

# Ломоносов-2020

## 10–11 класс

### Подходы к решению задания отборочного тура

Задание было скомпоновано по основным разделам биологии: ботанике, зоологии, физиологии человека и животных, цитологии и биохимии, экологии, генетике. Вопросы для каждого из участников подбираются индивидуально – случайным образом из общей базы данных. Поскольку база данных достаточно обширна, опубликовать все варианты правильных ответов мы не можем. Поэтому будут приведены ответы на некоторые случайно выбранные вопросы.

#### БОТАНИКА

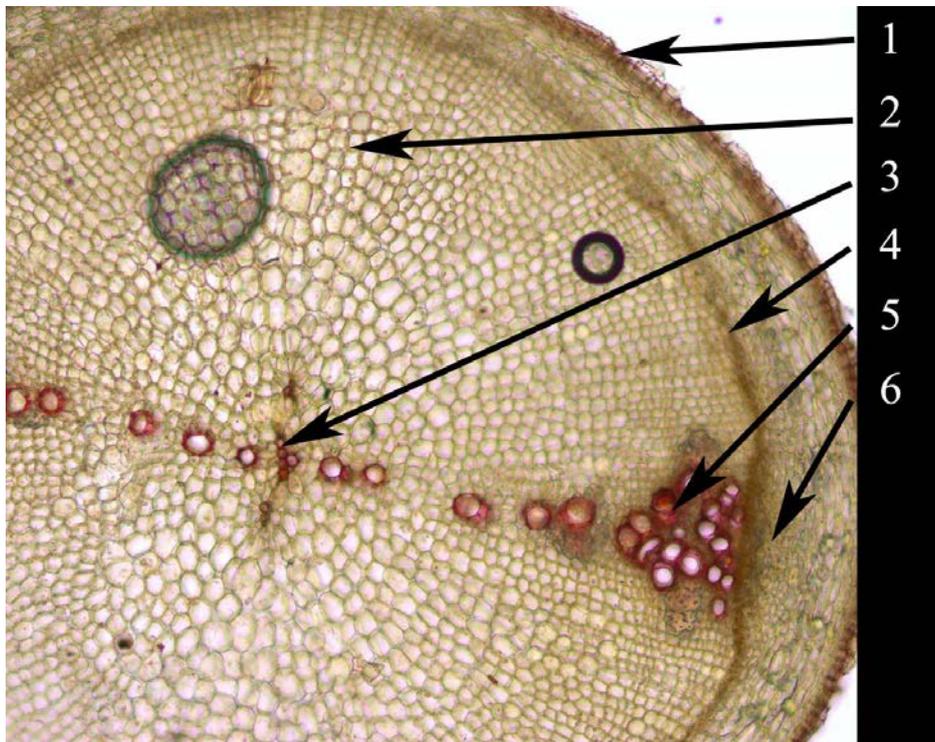
**Тест (1 балл)** Какие растения в XVI в. прислал в Европу австрийский посланник О. Бусбек из Стамбула?



- a. георгины, многолетние астры, саженцы персиков
- b. канны, подснежники, азалии
- c. тюльпаны, гиацинты, сирень**
- d. нарциссы, гладиолусы, жимолость-каприфоль

**Тест «Анатомия растений» (6 ответов по 1 баллу = 6 баллов)**

Какие ткани отмечены цифрами на срезе?



1. Перидерма
2. Паренхима лубдревесинного луча
3. Ксилема первичная
4. Камбий
5. Ксилема вторичная
6. Флоэма вторичная

**Ботаника (ключ) (3 вопроса по 4 балла за каждый вопрос. Всего – 12 баллов)**

**Предварительное пояснение**

Данное задание проверяет навыки пользования справочной литературой в форме ключа. Само задание дано в виде серии высказываний, из которых нужно выбирать правильные и переходить к следующим далее высказываниям. Например, в начале под цифрой 1 даны два утверждения:

1. Цветок зигоморфный...2
- + Цветок актиноморфный ... 10

Цифрой 1 обозначена ступень. В нашем ключе все антитезы обозначены символом +.

Рассматривая фотографию и/или опираясь на сведения из справочной литературы, необходимо выбрать, какое из высказываний больше подходит: теза или антитеза?

Если через цветок можно провести единственную плоскость симметрии, т.е. он зигоморфный (верна теза), то нужно по ссылке переходить к ступени 2. Если через цветок можно провести несколько плоскостей симметрии, т.е. он актиноморфный (верна антитеза), нужно переходить на ступень 10. И в том, и в другом случае под соответствующей цифрой вы найдете тезу и антитезу, нужно будет снова ответить на

вопросы и выбирать. В конце вы получите некоторую **Букву шифра N.** Эту букву нужно выбрать в поле ответа рядом с фотографией.

По ходу определения вам могут встретиться незнакомые термины (например, простой / двойной околоцветник, стилодий, гинецей, гинофор, подчашие, ценокарпный и др.). Чтобы правильно выполнить задание, вы должны самостоятельно выяснить значение этих терминов из любых доступных вам источников информации.

### **Задание**

Перед вами – фотография растения (см. после текста ключа). Фотографии подобраны случайным образом из базы данных, ваше задание индивидуально.

При необходимости рассмотреть детали, вы можете увеличить изображение. Большинство из изображённых растений широко известно, поэтому вы можете также использовать справочные данные об объекте.

Пользуясь определительным ключом, найдите для каждого растения соответствующую букву шифра.

Выберите, какой букве шифра соответствует каждое из растений, представленное на фотографиях.

Допустим, из базы данных было выбрано следующее изображение.



Это растение – Вербейник монетчатый (*Lysimachia nummularia*) Для выполнения задания название растения знать не нужно.

Далее в ключе цветом выделены правильные ответы в тезах и антитезах.

Ответ: **буква шифра Ш.**

### **КЛЮЧ**

1. Цветки собраны в соцветия корзинки ... 2
- + Цветки одиночные или собраны в соцветия другого строения ... 7**
2. Все цветки в корзинке одного типа ... 3
- + В корзинках собраны цветки разных типов ... 4
3. Все цветки трубчатые ... **Буква шифра А.**
- + Все цветки язычковые ... **Буква шифра Б.**
- 4(2). Краевые цветки в корзинке ворончатые ... **Буква шифра В.**
- + Краевые цветки в корзинке язычковые или ложноязычковые ... 5

- 5 Венчик всех цветков соцветия желтого цвета ... Буква шифра Г.  
+. Хотя бы часть цветков имеет белый венчик ... 6
6. Краевые цветки в корзинке язычковые ... Буква шифра Д.  
+. Краевые цветки в корзинке ложноязычковые ... Буква шифра Е.
- 7(2). Околоцветник простой ... Буква шифра Ж.  
+. **Околоцветник двойной ... 8**
8. Цветки зигоморфные ... 9  
+. **Цветки актиноморфные ... 12**
9. Лепестков 5, разного размера и формы, 2 из них срастаются, образуя лодочку ... 10  
+. Лепестков 4, одинакового размера, срастаются при основании в очень короткую трубку венчика ... 11
10. Листья парноперистосложные, заканчиваются усиком ... Буква шифра З.  
+. Листья непарноперистосложные, заканчиваются непарным листочком ... Буква шифра И.
- 11(9). Лепестки от яйцевидной до почти округлой формы, листорасположение супротивное ... Буква шифра К.  
+. Лепестки от овальной до продолговатой формы, листорасположение мутовчатое ... Буква шифра Л.
- 12(8). Тычинок больше чем лепестков ... 13  
+. **Число тычинок равно или меньше, чем число лепестков ... 21**
13. Околоцветник спайнолепестный ... Буква шифра М.  
+. Околоцветник раздельнолепестный ... 14
14. Число тычинок вдвое превышает число лепестков ... 15  
+. Число тычинок многократно превышает число лепестков ... 17
15. Лепестков 3, тычинок 6 ... Буква шифра Н.  
+. Лепестков 5, тычинок 10 ... 16
16. Венчик розового или сиреневого цвета, лепестки цельнокрайние ... Буква шифра О.  
+. Венчик белый, лепестки рассеченные ... Буква шифра П.
- 17(14). Венчик белый ... 18  
+. Венчик желтый ... 19
18. Цветоножки опушенные, чашечка с подчашием ... Буква шифра Р.  
+. Цветоножки голые, подчашие отсутствует ... Буква шифра С.
19. Лепестка 4 ... Буква шифра Т.  
+. Лепестков 5 ... 20
20. Чашечка с подчашием, гинецей апокарпный полимерный ... Буква шифра У.  
+. Чашечка без подчашия, гинецей синкарпный тримерный ... Буква шифра Ф.
- 21(12). Лепестка 4 ... 22  
+. **Лепестков 5 ... 25**
22. Тычинок 4 ... 23  
+. Тычинок 2 ... 24
23. Столбик длиннее тычиночных нитей, рыльце расширенное четырехлопастное, завязь нижняя... Буква шифра Х.  
+. Рыльце и пыльники сидячие, завязь верхняя ... Буква шифра Ц.
- 24(22). Лепестки от яйцевидной до почти округлой формы, листорасположение супротивное ... Буква шифра К.  
+. Лепестки от овальной до продолговатой формы, листорасположение мутовчатое ... Буква шифра Л.
- 25(21). Тычинки превосходят лепестки по длине, венчик белый ... Буква шифра Ч.  
+. **Тычинки короче лепестков, венчик иной окраски ... 26**
- 26. Венчик желтый ... 27**  
+. Венчик голубой или сиреневый ... 28

**27. Листорасположение супротивное, листовая пластинка округлая ... Буква шифра Ш.**

+ Листорасположение мутовчатое, листовая пластинка овальная с острой верхушкой ... Буква шифра Ш.

28(26). Отгибы лепестков от обратнойцевидной до округлой формы ... Буква шифра Э.

+ Отгибы лепестков треугольной формы, заостренные на верхушке ... 29

29. Цветки одиночные или в рыхлом соцветии ... Буква шифра Ю.

+ Цветки собраны в плотное соцветие на верхушке побега ... Буква шифра Я.

## ЗООЛОГИЯ

### Зоология позвоночных, ключ (3 задания по 4 балла. **Всего – 12 баллов**)

#### **Задание**

Задание по зоологии похоже по принципу построения на задание по ботанике. Вам необходимо правильно ответить на вопросы в определительном ключе (выбрать соответствующие тезы или антитезы).

Вам предложены фотографии различных видов амфибий, обитающих на территории России. Расположите животных в соответствующих местах определительного ключа, подставив нужную букву шифра (букву с фотографии). Имейте в виду, что не все признаки, используемые в ключе, должны быть связаны с внешностью животного на фотографии, но они являются характерными особенностями биологии этого вида.

Допустим, из базы данных была выбрана следующая фотография.



Это – Прудовая лягушка (*Rana esculenta lessonae*). Для выполнения задания знать название животного не обязательно. Далее в ключе цветом выделены правильные ответы в тезах и антитезах.

Ответ: буква шифра Ж.

## **КЛЮЧ**

1. Хвост есть ... 2.

**+ Хвоста нет ... 4.**

2. Костальные бороздки хорошо выражены .... **Буква шифра Е.**

+ Костальные бороздки отсутствуют ... 3.

3(2). Окраска спины вне периода размножения коричневатых оттенков. В период размножения у самцов в окраске хорошо выражена пятнистость, а через глаз проходит продольная тёмная полоса. Брюхо жёлтоватое или оранжевое, с мелкими тёмными пятнами. Кожа почти гладкая. В период размножения самцы несут на спине изрезанный только по краю гребень, спинной гребень плавно переходит в хвостовой ... **Буква шифра Б.**

+ Спина черная. Брюхо желтое или оранжевое, с крупными черными округлыми пятнами. Кожа грубозернистая. В период размножения самцы несут на спине сильно изрезанный гребень (иногда до середины высоты гребня), спинной гребень и хвостовой гребень разделены, стержень хвоста имеет серебристую окраску ... **Буква шифра К.**

4(1). Паротиды хорошо выражены ... 5.

**+ Паротиды отсутствуют ... 6.**

5. Окраска спины почти однотонно коричневая или зеленовато-бурая, иногда с красноватым оттенком. Кожа спины крупнобугорчатая ... **Буква шифра Г.**

+ Спина окрашена в крупные зелёные пятна неправильной формы на белом, сером или светло-коричневом фоне. Кожа спины слабобугристая, местами даже гладкая ... **Буква шифра И.**

**6(4). Зрачок горизонтальный ... 7.**

+ Зрачок вертикальный. На затылке имеется продольная выпуклость – «шишка». Задние конечности сильно укорочены: голень намного короче бедра. Очень крупный пяточный бугор, используемый животным для зарывания в грунт ... **Буква шифра В.**

7. Тёмное височное пятно имеется. Спинно-боковые складки слабо выражены. Окраска спины коричневых оттенков. При вокализации пользуются горловыми резонаторами ... 8.

**+ Тёмное височное пятно отсутствует. Спинно-боковые складки хорошо выражены. Окраска спины зелёных и/или коричневых оттенков. При вокализации пользуются резонаторами в углах рта ... 9.**

8. Брюхо однотонно белое, без пятен. На верхней губе коричневая и белая полосы разделены чёткой относительно ровной границей. Самцы в брачный сезон имеют синеватую окраску ... **Буква шифра А.**

+ Брюхо пятнистое. На верхней губе коричневая и белая полосы вдаются друг в друга, образуя подобие мраморного рисунка ... **Буква шифра З.**

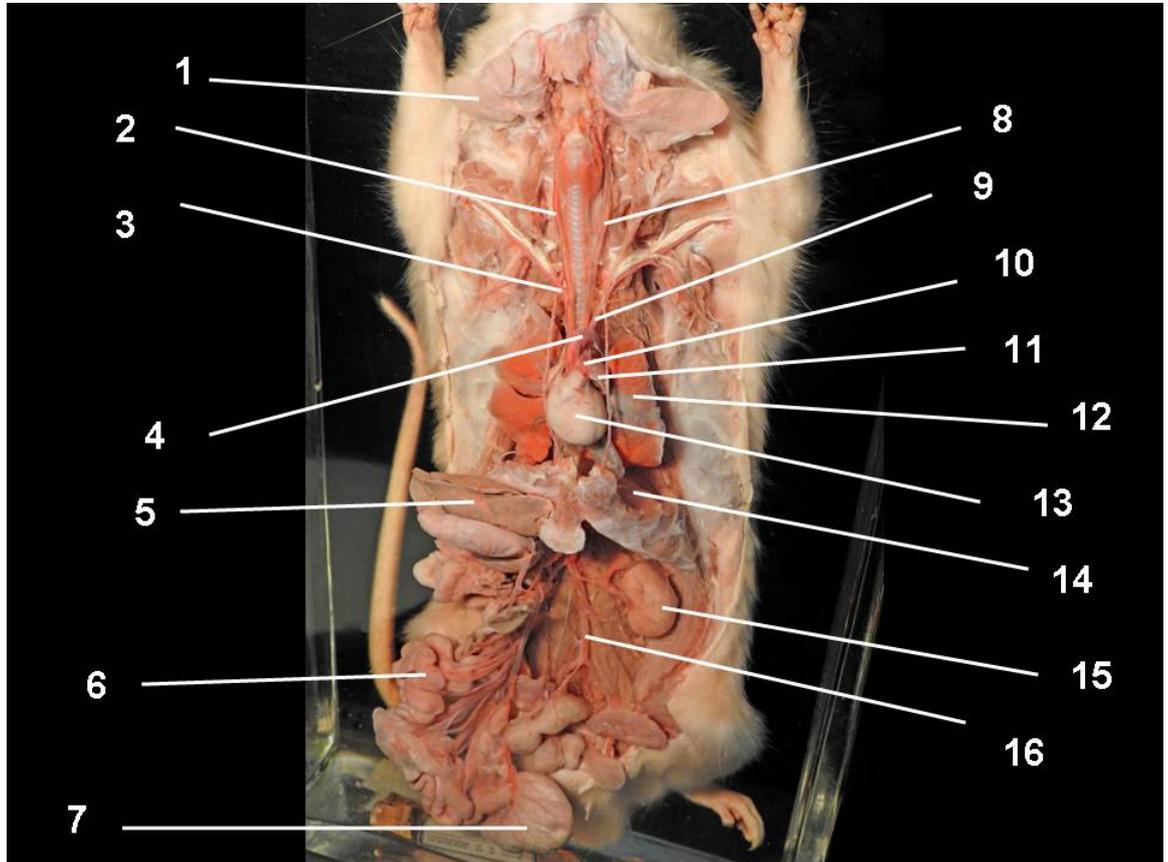
**9(7). Резонаторы белого цвета. В окраске часто преобладают желто-зелёные оттенки ... Буква шифра Ж.**

+ Резонаторы серого или черного цвета. В окраске часто преобладают зелёно-коричневые оттенки ... **Буква шифра Д.**

### Зоология позвоночных, Анатомия

(16 ответов – по 0,5 балла за каждый правильный ответ. **Всего 8 баллов**)

Перед Вами препарат, демонстрирующий внутреннее строение серой крысы, *Rattus norvegicus* (вид с брюшной стороны). Артериальная кровеносная система для лучшего отображения инъецирована красной гуашью. Расшифруйте, пожалуйста, цифровые обозначения на препарате.



1. слюнные железы
2. правая сонная артерия
3. правая подключичная артерия
4. левая дуга аорты
5. печень
6. тонкая кишка
7. слепая кишка
8. левая сонная артерия
9. левая подключичная артерия
10. легочная артерия
11. левое предсердие
12. лёгкие
13. желудочки сердца
14. диафрагма
15. левая почка
16. спинная аорта

**Зоология беспозвоночных. Тесты** (3 вопроса по 1 баллу = 3 балла)

1. Жужжальца двукрылых насекомых – это:
  - a. придатки брюшка
  - b. видоизмененные задние крылья**
  - c. придатки задних конечностей
  - d. специализированные ротовые органы
2. Комары-звонцы питаются:
  - a. нектаром
  - b. кровью рыб
  - c. ни один из ответов не верен**
  - d. кровью млекопитающих и человека
3. Крылья у насекомых находятся на:
  - a. передне- и среднегруди
  - b. средне- и заднегруди**
  - c. только на заднегруди
  - d. только на переднегруди

**Зоология беспозвоночных. Тесты** (2 вопроса по 2 балла = 4 балла)

1. Органы животного, указанные стрелками на фотографии, служат для:



- a. поимки и умерщвления добычи с помощью стрекательных клеток
- b. передвижения**
- c. внешнего пищеварения
- d. фильтрационного питания

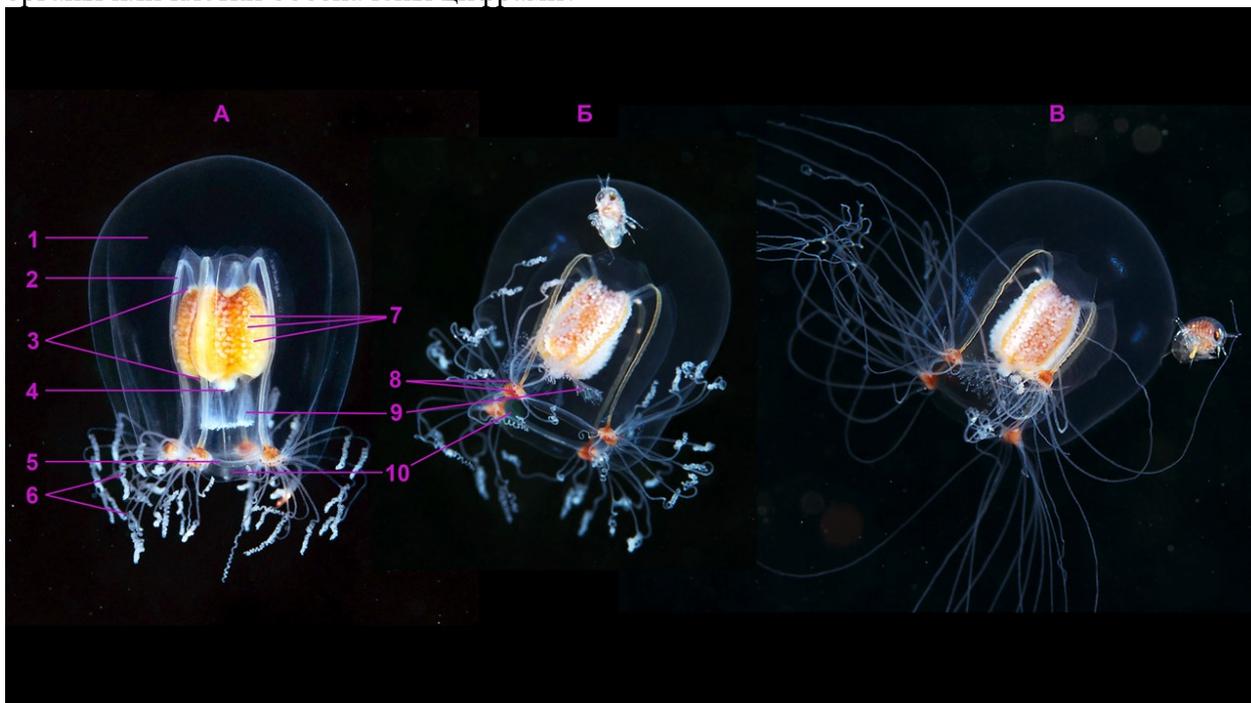
2. Рассмотрите фотографию животного. Стрелкой отмечено:



- a. дыхательное отверстие
- b. выделительное отверстие
- c. анальное отверстие
- d. половое отверстие

**Зоология беспозвоночных. Анатомия** (10 ответов – по 1 баллу за каждый правильный ответ. **Всего 10 баллов**)

На фотографиях представлен внешний вид животного, изображения Б и В иллюстрируют его характерное поведение (чередующиеся фазы активности). Какие органы или клетки обозначены цифрами?



Учтите, что некоторые из названных структур либо отсутствуют у животного, либо не видны / не отмечены на фотографиях.

- |                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1. мезogleя                           | 6. краевые щупальца |
| 2. радиальный гастроваскулярный канал | 7. яйцеклетки       |
| 3. ротовой хоботок                    | 8. глазки           |
| 4. рот                                | 9. ротовые щупальца |
| 5. кольцевой гастроваскулярный канал  | 10. парус           |

## ЭКОЛОГИЯ

### Расчетная задача (8 баллов)



Ученым необходимо определить численность популяции луговых собачек на пастбище площадью  $1,49 \text{ км}^2$ . Для этого они отловили 100 особей, поместили их меткой, не влияющей на выживаемость, и выпустили. Через 10 дней был произведен случайный отлов животных. Было поймано 91 животное и 5 из них были с меткой.

1. Определите численность данной популяции. Значение, с точностью до целых, внесите в соответствующую графу.

доля меченых животных при втором отлове должна соответствовать их доле во всей популяции, т.е.  $100/N = 5/91$ . Следовательно  $N = 100 \times 91 / 5 = 1820$  особей - численность популяции

2. Определите плотность данной популяции. Значение, с точностью до целых, внесите в соответствующую графу.

$$1820 / 1,49 \text{ км}^2 = 1221 \text{ особь/км}^2$$

3. Данный метод учета численности животных относится к:

- a) прямым методам
- b) косвенным методам
- c) методу маршрутного учета
- d) методу оценки численности по следам жизнедеятельности

## ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

### Тесты (4 вопроса по 1 баллу = 4 балла)

1. Капилляры отличаются от вен тем, что в них:
  - a. **более высокое давление, но более низкая скорость кровотока, чем в венах**
  - b. более высокая скорость кровотока, но более низкое давление, чем в венах
  - c. более высокие и давление, и скорость кровотока, чем в венах
  - d. более низкие и давление, и скорость кровотока, чем в венах
  
2. Чувство мышечной усталости возникает в результате:
  - a. стресса, вызванного долгой работой, и накопления адреналина в мышце
  - b. спазма кровеносных сосудов, снабжающих кровью мышцу, и общего повышения артериального давления
  - c. **плохого поступления кислорода, и накопления вследствие этого молочной кислоты в мышце**
  - d. истощением запаса глюкозы и АТФ в мышечных клетках
  
3. Заболевание пеллагра, которое еще до середины 20-го века было характерно для жителей южных штатов США, питающихся в основном кукурузой, вызвано дефицитом:
  - a. липоевой кислоты
  - b. **никотиновой кислоты**
  - c. цинка
  - d. холина
  
4. Слуховые рецепторы у кошек находятся в
  - a. слуховом проходе
  - b. **улитке**
  - c. полукружных каналах
  - d. барабанной перепонке

## ЭКСПЕРИМЕНТ

### Интерпретация результатов эксперимента (всего 5 баллов)



Стрига (*Striga hermonthica*), паразитирующая на корнях кукурузы

Стриголактоны сравнительно недавно были признаны как новый класс растительных гормонов. Сначала эти вещества были обнаружены как сигнальные молекулы, выделяемые корнями культурных растений, которые распознаются семенами паразитических растений из рода *Striga*. Под воздействием стриголактонов семена стриги прорастают, и присасываются к корням растения-хозяина.

Оказалось, что растения синтезируют стриголактоны не для привлечения стриги, а играют важную роль в регуляции физиологических процессов в самом растении. Это важно, в частности, для приспособления растений к дефициту минерального питания.

Был изучен синтез стриголактонов, найдены мутанты по ферментам биосинтеза этих гормонов, среди которых – мутация *max3*, затрагивающая один из ранних этапов биосинтеза. При мутации *max3* в растениях возникает дефицит стриголактонов.



Фенотип нормальных растений Col-O и мутанта по биосинтезу стриголактонов *max3-9* (из Kumar et al., 2019)

1. Рассмотрите фенотипы нуль-мутанта арабидопсиса *max3* (т.е., мутанта с потерей функции) (справа, обозначен как *max3-9*) и дикого типа (слева, обозначен как Col-O, экотип Columbia).

Какой вывод можно сделать из анализа фенотипов *max3* и Col-O?

- a. Стриголактоны вместе с ауксинами подавляют ветвление побега
- b. Стриголактоны подавляют ветвление побега**
- c. Стриголактоны усиливают ветвление побега
- d. Стриголактоны подавляют действие цитокининов и тем самым ингибируют ветвление побега.

Важным методом в исследовании стриголактонов стали прививки нормальных растений на мутантные и наоборот. При этом часть растения оказывается неспособной к синтезу стриголактонов (*max3*, обозначено зелёным цветом), а другая часть может синтезировать эти гормоны (WT, обозначено чёрным цветом).

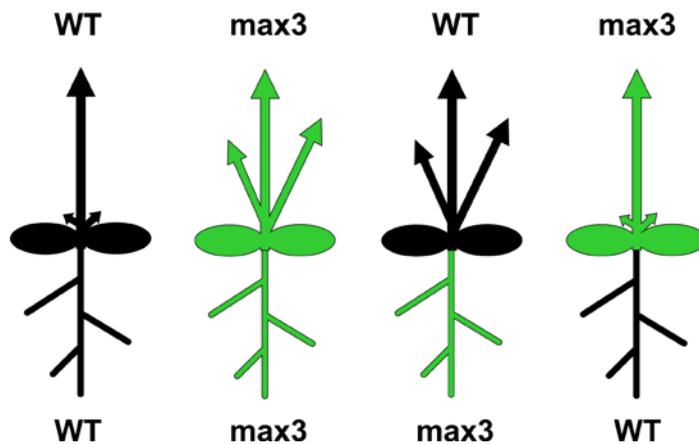


Схема фенотипов нормальных растений дикого типа (WT), мутанта *max3* и прививок. Стрелками показаны растущие побеги, эллипсами – розеточные листья. Ниже розетки показана корневая система. (Booker et al., 2004, по Kameoka, Kyozuka, 2017).

Среди приведённых высказываний выберите те, которые:

- (1) верны и следуют из результатов этого эксперимента;
- (2) верны, но не следуют из результатов этого эксперимента;
- (3) принципиально неверны.

1. Синтез стриголактонов равномерно распределен по всему растению.
  - a. верно, следует из результатов эксперимента
  - b. верно, но прямо не следует из результатов эксперимента
  - c. принципиально неверно, не следует из результатов эксперимента**
2. Стриголактоны транспортируются из корней в надземную часть растения.
  - a. верно, следует из результатов эксперимента**
  - b. верно, но прямо не следует из результатов эксперимента
  - c. принципиально неверно, не следует из результатов эксперимента
3. Стриголактоны могут быть сигналом о недостатке элементов минерального питания, таких, как фосфаты.
  - a. верно, следует из результатов эксперимента
  - b. верно, но прямо не следует из результатов эксперимента**
  - c. принципиально неверно, не следует из результатов эксперимента
4. Стриголактоны являются сигналами для активации роста семян стриги и установления паразитических взаимоотношений.
  - a. верно, следует из результатов эксперимента
  - b. верно, но прямо не следует из результатов эксперимента**
  - c. принципиально неверно, не следует из результатов эксперимента

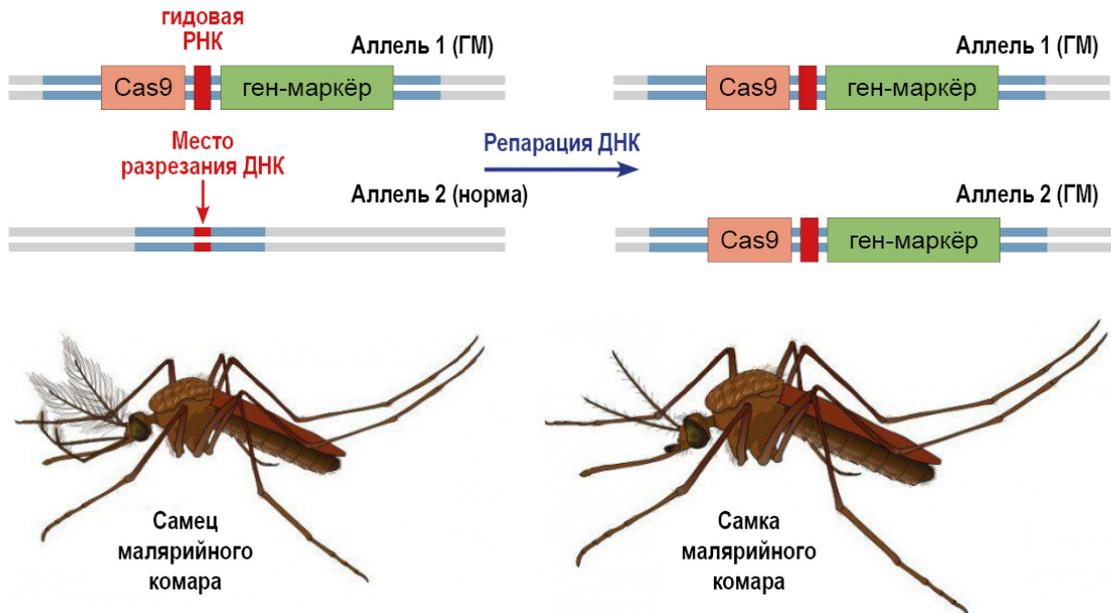
## БИОХИМИЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

**Тесты** (4 вопроса по 1 баллу = 4 балла).

1. В приведённой ниже последовательности полностью закодирован короткий пептид.  
АУАУЦАУГУАЦУУААУЦУАГАУЦГАЦААУАГУЦАА  
Его длина составляет:
  - a. 7 аминокислот
  - b. 8 аминокислот
  - c. 9 аминокислот**
  - d. 12 аминокислот
  - e. 15 аминокислот
2. Вирусные частицы НЕ содержат липидную мембрану (суперкапсид) у вируса:
  - a. кори
  - b. коронавируса
  - c. гриппа
  - d. полиомиелита**
3. Гидрофобные свойства белку придают остатки аминокислот:
  - a. глутаминовая кислота и аспарагин
  - b. лейцин и лизин
  - c. тирозин и глутамин
  - d. аргинин и гистидин
  - e. фенилаланин и изолейцин**
4. Пивные дрожжи могут расти на среде, содержащей в качестве питательного вещества сахарозу в анаэробных условиях, осуществляя для получения энергии спиртовое брожение. При использовании одной молекулы сахарозы дрожжи могут образовать:
  - a. 2 молекулы АТФ
  - b. 3 молекулы АТФ
  - c. 4 молекулы АТФ**
  - d. 6 молекул АТФ
  - e. 8 молекул АТФ

## ГЕНЕТИКА

### Задача (Всего 23 балла)



Для борьбы с насекомыми-переносчиками болезней была разработана технология «генетического привода» (Gene Drive). Она основана на редактировании генома с помощью системы CRISPR/Cas, внедрённой в геном, например, одного из видов малярийного комара (*Anopheles gambiae* Giles).

Система CRISPR (Clustered, Regularly Interspaced, Short Palindromic Repeats) впервые была обнаружена у бактерий и используется ими для борьбы с бактериофагами. При этом одну из важных ролей играет белок Cas9 (CRISPR associated protein 9). Он захватывает определённые фрагменты РНК (так называемую гидовую РНК), образующиеся после экспрессии CRISPR. Далее любая ДНК, которая содержит участки, гомологичные гидовой РНК, разрезается с помощью Cas9.

Учёные создали генно-инженерную конструкцию, в которой есть ген Cas9, а в качестве гидовой РНК использовали фрагмент гена, отвечающего за женскую фертильность у комаров. Кроме того, сама вставка была произведена так, чтобы ген женской фертильности оказался нефункциональным (рецессивный генетически-модифицированный аллель с потерей функции). Чтобы вставку Cas9 + гидовая РНК было легче обнаружить, в генно-инженерную конструкцию ввели ген-репортёр. Это зелёный флуоресцирующий белок (GFP, Green fluorescent protein), который светится (флуоресцирует) при облучении светом из синей части спектра.

При попадании в геном генно-модифицированного аллеля №1, который содержит гены Cas9, гидовой РНК и GFP, с некоторой частотой происходит разрезание ДНК как раз в том месте, где есть функциональный аллель №2 (норма). В ядре действуют системы репарации, которые «перебрасывают» ДНК из одной гомологичной хромосомы на другую. В результате аллель №2 становится генно-модифицированным, и, соответственно, нефункциональным (см. рис.). Таким образом, генно-модифицированный аллель №1 редактирует геном так, что на месте нормального аллеля оказывается копия аллеля №1, способного в последующих поколениях проводить редактирование генома «в свою пользу».

Предположим, что ген женской фертильности находится на X-хромосоме и не влияет на мужскую фертильность. Обозначим X-хромосому с генетически-

модифицированным аллелем как  $X^S$ , а соответствующую нормальную хромосому (дикого типа) как  $X$ . Допустим также, что эффективность редактирования составляет 80%.

**А.** По описанной выше технологии Gene Drive учёные получили генетически-модифицированного комара-самца и скрестили его с нормальной самкой. Каким будет расщепление среди самок и самцов по признаку флуоресценции среди потомков первого поколения от этого скрещивания?

**Решение**

Пол у комаров (как и у других представителей Двукрылых) контролируется XY-системой, т.е. генотип самца в этом скрещивании будет  $X^S Y$ , а самки –  $XX$ . В первом поколении каждая самка получит  $X^S$ -хромосому от отца, и все самки первого поколения будут генетически модифицированными (светящимися из-за зелёного флуоресцирующего белка GFP). Генотип всех самок  $X^S X$ .

Все самцы от отца получают у-хромосому, а от матери – нормальную X-хромосому, т.е. не будут светящимися. Генотип всех самцов  $XY$ .

**Ответ:** все самки вырабатывают зелёный флуоресцентный белок, а все самцы не флуоресцируют.

**Б.** Каким будет расщепление среди самцов и самок по признаку флуоресценции во втором поколении от этого скрещивания?

**Решение**

Эффективность редактирования составляет 80%. Это означает, что 80% самок первого поколения приобретут генотип  $X^S X^S$  и станут стерильными. Только у 20% самок первого поколения сохранится нормальная X-хромосома (генотип  $X^S X$ ). Именно они останутся фертильными и дадут потомство. Самцы первого поколения несли нормальную X-хромосому.

Таким образом, во втором поколении половина самцов получит «светящуюся» хромосому  $X^S$ , а другая половина самцов – нормальную X-хромосому.

Что касается самок, то среди них также половина получит  $X^S$ -хромосому с флуоресцентным белком от матери, и нормальную X-хромосому от отца. Оставшиеся 50% получат обе нормальные X-хромосомы.

**Ответ:**

среди самцов  $\frac{1}{2}$  флуоресцирующие (генотип  $X^S Y$ )  
и  $\frac{1}{2}$  не флуоресцирующие (генотип  $XY$ );  
среди самок  $\frac{1}{2}$  флуоресцирующие (генотип  $X^S X$ )  
и  $\frac{1}{2}$  не флуоресцирующие (генотип  $XX$ ).

**В.** В локальную природную популяцию малярийных комаров, выпустили 1250 самцов, генетически-модифицированных по технологии Gene Drive. Во время следующего лета комаров было отловлено 840 особей обоего пола, среди которых 35 оказались флуоресцирующими. Оцените объем природной популяции, в которую были выпущены трансгенные комары. Ответ округлите до целых.

**Решение**

Как мы показали в части А решения, хромосому  $X^S$  в первом поколении несут только самки. Они составляют около  $\frac{1}{2}$  от всей популяции. Таким образом, доля флуоресцентных самок от всех самок популяции  $F_2$  составит:

$$35 / [840:2] = 35 / 420 = 1/12$$

Это означает, что среди родительского поколения  $1/12$  отцов несли генно-инженерную хромосому  $X^S$ . Таким образом, суммарно вместе с выпущенными самцами в

популяции было в 12 раз больше самцов, чем было выпущено. Таким образом, суммарное число самцов составляет  $1250 \times 12 = 15000$ .

За вычетом выпущенных самцов в природной популяции было  $15000 - 1250 = 13750$  самцов и примерно столько же самок.

Таким образом, в природной популяции  $13750 \times 2 = 27500$  малярийных комаров обоего пола.

**Ответ: 27500 особей.**

Г. Каково было бы число флуоресцирующих комаров при отлове 840 особей в аналогичном эксперименте, если бы в исходную популяцию выпустили 1250 самок, полученных от скрещивания генетически-модифицированных самцов и нормальных самок? Ответ округлите до целых.

### **Решение**

Эффективность редактирования составляет 80%. Это означает, что 80% самок первого поколения приобретут генотип  $X^S X^S$  и станут стерильными. Только у 20% самок первого поколения сохранится нормальная X-хромосома (генотип  $X^S X$ ). Именно они останутся фертильными и дадут потомство в новой популяции. Число выпущенных фертильных самок  $X^S X$  составит  $1250 \times 0,2 = 250$

Как мы установили в пункте В решения, число самок в популяции примерно равно 13750. Вместе с 250 выпущенными самками объем популяции возрастет до  $13750 + 250 = 14000$ . Доля фертильных генетически-модифицированных самок  $X^S X$  от всех самок составит  $250/14000 = 1/56$ .

Таким образом, в следующем поколении  $1/56$  самцов будет происходить от гетерозиготных самок  $X^S X$ , т.е. только  $1/112$  самцов получит аллель, содержащий зелёный флуоресцентный белок.

При отлове 840 особей только  $\frac{1}{2}$  будут самцами (420), при этом  $1/112$  часть из них будут с генотипом  $X^S Y$ , т.е.

$$420/112 = 3,75 \approx 4$$

**Ответ: флуоресцирующими будут примерно 4 особи из 840.**

**Итого за все задание – 100 баллов**