толстолобика и бестера можно получить за период откорма, если толстолобик питается только фитопланктоном (считать, что он съест 60% фитопланктона). Бестер питается зоопланктоном, который развивается в пруду.

Примите, что прирост биомассы составляет 10% от биомассы потреблённой пищи.

Решение:

А. Рассчитаем количество мочевины, которое необходимо добавить, чтобы соотношение азота и фосфора соответствовало оптимальному.

1. В навозе содержание азота и фосфора:

$$(10 \text{ т} \times 0,5) : 100 = 50 \text{ кг} - \text{азот}$$

$(10 \text{ т} \times 0,1) : 100 = 10 \text{ кг} - \text{фосфор}$, соотношение азота к фосфору 5:1, следовательно, необходимо добавить 100 кг азота ($150:10 = 15:1$)

(4 балла)

2. Рассчитаем необходимое количество мочевины, в котором содержится 10 кг азота:

$(\text{NH}_2\text{--CO--NH}_2) = (2 \times 14 + 12 + 16 + 4 \times 1) = 60 \text{ у.е.}$, содержание азота – 28 у.е., следовательно, 100 кг азота содержатся в $(60 \times 100) : 28 = 214 \text{ кг}$ мочевины.

(4 балла)

Б. Составим трофическую цепь.

Пусть прирост биомассы зоопланктона составил x кг.

Если считать, что в биомассу следующего трофического уровня включается только 10%, то масса водорослей, съеденных зоопланктоном, составит $10x$.

Очевидно, что толстолобика съедят $[10000 - 10x]$ кг водорослей.

Известно, что 60% фитопланктона съедают толстолобика, а зоопланктон – 40% – бестеры.

Тогда масса зоопланктона $[x]$ относится к массе оставшегося фитопланктона $[10000 - 10x]$ как 40 к 60.

Отсюда составим пропорцию:

$$x / [10000 - 10x] = 40 / 60 = 2/3, \text{ откуда выразим массу зоопланктона:}$$

$$3x = [10000 - 10x] \times 2$$

$$3x = 20000 - 20x$$

$$23x = 20000$$

$$x = 870 \text{ кг} - \text{прирост зоопланктона, следовательно, бестеры прибавят } 870 : 10 = 87 \text{ кг/га}$$

(4 балла)

Данный зоопланктон съел $870 \times 10 = 8700 \text{ кг}$ водорослей, тогда на долю толстолобиков

останется $10000 - 8700 = 1300$ кг/га водорослей и прирост их биомассы составит 130 кг/га.

(4 балла)

Ответ:

А – добавить 214 кг мочевины

Б – прирост толстолобика составит 130 кг/га, а бестера – 87 кг/га

Задача 8 (4 балла). На рисунке ► показана схема строения глаза. Укажите, какие структуры на рисунке обозначены цифрами 1–4:

А. Слепое пятно – 2.

Б. Роговица – 1.

В. Стекловидное тело.

Г. Островок Лангерганса.

Д. Зрительный нерв – 3.

Е. Сетчатка.

Ж. Зрачок.

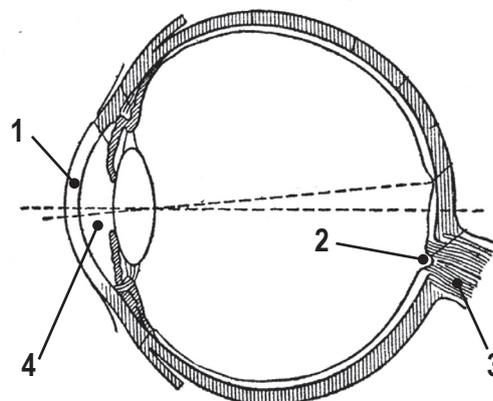
З. Радужная оболочка.

И. Коронарный сосуд.

К. Хрусталик.

Л. Склера.

М. Передняя камера – 4.

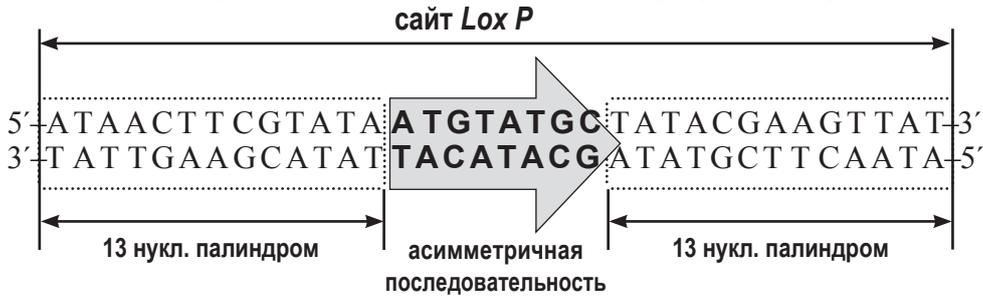


Блок 3 [4]

В современной генетической инженерии часто применяют технологии, связанные с гомологичной рекомбинацией ДНК непосредственно в живом объекте. Один из примеров – система CRE-LoxP.

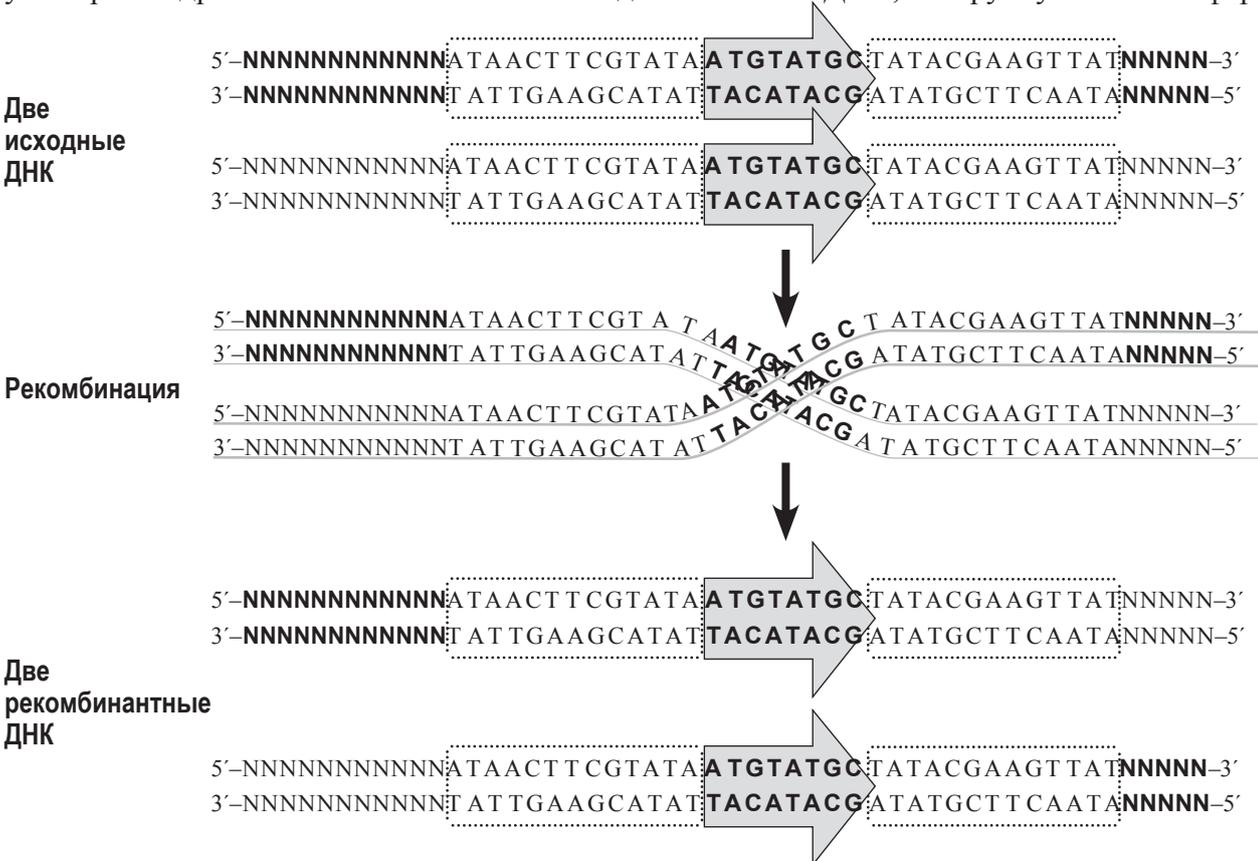
Lox P – это последовательность нуклеотидов в ДНК фага P1. Она состоит из 34 нуклеотидов. В середине располагается несимметричная последовательность из 8 нуклеотидов (показана серой стрелкой на рисунке). По краям располагаются так называемые палиндромные последовательности из 13 нуклеотидов (выделены на рисунке как пунктирные блоки). Они симметричны (чтобы в этом убедиться, достаточно прочитать обе последовательности от 5'-конца к 3'-концу). Именно эти палиндромные участки узнаёт особый фермент, вызывающий рекомбинацию, который обозначают CRE. Будем в дальнейшем называть этот фермент рекомбиназой CRE.

Для того, чтобы состоялась рекомбинация, два сайта *Lox P* должны расположиться параллельно друг другу. Рекомбиназа CRE узнает эти сайты, внесет в ДНК разрезы в определённых местах, а затем



соединит по-новому две нити ДНК (т.е. произойдет рекомбинация).

Аналогично работает и другая система гомологичной рекомбинации – Flp-FRT, обнаруженная у пекарских дрожжей. Сайт *FRT* – это последовательность ДНК, которую узнает свой фермент гомо-

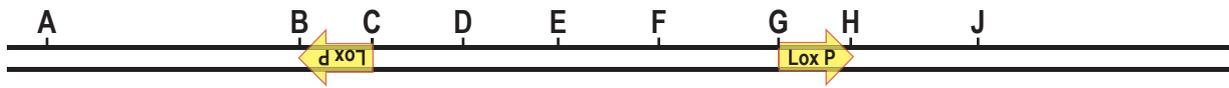


логичной рекомбинации – флиппаза (Flp). При рекомбинации две молекулы ДНК должны ориентироваться параллельно друг другу сайтами *FRT*, и только в этом случае произойдет рекомбинация.

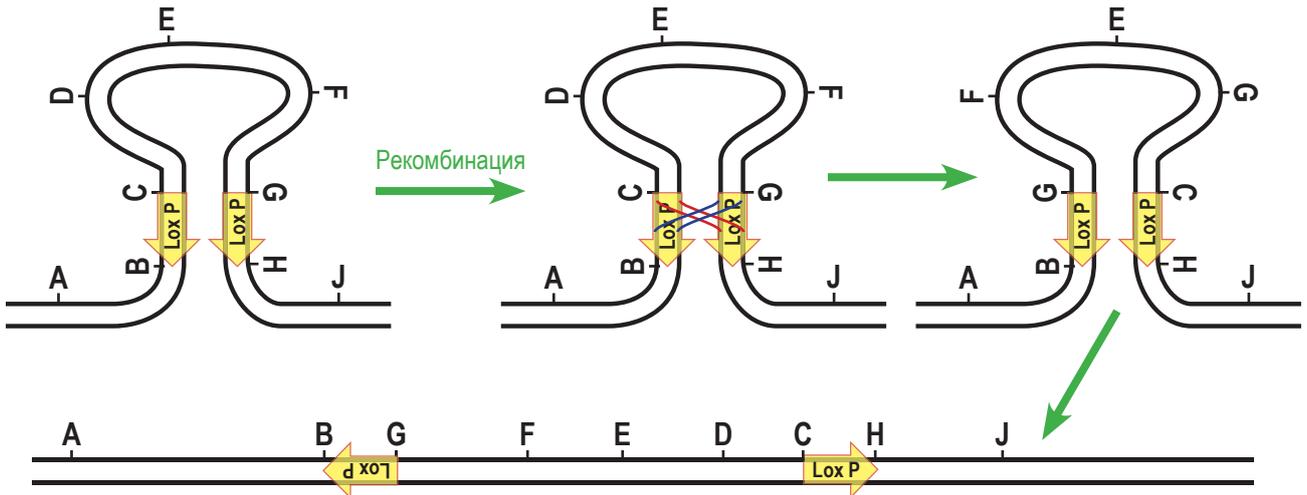
Заметим, что флиппаза Flp узнает только свою последовательность *FRT*, но не может работать с сайтами *Lox P*, а рекомбиназа CRE узнает только свои сайты *Lox P*, но не работает с сайтами *FRT*.

Предварительное доказательство (лемма) к задаче 9 (5 баллов).

1 (2 балла). Докажем, что при гомологичной рекомбинации по «перевернутым» (инвертированным) повторам происходит «переворот» последовательности ДНК, находящейся между повторами. Для этого нарисуем молекулу ДНК и условно обозначим на ней буквами несколько точек.



Затем «изогнём» молекулу так, чтобы повторы, обозначенные стрелками, встали параллельно друг другу. После обмена участками и «распрямления» окажется, что центральная

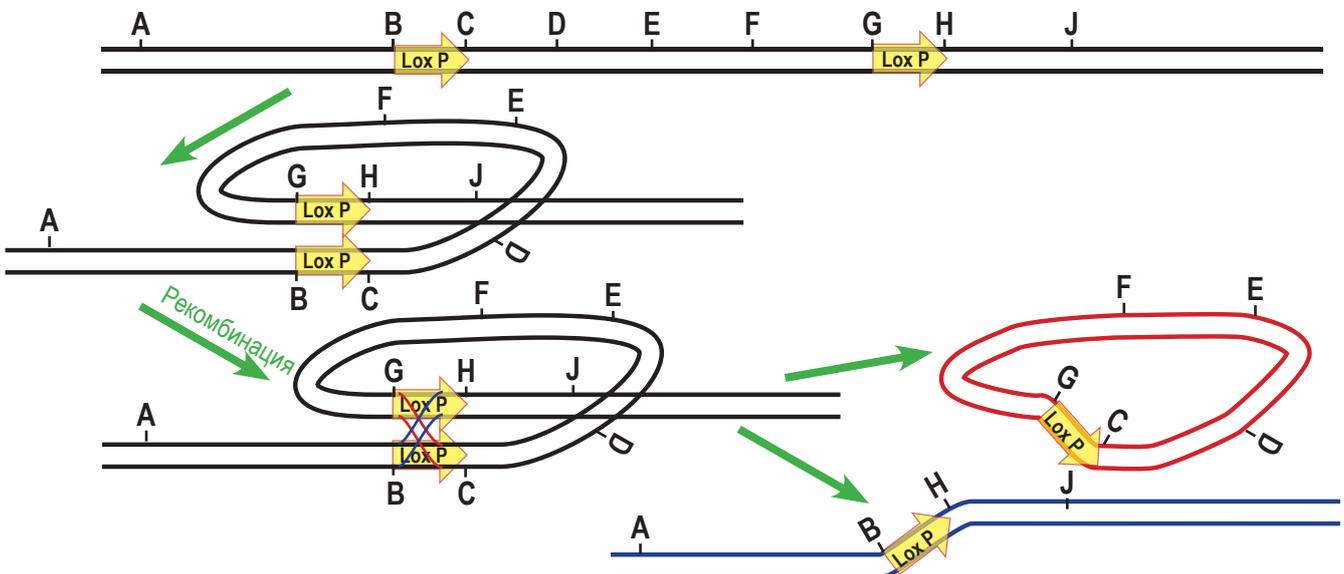


часть между повторами «перевернулась».

2 (3 балла). Докажем, что при гомологичной рекомбинации по прямым повторам происходит образование кольцевой ДНК, при этом из линейной последовательности ДНК «удаляется» участок, находящейся между повторами. Для этого используем тот же приём: нарисуем молекулу ДНК и условно обозначим на ней буквами несколько точек.

Только в этом случае для того, чтобы прямые повторы встали параллельно друг другу, придётся хитроумно изогнуть молекулу так, чтобы от конца одного из повторов (точка C) шли точки D, E, F, а потом начинался новый повтор (в точке G).

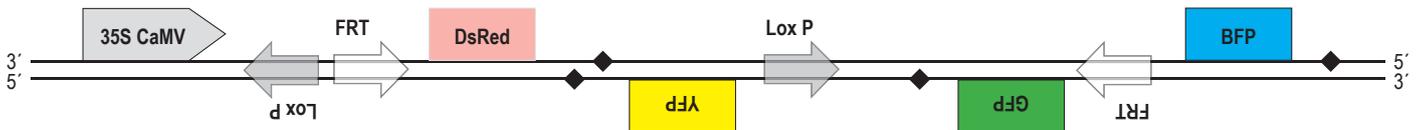
После рекомбинации точки C и G поменяются местами, и в результате получится кольцевая ДНК (C, D, E, F, G) и линейный участок (A, B, H, J). Будем считать, что кольцевая ДНК как бы «исчезает» (не может реплицироваться в клетке).



Задача 9 (8 баллов).

Для исследования различных процессов в живых организмах используют флуоресцентные белки. При облучении, например, ультрафиолетовым светом такой белок светится в видимой части спектра. Получены зеленый (GFP, green fluorescent protein), синий (BFP, blue fluorescent protein), желтый (YFP, yellow fluorescent protein) и даже красный (DsRed, из коралла *Discosoma striata*) флуоресцентные белки. В генно-инженерных конструкциях их ставят под определенные промоторы. В зависимости от этого в живом объекте светятся разные части.

35 *CaMV* – промотор, который работает во всех клетках растений. Генный инженер создал конструкцию, схематическая карта которой приведена ниже. Промотор условно изображён в форме пятиугольника, кодирующие части генов – в форме серых прямоугольников, сайты *Lox P* и *FRT* – в виде стрелок, показывающих направление асимметричной части. Для получения белкового продукта необходимо, чтобы кодирующая часть оказалась на той же цепи ДНК, что и промотор, находилась в верной ориентации (и при этом – в сторону 5'-конца нити ДНК относительно промотора). Последовательности *Lox P* и *FRT* достаточно короткие и не мешают считыванию и-РНК. Чёрными ромбами обозначены терминаторы транскрипции. Считайте, что в этом месте матричный синтез и-РНК прекращается.



А. Каким цветом должны светиться клетки, в которых содержится данная генно-инженерная конструкция? Почему?

Б. Нарисуйте в тех же условных обозначениях структуру приведённого участка ДНК после действия рекомбиназы CRE. (Считайте, что при этом рекомбинация произошла только один раз!) Изменится ли после этого свечение клеток?

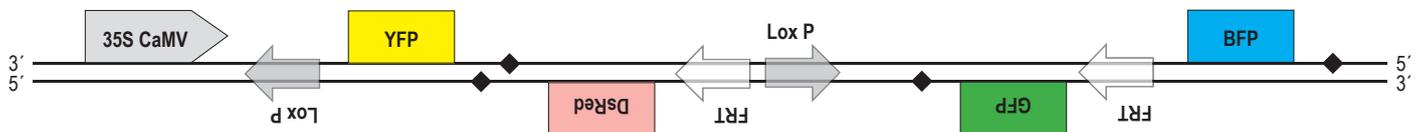
В. Нарисуйте в тех же условных обозначениях структуру приведённого участка ДНК после действия флиппазы Flp. (Считайте, что при этом рекомбинация произошла только один раз!) Изменится ли после этого свечение клеток?

Г. Предположим, что на исходную последовательность ДНК в генно-инженерной конструкции сначала подействовали рекомбиназой CRE, а после этого – флиппазой Flp. Нарисуйте схему строения ДНК для этого случая. Каким будет свечение клеток?

Решение.

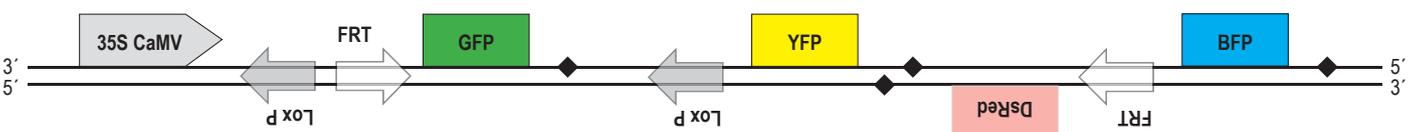
А (2 балла). Поскольку после 35S-промотора на той же цепи ДНК располагается кодирующая часть гена *DsRed*, клетки должны светиться красным светом.

Б (2 балла). Рекомбиназа CRE узнаёт последовательности *LoxP*. Если повторы расположены инвертированно, то произойдёт «переворот» последовательности ДНК, расположенной между повторами. Таким образом, после рекомбинации конструкция будет выглядеть следующим образом:



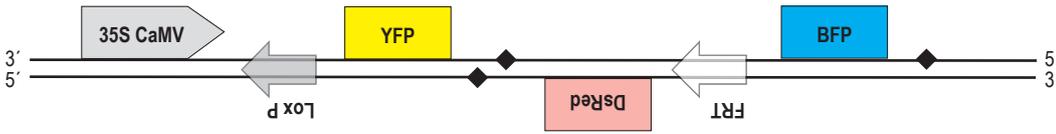
Свечение клеток изменится, поскольку после промотора на той же цепи ДНК окажется ген *YFP*, обеспечивающий жёлтое свечение клеток.

В (2 балла). При рекомбинации по инвертированным повторам *FRT* также происходит «переворот», но другого участка ДНК. Таким образом, после рекомбинации по сайтам *FRT* конструкция будет выглядеть следующим образом:



Клетки будут светиться зелёным светом за счёт того, что под промотором оказалась кодирующая последовательность гена *GFP*.

Г (2 балла). После действия рекомбиназы CRE те последовательности, на которые может действовать флиппаза Flp, «перевернулись», и вместо инвертированных стали прямыми. После рекомбинации участок между ними также должен «удалиться»:



В этом случае клетки также будут светиться жёлтым светом за счёт того, что под промотором оказалась кодирующая последовательность гена *YFP*.

Задача 10.

В геном одного из растений ввели генно-инженерную конструкцию, похожую на использованную в предыдущем задании. Но промотор был заменён на другой – *AGAMOUS*, который включается в пестиках и тычинках. В дальнейшем получили чистую линию трансгенных растений (линия №1).

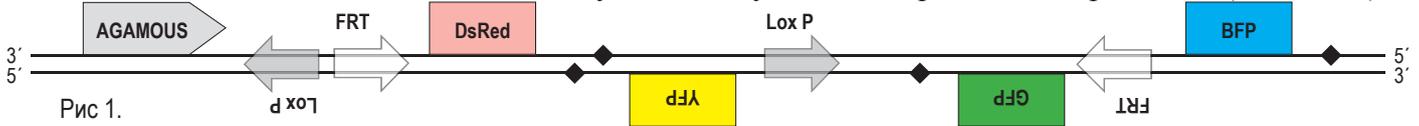


Рис 1.

Другие растение трансформировали конструкцией, в которой кодирующая часть гена *CRE* была поставлена под промотор *AGAMOUS*, а кодирующая часть гена *Flp* – под промотор *PISTILLATA*, который активен в тычинках и лепестках. После этого удалось получить чистую линию №2.

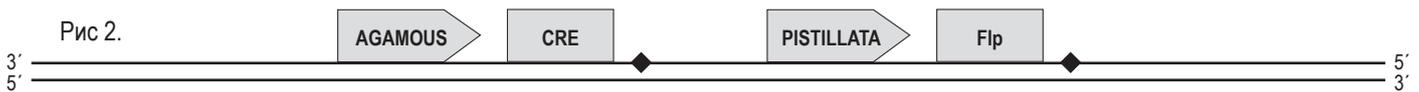


Рис 2.

А (2 балла). Какие органы будут светиться у растений из линии №1? Растений из линии №2?

Ответ: Красным светом будут светиться пестики и тычинки, поскольку промотор *AGAMOUS* активен именно в этих органах. У линии №2 свечения не будет, поскольку в неё не были введены гены, кодирующие флуоресцентные белки.

Б (2 балла). Каким будет фенотип растений первого поколения гибридов между линиями №1 и №2? Для обоснования ответа опишите структуру генно-инженерной конструкции с флуоресцентными белками.

Ответ: Поскольку рекомбиназа CRE действует в тычинках и пестиках, то у всех потомков F₁ произойдёт рекомбинация по сайтам *LoxP*. Строение этого участка ДНК будет следующим:

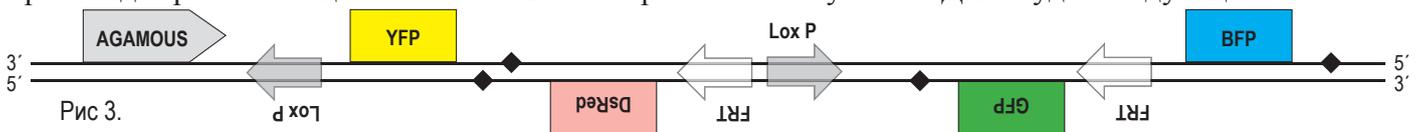


Рис 3.

В тычинках на эту последовательность ДНК дополнительно подействует флиппаза. Это приведёт к тому, что участок между сайтами *FRT* «исчезнет»:

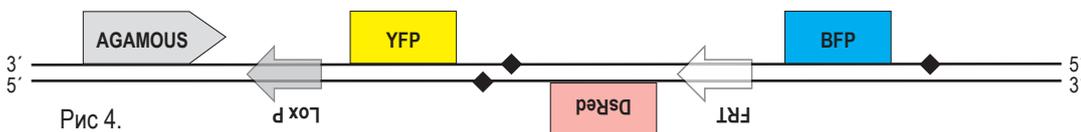
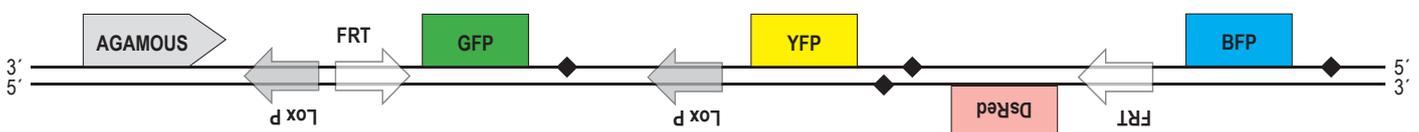
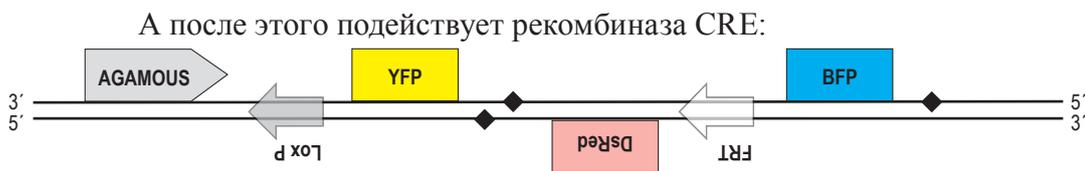


Рис 4.

Это означает, что после включения промотора *AGAMOUS* пестики будут светиться жёлтым светом (результат только одной рекомбинации). Тычинки также будут светиться жёлтым (результат двух рекомбинаций). Остальные части растения не должны светиться.

Однако возможен и другой вариант событий. Сначала в тычинках на последовательность ДНК подействует флиппаза:





Нетрудно увидеть, что конечный результат от этого не изменился (хотя не во всех случаях так должно быть).

В. Каким будет расщепление по фенотипами и генотипам среди потомков второго поколения, полученных при самоопылении гибридов первого поколения? Считайте, что генно-инженерные конструкции наследуются независимо, а кроссинговер внутри конструкций не происходит.

Решение.

Условно обозначим исходную вставку, несущую гены флуоресцирующих белков, в линии №1 как L_1 (см. рисунок 1 в условии задачи), а отсутствие вставки обозначим как l_0 .

Аналогично обозначим генно-инженерную конструкцию, несущую гены рекомбиназы и флипазы, в линии №2 как R (см. рис. 2), а отсутствие вставки будем обозначать как r_0 .

Тогда генотипы родительских линий:

P: Линия №1 – $L_1L_1 r_0r_0$ × Линия №2 $l_0l_0 RR$

Сразу после скрещивания генотипы зигот:

F1: $L_1l_0 Rr_0$

(2 балла за генотипы без учёта рекомбинации)

Но уже при формировании цветка «включится» и рекомбиназа CRE, и флипаза F_{lp}, что приведёт к изменению структуры ДНК-вставки L_1 . Обозначим вариант вставки, получившийся после рекомбиназы CRE, как L_2 (см. рис. 3 из ответа Б), а вариант после двух рекомбинаций – как L_3 (рис. 4).

Заметим, что в пестиках «включается» только рекомбиназа CRE, и все женские гаметы будут нести вставку в форме L_2 .

Генотипы женских гамет: $\frac{1}{4} L_2R$ $\frac{1}{4} L_2r$ $\frac{1}{4} l_0R$ $\frac{1}{4} l_0r$

В тычинках «работает» как CRE, так и F_{lp}, поэтому при формировании мужских гамет в них будет содержаться вставка в форме L_3 .

Генотипы мужских гамет: $\frac{1}{4} L_3R$ $\frac{1}{4} L_3r$ $\frac{1}{4} l_0R$ $\frac{1}{4} l_0r$

Генотипы зигот сразу после образования

(1 балл за расщепление во втором поколении без учета рекомбинации):

	$\frac{1}{4} L_3R$	$\frac{1}{4} L_3r$	$\frac{1}{4} l_0R$	$\frac{1}{4} l_0r$
$\frac{1}{4} L_2R$	$L_2L_3 RR$	$L_2L_3 Rr$	$L_2l_0 RR$	$L_2l_0 Rr$
$\frac{1}{4} L_2r$	$L_2L_3 Rr$	$L_2L_3 rr$	$L_2l_0 Rr$	$L_2l_0 rr$
$\frac{1}{4} l_0R$	$L_3l_0 RR$	$L_3l_0 Rr$	$l_0l_0 RR$	$l_0l_0 Rr$
$\frac{1}{4} l_0r$	$L_3l_0 Rr$	$L_3l_0 rr$	$l_0l_0 Rr$	$l_0l_0 rr$

Жёлтой заливкой показаны генотипы, в которых не присутствует вставка с рекомбиназами, поэтому генотипы изменяться не будут. Красными точечными рамками показаны генотипы, в которых нет вставки с флуоресцентными белками. В этом случае рекомбинации также не будет. У этих $\frac{1}{4}$ растений с генотипом l_0l_0 свечения не будет ни в одном из органов.

У $\frac{3}{16}$ растений с генотипами $L_2l_0 rr$ и $L_3l_0 rr$ будет свечение и пестиков, и тычинок жёлтым светом. **(1 балл за указание фенотипов)**

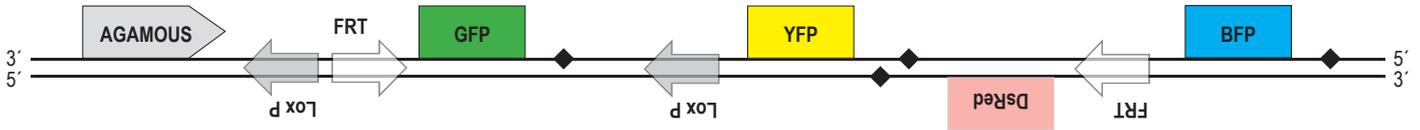
У $\frac{3}{16}$ растений с генотипом $L_3l_0 Rr$ рекомбинация не будет происходить по другой причине: у вставки L_3 осталось всего по одной последовательности LoxP и FRT, а для рекомбинации нужно две одинаковые последовательности. Пестики и тычинки также светятся жёлтым светом.

У $\frac{6}{16}$ растений с генотипами L_2R на поздних этапах образования зародыша произойдёт рекомбинация по сайтам LoxP. Вставка перейдёт обратно в форму L_1 , которая будет давать

красное свечение пестиков.

Наиболее сложно установить фенотип тычинок. Там начинает работу флиппаза Flp. Если она успеет подействовать на L_2 раньше, чем CRE, то в тычинках вставка перейдёт в форму L_3 , и они будут светиться жёлтым.

Но если сначала L_2 перейдёт в L_1 под действием CRE, то после этого флиппаза «перевернёт» участок между FRT так, что под промотором окажется ген GFP , и тычинки будут светиться зелёным!



(3 балла за анализ рекомбинации и активности генов у потомков F2)

Ответ: среди потомков второго поколения $1/4$ растений не будут светиться вообще, у $6/16$ растений и пестики, и тычинки будут светиться жёлтым светом, а у оставшихся $6/16$ растений пестики будут светиться красным, тогда как свечение тычинок может быть либо жёлтым, либо зелёным (оба ответа правильные).