

## Ломоносов 2020–2021. Задание 10 – 11 класса

### Вариант I (Ответы)

**А – Желтоперый тунец (*Thunnus albacares*)**

**6 – Скумбриеобразные**



**Б – Нерка (*Oncorhynchus nerka*)**

**3 – Лососеобразные**



**В – Путассу северная (*Micromesistius poutassou*)**

**8 – Трескообразные**



**Г – Европейская сардина (*Sardina pilchardus*)**

**5 – Сельдеобразные**



#### **Задача 1. (10 баллов).**

На рисунках изображены различные промысловые рыбы (вид сбоку, в разном масштабе). Сопоставьте буквенным обозначениям рисунков в таблице цифры, обозначающие принадлежность рыб к тому или иному отряду. Ответ дайте в виде шифра.

#### **Отряды Костистых рыб:**

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1 – Карпообразные    | 7 – Сомообразные       |
| 2 – Корюшкообразные  | 8 – Трескообразные     |
| 3 – Лососеобразные   | 9 – Угреобразные       |
| 4 – Окунеобразные    | 10 – Удильщикообразные |
| 5 – Сельдеобразные   | 11 – Щукообразные      |
| 6 – Скумбриеобразные |                        |



**Д – Окунь речной (*Perca fluviatilis*)**  
**4 – Окунеобразные**

#### **Задача 2. (2 балла).**

В каком порядке следуют метаболиты С-3 цикла у пшеницы:

**А.** Фосфоглицериновая кислота (3-ФГК) – рибулозобисфосфат (Ру-1,5-БФ) – дифосфоглицериновая кислота (1,3-ДФГК) – фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА).

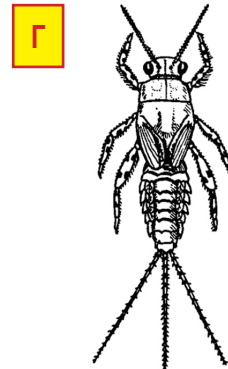
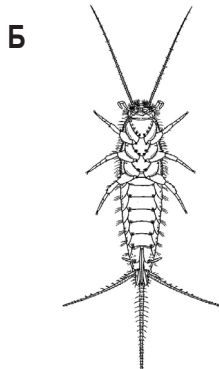
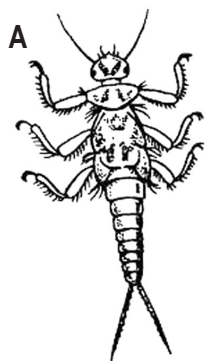
**Б.** Рибулозобисфосфат (Ру-1,5-БФ) – фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА) – фосфоглицериновая кислота (3-ФГК) – дифосфоглицериновая кислота (1,3-ДФГК).

**В. Рибулозобисфосфат (Ру-1,5-БФ) – фосфоглицериновая кислота (3-ФГК) – дифосфоглицериновая кислота (1,3-ДФГК) – фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА).**

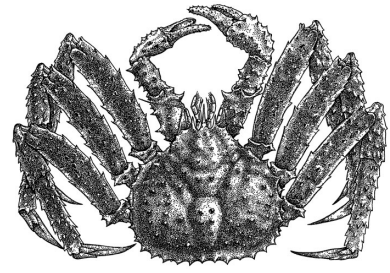
**Г.** Фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА) – дифосфоглицериновая кислота (1,3-ДФГК) – фосфоглицериновая кислота (3-ФГК) – рибулозобисфосфат (Ру-1,5-БФ).

**Д.** Рибулозобисфосфат (Ру-1,5-БФ) – дифосфоглицериновая кислота (1,3-ДФГК) – фосфоглицериновая кислота (3-ФГК) – фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА).

#### **Задача 3. (2 балла).** Личинка подёнки изображена на рисунке:



**Задача 4. (8 баллов).** В 1960 годы в Баренцево море был интродуцирован из Японского моря камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*). Суммарно за весь период интродукции, начиная с 60-х по 70-е годы, в Баренцево море выпустили 15 тысяч экземпляров молоди и взрослых крабов. С 2004 года начался промышленный вылов данного животного, поскольку экспериментальный вылов показал высокую численность популяции. С целью исключения излишнего вылова, ежегодно определяют численность краба по снижению особей в последовательных изъятиях.



При первом отлове в губе Дальнезеленецкой было поймано 600 ( $N_1$ ) особей, при повторном отлове (при таком же промысловом усилии) – 510 ( $N_2$ ) особей.

**А.** Какова численность популяции ( $N$ ) в данном месте до начала отлова

**Б.** После этих двух обловов, если считать, что число особей, пойманных при каждом отлове, составляет равную долю от общей численности.

**Решение.**

**А.** Соотношение между числом особей, выловленных в первый раз, и общей численностью популяции (т.е. доля выловленных) равно  $N_1/N$

После первого отлова численность популяции стала  $N - N_1$

Доля особей, выловленных во второй раз, составляет  $N_2/(N - N_1)$

Из условия мы знаем, что число особей, пойманных при каждом отлове, составляет равную долю от общей численности. Это означает, что мы должны приравнять долю выловленных в первый раз к доле выловленных во второй раз:

$$N_1/N = N_2/(N - N_1)$$

Решим это уравнение относительно  $N$ :

$$N_1 \times (N - N_1) = N_2 \times N$$

$$N_1 \times N - N_1^2 = N_2 \times N$$

$$N_1 \times N - N_2 \times N = N_1^2$$

$$N \times (N_1 - N_2) = N_1^2$$

$$N = N_1^2 / (N_1 - N_2)$$

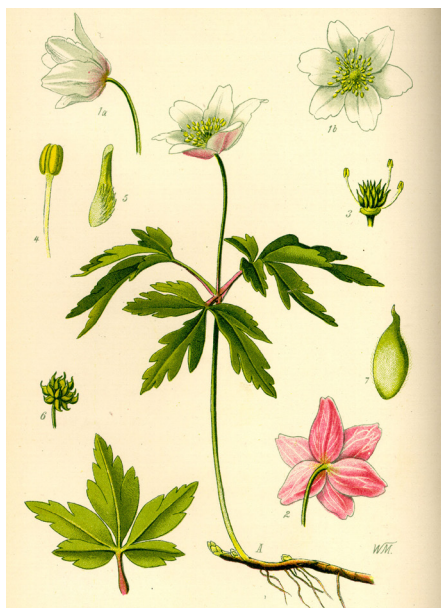
Теперь подставим в уравнение численные значения из условия:

$$N = 600^2 / (600 - 510) = 4000 \text{ особей}$$

**Б.** Чтобы найти численность популяции после двух обловов, нужно из начальной численности вычесть число особей, выловленных в первый и во второй раз:

$$4000 - 600 - 510 = 2890 \text{ особей}$$

**Ответ: А. 4000 особей. Б. 2890 особей.**



**Задача 5. (14 баллов).** С помощью буквенного шифра дайте описание растения, представленного на рис.

**Семейство:** **А** – Розоцветные; **Б** – Крестоцветные;

**В** – Паслёновые; **Г** – Бобовые; **Д** – Лютиковые; **Е** – Злаковые.

**Цветок:** **Ж** – актиноморфный; **З** – зигоморфный;

**И** – неправильный.

**Завязь:** **К** – верхняя; **Л** – нижняя.

**Плод:** **М** – многокостянка; **Н** – зерновка; **О** – семянка;

**П** – орех; **Р** – многоорешек; **С** – боб; **Т** – коробочка.

**Околоцветник:** **У** – двойной; **Ф** – простой; **Х** – редуцированный.

**Жизненная форма:** **Ц** – фанерофит; **Ч** – хамефит;

**Э** – гемикриптофит; **Ю** – терофит; **Я** – криптофит.

**Подземный запасяющий орган:** **Н** – клубень; **С** – клубнелуковица;

**W** – луковица; **З** – корневище.

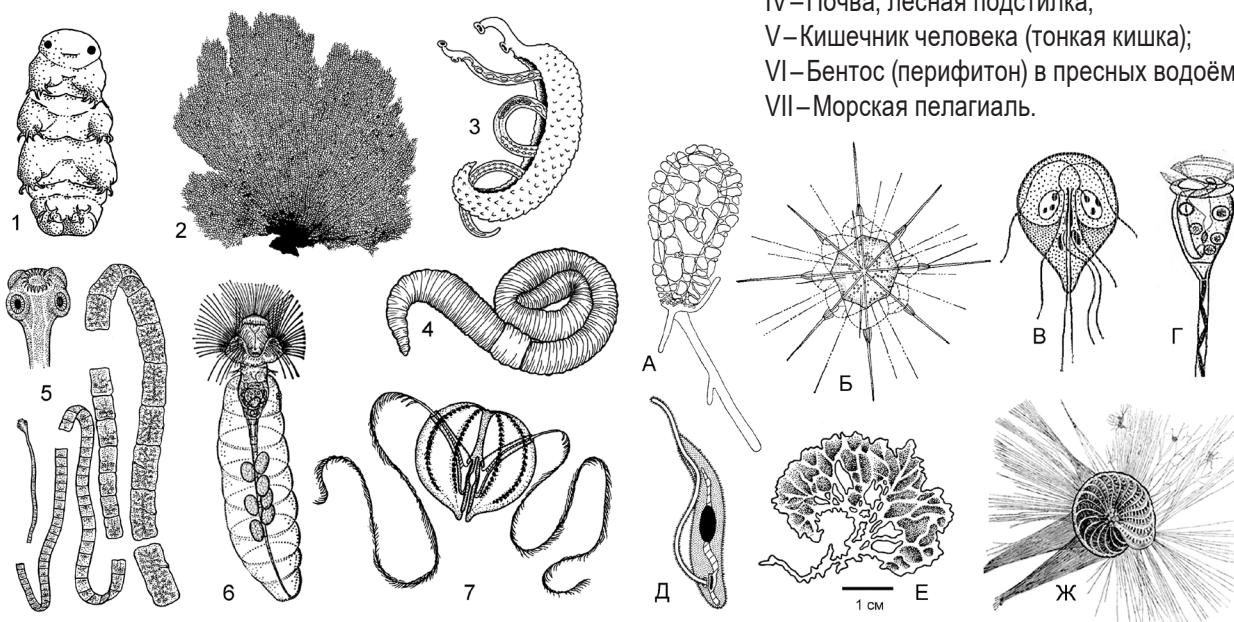
**Ответ: Д, Ж, К, Р, Ф, Я, З.**



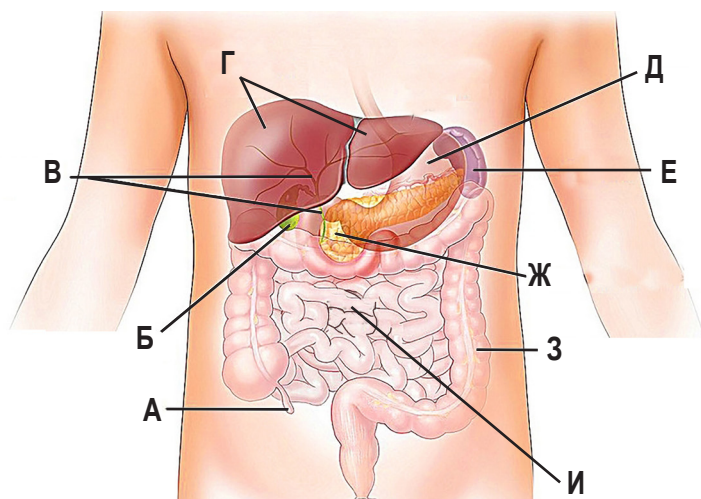
**Задача 6. (14 баллов).** Рассмотрите изображения многоклеточных животных (1–7) и простейших (А–Ж). Подберите пары вида «простейшее + многоклеточное, которые могут быть найдены в одном и том же биотопе». Список биотопов приведен ниже. Установите максимально точное соответствие: для каждого животного найдите максимально близкое экологически простейшее и их биотоп. Ответ дайте в виде шифра: арабская цифра+буква+римская цифра.

**Биотопы:**

- I – Моховые подушки;
- II – Морской бентос;
- III – Кровь человека;
- IV – Почва, лесная подстилка;
- V – Кишечник человека (тонкая кишка);
- VI – Бентос (перифитон) в пресных водоёмах;
- VII – Морская пелагиаль.



Многоклеточные животные	Простейшие	Биотоп/сообщество
1	А	I – Моховые подушки
2	Ж	II – Морской бентос
3	Д	III – Кровь человека
4	Е	IV – Почва, лесная подстилка
5	В	V – Кишечник человека (тонкая кишка)
6	Г	VI – Бентос (перифитон) в пресных водоёмах
7	Б	VII – Морская пелагиаль



**Задача 7. (18 баллов).**

На рисунке дана схема относительного расположения органов. Какие органы обозначены буквами? Ответ дайте в виде шифра.

- 1 – Д желудок
- 2 – В желчные протоки
- 3 – Е селезёнка
- 4 – Г печень
- 5 – А червеобразный отросток (аппендикс)
- 6 – 3 толстый кишечник
- 7 – Б желчный пузырь
- 8 – Ж поджелудочная железа
- 9 – почки – не показаны на рисунке
- 10 – надпочечники – не показаны на рисунке
- 11 – И тонкий кишечник

Дополнительно для печени, поджелудочной железы и селезёнки укажите их свойства и функции в виде таблицы.

**Функции:**

- I – синтез инсулина
- II – созревание Т- и В-лимфоцитов
- III – образование билирубина из старых поврежденных эритроцитов и тромбоцитов
- IV – частично берет на себя функцию кроветворения при некоторых болезнях крови
- V – запасает витамин А для всего организма
- VI – синтез глюкагона
- VII – единственная железа, вырабатывающая трипсин
- VIII – синтез гликогена
- IX – выработка желчи

**Ответ:**

Орган	Печень	Поджелудочная железа	Селезёнка
Какой буквой обозначен на схеме	<b>Г</b>	<b>Ж</b>	<b>Е</b>
Свойства и функции	<b>V, VIII, IX</b>	<b>I, VI, VII,</b>	<b>II, III, IV</b>

**Задача 8. (22 балла).**

У культурной кукурузы (*Zea mays*) за синтез антоцианов в зерновках отвечают высокогомологичные гены **H** и **L**. При этом окраска зерновок бывает белой, розовой, красной, тёмно-красной и почти чёрной (см. рис.). Допустим, что в некоторой панмиктической популяции кукурузы в собранном урожае на 1000 зерновок попало 163 чёрных и 7 белых. Гены **H** и **L** не сцеплены друг с другом.



Для справки:  $D = b^2 - 4ac$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

**А.** Предложите генотипы, которые обуславливают указанные выше окраски зерновок кукурузы. Объясните механизм формирования окраски.



**Б.** Для данной популяции рассчитайте частоты для каждого аллеля всех генов, участвующих в определении окраски зерновок кукурузы. Во всех расчётах округлите проценты до целых.

**В.** Рассчитайте долю зерновок остальных фенотипов (тёмно-красных, красных, розовых) в данной популяции. Ответ дайте в процентах, округлив до целых.

**Г.** Почему в одном початке кукурузы могут встречаться зерновки, различающиеся по цвету, а у арахиса внутри одного боба семена всегда одинаковой окраски?

**Решение**

**А (3 балла).** Поскольку наблюдается 5 градаций окраски (белая, розовая, красная, тёмно-красная и почти чёрная), логично предположить, что гены **H** и **L** взаимодействуют друг с другом по типу кумулятивной полимерии. При этом в каждом из локусов наблюдается неполное доминирование. Наследование признака должно быть похожим на наследование признака окраски зерновок у пшеницы.

В этом случае **белая** окраска будет обусловлена всеми рецессивными (нефункциональными) аллелями обоих генов, т.е. генотипом **hh ll**; розовая – присутствием одного доминантного аллеля любого из генов: **Hh ll** или **hh Ll**; красная – двумя доминантными аллелями: **HH ll**, **Hh Ll** или **hh LL**; при тёмно-красной окраске три аллеля должны быть доминантными, и один – рецессивным: **HH Ll**, или **Hh LL**; и, наконец, почти чёрная окраска возникает когда все четыре аллеля доминантны: **HH LL**.

Окраска	Белая	Розовая	Красная	Тёмно-красная	Чёрная
Генотипы	<b>hh ll</b>	<b>Hh ll, hh Ll</b>	<b>HH ll, Hh Ll, hh LL</b>	<b>Hh LL, HH Ll</b>	<b>HH LL</b>

**Б (10 баллов).** Для решения воспользуемся законом Харди-Вайнберга. Обозначим частоту встречаемости аллеля  $H$  как  $p$ . Тогда частота встречаемости аллеля  $h$  будет равна  $q = 1 - p$ .

Частоту встречаемости аллеля  $L$  обозначим как  $r$ . Частота встречаемости аллеля  $l$ , соответственно, равна  $s = 1 - r$ .

Представим в виде графического изображения сочетания аллелей и их частоту в популяции.

Из рисунка видно, что чёрные зерновки (генотип  $HH LL$ ) встречаются с частотой  $p^2 \times r^2$ , что составляет

$$163/1000 = 16,3\% \approx 16\%$$

$$\text{или } 0,16 \text{ (1 балл)}$$

(округлено до целых процентов).

Белые зерновки с генотипом  $hh ll$  встречаются с частотой

$$q^2 \times s^2 = (1-p)^2(1-r)^2$$

по условию эта величина равна:

$$7/1000 = 0,7\% \approx 1\%$$

$$\text{или } 0,01 \text{ (1 балл)}$$

(округлено до целых процентов).

Исходя из этих уравнений, можно рассчитать частоты каждого из аллелей. На первом этапе выразим  $r$  через  $p$ :

$$p^2 \times r^2 = 0,16$$

$$p \times r = \sqrt{0,16} = 0,4$$

$$r = 0,4/p$$

Подставим полученную величину в следующее уравнение:

$$(1-p)^2(1-r)^2 = 0,01$$

$$(1-p)(1-r) = \sqrt{0,01} = 0,1$$

$$(1-p)(1-0,4/p) = 0,1$$

$$1-p-0,4/p+0,4=0,1$$

$$1,3-p-0,4/p=0$$

$$p^2 - 1,3p + 0,4 = 0 \text{ (5 баллов)}$$

Найдем корни этого квадратного уравнения:

$$D = b^2 - 4ac = 1,3^2 - 4 \times 1 \times 0,4 = 1,69 - 1,6 = 0,09$$

$$p_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} = \frac{1,3 \pm \sqrt{0,09}}{2} = \frac{1,3 \pm 0,3}{2}$$

$$p_1 = 0,8 \quad p_2 = 0,5 \text{ (1 балл)}$$

Обе величины меньше единицы и имеют биологический смысл. Рассчитаем частоты остальных аллелей для обоих случаев.

$$p = 0,8 \quad q = 1 - p = 1 - 0,8 = 0,2 \quad r = 0,4/p = 0,4/0,8 = 0,5 \quad s = 1 - r = 1 - 0,5 = 0,5$$

или

$$p = 0,5 \quad q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5 \quad r = 0,4/p = 0,4/0,5 = 0,8 \quad s = 1 - r = 1 - 0,8 = 0,2$$

Таким образом, мы пришли к симметричным решениям. Либо  $p = 0,8$ ,  $q = 0,2$ , а  $r = s = 0,5$ , либо  $p = q = 0,5$ , а  $r = 0,8$  и  $s = 0,2$ . Это означает, что значимость генов  $H$  и  $L$  в определении фенотипа одинакова. Мы могли бы обозначить эти гены наоборот (другими символами) с тем же результатом. (2 балла)

**В (6 баллов).** Чтобы найти частоту остальных фенотипов, нужно определить площадь соответствующих фигур на рисунке. Результат при этом не будет зависеть от того, какое из полученных решений для частот аллелей мы выберем (проверьте самостоятельно). Приведем решение только для первого случая.

		$p$		$q = 1 - p$	
		$p \times r$	$p \times s$	$q \times r$	$q \times s$
		$HL$	$hL$	$hL$	$hl$
$p$ $q = 1 - p$	$p \times r$ $HL$	$HH LL$ $p^2 \times r^2$	$HH Ll$	$Hh LL$	$Hh Ll$
	$p \times s$ $hL$	$HH Ll$	$HH ll$	$Hh Ll$	$Hh ll$
	$q \times r$ $hL$	$Hh LL$	$Hh Ll$	$hh LL$	$hh Ll$
	$q \times s$ $hl$	$Hh Ll$	$Hh ll$	$hh Ll$	$hh ll$ $q^2 \times s^2 = (1-p)^2(1-r)^2$

Доля **тёмно-красных** зерновок с генотипами *HH Ll* и *Hh LL* составит:

$$2 p \times r \times (p \times s + q \times r) = 2 \times 0,8 \times 0,5 \times (0,8 \times 0,5 + 0,2 \times 0,5) = 0,8 \times (0,4 + 0,1) = 0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ или } 40\%.$$

(2 балла)

Доля **красных** зерновок с генотипами *HH ll*, *Hh Ll* и *hh LL* составит:

$$\begin{aligned} 2 p \times r \times q \times s + 2 p \times s \times q \times r + p^2 \times s^2 + q^2 \times r^2 = \\ = 2 \times 0,8 \times 0,5 \times 0,2 \times 0,5 + 2 \times 0,8 \times 0,5 \times 0,2 \times 0,5 + 0,8^2 \times 0,5^2 + 0,2^2 \times 0,5^2 = \\ = 0,08 + 0,08 + 0,16 + 0,01 = 0,33 \text{ или } 33\%. \end{aligned}$$

(2 балла)

Доля **розовых** зерновок с генотипами *hh Ll* и *Hh ll* составит:

$$2 q \times s \times (p \times s + q \times r) = 2 \times 0,2 \times 0,5 \times (0,8 \times 0,5 + 0,2 \times 0,5) = 0,2 \times (0,4 + 0,1) = 0,2 \times 0,5 = 0,1 \text{ или } 10\%.$$

(2 балла)

Чтобы проверить правильность решения, просуммируем доли всех фенотипов:

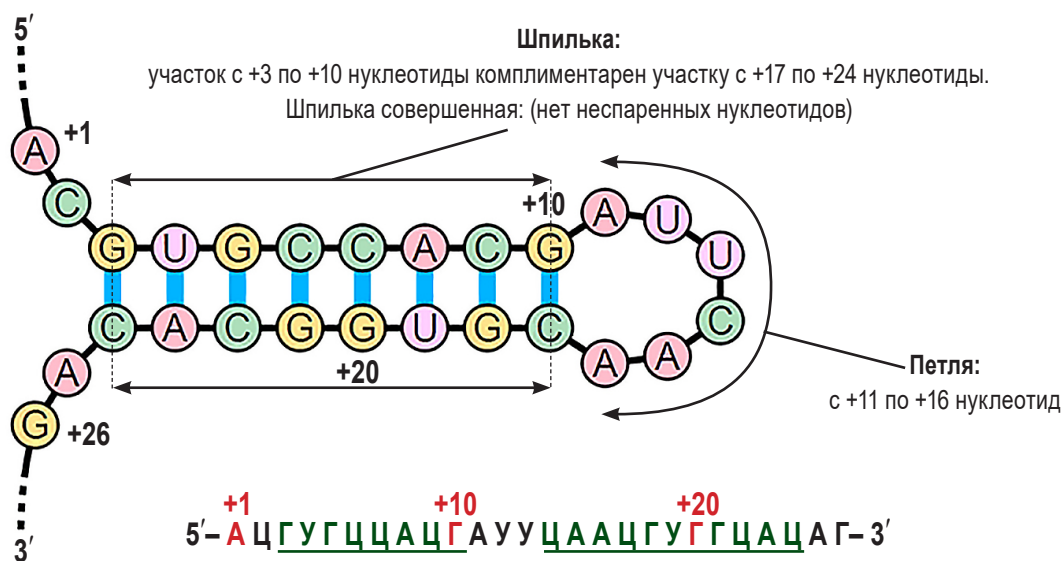
16% чёрных + 40% тёмно-красных + 33% красных + 10% розовых + 1% белых = 100%.

**Г (3 балла).** У арахиса семя снаружи покрыто непрозрачной семенной кожурой, в которой могут накапливаться пигменты. Семенная кожура возникает из интегументов (покровов семязачатка), и её цвет определяется генотипом материнского растения. Для всех семян (независимо от генотипа зародыша) генотип материнского растения всегда один и тот же. Поэтому в бобах арахиса не может быть семян разной окраски.

У кукурузы (по крайней мере – у представленного на рисунке сорта) покровы зерновки прозрачные. Они состоят из сросшихся тканей околоплодника и семенной кожуры. В связи с этим под покровами можно видеть цвет структур, возникших после двойного оплодотворения: зародыша и алейронового слоя эндосперма. Цвет зерновок зависит не от прозрачных покровов (определяющихся генотипом матери), а от генотипа структур, образовавшихся после двойного оплодотворения. Поэтому в початке кукурузы могут быть зерновки, различающиеся по цвету.

#### Задача 9. (10 баллов).

В эукариотической клетке важными регуляторами транскрипции генов являются малые интерферирующие РНК (siRNA). Они образуются в том случае, если в клетке появляется двуцепочечная РНК или шпилька РНК с комплементарными участками около 20 пар нуклеотидов. Шпилька может быть совершенной (все нуклеотиды комплементарны друг другу) или несовершенной (когда есть отдельные несовпадения). Предположим, что молекула РНК может «согнуться» и образовать шпильку только в том случае, если между комплементарными участками находится **не менее 6 нуклеотидов** (так называемая петля).



Для удобства решения пронумерованные нуклеотиды выделены красным шрифтом, а шпилька – зелёным



**+1**                      **+10**                      **+20**                      **+30**

**A G C U U U U A C A G G C A U U A C C Y A G A A A G A U U Y**

**+40**                      **+50**

**C C A C C U A A A A A G C A U U C U G G Y A A U G C C**

По представленной последовательности молекулы РНК из 56 нуклеотидов определите, может ли она «свернуться» в шпильку с комплементарной частью ровно 20 нуклеотидов. Если может, то укажите, каким номерам нуклеотидов соответствуют шпилька и петля. Совершенной или несовершенной будет эта шпилька? Звездочкой отметьте нуклеотиды, которые не будут спаренными в несовершенной шпильке. Укажите их номера в ответе.

**Решение.**

Образование шпильки в принципе возможно: участок с +11 по +19 нуклеотид комплементарен участку с +48 по +56 нуклеотид. Эти участки в последовательности отмечены синим шрифтом и подчёркиванием. Однако шпилька не удовлетворяет условию: она короче, чем нужно. Шпилька совершенная. Петля с +20 по +47 нуклеотиды. (Возможно, за 56 нуклеотидом есть продолжение комплементарного участка. Тогда условие по длине шпильки не менее 20 нуклеотидов могло бы быть выполнено.) Есть и очень короткие участки гомологии, которые отмечены зелёным шрифтом. Гомология менее 6 нуклеотидов не принималась во внимание.

+1                      +10                      +20                      +30  
 А Г Ц У У У У А Ц А Г Г Ц А У У А Ц Ц У А Г А А А Г А У У У  
 +40                      +50  
 Ц Ц А Ц Ц У А А А А Г Ц А У У Ц У Г Г У А А У Г Ц Ц

## Итого: 100 технических баллов