

**Ответы на вопросы второго этапа Всероссийской олимпиады школьников "Высшая проба" по биологии, 11 класс, 2020 г.****Максимальное количество баллов — 100.****Задание №1 (12 баллов). Эксперимент.**

*Внимательно прочитайте текст задания. Найдите ошибки, допущенные при постановке эксперимента и интерпретации результатов. Перечислите их и объясните, почему Вы считаете, что это ошибки. Для каждой ошибки объясните, как нужно было действовать Кате, чтобы получить достоверный ответ на поставленный вопрос.*

Девочка Катя решила определить, насколько сильно загрязняет воздух автозаправочная станция, недавно построенная недалеко от школы. Катя прочитала, что один из самых простых, но информативных методов - это оценка уровня флуктуирующей асимметрии листьев, то есть, определение уровня загрязнения по тому, насколько несимметричными развиваются листья различных растений.

Катя решила использовать листья берёзы, потому что они выглядят достаточно симметричными. Однако у автозаправки нашёлся только пень от спиленной берёзы, который дал обильную поросль. С неё Катя в мае собрала 50 листьев. В начале сентября Катя обсудила свою работу с учителем биологии, и они вместе решили, что нужно взять контрольные образцы из незагрязнённого местообитания для сравнения. В качестве контроля Катя взяла берёзу в городском сквере, также собрав 50 листьев с её ветвей.

В обоих случаях Катя засушивала листья в книге, а затем проводила измерения линейкой. У каждого листа она отмечала точку, расположенную посередине между кончиком и основанием листовой пластинки. От этой точки Катя измеряла кратчайшие расстояния до правого и левого краёв, обозначив их соответственно П и Л. В качестве показателя асимметрии Катя посчитала модуль разности  $|П-Л|$  и определила среднее значение этого модуля для каждой из двух групп (собранных у заправки и в сквере). Оказалось, что в сквере среднее значение показателя  $|П-Л|$  было больше, чем около заправки. Катя сделала вывод, что автозаправка не сильно загрязняет воздух.

**Ответ и критерии оценки.**

При постановке эксперимента были допущены следующие ошибки:

1. Побеги пнёвой поросли могут сильно отличаться от побегов взрослого дерева, в том числе по размерам и форме листьев. Необходимо было сравнивать или поросль с порослью, или листья, собранные с ветвей, с такими же.
2. Асимметрия может быть результатом не влияния внешних факторов (например, загрязнения), а свойств конкретного индивидуального дерева – к примеру, следствием мутации. Поэтому оценивать асимметрию листа у одной особи некорректно, нужно взять несколько деревьев.
3. Сложно считать, что дерево в городском сквере растёт в благоприятных условиях. Оно может быть подвержено и вытаптыванию, и стрессу от регулярного сбора листьев, и

влиянию загрязнённого городского воздуха. Невозможно однозначно установить, какие внешние факторы влияют на симметрию листьев в этом местообитании. То есть нельзя исключить, что место для сбора контрольных образцов выбрано неудачно: деревья в городском сквере могут быть подвержены повреждающим факторам не меньше и даже больше, чем у автозаправки.

4. Листья на березах были собраны в разное время: в мае, когда формирование листовых пластинок еще не завершено, и в сентябре, когда их рост окончен. Не до конца сформированные листья могут обладать другими показателями асимметрии по сравнению со зрелыми листьями. Необходимо собирать листья после прекращения их роста, одновременно со всех деревьев.

5. Так как листья пневой поросли в принципе крупнее, то и модуль их разницы будет больше. Нужно было не просто посчитать разность, но ещё и внести поправку на размер листа – например, разделить на (П+Л).

6. Следует убедиться в том, что погрешность измерения линейкой меньше, чем оценённая разность. Иными словами, измерения линейкой могут быть недостаточно аккуратными. Цена деления линейки составляет 1 мм. Погрешность измерения равна половине цены деления, т.е. 0,5 мм в данном случае. Иногда это преодолевают, сделав несколько измерений одного и того же листа и взяв среднее значение, или используют для измерений более точные приборы.

7. Некорректны выводы, основанные на результатах вида «в среднем больше» или «в среднем меньше». Необходимо доказать, что разность *достоверна*. Для этого используют различные статистические критерии.

За каждую из версий №1-7 могло быть начислено по 2 б. в случае понятного и грамотного объяснения (всего не более 12 б.). Без объяснения - 1 б. за версию. Например, указано, что нельзя было сравнивать листья, собранные в мае и сентябре, но не объяснено, почему. В случае ошибки при объяснении версии оценка снижалась на 1 б. Например, в качестве аргументации недопустимости сравнения майских и сентябрьских листьев в одной из работ было написано, что листья к сентябрю уменьшаются в размерах.

Еще три разумных соображения оценивали по 1б. каждое:

- заправка находится рядом с автомобильными дорогами, а потому в данной постановке эксперимента невозможно вычлнить вклад именно заправки (1 б.).

- Катя не определяла березу до вида, поэтому вполне можно предположить, что березы у заправки и в парке принадлежали к разным видам, которые могли давать разную реакцию на загрязнение, и потому их сравнение было некорректным (1 б.).

- Катин эксперимент не был слепым, то есть она знала, в каких условиях росли собранные листья и потому могла неосознанно завышать/занижать результаты измерений в нужную сторону. Это известная проблема, и потому, например, в медицинских исследованиях часто используется т.н. «двойной слепой метод», когда и добровольцы-испытуемые, и

непосредственные исполнители не знают деталей эксперимента. Это позволяет исключить фактор субъективности (1 б.).

**Это исчерпывающий список правильных ответов, которые приведены в работах всех участников. Все остальные варианты ответов не засчитывались и не будут засчитаны в случае апелляции.**

Общее замечание: в каждом случае важно было объяснять свое решение именно в терминах эксперимента: например, ответы вида «на деревья могли влиять и другие факторы окружающей среды, не только заправка» вполне верны сами по себе, однако они никак не соотнесены с ответом на вопрос и ничего не говорят о том, как следовало грамотно провести эксперимент, и потому не могли быть зачтены.

Безусловно, Катин эксперимент можно было совершенствовать, однако такие соображения не засчитывались, поскольку в вопросе речь шла именно об ошибках. Более того, в вопросе использована реально существующая методика, на самом деле применяемая в школьных работах. Понятно, что школьная работа должна быть грамотно выполнена, однако к ней нельзя предъявлять такие же требования, как к лаборатории мониторинга загрязнений окружающей среды. Поэтому не засчитывались и не будут удовлетворены в случае апелляции соображения о том, что помимо березы следовало взять другие виды: деревья, травы, лишайники и проч.; что следовало взять большее число листьев и измерять их по большему и/или иному числу параметров; что следовало провести исследования на нескольких заправках, скверах и чистых лесах или провести химический анализ воздуха и т.д.

Наиболее часто встречающиеся примеры несущественных и/или неверных версий (они не засчитывались и не будут засчитаны): - автозаправка построена недавно: понятно, что собирать листья через несколько дней после постройки заправки ни один разумный экспериментатор не станет; - листья пневой поросли находились ниже, чем листья на дереве: выхлопы подвержены эффективной конвекции в приземном слое воздуха; - пневая поросль моложе взрослой березы; - листья при засушивании меняют форму: на самом деле листья очень хорошо сохраняются, и для поставленных в эксперименте задач данный способ вполне приемлем.

## **Задание №2 (11 баллов). Расчетная задача.**

*Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия.*

Белки выполняют широчайший спектр функций и имеют различную локализацию в клетке. Одни находятся целиком в цитоплазме, другие частично связаны с мембранами или полностью пронизывают их, иногда многократно. К последнему типу относится примерно 27% всех белков человека. Это разнообразные рецепторы, ферменты и транспортеры. Примером транспортеров могут служить потенциал-зависимые калиевые каналы в мембране. Они осуществляют транспортировку ионов калия, участвуя таким образом в проведении нервного импульса. Одна из разновидностей калиевых каналов сформирована четырьмя молекулами белка KCNQ1. Одна молекула белка KCNQ1 имеет 6 альфа-спиральных участков, каждый из которых пересекает мембрану насквозь, перпендикулярно плоскости мембраны. Молекулярная масса KCNQ1 составляет 74,7 кДа. Вычислите долю аминокислотных остатков белка KCNQ1, участвующих в формировании трансмембранных участков альфа-спиралей. Ответ выразите в процентах.

*Справочная информация:* альфа-спираль имеет шаг 5,4 ангстрем и содержит 3,6 аминокислотных остатка на виток. Толщина мембраны составляет 7 нм. Средняя масса аминокислотного остатка в белке составляет 110 Да, 1 ангстрем = 0,1 нм =  $10^{-10}$  м.

### Решение

1. Приведем данные к одной размерности:  $5,4 \text{ \AA} = 0,54 \text{ нм}$  (или  $7 \text{ нм} = 70 \text{ \AA}$ ).
2.  $7 \text{ нм} / 0,54 \text{ нм} = 12,96$  ( $\sim 13$ ) витков спирали находятся полностью в мембране. Округление результатов на любом этапе решения не влияет на оценку.
3.  $12,96 * 3,6 = 46,66$ . В случае округления в предыдущем действии:  $13 * 3,6 = 47$  аминокислот в одном трансмембранном участке альфа-спирали.
4.  $46,66 * 6 = 279,9$  или, округляя,  $47 * 6 = 282$  аминокислотных остатка в 6 альфа-спиралях расположены в мембране.
5.  $282 * 110 = 31020$  Да - масса трансмембранных участков белка
6.  $31020 / 74700 = 41,5 \%$

**Ответ:** доля аминокислотных остатков белка KCNQ1, участвующих в формировании трансмембранных участков альфа-спиралей, составляет 41,5 %.

### Критерий оценки:

1. За правильный перевод размерностей ( $7 \text{ нм} = 70 \text{ \AA}$  или  $5,4 \text{ \AA} = 0,54 \text{ нм}$ ) 1 б.
- 2-6. По 2 б. за последующие правильные действия (например, приведенные в решении) и полученный правильный ответ. Если промежуточный ответ неверный, то дальнейшие вычисления не оцениваются.

### Задание №3 (11 баллов). Расчетная задача.

*Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия.*

Окраска оперения у сизых голубей определяется одним геном, локализованным в уникальной части Z-хромосомы. Его доминантный аллель (назовём его  $Z^A$ ) определяет серую окраску, рецессивный ( $Z^a$ ) – коричневую. Гетерозиготы имеют серую окраску.

Половой диморфизм у голубей выражен слабо, поэтому визуально отличить самцов от самок сложно. Исследователи провели подсчёт голубей в городе N, всего насчитав 1017 особей обоего пола. Основная часть голубей – 961 птица – имели серую окраску. Предполагая, что популяция голубей города N. находится в состоянии генетического равновесия, определите доли (в процентах) самцов и самок разной окраски в описанной выборке.

### Решение

В условии сказано, что популяция находится в состоянии равновесия. Это значит, что для решения мы можем воспользоваться законом Харди-Вайнберга. Однако

необходимо сделать поправку на то, что ген сцеплен с Z-хромосомой. Напомним, что у птиц гетерогаметный пол – женский.

Обозначим частоту аллеля  $Z^A$  как  $p$ , а частоту аллеля  $Z^a$  как  $q$ ;  $p + q = 1$ . У самцов могут образовываться сперматозоиды с генотипами  $Z^A$  (с частотой  $p$ ) и  $Z^a$  (с частотой  $q$ ). У самок половина (0,5) всех яйцеклеток несут W-хромосому. Вторая половина яйцеклеток несёт Z-хромосому, и среди них есть несущие аллель  $Z^A$  (с частотой  $0,5p$ ) и  $Z^a$  (с частотой  $0,5q$ ). Запишем все возможные слияния гамет в этой популяции в виде таблицы.

сперматозоиды яйцеклетки	$Z^A (p)$	$Z^a (q)$
W (0,5)	$Z^AW (0,5p)$ серые самки	$Z^aW (0,5q)$ коричневые самки
$Z^A (0,5p)$	$Z^AZ^A (0,5p^2)$ серые самцы	$Z^AZ^a (0,5pq)$ серые самцы
$Z^a (0,5q)$	$Z^AZ^a (0,5pq)$ серые самцы	$Z^aZ^a (0,5q^2)$ коричневые самцы

Таким образом, ожидаемая частота появления серых голубей обоего пола составляет  $0,5p^2 + pq + 0,5p$ . Всего их было 961 из 1017.

Аналогично, частота появления коричневых голубей составит  $0,5q^2 + 0,5q$ . Таких особей было  $1017 - 961 = 56$ . Получаем уравнение:

$$0,5q^2 + 0,5q = 56/1017$$

Решив его, находим  $q = 0,100107$ ; округлим это значение до 0,1 (10%). Второй корень уравнения отрицательный и не имеет биологического смысла.

$$\text{Следовательно, } p = 1 - q = 0,9.$$

На основе этих частот можно найти доли всех фенотипических классов с учётом пола.

$$\text{Серые самцы } (0,5p^2 + pq): \quad 0,5 \cdot (0,9)^2 + 0,9 \cdot 0,1 = 0,495 \text{ (49,5\%)}$$

$$\text{Серые самки } (0,5p): \quad 0,5 \cdot 0,9 = 0,45 \text{ (45\%)}$$

$$\text{Коричневые самцы } (0,5q^2): \quad 0,5 \cdot (0,1)^2 = 0,005 \text{ (0,5\%)}$$

$$\text{Коричневые самки } (0,5q): \quad 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ (5\%)}$$

Сложив доли, получаем 100%. Всё сходится.

### Критерии оценки

2 б. за правильное описание наследования окраски: расположение правильно обозначенных генов на половых хромосомах соответственно наследованию пола у птиц.

2 б. за применение закона Харди-Вайнберга к этой задаче, т.е. правильное обозначение  $p$  и  $q$ , а также подстановка их в уравнение в цифровом виде.

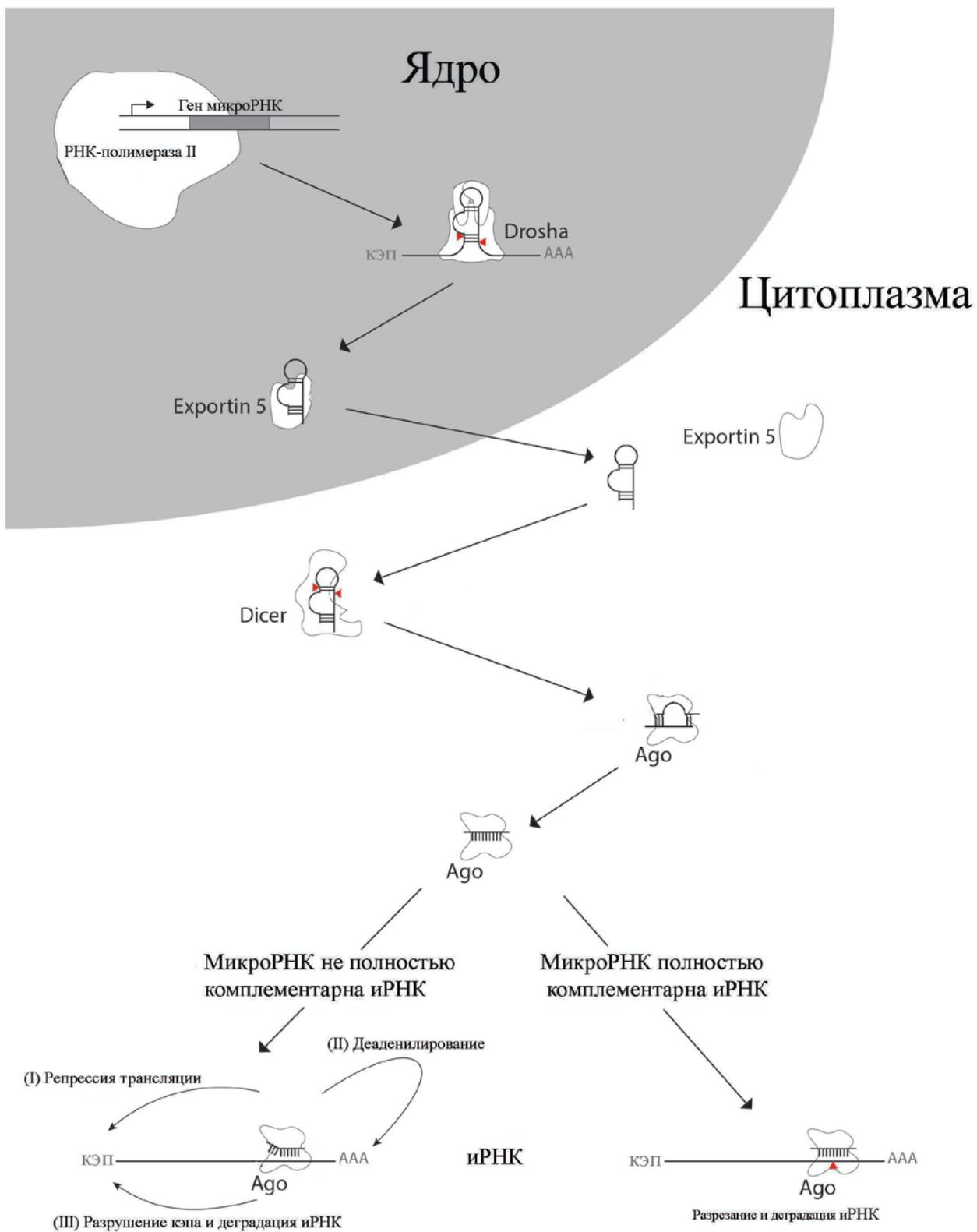
7 б. за доведение расчётов до правильного ответа. Если в ходе решения была допущена арифметическая ошибка, но ход решения был правильным, и были получены хотя бы два правильных итоговых процентных содержания генотипов, то 4 б.

**Задание №4 (15 баллов). Анализ текста.**

*Внимательно прочитайте текст и проанализируйте рисунок. Затем начинайте выполнять задания.*

Не все гены кодируют белок. Продуктами некоторых генов являются только молекулы РНК: например, рРНК и тРНК. Такие РНК получили название «некодирующие РНК» (нкРНК). На самом деле, генов нкРНК очень много: примерно столько же, сколько генов белков, а, возможно, даже больше. Например, в геноме человека содержится около 25 000 генов белков и, вероятно, не меньшее число генов нкРНК. Эти РНК обладают удивительным разнообразием функций. Одним из самых больших классов нкРНК являются т.н. микроРНК. У человека их уже известно около 2000, и продолжают обнаруживаться новые. Это короткие нкРНК длиной 21-22 нуклеотида. Они кодируются в геноме в составе более длинных некодирующих генов-предшественников, а также могут располагаться в интронах генов белков. После транскрипции РНК-полимеразой II участок РНК-предшественника, содержащий микроРНК, образует вторичную структуру длиной примерно 60 нуклеотидов, напоминающую шпильку. Эту шпильку (ее называют пре-микроРНК) узнает и вырезает ядерный белок Drosha. Затем пре-микроРНК с помощью белка Exportin 5 транспортируется из ядра в цитоплазму, где ее узнает белок Dicer, который обрезает ее с другой стороны. Образовавшийся короткий 21-22 н. дуплекс присоединяется к белку с красивым названием Аргонавт (Ago), после чего одна из цепей разрушается, а вторая - зрелая микроРНК - остается в комплексе с Ago. МикроРНК в составе этого комплекса может узнавать комплементарные участки иРНК и связываться с ними. В случае, если комплементарность между микроРНК и иРНК полная, белок Ago разрезает иРНК. Таким образом, синтез белка с этой иРНК прекращается, а микроРНК-Ago могут ассоциировать с новой иРНК, разрезая и ее: цикл повторяется вновь и вновь. Однако у животных почти всегда комплементарность между микроРНК и иРНК неполная. В этом случае белок Ago не способен разрезать иРНК, но с ним связываются белки, осуществляющие угнетение трансляции и последующую деградацию иРНК, которая происходит намного менее эффективно, чем в первом случае (см. рисунок). Таким образом регулируется не менее 2/3 всех генов белков человека. То есть для большей части белков у клетки есть своего рода цифровой ключ, с помощью которого можно индивидуально регулировать интенсивность синтеза каждого белка.

За открытие этого механизма, получившего название РНК-интерференция, ученым Крейгу Меллоу и Эндрю Файру в 2006 г. была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине. Это открытие произвело настоящую революцию в понимании регуляции работы генов и в методах изучения клетки. Были разработаны и в настоящее время широко используются т.н. сиРНК (siRNAs, small interfering RNAs – малые интерферирующие РНК) – РНК размером 22 нуклеотида, полностью комплементарные фрагменту выбранного гена. При добавлении в клетку они образуют комплекс с белком Ago, связываются с иРНК-мишенью, которая затем разрезается белком Ago. Один такой комплекс Ago-сиРНК может разрезать много иРНК, что эффективно подавляет трансляцию иРНК выбранного гена. Теперь у ученых есть очень тонкий инструмент, позволяющий изучать функции отдельных белков в клетке.



**Задания**

Для ответа на задания используйте материал прочитанного текста. В каждом задании содержится не менее одного верного утверждения. Вам нужно выбрать все верные утверждения. Запишите их в таблицу к вопросу №4 в бланке ответов.

**1. Выберите варианты, верно описывающие последовательность событий, происходящих в ходе созревания микроРНК.**

А. Транскрипция гена микроРНК РНК-полимеразой II - транспорт пре-микроРНК в цитоплазму с помощью белка Exportin 5 - вырезание пре-микроРНК белком Drosha - разрезание Dicer - ассоциация микроРНК-дуплекса с белком семейства Ago - разрушение одной цепи дуплекса - комплементарное взаимодействие связанной с Ago зрелой микроРНК с иРНК-мишенью - репрессия трансляции иРНК - разрушение поли(А)-последовательности на 3'-конце иРНК - разрушение кэпа и деградация иРНК

Б. Транскрипция гена микроРНК РНК-полимеразой II - вырезание пре-микроРНК белком Drosha - транспорт пре-микроРНК в цитоплазму с помощью белка Exportin 5 - разрезание Dicer - ассоциация микроРНК-дуплекса с белком семейства Ago - разрушение одной цепи дуплекса - комплементарное взаимодействие связанной с Ago зрелой микроРНК с иРНК-мишенью - репрессия трансляции иРНК - разрушение поли(А)-последовательности на 3'-конце иРНК - разрушение кэпа и деградация иРНК

В. Транскрипция гена микроРНК РНК-полимеразой II - вырезание пре-микроРНК белком Drosha - разрезание Dicer - комплементарное взаимодействие связанной с Ago зрелой микроРНК с иРНК-мишенью - ассоциация микроРНК-дуплекса с белком семейства Ago - репрессия трансляции иРНК - разрушение поли(А)-последовательности на 3'-конце иРНК и деградация иРНК

Г. Транскрипция гена микроРНК РНК-полимеразой II - вырезание пре-микроРНК белком Drosha - разрезание Dicer - ассоциация микроРНК-дуплекса с белком семейства Ago - комплементарное взаимодействие иРНК-мишени с комплексом одноцепочечная микроРНК-Ago - репрессия трансляции иРНК - деградация иРНК

Д. Транскрипция гена микроРНК РНК-полимеразой II - вырезание пре-микроРНК белком Drosha - транспорт пре-микроРНК в цитоплазму с помощью белка Exportin 5 - разрезание Dicer - ассоциация микроРНК-дуплекса с белком семейства Ago - разрушение одной цепи дуплекса - комплементарное взаимодействие связанной с Ago зрелой микроРНК с иРНК-мишенью - разрушение поли(А)-последовательности на 3'-конце иРНК - репрессия трансляции иРНК - разрушение кэпа и деградация иРНК

**2. В отличие от микроРНК, сиРНК для успешного функционирования не нужно взаимодействовать с:**

А. Exportin 5

Б. Dicer

В. Ago

Д. Drosha

Г. иРНК

**3. У вас есть фрагмент гена, к которому вы хотите подобрать сиРНК: 5'AGCCSTAGTGGGATCCAGTTTCGGA 3' (в соответствии с общепринятыми правилами последовательность гена приведена в направлении от 5'-конца к 3'-концу). Выберите из приведенных ниже все правильные последовательности сиРНК.**

- А. 5' CGGGAUCACCCUAGGUCAAAGC 3'
- Б. 5' UCCGAAACUGGAUCCCACUAGG 3'
- В. 5' CGAAACUGGAUCCCACUAGGGC 3'
- Г. 5' GAAACTGGATCCCAC TAGGGCT 3'
- Д. 5' CCGAAACUGGAGCCCACUUGGG 3'

**4. Известно, что при введении в клетку сиРНК уменьшается не только синтез белка с иРНК-мишени, но и изменяется интенсивность синтеза десятков других белков (и увеличивается, и уменьшается). С чем это связано?**

- А. СиРНК связываются с Dicer, так как очень похожи на его естественные субстраты. В результате клеточные микроРНК не могут взаимодействовать с Dicer, что приводит к нарушению их нормального созревания и функции.
- Б. СиРНК конкурируют с клеточными микроРНК за связывание с белками Ago. В результате часть клеточных микроРНК оказывается не связанными с Ago и не может функционировать.
- В. СиРНК могут иметь частичную комплементарность с нецелевыми иРНК. В этом случае они будут функционировать как микроРНК, подавляя трансляцию нецелевых иРНК.

**5. Онкологические заболевания (рак) - это заболевания, связанные с неконтролируемым делением и ростом клеток и выключением механизмов гибели мутировавших клеток. Известно, что мутации в микроРНК могут приводить к развитию онкологических заболеваний. Мутации в каких из перечисленных микроРНК могут повышать риск развития онкологических заболеваний? Выберите наиболее подходящие ответы.**

- А. МикроРНК, комплементарная иРНК гена, подавляющего апоптоз (программируемую клеточную смерть).
- Б. МикроРНК, комплементарная мРНК гена, участвующего в запуске М-фазы клеточного цикла.
- В. МикроРНК, комплементарная иРНК гена, временно блокирующего S-фазу клеточного цикла в случае обнаружения повреждений ДНК.

**Ответ**

№1. Б, Г.

№2. А, Б, Д.

№3. Б, В.

№4. Б, В

№ 5. А, Б

### Критерий оценки.

Оцениваются только полностью правильно выполненные задания. №1-№5 3 б. за задание.

**ВАЖНО! В ответах к заданиям №5-№7 приведен исчерпывающий список правильных ответов: включены все правильные ответы, приведенные в работах всех участников. Все остальные варианты ответов не засчитывались и не будут засчитаны в случае апелляции.**

**Задание №5 (15 баллов)** Для паразитических животных характерны дегенерация различных органов и наличие приспособлений к жизни в организме хозяина. Помимо паразитических животных, известно огромное число патогенных микроорганизмов. А что может исчезнуть или упроститься в связи с паразитизмом у них, и какие адаптации к паразитизму у них есть?

### Ответ:

Прежде всего определим, что такое микроорганизмы. Это не видимые невооруженным глазом одноклеточные (за редчайшими исключениями) бактерии, археи и эукариоты. К микроорганизмам обычно не относят вирусов, и в контексте нашего вопроса речь о них точно не идет.

В отличие от многоклеточных, у микроорганизмов в общем очень мало возможностей упрощать строение тела: они уже и так состоят всего из одной клетки. Поэтому дегенерация затрагивает, в основном, биохимические процессы. Приведем несколько примеров:

1. У многих патогенных микробов исчезли реакции синтеза различных веществ: например, некоторых аминокислот, витаминов, азотистых оснований и факторов роста. Эти вещества они получают из организма хозяина.
2. Еще один путь дегенерации - это упрощение кислородного дыхания. Например, у микоплазм отсутствует полный цикл Кребса и укорочены цепи переноса электронов. Дефицит АТФ они компенсируют наличием ферментов, с помощью которых получают нужные соединения из клеток хозяина. У хламидий полностью редуцирован собственный синтез АТФ, они получают ее из клеток хозяина и поэтому вообще не способны расти на питательных средах.
3. Наконец, дегенерацию могут претерпевать целые органеллы. Так, у паразитических водорослей может происходить утрата полноценно развитых хлоропластов.

Адаптации микроорганизмов к паразитическому образу жизни весьма разнообразны:

1. Слизистые капсулы для защиты от агрессивной среды (кишечник хозяина) или иммунной системы, распознающей специфические компоненты клеточной стенки бактерий.
2. Образование форм с дефектом или даже отсутствием клеточной стенки. Это также маскировка от иммунной системы хозяина.
3. Антигенная мимикрия. Это «молекулярная маскировка», ускользание патогена от распознавания иммунной системой путем образования на своей поверхности компонентов, сходных с поверхностными веществами клеток хозяина.
4. Образование клеточных форм и спор, устойчивых к среде вне организма хозяина для распространения, а также для заражения новых организмов после смерти прежнего.
5. Отсутствие запасов питательных веществ, поскольку в организме хозяина их избыток.
6. Избирательная адгезия, т.е. опознавание клеток организма, наиболее благоприятных для паразитирования.
7. Выработка ферментов, разрушающих ткани организма-хозяина для продвижения и более эффективного питания патогенного микроорганизма.
8. Выработка токсинов, нарушающих нормальное функционирование и поведение организма-хозяина.
9. Выработка ферментов, которые разрушают защитные белки хозяина (например, лизоцим и интерферон хозяина).
10. Активное противодействие иммунной системе организма: сбой системы активации лимфоцитов, нарушение различных этапов фагоцитоза и внутриклеточного переваривания макрофагами.
11. Формирование лекарственной устойчивости к антибиотикам и другим противомикробным средствам.
12. Активный обмен плазмидами, несущими полезные для выживания паразитов гены. Иногда у одного микроорганизма оказывается целая «коллекция» генов устойчивости к разным антибиотикам – мультирезистентность, причем плазмиды могут передаваться между микроорганизмами разных видов.
13. У некоторых микроорганизмов можно наблюдать многоядерность, способствующую быстрому росту и размножению, поскольку в пищевых ресурсах у паразитов обычно нет ограничения, и клетки могут приобретать огромный размер.
14. Бесполое размножение и упрощенные варианты клеточного деления, часто сопутствующие многоядерности.
15. Образование колоний, более эффективно по сравнению с одиночными клетками разрушающих ткани организма.
16. Уменьшение размеров клетки. Ярким примером служит микоплазма – внутриклеточный паразит.
17. Сложные жизненные циклы для распространения паразитов, как у малярийного плазмодия.
18. Редукция двигательного аппарата или, напротив, появление специальных органоидов для перемещения по более плотным, чем вода, средам организма: например, ундулирующая мембрана у трипаносом.
19. Появление специальных органоидов для прикрепления к клеткам хозяина и транспортировке питательных веществ в клетку паразита. Например, коноид у токсоплазмы или апикальный комплекс у споровиков.

**Критерии оценки:**

2 б. за правильную и понятно изложенную версию, но не более 15 б. за ответ, если число версий превышает 8.

**Задание №6 (18 баллов).** Известно, что у некоторых бабочек присутствует половой диморфизм: самцы окрашены намного ярче самок, вследствие чего более заметны. Такие различия сформировались в результате полового отбора и требуются для привлечения самок: наиболее привлекательные самцы имеют большие шансы оставить потомство. Однако у этого явления есть и обратная сторона: яркоокрашенных бабочек проще заметить хищникам. Предположите, какие адаптации могут выработать самцы таких бабочек, чтобы сохранять яркую окраску, не подвергая при этом свой вид риску чрезмерного выедания хищниками.

**Ответ**

Приведем возможные адаптации и отметим, встречаются ли они на самом деле в природе.

1. Наиболее яркая окраска крыльев проявляется в той области спектра, в которой большинство потенциальных хищников видит плохо. Многие насекомые способны видеть даже жёсткий ультрафиолет, недоступный птицам. Например, УФ-окраска присутствует на крыльях распространённых дневных бабочек — голубянок *Lycaenidae* и желтушек *Coliadinae*.

2. Самцы могут использовать контрастную расчленяющую окраску, которая позволяет привлечь самок, но плохо воспринимается хищниками. Рисунок из чередующихся тёмных и светлых контрастных полос имеется у многих дневных бабочек, например, у представителей рода *Heliconius*.

3. Если потенциальные хищники, полагающиеся на зрение, дневные, можно развить хорошее ночное или сумеречное зрение и демонстрировать яркую окраску крыльев в тёмное время суток. Однако на самом деле половой диморфизм в окраске крыльев менее характерен для бабочек, ведущих ночной образ жизни, и особенно редок среди молевидных чешуекрылых (*Microlepidoptera*).

4. Яркая окраска присутствует на верхней стороне крыльев, в то время как на нижней (испода) — покровительственная. Таким образом, самцы подвергаются опасности только во время полёта. Такая стратегия используется многими дневными бабочками (безотносительно пола) — в первую очередь именно для них характерна поза покоя с демонстрацией испода вместо верхней стороны.

5. Самцы могут использовать оптическую окраску, которая будет проявляться только в определённые моменты времени, когда свет падает под нужным углом. Таким образом также снижается время, при котором бабочка предстаёт перед хищниками яркой и заметной. Интенсивная оптическая окраска действительно встречается у многих переливниц (*Apaturinae*) и морфид (*Morphinae*), причём только у самцов.

6. Вид бабочек с таким половым диморфизмом может быть ядовит или иметь противный запах, и яркая окраска самцов в этом случае является одновременно и предупреждающей. Следует отметить, что у таких видов половой диморфизм часто может

быть не выражен — ведь самки тоже будут ядовиты и им также будет полезна яркая предупреждающая окраска.

7. Данный вид не ядовит, но самцы мимикрируют под другой вид ядовитых бабочек, поэтому их тоже не трогают. Хорошо известен пример с бабочками белянками из рода *Leptalis*, по окраске сходными с ядовитыми бабочками из семейства Nymphalidae.

8. Элементы отпугивающей окраски — например, крупные яркоокрашенные «глазки» — могли бы использоваться одновременно для отпугивания хищников и привлечения самок. На самом деле если у вида бабочек имеются глазки для отпугивания хищников, то обычно и у самцов, и у самок.

9. В потомстве этих бабочек может всегда появляться больше самцов, чем самок, компенсируя чрезмерное внимание хищников к самцам. На самом деле дисбаланса в сторону того или иного пола у видов с половым диморфизмом обычно не наблюдается.

10. Также может быть ускорено время полового созревания самцов, так чтобы вылетевший из куколки самец максимально быстро был бы готов к спариванию.

11. Половой диморфизм у бабочек в природе часто подразумевает наличие не только разной окраски, но и формы крыльев. Поэтому самцы могут обладать более аэродинамически совершенными крыльями, что позволяет им быстрее летать и успешнее избегать хищников. Разной формой крыльев обладают самцы и самки крупнейших в мире парусников из рода *Ornithoptera* с ярко выраженным половым диморфизмом, а также самые крупные африканские парусники *Papilio antimachus* без полового диморфизма в окраске.

12. Время лёта имаго в условиях умеренного климата смещается в раннюю весну или позднюю осень, когда значительная часть перелётных насекомоядных птиц ещё в тропиках. Некоторые раннеосенние или поздневесенние виды и впрямь яркоокрашены, однако у них половой диморфизм часто заходит ещё дальше, и у самок крылья просто редуцируются. У самок павлиноглазки *Saturnia pavonia*, летающей на рубеже апреля и мая, передние и задние крылья серо-белые с крупным глазком в центре каждого, а у самцов задние крылья ярко-жёлтые. У других видов с яркой окраской (весенницы Archiearinae) половой диморфизм может почти отсутствовать.

13. Яркая окраска самцов может совпадать с некоторыми яркими элементами окружающей среды (например, цветами), однако версия «яркая окраска может быть покровительственной» не считается правильной, поскольку среда обитания бабочек не может быть яркой повсеместно.

14. Массовый вылет большой группой также может способствовать сохранению числа ярко-окрашенных особей.

15. Размер самцов может уменьшиться, что приведет к тому, что хищники будут их замечать реже.

16. Бабочки могут прятаться в зарослях, где будут менее доступны для хищников. Однако нужно учесть, что эта стратегия должна быть сбалансирована либо совместным вылетом в определенное время или также включаться и у самок, иначе прячущиеся самцы рискуют вообще не попасться на глаза самкам и не оставить потомства.

17. Миграция на время размножения. Однако нужно учитывать, что версия «изменение места обитания: т.е. миграция туда, где нет хищников» не является верной, поскольку

сложно представить себе такое место обитания, где могут жить бабочки и уже не живут хищники.

Отдельно хотелось бы отметить неправильные версии, часто встречающиеся в ответах.

«Изменение цвета в течение жизни самца на более яркий». Бабочки не могут изменять цвет, поскольку чешуйки на их крыльях не обновляются, и нет механизмов транспорта пигмента в уже готовые крылья.

«Можно шевелить чешуйками, укладывая их в яркий рисунок или, наоборот, в более тусклый» У бабочек отсутствует такая возможность, по крайней мере, в достаточно развитом для реализации этой версии виде.

«Вооружение самцов - колючками, шипами, челюстями и т.д.» Это приведет к утяжелению самцов, снижая маневренность при полете, что облегчит хищникам их ловлю (а выступающие колючки они просто не станут есть).

«Принципиальное улучшение слуха или зрения у самцов». Эта версия неверна потому, что сенсорные системы не могут принципиально отличаться в рамках одного вида.

### **Критерии оценки:**

2 б. за правильную и понятно объясненную версию из приведенных выше (№1-17), но не более 18 баллов за ответ.

**Задание №7 (18 баллов).** Группа студентов провела два месяца летней практики на биостанции за пределами города. Все студенты жили в одном и том же доме, питались в столовой, посещали одни и те же занятия. После возвращения с практики обнаружилось, что у одного из студентов авитаминоз, а у другого – гипервитаминоз, причем по одному и тому же витамину. С чем это может быть связано?

### **Ответ:**

Возможно очень много причин необычно высокого или низкого содержания витаминов в организме. Попробуем их систематизировать.

Первую группу составляют причины, связанные с поступлением витаминов в организм извне.

1. Один из студентов в дополнение к ежедневной диете может принимать препараты, содержащие витамины. Это может вызывать гипервитаминоз.

2. Поскольку студенты жили летом на биостанции, то некоторые из них могли употреблять дикорастущие ягоды и плоды, содержащие большое количество витаминов.

3. Напротив, один из студентов мог принимать лекарство с антивитаминым действием.

4. Один из студентов может не употреблять пищу из столовой в полном объеме, избегая каких-то продуктов (быть вегетарианцем, не любить салаты и апельсины,

страдать от аллергии к какому-то продукту и пр.) или в целом употреблять недостаточное количество еды. Обратите внимание, что версии «плохое приготовление пищи в столовой» и «исходно несбалансированная столовая еда» не являются правильным ответом, поскольку реакция студентов была диаметрально противоположной.

5. Некоторые витамины (например, группа В) синтезируются микрофлорой кишечника. При дисбактериозе эта функция может быть нарушена. Назвать эту причину связанной с поступлением извне сложно, но она так или иначе относится к тому, насколько эффективно витамины попадают в организм.

6. Витамин D синтезируется при воздействии на кожу ультрафиолетового излучения. Если один из студентов загорал, а второй избегал интенсивного света, содержание этого витамина у них может быть различным. Обратите внимание, что «разное местоположение стола\кровати\парты студентов в помещении» не является правильным ответом, поскольку в помещении в любом случае уровень УФ-излучения слишком низок для выработки витамина D (оконное стекло не пропускает УФ).

7. Эти критические различия количества витамина могли быть в организмах студентов и ДО практики.

Во вторую группу входят причины, связанные с нормальным поступлением в организм витаминов, но неполным их усвоением.

1. При нарушениях работы различных отделов пищеварительной системы может ухудшаться усвоение витаминов, в том числе гастрит, язва желудка, диарея.

2. Кишечные паразиты (например, гельминты) или патогенная микрофлора могут вызывать недостаток витаминов, поглощая витамины, поступившие с пищей.

3. Существуют врождённые (в том числе генетические) заболевания, при которых нарушаются различные этапы метаболизма витаминов (нарушение всасывания, транспорта и т.д.). При некоторых из этих заболеваний удаётся компенсировать недостаток введением витаминсодержащих препаратов, в других случаях это не помогает. Например, рахит может быть витамин D-зависимым или витамин D-резистентным. Обратите внимание, что версия «генетическая предрасположенность к авитаминозу» и «нарушение гуморальной регуляции» не являются правильными без указания возможных механизмов возникновения недостатка витамина.

4. Употребление алкоголя и сильные стрессы также могут приводить к опосредованному нарушению поступления витаминов в организм.

Причиной нарушения может быть особое состояние организма, когда потребность в том или ином витамине гораздо выше или ниже, чем его содержится в ежедневном рационе.

1. Потребность в витаминах значительно повышается при беременности или восстановлении после тяжелой травмы. Также кто-то из студентов мог переживать ростовой рывок. Обратите внимание, что версия «разная суточная потребность» без объяснений причин возникновения этой разности не является правильной.

2. Один из студентов может вести намного более активный образ жизни и иметь существенно большую физическую нагрузку – например, заниматься спортом.
3. При инфекционных заболеваниях потребность в витаминах также может быть более высокой.

**Критерии оценки:**

2 б. за правильную и понятно объясненную версию, но не более 18 баллов за ответ.