



ОЛИМПИАДА  
ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА



Общеобразовательный предмет: **биология**  
2023-2024 учебный год

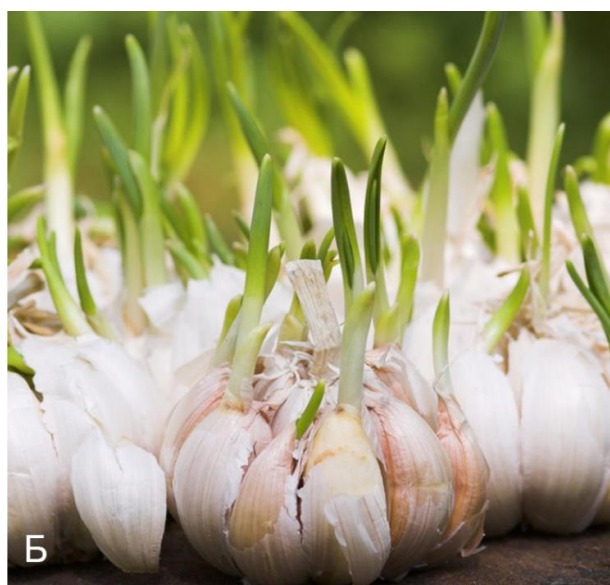
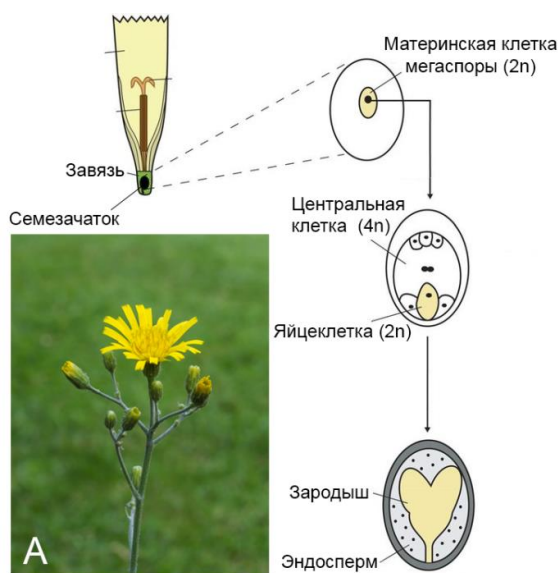
**9 класс**

**Вариант 1**

Пример одного из вариантов. Каждый вариант генерируется электронной системой случайным образом из пулов заданий по каждому из разделов.

**Задания 1-6. Выберите ВСЕ правильные ответы. Максимальная оценка за каждое задание – 5 баллов.**

**1. Апомиксис – способ размножения растений, при котором для развития зародыша в семени не требуется слияния гамет. На рисунке А представлен объект, для которого характерна одна из разновидностей апомиксиса – диплоспория. При этом из материнской клетки мегаспоры путём ряда митотических делений формируются зародышевый мешок (женский гаметофит). Что общего у этого варианта апомиксиса со способом размножения, проиллюстрированным на рисунке Б?**



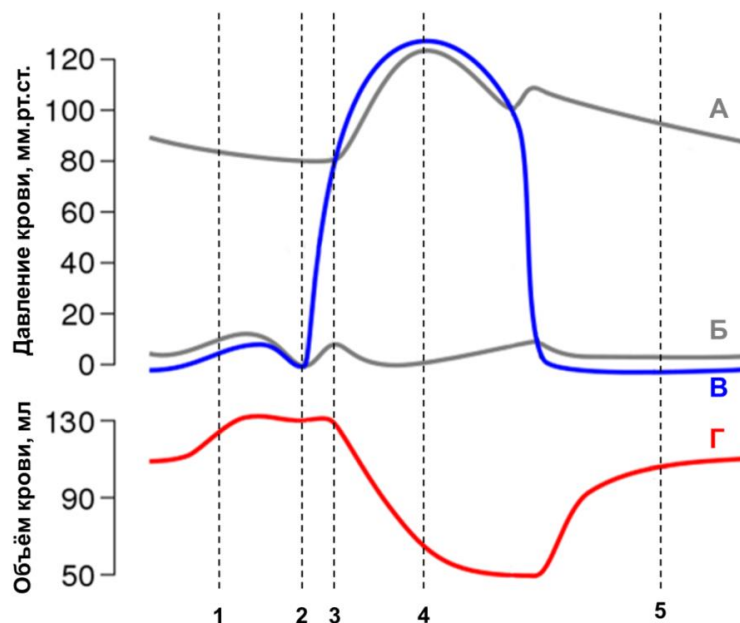
- а. Для развития нового растения необходимо наличие питающей ткани – эндосперма
- б. Образованию новых особей предшествует редукционное деление
- в. Для образования нового растения не требуется участие мужских гамет
- г. При отсутствии мутаций потомство генетически идентично материнской особи
- д. Новые растения развиваются из зиготы

2. На рисунке представлены различные беспозвоночные животные (соотношение размеров не соблюдено). Какие черты размножения и развития являются сходными для данных организмов?



- а. Неоднократные линьки в процессе развития
- б. Внутреннее оплодотворение
- в. Развитие с метаморфозом
- г. Смена поколений, для которых характерны разные способы размножения
- д. Формирование ротового отверстия у эмбриона на месте первичного рта

3. Рассмотрите диаграмму, отражающую изменения давления крови (в миллиметрах ртутного столба, мм.рт.ст.) в аорте (А), левом предсердии (Б) и левом желудочке (В), а также изменения объёма крови (в миллилитрах, мл) в левом желудочке (Г) сердца человека в ходе сердечного цикла. Какие процессы и явления наблюдаются в сердечно-сосудистой системе в моменты времени, отмеченные цифрами 1 – 5? Выберите верные утверждения.



- а. В момент времени №3 открывается полулунный клапан между левым желудочком и аортой
- б. В момент времени №1 наблюдается сокращение левого желудочка сердца
- в. В момент времени №2 открывается створчатый клапан между левым предсердием и левым желудочком
- г. В момент времени №4 в аорте регистрируется нижнее (диастолическое) кровяное давление
- д. В момент времени №5 левое предсердие и левый желудочек заполняются артериальной кровью

4. Ботулизм – это тяжёлое заболевание, которое развивается при попадании в организм человека ботулотоксина, продуцируемого бактериями *Clostridium botulinum*. Действие ботулотоксина основано на подавлении выделения в синаптическую щель ацетилхолина – возбуждающего нейромедиатора, при помощи которого двигательные нейроны передают сигналы мышечным клеткам. Таким образом, отравление ботулотоксином может привести к:

- а. Затруднениям произвольных движений конечностей
- б. Повышению частоты и глубины дыхательных движений
- в. Неспособности проглотить пищу
- г. Нарушениям способности зрачка реагировать на изменение освещённости
- д. Кислородному голоданию тканей организма

5. Для каких целей клетки могут использовать молекулы АТФ?

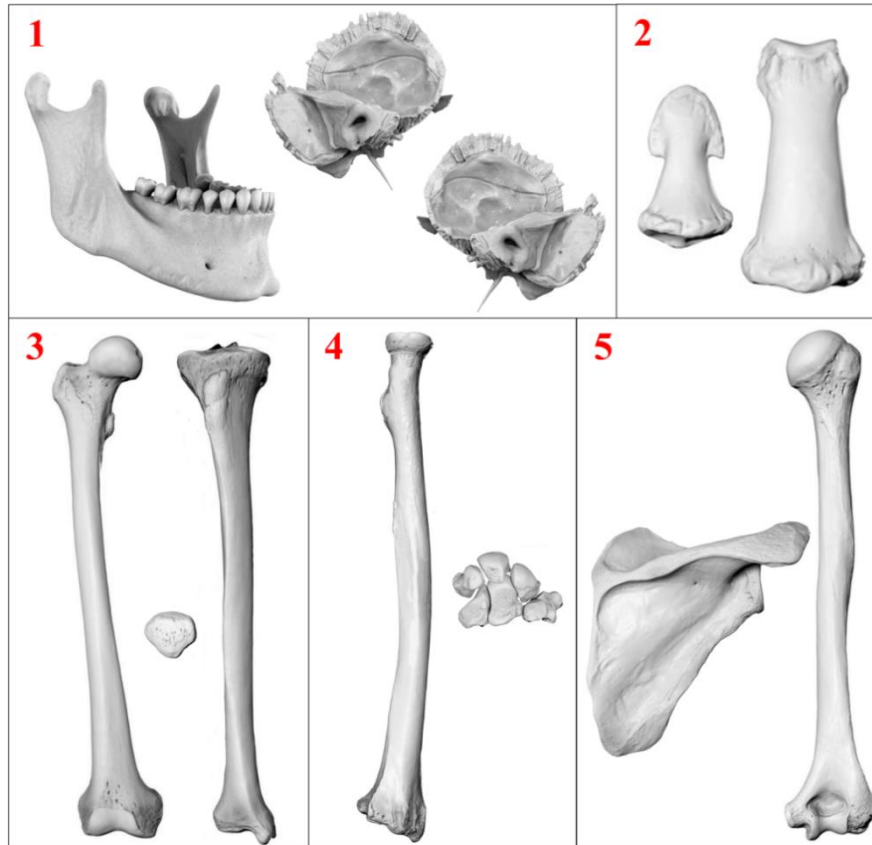
- а. В качестве источника энергии для процесса спиртового брожения
- б. Для синтеза матричной РНК
- в. Для синтеза ДНК
- г. В качестве источника энергии для движения клеток при помощи жгутиков
- д. В качестве источника неорганического фосфата

6. ДНК каких животных может быть обнаружена в содержимом кишечника жуков-навозников с острова Мадагаскар?

- а. Ленивец трёхпалый
- б. Леопард
- в. Лемур лори
- г. Лемминг копытный
- д. Лев

**Задание 7. Работа с изображениями объектов. Рассмотрите рисунки и выполните задания. Максимальная оценка – 5 баллов.**

Перед вами изображения элементов скелета человека, соединяющихся между собой при помощи различных суставов (соотношение размеров не соблюдено). Запишите точные биологические названия этих суставов в специально отведённые поля рядом с соответствующими номерами.



№	Название сустава
1.	Височно-нижнечелюстной
2.	Межфаланговый
3.	Коленный
4.	Лучезапястный
5.	Плечевой

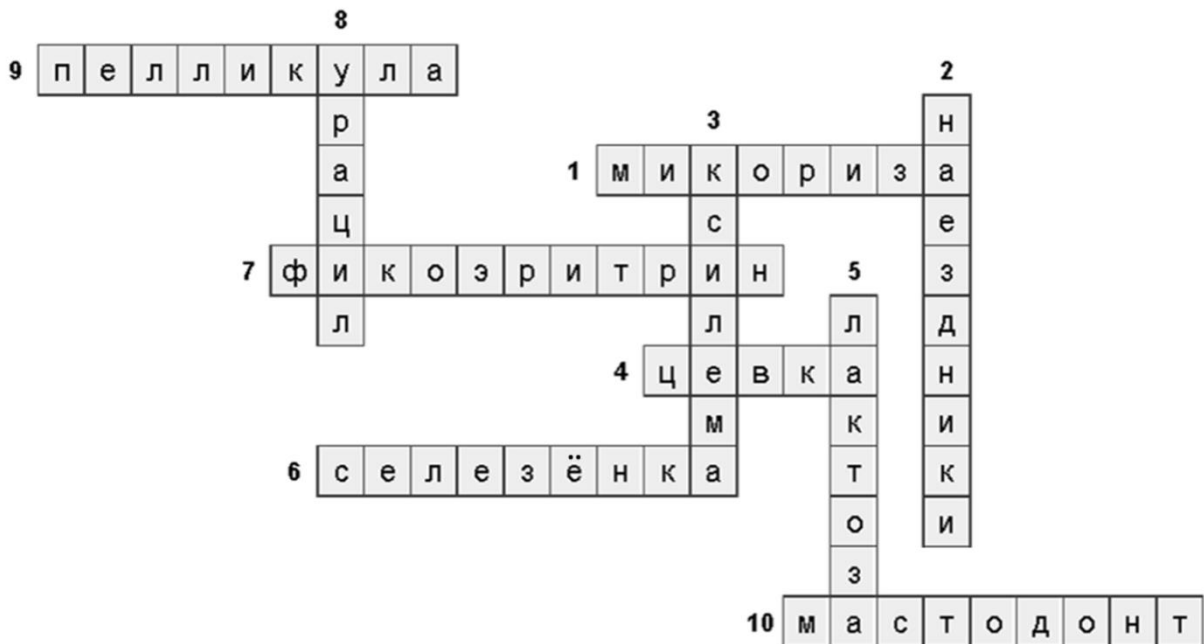
### Задание 8. Биологический кроссворд. Максимальная оценка – 10 баллов

Решите кроссворд. Изучите таблицу. В левой колонке зашифрованы биологические термины, а в правой – соответствующие им номера. Расшифруйте термины и впишите их в кроссворд под нужными номерами.

Термин	Номер слова
Специфическая покровная структура некоторых простейших, располагающаяся под плазмалеммой	Количество пар периферических микротрубочек в аксонеме жгутика у большинства эукариотических организмов
Красный пигмент некоторых водорослей и цианобактерий	Количество адениновых нуклеотидов в участке цепи ДНК, который комплементарен последовательности ТАТЦГАТТГГАЦТЦГТАААТ
Кость птицы, образовавшая путём срастания ряда костей предплюсны и плюсны	Количество крыльев у половозрелого самца муравья-листореза

Вымершее млекопитающее из отряда Хоботные	Количество ходильных ног у гигантской тигровой креветки
Проводящая ткань растений, обеспечивающая транспорт воды и минеральных веществ	Количество слуховых косточек в среднем ухе капибары
Дисахарид, состоящий из глюкозы и галактозы	Число лепестков в цветке лапчатки гусиной или малины обыкновенной
Структура, образованная гифами гриба и корнями растения	Общее количество хлоропластов в клетке хлореллы
Азотистое основание, не характерное для молекул ДНК	Количество резцов в зубной системе шимпанзе
Внутренний орган человека, выполняющий иммунную и кроветворную функции	Число атомов углерода в мономере молекулы гликогена
Группа представителей отряда Перепончатокрылые, личинки которых являются паразитами	Число камер в сердце речной миноги

Ответ:



**Задание 9. Расчётная задача. Решите задачу, используя отведённое поле.**  
**Максимальная оценка – 5 баллов.**

В ходе репликации ДНК-полимеразы совершает в среднем 1 ошибку на 1000 нуклеотидов, вставляя в новую цепь неправильный нуклеотид. При этом 25% таких ошибок в кодирующей части гена являются синонимичными, то есть не приводят к замене аминокислот в белковом продукте. Остальные 75% являются несинонимичными: в результате каждой такой ошибки одна аминокислота меняется на другую, либо кодон матричной РНК, кодирующий аминокислоту, меняется на стоп-кодон, что приводит к преждевременной остановке трансляции. После репликации гена *X* такой полимеразой и транскрипции соответствующего продукта была синтезирована матричная РНК, содержащая 200000 нуклеотидов. После вырезания всех некодирующих последовательностей её длина, включая старт- и стоп-кодоны,

составила 2% от первоначальной. Определите ожидаемое число аминокислотных замен в белковом продукте гена X, если известно, что в результате ошибок ДНК-полимеразы в каждом из изменённых кодонов подвергся замене только 1 нуклеотид, старт- и стоп-кодона матричной РНК остались без изменений, а длина белковой цепи осталась нормальной. Ход решения поясните.

Решение:

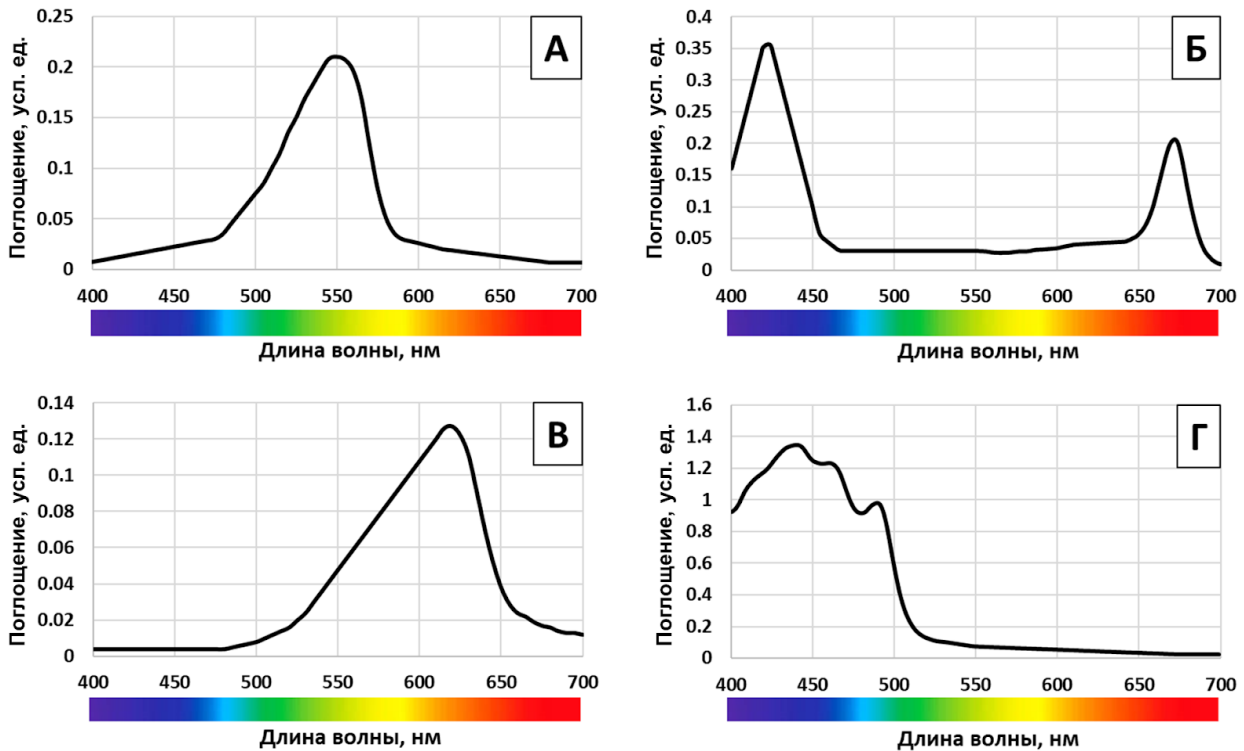
1. Длина кодирующей части мРНК составляет:  $200000 \cdot 2 / 100 = 4000$  (нуклеотидов).
2. По условию задачи старт-кодон и стоп-кодон не были изменены, однако при подсчёте частоты замен их нужно учитывать, поскольку теоретически изменения в них также могли возникнуть. При этом частота нуклеотидных замен в РНК равна частоте замен в соответствующей ей ДНК и также составляет  $1/1000$ . Таким образом, число нуклеотидных замен в мРНК составит:  $4000 / 1000 = 4$ .
3. Поскольку по условию длина белковой цепи не изменилась, ни одна из несинонимичных замен не привела к появлению стоп-кодона. При этом в каждом изменённом кодоне поменялся только 1 нуклеотид. Следовательно, доля аминокислотных замен равна доле несинонимичных нуклеотидных замен и составляет 75%. Таким образом, число аминокислотных замен составит  $4 \cdot 75 / 100 = 3$ .

Ответ: 3 аминокислотные замены.

**Задание 10. Работа с графиком. Проанализируйте предложенную информацию и выполните задания. Максимальная оценка – 5 баллов.**

В клетках всех фотосинтезирующих организмов содержатся пигменты – окрашенные молекулы, поглощающие свет в видимой области спектра (400–700 нм) и передающие энергию света другим компонентам фотосинтетического аппарата. Важной характеристикой каждого пигмента является его спектр поглощения – зависимость интенсивности поглощения света от длины волны. Известны фотосинтетические пигменты, поглощающие преимущественно красный, синий, зелёный свет и т.д.

На рисунке 1 представлены спектры поглощения четырех фотосинтетических пигментов, выделенных из разных организмов: хлорофилла *a*, лютеина (пигмент из класса каротиноидов), фикоцианина и фикоэритрина. Проанализируйте эти спектры и выполните задания. Запишите ответы в специально отведённое поле.



**Рисунок 1. Спектры поглощения фотосинтетических пигментов.** По оси абсцисс – длина волны (в нанометрах, нм), по оси ординат – показатель поглощения (в условных единицах, усл. ед.).

**Задания:**

1. Для каждого из графиков (А, Б, В и Г) назовите пигмент, спектр поглощения которого изображён на рисунке, и укажите цвет этого пигмента.

Ответ:

На графике А представлен спектр поглощения фикоэритрина. Пигмент имеет красный цвет.

На графике Б представлен спектр поглощения хлорофилла *a*. Пигмент имеет зелёный цвет.

На графике В представлен спектр поглощения фикоцианина. Пигмент имеет синий (голубой) цвет.

На графике Г представлен спектр поглощения лютеина. Пигмент имеет жёлтый (оранжевый) цвет.

2. Из клеток каких организмов могли быть выделены пигменты, спектры которых представлены на рисунках А и В? Какие специфические функции выполняют эти пигменты?

Ответ:

Фикобилины могут быть выделены из красных водорослей, цианобактерий или криптофитовых водорослей. Специфическая функция этих пигментов – комплементарная хроматическая адаптация: они поглощают ту часть спектра, которую не поглощают хлорофиллы и каротиноиды, и таким образом позволяют водорослям и цианобактериям фотосинтезировать в условиях неполноценного освещения.

3. В клетках растений фотосинтетические пигменты находятся в пластидах. Как называются пластиды, преимущественно содержащие каротиноиды?

Ответ:

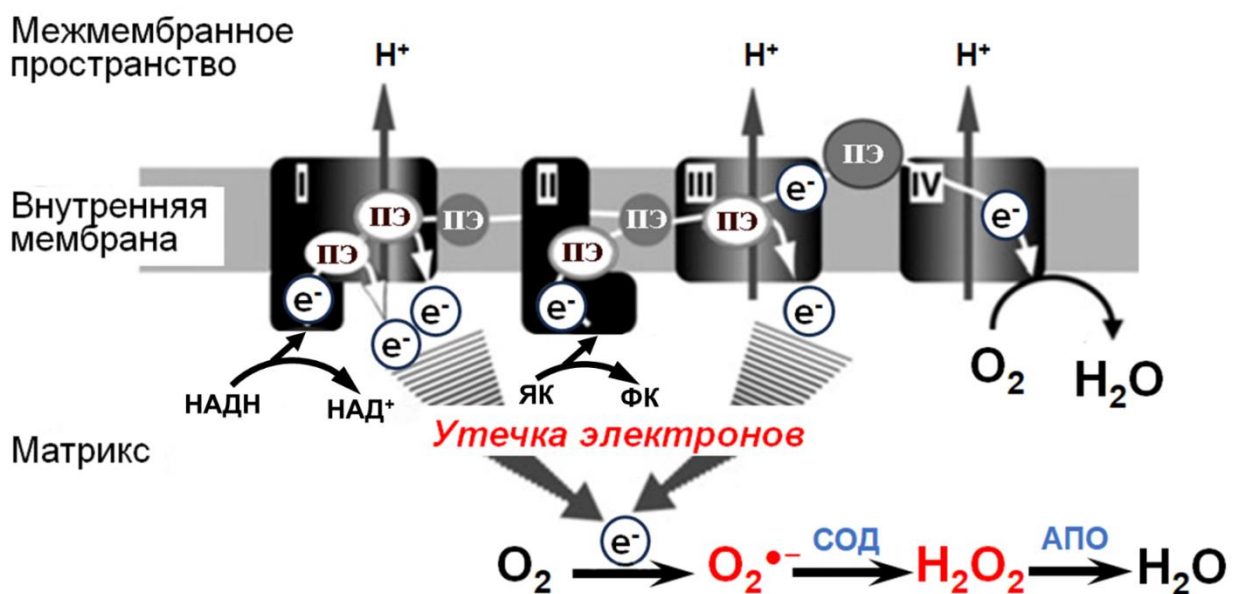
Хромопласты.

**Задание 11. Работа с информацией.** Внимательно прочитайте предложенные фрагменты текста и рассмотрите рисунки, затем переходите к выполнению заданий. **Максимальная оценка – 10 баллов.**

**Фрагмент 1.** В клетках всех аэробных живых организмов постоянно присутствуют **активные формы кислорода (АФК)**. Это молекулы, ионы и радикалы, которые с химической точки зрения являются продуктами неполного восстановления кислорода до воды. Примерами таких соединений являются синглетный кислород ( $^1\text{O}_2$ ), пероксид (перекись) водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), супероксид анион-радикал ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ), гидроксил-радикал ( $\text{OH}^\bullet$ ). Все АФК – очень нестабильные, короткоживущие и химически активные соединения: например, время жизни супероксид анион-радикала в клетке до того, как он вступит в реакцию с другим соединением, составляет 0.01–1 мкс. Самой устойчивой АФК является пероксид водорода; время жизни этой молекулы – около 1 мс.

В клетках разных организмов в нормальных условиях образование АФК может происходить в митохондриях ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), хлоропластах ( $^1\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и пероксисомах ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). У растений пероксид водорода также может формироваться в клеточных стенках. Из всех АФК только относительно стабильные молекулы  $\text{H}_2\text{O}_2$  могут перемещаться по клетке или даже, пересекая плазмалемму, диффундировать в соседние клетки.

Основные биохимические процессы, приводящие к выработке этих соединений, – это финальный этап клеточного дыхания (окислительное фосфорилирование, происходящее на внутренней мембране митохондрий) и световая фаза фотосинтеза. Оба эти процесса связаны с работой **электрон-транспортных цепей (ЭТЦ)** – групп молекул, определённым образом расположенных на мембранах и переносящих электроны последовательно с одного органического соединения (переносчика) на другое до получения стабильного восстановленного продукта (рис. 1). Каждый переносчик в цепи сначала восстанавливается, принимая электрон, а затем быстро окисляется, передавая электрон следующему переносчику. Таким образом, работа ЭТЦ – это серия окислительно-восстановительных реакций. Из-за того, что ЭТЦ работают в присутствии кислорода, периодически происходит «утечка» электронов: вместо того, чтобы присоединиться к очередному органическому переносчику, электроны переходят на кислород, восстанавливая его либо полностью (до воды), либо частично (до АФК) (рис. 1).

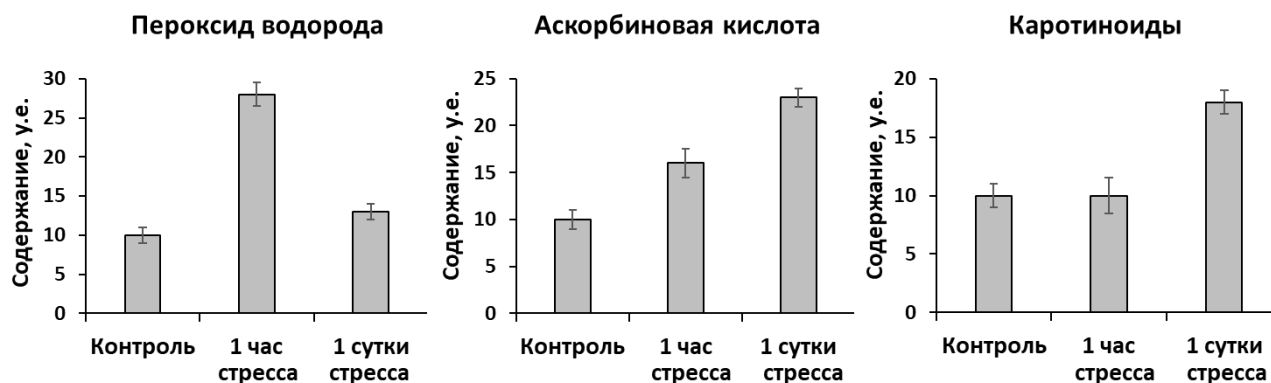


**Рисунок 1.** Образование активных форм кислорода при работе митохондриальной (дыхательной) электрон-транспортной цепи (ЭТЦ). I – IV – белковые комплексы внутренней мембраны митохондрий, формирующие ЭТЦ;  $\text{e}^-$  – электрон;  $\text{H}^+$  – протон; ПЭ – переносчик электронов; УК – убитинон; ФК – фумаровая кислота; СОД – супероксиддисмутаза; АПО – аскорбатпероксидаза.



**Фрагмент 2.** Из-за своей высокой реакционной способности АФК легко окисляют разнообразные органические молекулы, что приводит к повреждению белков, нуклеиновых кислот, мембранных липидов и других важных компонентов клеток живых организмов. Если содержание АФК в клетке не будет контролироваться, это может привести к её гибели. Клетки не могут остановить выработку АФК, но могут их нейтрализовать и, таким образом, не допустить повреждения органических молекул и образования токсичных соединений. Молекулы, принимающие участие в процессах нейтрализации АФК, образуют систему антиоксидантной (антиокислительной) защиты клетки. Эта система включает в себя ферменты (каталаза, аскорбатпероксидаза, супероксиддисмутаза и др.), а также группу небольших молекул разной химической природы, которые получили название антиоксидантов. Важнейшими антиоксидантами являются аскорбиновая кислота (аскорбат), токоферол, каротиноиды, глутатион, фенольные соединения. Например, одними из ключевых компонентов системы антиоксидантной защиты у растений являются аскорбиновая кислота и взаимодействующий с ней фермент, аскорбатпероксидаза. Эти молекулы играют важную роль в нейтрализации пероксида водорода. На первом этапе этого процесса  $H_2O_2$  восстанавливается аскорбатпероксидазой до воды. Донором электронов для этой реакции служит аскорбиновая кислота, которая в результате окисляется до дегидроаскорбата. Далее дегидроаскорбат восстанавливается обратно до аскорбиновой кислоты, принимая электроны от глутатиона, который, в свою очередь, получает электроны от НАДФН, окисляющегося при этом до  $НАДФ^+$ .

Как правило, компоненты системы антиоксидантной защиты накапливаются в тех органоидах клеток, в которых наиболее активно вырабатываются АФК. Работа антиоксидантных систем особенно важна в случае, если организм испытывает физиологический стресс из-за воздействия каких-либо неблагоприятных факторов (например, повышенной температуры, атаки патогенов и др.). Очень часто в стрессовых условиях затруднена нормальная работа ЭТЦ, что приводит к резкому повышению уровня АФК в клетках и угрозе их гибели. Соответственно, типичной реакцией живых организмов на стресс является усиление процессов биосинтеза антиоксидантов и АФК-нейтрализующих ферментов (рис. 2).



**Рисунок 2.** Содержание пероксида водорода, аскорбиновой кислоты и каротиноидов в клетках листа малины в нормальных условиях (контроль), а также через 1 час и 1 сутки после начала умеренного стрессового воздействия. У.е. – условные единицы.

*В каждом из приведённых ниже заданий выберите ВСЕ правильные варианты ответа. Каждый ответ запишите в специально отведённое поле в виде последовательности букв в алфавитном порядке без знаков препинания и пробелов (регистр не важен).*

**1. Прочитайте фрагмент 1 и рассмотрите рисунок 1. На основании предложенной информации выберите утверждения, которые верно характеризуют дыхательную электрон-транспортную цепь.**

- а) Наличие кислорода необходимо для нормальной работы дыхательной цепи
- б) В процессе работы дыхательной цепи происходит восстановление янтарной кислоты в матриксе митохондрий
- в) Работа дыхательной цепи сопровождается переносом протонов из матрикса митохондрий в цитоплазму клетки
- г) Электроны поступают в дыхательную цепь в результате окисления НАДН

*Ответ:* **аг**

**2. Прочитайте текстовый фрагмент 2. На основании предложенной информации выберите утверждения, которые верно характеризуют работу антиоксидантных систем клеток.**

- а) Физиологический смысл работы антиоксидантных систем – это предотвращение формирования АФК
- б) В системе антиоксидантной защиты клеток живых организмов могут быть задействованы белки, фотосинтетические пигменты, витамины, фенольные соединения
- в) Для эффективной нейтрализации пероксида водорода с использованием фермента аскорбатпероксидазы клетка нуждается в постоянном пополнении запаса НАДФ<sup>+</sup>
- г) Активность антиоксидантной системы клеток усиливается, когда организм находится в неблагоприятных условиях

*Ответ:* **бг**

**3. Рассмотрите рисунок 2. Основываясь на информации из текстового фрагмента 2 и данных, приведённых на рисунке 2, выберите утверждения, которые верно характеризуют реакцию малины на стрессовое воздействие.**

- а) Первой защитной реакцией клеток листа малины в ответ на стрессовое воздействие является усиление биосинтеза каротиноидов и их накопление в хлоропластах
- б) Снижение уровня пероксида водорода в клетке через 1 сутки после начала стрессового воздействия может быть следствием усиления биосинтеза антиоксидантов
- в) Антиоксидантная система клеток листа малины в состоянии контролировать уровень пероксида водорода в клетках при данном типе стрессового воздействия
- г) Повышение содержания каротиноидов в клетках листа малины через 1 сутки после начала стрессового воздействия указывает на усиление процессов фотосинтеза

*Ответ:* **бв**

**4. На основании информации из текстовых фрагментов и рисунков выберите правильные утверждения.**

- а) У растений в клетках зелёного листа в нормальных условиях вырабатывается больше АФК, чем в клетках корня
- б) Из-за своей высокой реакционной способности АФК никогда не покидают тот компартмент клетки, в котором они образовались
- в) Присутствие АФК в клетках живого организма всегда свидетельствует о том, что этот организм находится в состоянии физиологического стресса
- г) Нейтрализация супероксид анион-радикала при помощи ферментов антиоксидантной защиты заключается в окислении  $O_2^{\bullet-}$  до воды. Этот процесс проходит в два этапа.

*Ответ:* **а**

**5. На основании имеющихся у вас знаний и информации из текстовых фрагментов и рисунков выберите правильные утверждения.**

- а) Накопление в клетке супероксид анион-радикала и гидроксил-радикала опаснее, чем накопление пероксида водорода

- б) Активные формы кислорода могут накапливаться в клетках при физиологическом стрессе, вызванном гипоксией
- в) До появления на Земле процесса фотосинтеза в клетках живых организмов не формировались АФК
- г) Как правило, при физиологическом стрессе дыхательная и фотосинтетическая электрон-транспортные цепи начинают работать более эффективно, чтобы клетка получала больше энергии, необходимой для выживания в неблагоприятных условиях

Ответ: ав

**Задание 12. Задача по генетике. Решите задачу и запишите ответы в отведенные поля. Максимальная оценка – 5 баллов.**

У некоторого вида млекопитающих обнаружена рецессивная мутация в гене *C*, который располагается на одной из аутосом. Эта мутация приводит к тому, что у сперматозоидов, несущих соответствующую аллель (*c*), не формируется акросома – мембранный пузырёк с гидролитическими ферментами, которые позволяют разрушать яйцевую оболочку. Какое расщепление по генотипу и фенотипу следует ожидать в потомстве при скрещивании ♀ *Cc* × ♂ *Cc*, если вероятность рождения потомков мужского и женского пола одинакова? Для решения задачи заполните таблицу.

	Ответ:
Доля нефункциональных (не способных участвовать в оплодотворении) гамет у отцовского организма (в %)	50
Возможные генотипы потомков F <sub>1</sub> (если необходимо записать несколько вариантов, отделите их друг от друга запятой и пробелом)	<i>CC, Cc</i>
Вероятность появления в F <sub>1</sub> доминантных гомозигот (в %)	50
Вероятность рождения в F <sub>1</sub> потомков, способных продуцировать только функциональные гаметы (в %)	75
Возможные генотипы потомков F <sub>2</sub> (если необходимо записать несколько вариантов, отделите их друг от друга запятой и пробелом)	<i>CC, Cc</i>

**Примечания:**

- Все материнские гаметы функциональны, в то время как у отцовской особи функциональны только сперматозоиды, несущие аллель *C*, и они образуются с вероятностью 50%. Соответственно, нефункциональные гаметы также образуются с вероятностью 50%.
- Потомки F<sub>1</sub> могли бы иметь генотипы *CC*, *Cc* и *cc*, однако отцовские гаметы с аллелью *c* не могут участвовать в оплодотворении и передавать эту аллель потомкам. Поэтому возможные генотипы потомков – только *CC* и *Cc* в соотношении 1:1. Следовательно, вероятность рождения доминантных гомозигот в F<sub>1</sub> составит 50%.
- По условию задачи, самки и самцы в потомстве рождаются с вероятностью 1:1 (50% : 50%). При этом среди самок все образуют функциональные гаметы (50% от всех особей в потомстве); среди самцов половина будет продуцировать только функциональные гаметы (25% от всех особей в потомстве), а половина (ещё 25% от всех особей в потомстве) – и функциональные, и дефектные. Соответственно, доля потомков, способных продуцировать только функциональные гаметы, составляет 50%+25%=75%.
- При скрещивании потомков F<sub>1</sub> возможно несколько вариантов генотипов потомства:
  - ♀ *CC* × ♂ *CC* => *CC*,
  - ♀ *Cc* × ♂ *Cc* => *CC, Cc*,
  - ♀ *CC* × ♂ *Cc* => *CC*,
  - ♀ *Cc* × ♂ *CC* => *CC, Cc*.

В любом случае, возможные генотипы потомков F<sub>2</sub> – только *CC* и *Cc*.

**Задание 13. Соответствие данных. Установите однозначное соответствие между биологическими объектами, представленными в таблице, и их характеристиками. Максимальная оценка – 10 баллов.**

Рассмотрите таблицу, в которой представлены названия ферментов, выделяющихся в просвет пищеварительного тракта млекопитающих, и прочитайте приведённые ниже характеристики. Установите однозначное соответствие между названиями ферментов и их описаниями. Каждый ответ запишите в виде соответствующей буквы (без пробелов и знаков препинания) в специально отведённое поле рядом с каждым описанием (регистр не важен).

Ферменты пищеварительной системы	(А) Карбогидразы	(Г) Амилаза
		(Д) Лактаза
		(Е) Лизоцим
	(Б) Липазы	(Ж) Желудочная липаза
		(З) Панкреатическая липаза
	(В) Протеазы	(И) Химозин (реннин)
		(К) Химотрипсин

**Характеристики:**

1. Этот фермент осуществляет гидролиз триглицеридов до холестерина и жирных кислот, однако его вклад в пищеварение у взрослого человека относительно невелик, поскольку он эффективно расщепляет только липиды, изначально находящиеся в состоянии эмульсии (взвеси мелких жировых капель в жидкости). Активен в кислой среде: значения рН, оптимальные для каталитической активности, составляют от 3,0 до 6,0.

*Ответ: Ж*

2. Под действием этого фермента его специфический субстрат расщепляется на два моносахарида – глюкозу и галактозу.

*Ответ: Д*

3. Группа ферментов, которые катализируют гидролиз гликозидных связей между остатками моносахаридов.

*Ответ: А*

4. Этот фермент продуцируется секреторными клетками в виде неактивного предшественника, который активируется под действием соляной кислоты. Катализирует гидролиз растворимого казеиногена, в результате чего образуется нерастворимый казеин. Используется в промышленности для изготовления различных видов сыра.

*Ответ: И*

5. Этот пищеварительный фермент расщепляет крахмал до три- и дисахаридов. Значения рН, оптимальные для каталитической активности, составляют 6,7 – 7,0.

*Ответ: Г*

6. Этот фермент гидролизует полипептидные цепи с образованием олигопептидных фрагментов, преимущественно расщепляя связи между остатками тирозина, фенилаланина и триптофана. Секретируется в просвет пищеварительного тракта в виде неактивного предшественника, который превращается в активную форму под действием трипсина. Значение рН, оптимальное для каталитической активности, составляет 8,0.

*Ответ: К*

7. Группа ферментов, способных расщеплять сложноэфирные связи в молекулах липидов.

*Ответ: Б*

8. Этот фермент выделяется в большом количестве в составе слюны и катализирует гидролиз муреина.

*Ответ: Е*

9. Этот фермент активен в щелочной среде и играет основную роль в переваривании жиров у человека. Работе фермента способствует предварительная обработка субстрата компонентами желчи.

Ответ: З

10. Группа ферментов, которые обеспечивают гидролиз пептидных связей.

Ответ: В

**Задание 14. Вопрос с развёрнутым ответом. Дайте развернутый ответ, запишите его в отведенное поле. Максимальная оценка – 10 баллов.**

Самой многочисленной экологической группой среди наземных позвоночных животных являются консументы первого порядка. Какие морфологические и физиологические адаптации сформировались у разных наземных позвоночных в связи с питанием растительной пищей? Приведите примеры.

Ответ:

Наиболее широко консументы первого порядка представлены среди таких групп наземных позвоночных, как рептилии, птицы и млекопитающие. Рассмотрим основные морфологические и физиологические адаптации к фитофагии, характерные для этих животных.

**Приспособления для измельчения растительной пищи**

В первую очередь, к таким приспособлениям относятся различные преобразования зубов:

- зубы с острой режущей кромкой, предназначенные для эффективного разрезания стеблей и листьев. Примерами могут служить листовидные зубы у некоторых игуан или резцы грызунов и зайцеобразных;

- зубы с уплощённой жевательной поверхностью (у копытных) или со сложными петлеобразными складками эмали (у полёвок), предназначенные для эффективного перетирания частей растений.

Птицы утратили зубы в ходе эволюции, но их клювы также могут быть приспособлены питания растениями: например, долотообразный клюв вьюрков позволяет этим птицам разрушать твёрдые оболочки семян и плодов.

Кроме того, для растительноядных птиц характерно особое строение стенок мускульного отдела желудка: его стенки чрезвычайно толстые, а внутри формируется твёрдая кератиновая оболочка (кутикула), имеющая бугры. Пища, предварительно смоченная пищеварительными ферментами в железистом отделе желудка, перетирается в мускульном желудке благодаря ритмичным сокращениям его стенок. Кроме того, измельчать пищу помогают заглатываемые птицами камешки (гастролиты), которые скапливаются в полости желудка и играют роль жерновов.

**Приспособления для усвоения компонентов растительной пищи**

1) Наличие эндосимбионтов, способных расщеплять целлюлозу

Растительная пища содержит большое количество целлюлозы, однако в пищеварительном тракте позвоночных не вырабатываются ферменты, способные её расщеплять. Тем не менее, расщепление целлюлозы возможно благодаря наличию эндосимбионтов (бактерий, протистов), обитающих в различных отделах пищеварительного тракта растительноядных животных. В свою очередь, продукты расщепления целлюлозы (органические кислоты) усваиваются животным и вовлекаются в его энергетический метаболизм.

У многих парнокопытных млекопитающих (представителей подотряда Жвачные) значительная часть эндосимбионтов, расщепляющих целлюлозу, находится в первом отделе сложного желудка (рубце). У растительноядных позвоночных, не имеющих сложного желудка, (например грызунов или зайцеобразных) основная часть симбионтов обитает в выросте слепой кишки (аппендиксе), который у них развит значительно сильнее, чем у хищных и всеядных животных. Например, у кролика длина аппендикса составляет до 36 см, в

то время как у человека аппендикс является рудиментом и составляет в длину от 3 до 20 см, а у кошки он практически полностью редуцирован.

2) Поскольку растительная пища низкокалорийна, фитофаги вынуждены потреблять значительно больший объем пищи, чем хищники. Так, растительноядная пенсильванская соя (масса тела 46 г) потребляет 0,61 г растительной пищи на 1 г массы тела, в то время как ласка (представитель отряда Хищные, масса тела 60 г) – всего 0,25 г на 1 г массы тела.

### 3) Увеличение времени переваривания пищи

Растительная пища расщепляется намного медленнее, чем животная. В связи с этим относительная длина всего пищеварительного тракта у растительноядных позвоночных гораздо больше, чем у всеядных и хищных видов.

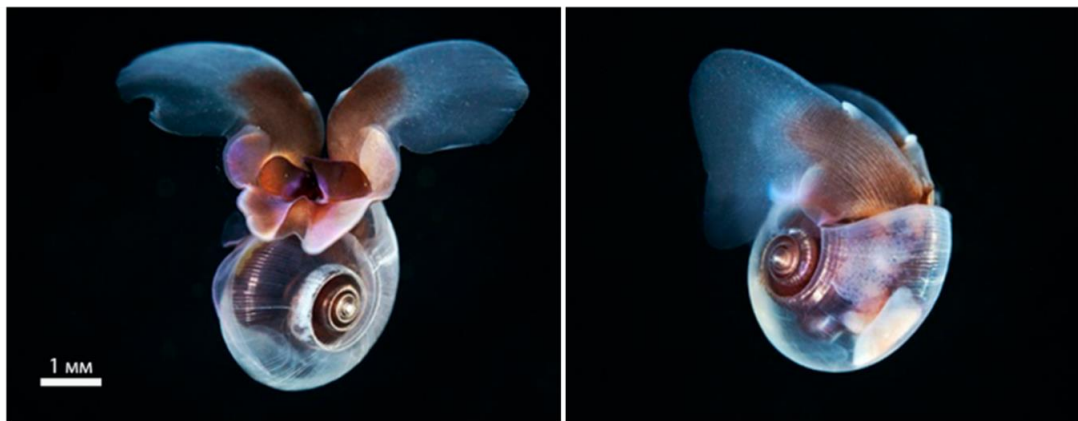
Кроме того, для более эффективного переваривания и усвоения питательных веществ многие растительноядные животные повторно пропускают полупереваренную пищу через желудочно-кишечный тракт. Например, у жвачных животных растительная пища, предварительно измельчённая и смоченная слюной в ротовой полости, поступает в рубец (первый отдел сложного желудка), где сбраживается под влиянием микроорганизмов, а затем проталкивается во второй отдел желудка – сетку. Из сетки она отрыгивается обратно в ротовую полость, где вновь смачивается слюной, перетирается и заглатывается. В третьем отделе желудка, книжке, происходит всасывание содержащейся в пище воды, а в последнем отделе, сычуге, – обработка пищи желудочным соком.

Другим приспособлением для более эффективного усвоения компонентов растительной пищи является копрофагия, то есть поедание собственных или чужих экскрементов. Примерами таких животных могут служить представители отряда Зайцеобразные. Их пищеварительный тракт часто не в состоянии с первого раза эффективно переварить растительную пищу, и после первичного прохождения пищи по пищеварительному тракту в ней всё ещё остаётся много питательных веществ. Таким образом, поедание экскрементов обеспечивает более полное усвоение.

*Возможны и другие правильные элементы ответа.*

**Задание 15. Работа с изображениями объектов. Проанализируйте предложенные изображения и выполните задания, используя отведённое поле. Максимальная оценка – 10 баллов.**

**I**



**II**



1. На рисунке изображены животные двух разных видов (I, II), относящиеся к одному типу. Укажите не менее трёх признаков, которые характерны для всех представителей этого типа.

Ответ:

1. Наличие мантии, мантийной полости.

2. Наличие целома.

3. Незамкнутая кровеносная система

*Возможны и другие элементы ответа, верно характеризующие всех представителей типа Моллюски.*

2. Перед вами таблица, которая представляет собой определительный ключ (определитель), позволяющий установить принадлежность организма к тому или иному классу и отряду. Таблица включает в себя пронумерованные утверждения (тезы и антитезы). Начинать определение объекта необходимо с тезы №1. Если она верно характеризует определяемый объект, то нужно перейти к тезе с номером, следующим за ней. Если теза №1 не подходит, следует обратиться к противоположному утверждению (антитезе), номер которого указан в скобках рядом с номером тезы, а затем переходить к тезе со следующим порядковым номером. Двигаться по ключу таким образом необходимо до тех пор, пока в конце тезы или антитезы не будет указано название отряда.

Используя таблицу, установите, к какому(-им) отряду(-ам) относятся организмы I и II. Укажите для каждого организма название отряда, а также последовательность номеров тез и/или антитез, верно характеризующих определяемый объект.

№	Теза/антитеза
1(10)	Раковина имеется.
2(7)	Раковина спирально закручена или колпачковидной формы.
3(4)	Завиток раковины очень низкий, скрыт последним (самым широким) оборотом. Устье раковины щелевидное, никогда не закрыто крышечкой. <b>Класс Брюхоногие, отряд Покрытожаберные</b>
4(3)	Завиток раковины возвышается над последним (самым широким) оборотом. Если нет, то устье раковины очень широкое (раковина ушковидная или колпачковидная). Устье может быть закрыто крышечкой.
5(6)	Нога в виде единой лопасти. Устье раковины более или менее округлое, никогда не бывает щелевидным. Вход в устье может быть закрыт крышечкой. Раковина может быть колпачковидной или ушковидной (в этом случае крышечки нет). Бентические формы. <b>Класс Брюхоногие, отряд Мезогастроподы</b>
6(5)	Нога расщеплена вдоль, образует два «крыла». Пелагические формы. <b>Класс Брюхоногие, отряд Крылоногие</b>
7(2)	Раковина иной формы.
8(9)	Раковина из 8 отдельных пластин. <b>Класс Боконервные, отряд Хитониды</b>

Ответ:

Организм I – 1247 (отряд Крылоногие).

Организм II – 179 (отряд Хитониды).

3. К какой экологической группе водных организмов (планктон, нектон или бентос) относится животное на рисунке I? Назовите эту группу и укажите не менее двух признаков организма I, на основании которых можно сделать такой вывод.

Ответ:

Организм I относится к планктону.

Признаки, которые позволяют сделать такой вывод:

- маленький размер (животное не способно оказывать существенное сопротивление течению);
- наличие выростов, повышающих площадь поверхности тела и, как следствие, плавучесть.

*Возможны и другие правильные элементы ответа.*



**ОЛИМПИАДА  
ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**



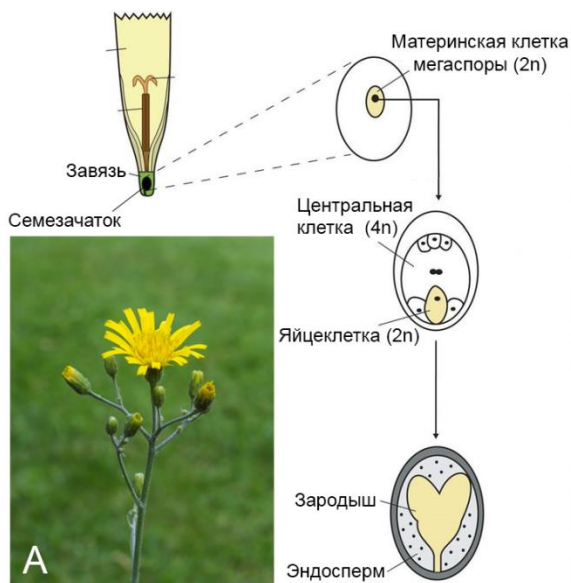
Общеобразовательный предмет: **биология**  
2023-2024 учебный год

**9 класс**  
**Вариант 2**

Пример одного из вариантов. Каждый вариант генерируется электронной системой случайным образом из пулов заданий по каждому из разделов.

**Задания 1-6. Выберите ВСЕ правильные ответы. Максимальная оценка за каждое задание – 5 баллов.**

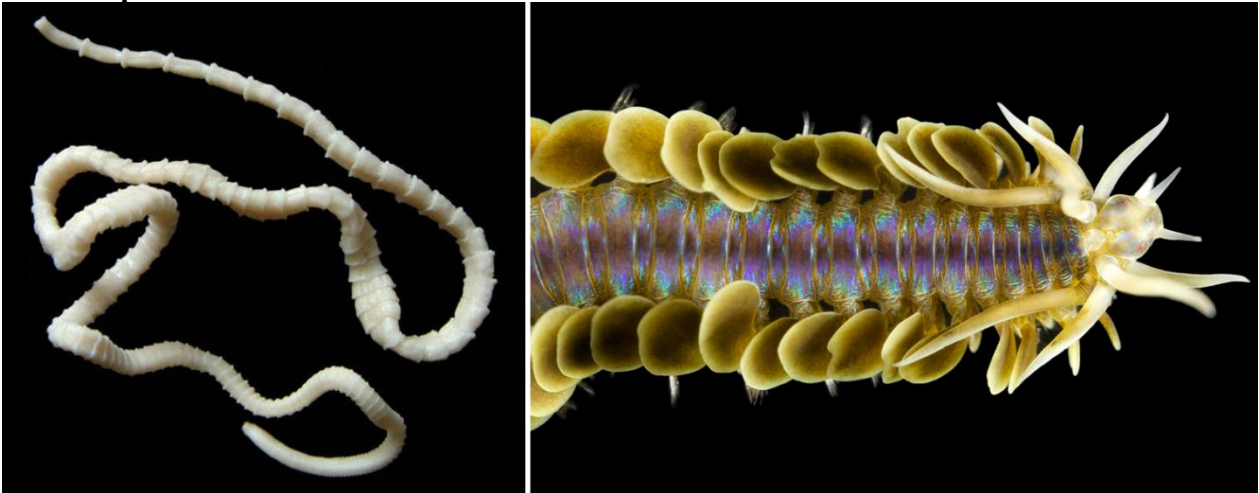
1. Апомиксис – способ размножения растений, при котором для развития зародыша в семени не требуется слияния гамет. На рисунке А представлен объект, для которого характерна одна из разновидностей апомиксиса – диплоспория. При этом из материнской клетки мегаспоры путём ряда митотических делений формируется зародышевый мешок (женский гаметофит). Чем отличается этот вариант апомиксиса от способа размножения, проиллюстрированного на рисунке Б?



- а. Новое растение образуется из неоплодотворённых женских гамет
- б. Потомство имеет гаплоидный набор хромосом
- в. Для образования нового растения не требуется участие мужских гамет
- г. Новое растение генетически идентично материнской особи
- д. Для развития нового растения необходимо наличие питающей ткани – эндосперма

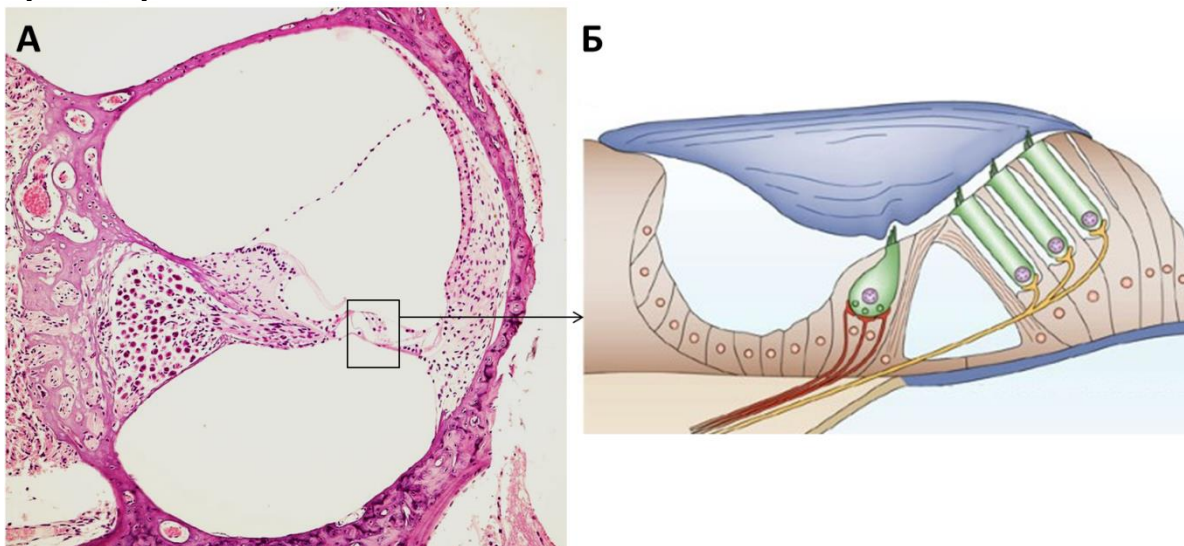


2. На рисунке представлены различные беспозвоночные животные (соотношение размеров не соблюдено). Какие черты размножения и развития являются сходными для данных организмов?



- а. В ходе эмбрионального развития у зародыша формируются три зародышевых листка
- б. Раздельнополые животные
- в. Ротовое отверстие у эмбриона формируется на месте первичного рта
- г. Оплодотворение наружное
- д. В жизненном цикле есть стадия личинки

3. Рассмотрите предложенные изображения. На рисунке А представлен поперечный срез особого канала, расположенного внутри височной кости, а на рисунке Б – элемент канала, несущий рецепторные клетки (отмечены зелёным цветом). Каковы функции этих рецепторов?



- а. Реагируют на изменение положения тела в пространстве
- б. Преобразуют механические колебания среды в электрические импульсы, которые передаются в затылочную долю коры больших полушарий
- в. Воспринимают амплитуду механических колебаний
- г. Улавливают механические колебания при помощи чувствительных ресничек
- д. Воспринимают частоту механических колебаний

4. **Холера – это острое инфекционное кишечное заболевание, возбудителем которого является холерный вибрион (*Vibrio cholerae*). Основным симптомом холеры является диарея, которая приводит к сильному обезвоживанию организма (вплоть до летального исхода). Причиной развития этого симптома является выделяемый бактериями холерный токсин, который активирует особый белок, регулирующий транспорт ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$  через мембрану энтероцитов. В связи с этим потеря организмом воды обусловлена повышением интенсивности:**

- а. Транспорта ионов  $\text{K}^+$  из внеклеточной среды, что приводит к поступлению воды внутрь энтероцитов
- б. Транспорта ионов  $\text{Cl}^-$  из внеклеточной среды, что приводит к поступлению воды внутрь энтероцитов
- в. Транспорта ионов  $\text{HCO}_3^-$  во внеклеточную среду, что приводит к поступлению воды в просвет кишечника
- г. Транспорта ионов  $\text{Cl}^-$  во внеклеточную среду, что приводит к поступлению воды в просвет кишечника
- д. Транспорта ионов  $\text{Na}^+$  из внеклеточной среды, что приводит к поступлению воды внутрь энтероцитов

5. **Нуклеиновые кислоты присутствуют в клетках всех живых организмов и выполняют важнейшие функции по хранению, передаче и реализации наследственной информации. Какие утверждения о нуклеиновых кислотах в клетках эукариот являются верными?**

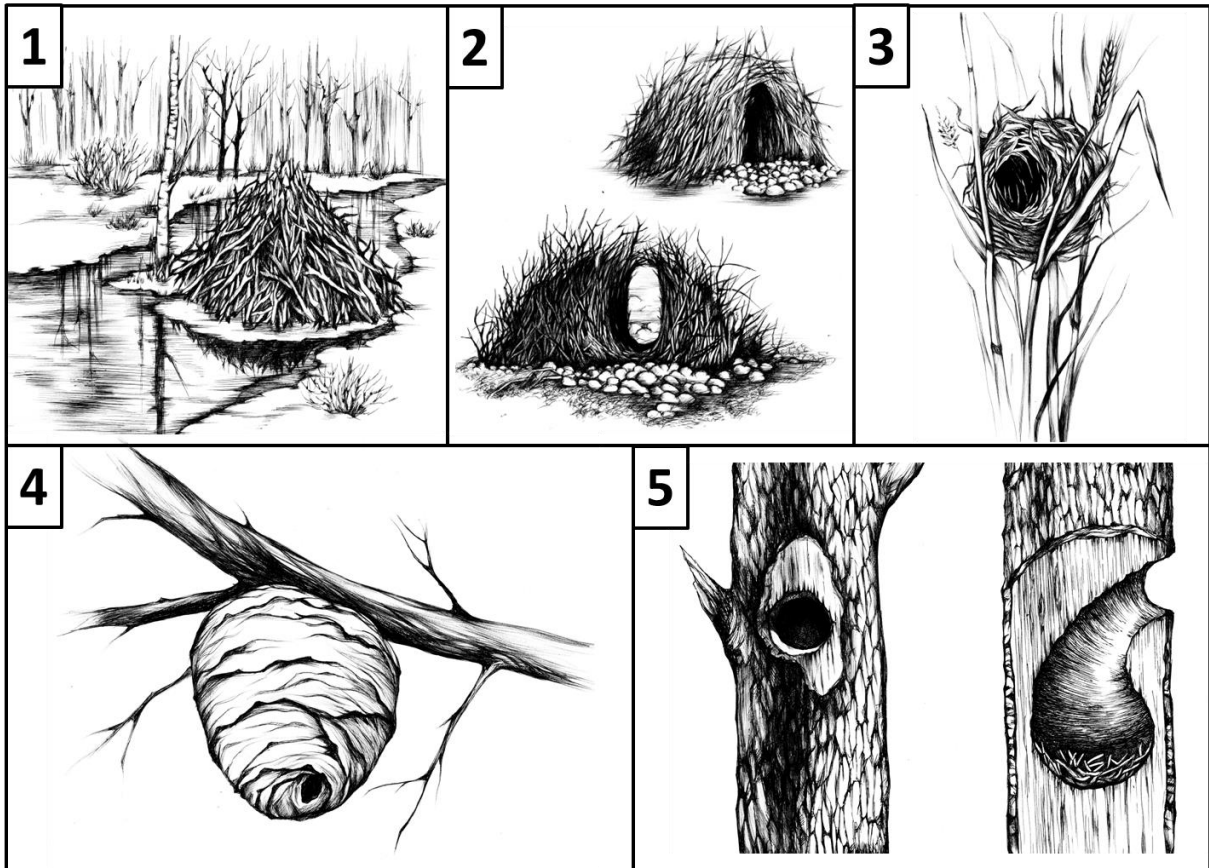
- а. Рибосомная РНК является двухцепочечной и не содержит урацил
- б. Кольцевые молекулы ДНК присутствуют в митохондриях
- в. Информационная РНК является одноцепочечной и не содержит дезоксирибозу
- г. Между некоторыми нуклеотидами транспортной РНК формируются водородные связи
- д. Молекула ДНК содержит водородные связи и может быть линейной

6. **Кто из перечисленных животных может стать добычей морского леопарда?**

- а. Галапагосский пингвин
- б. Кольчатая нерпа
- в. Тюлень-крабодед
- г. Морской заяц (лахтак)
- д. Пингвин Адели

**Задание 7. Работа с изображениями объектов. Рассмотрите рисунки и выполните задания. Максимальная оценка – 5 баллов.**

Рассмотрите рисунок, на котором представлены жилища и другие постройки различных живых организмов (соотношение размеров не соблюдено). Определите, к каким таксонам (см. таблицу) они относятся, и запишите русские названия этих таксонов в специально отведённые поля рядом с соответствующими номерами.



№	Название таксона
1.	Род: <b>Бобр</b>
2.	Класс: <b>Птицы</b>
3.	Отряд: <b>Грызуны</b>
4.	Отряд: <b>Перепончатокрылые</b>
5.	Семейство: <b>Дятловые</b>

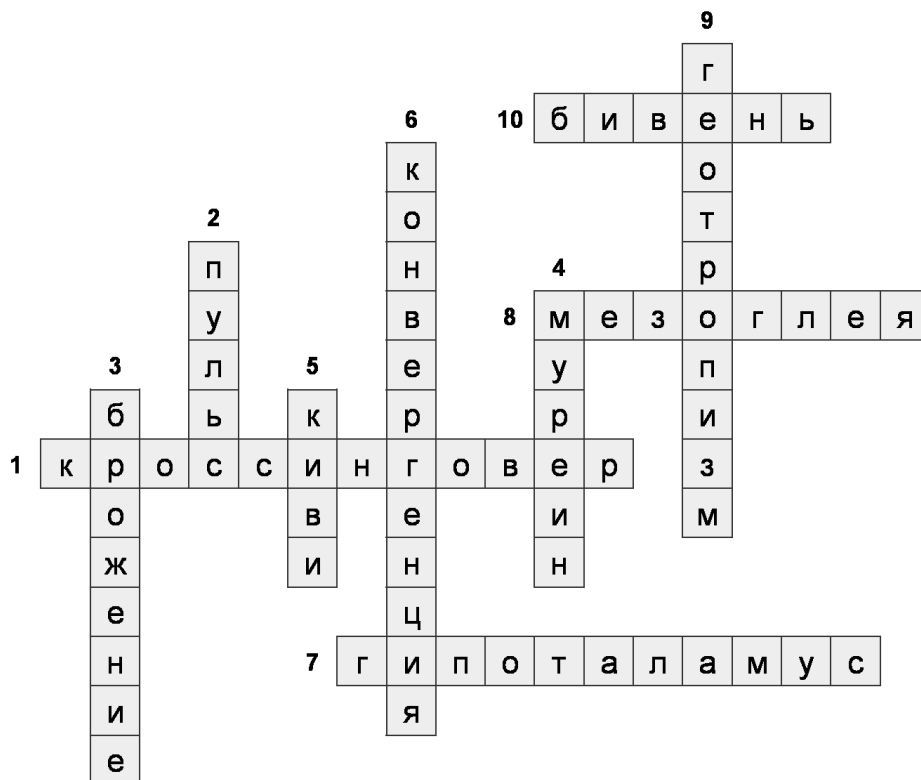
### Задание 8. Биологический кроссворд. Максимальная оценка – 10 баллов

Решите кроссворд. Изучите таблицу. В левой колонке зашифрованы биологические термины, а в правой – соответствующие им номера. Расшифруйте термины и впишите их в кроссворд под нужными номерами.

Термин	Номер слова
Соединительная ткань, расположенная между экто- и энтодермой у португальского кораблика	Число дочерних клеток, образующихся после трёх последовательных делений одной бактериальной клетки
Реакция корневого чехлика растения на гравитацию	Число хромосом в спермии свёклы обыкновенной, если клетка эпидермиса листа содержит 18 хромосом
Процесс, протекающий в ходе мейоза и обеспечивающий комбинативную изменчивость	Число функциональных яйцеклеток, образующихся в результате мейотического деления одной клетки-предшественницы (ооцита I порядка) у домашней кошки

Биохимический процесс, лежащий в основе приготовления квашеной капусты	Число зародышевых листков, образующихся в ходе эмбрионального развития виноградной улитки
Основной структурный компонент клеточной стенки бактерий	Число хроматид в биваленте на стадии метафазы первого деления мейоза
Ритмичные колебания стенок кровеносных сосудов, вызываемые сердечными сокращениями	Число мембран в составе оболочки клеточного ядра
Нелетающая птица, обитающая в Новой Зеландии	Число когтей на передней лапе у короткохвостого кенгуру
Видоизменённый резец у хоботных млекопитающих	Доля энергии (в процентах), которая переходит на каждый следующий трофический уровень в экологической пирамиде
Отдел промежуточного мозга, который является высшим центром вегетативной регуляции и секретирует нейрогормоны вазопрессин и окситоцин	Число пар рёбер в скелете человека, непосредственно прикрепляющихся к грудине
Независимое приобретение сходной формы тела в ходе эволюции у рыб и ихтиозавров	Общее число костей в плечевом поясе у бородатой агамы

Ответ:



**Задание 9. Расчётная задача. Решите задачу, используя отведённое поле.**

**Максимальная оценка – 5 баллов.**

В ходе репликации гена *X* ДНК-полимеразой была совершена одна ошибка – включение в новую цепь ДНК неправильного нуклеотида. В результате после транскрипции в матричной РНК вместо одного из кодонов, кодирующих аминокислоты, оказался стоп-кодон (“знак препинания”), который служит сигналом для прекращения трансляции. В результате

трансляция белкового продукта гена  $X$  остановилась преждевременно, аминокислотная последовательность белка сократилась на 60% и составила 166 аминокислот. Определите вероятность (в процентах) ошибок ДНК-полимеразы, приводящих к появлению преждевременных стоп-кодонов, если известно, что старт-кодоном матричной РНК, с которого начинается процесс трансляции, является АУГ, кодирующий аминокислоту метионин. Ответ представьте в виде десятичной дроби и округлите до второго знака после запятой. Ход решения поясните.

Решение:

1. В результате преждевременной остановки трансляции в белке осталось  $100\% - 60\% = 40\%$  от первоначального числа аминокислот. Тогда длину нормального белкового продукта гена  $X$  можно найти, составив пропорцию:

$$166 - 40\%$$

$$L - 100\%$$

Длина нормального белкового продукта гена  $X$  должна составлять:  $166/40 \cdot 100 = 415$  (аминокислот)

2. Длина матричной РНК с учётом старт-кодона, кодирующего метионин, и стоп-кодона составляет:  $415 \cdot 3 + 3 = 1248$  (нуклеотидов)

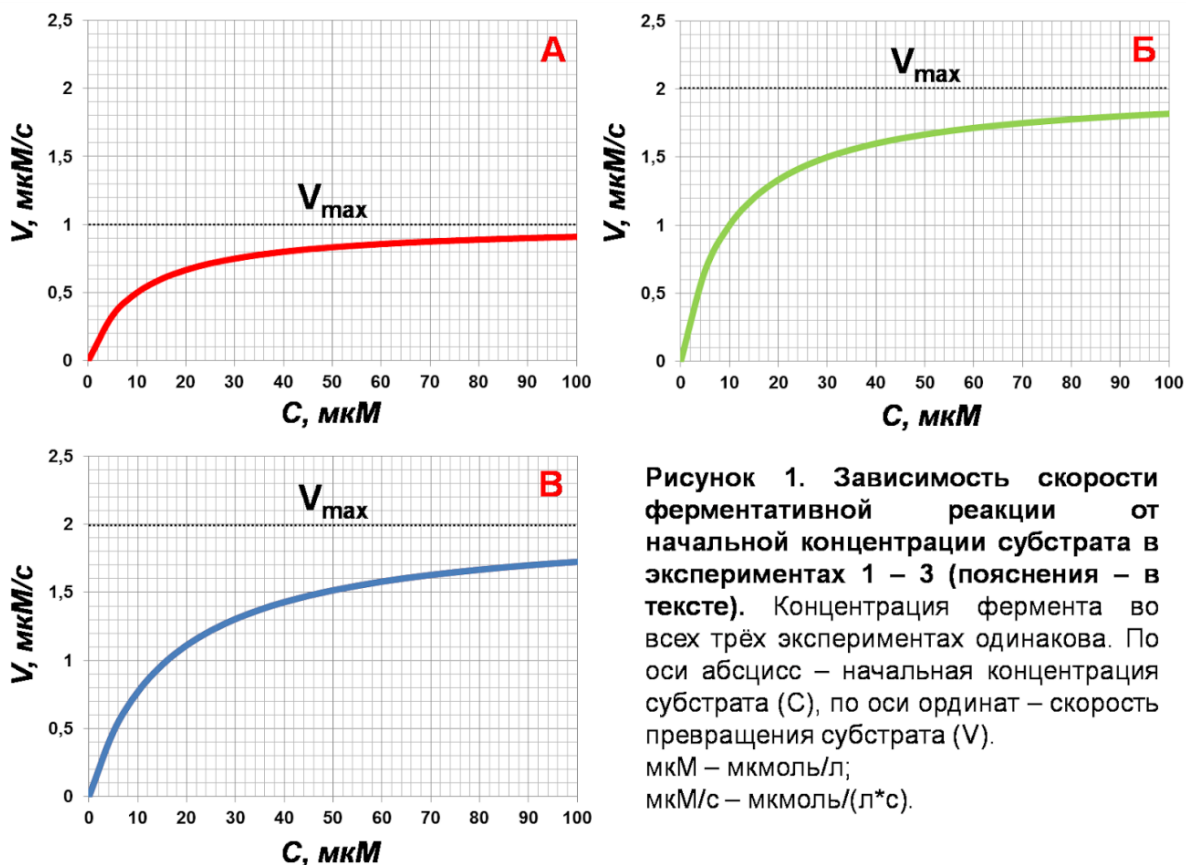
3. Частота ошибок в матричной РНК равна частоте ошибок в ДНК. В матричной РНК преждевременный стоп-кодон возник один раз, то есть наблюдалась одна нуклеотидная замена на 1248 нуклеотидов. Следовательно, частота ошибок ДНК-полимеразы, приводящих к нонсенс-мутациям, составит:  $1/1248 \cdot 100 \approx 0,08\%$

Ответ: 0,08 %.

### Задание 10. Работа с графиком. Проанализируйте предложенную информацию и выполните задания. Максимальная оценка – 5 баллов.

Большинство биохимических реакций в организме протекает с участием белков-ферментов. В ходе ферментативной реакции исходное вещество (**субстрат**) связывается с особой частью молекулы фермента (**активным центром**), после чего превращается в продукт. Скорость ферментативной реакции ( $V$ ), под которой обычно понимают количество превращённого субстрата в единицу времени, зависит от ряда факторов. Например, зависимость  $V$  от начальной концентрации субстрата ( $C$ ) выглядит следующим образом. При низких концентрациях субстрата  $V$  прямо пропорциональна  $C$ , поскольку чем больше  $C$ , тем больше молекул фермента вовлекается в реакцию. Далее с ростом концентрации  $V$  увеличивается медленнее, а при очень высоких значениях  $C$  почти перестаёт расти, приближаясь к максимальному значению ( $V_{\max}$ ), поскольку в каждый момент времени все молекулы фермента оказываются связаны с субстратом (происходит «насыщение» активных центров). Значение  $C$ , при котором  $V$  достигает половины  $V_{\max}$ , называют **константой Михаэлиса ( $K_m$ )**. Вещества, подавляющие работу ферментов, называют **ингибиторами**. Если ингибитор связывается с активным центром, то он является **конкурентным**, поскольку при связывании с ферментом он «соревнуется» с субстратом, однако не может превращаться в продукт. В присутствии такого ингибитора  $V$  нарастает медленнее при увеличении  $C$ , и значение  $K_m$  повышается. Однако при высоких концентрациях субстрат начинает связываться с ферментом с большей вероятностью, чем ингибитор, и  $V$  приближается к нормальной. Если ингибитор связывается с участком фермента, отличным от активного центра, его называют **неконкурентным**. В присутствии такого ингибитора значение  $K_m$  не изменяется, однако, поскольку часть молекул фермента постоянно оказывается «выключенной», рост  $C$  гораздо быстрее перестаёт приводить к росту  $V$ .

На рисунке 1 представлены результаты изучения зависимости  $V$  от  $C$  для некоторого фермента в трёх различных экспериментах: 1) в присутствии конкурентного ингибитора; 2) в присутствии неконкурентного ингибитора; 3) без каких-либо воздействий (контроль). Рассмотрите рисунок и выполните задания.



### Задания:

1. Установите соответствие между графиками, представленными на рисунках А – В, и номерами экспериментов (1 – 3). Поясните свой ответ.

Ответ:

1 – В, 2 – А, 3 – Б

Для начала определим для всех трёх графиков параметр  $K_m$ . Для графиков А и Б значение  $K_m$  одинаково и составляет 10 мкМ, а для графика В это значение больше и составляет 16 мкМ. Значит, график В соответствует эксперименту с добавлением конкурентного ингибитора (№1). На графике А  $V$  гораздо быстрее перестаёт расти с увеличением  $C$ , следовательно, график А соответствует эксперименту с добавлением неконкурентного ингибитора (№2), а график Б – контрольному эксперименту (№3).

2. Какие биологические молекулы, помимо белков, могут выполнять функцию ферментов?

Ответ:

Молекулы РНК (рибозимы).

3. Какие ферментативные реакции протекают в клетке скелетной мускулатуры человека? Приведите не менее двух примеров.

Ответ:

1) Гидролиз АТФ молекулами миозина с высвобождением энергии для мышечного сокращения.

2) Синтез матричной РНК.

*Возможны и другие правильные элементы ответа.*

**Задание 11. Работа с информацией.** Внимательно прочитайте предложенные фрагменты текста и рассмотрите рисунки, затем переходите к выполнению заданий. **Максимальная оценка – 10 баллов.**

**Фрагмент 1.** Плазматическая (клеточная) мембрана играет важную роль в непрерывном транспорте веществ между внеклеточной и внутриклеточной средой, который необходим для осуществления всех процессов жизнедеятельности. Выделяют два основных механизма транспорта веществ через мембрану: **пассивный** и **активный**.

**1. Пассивным** называют транспорт, который не требует энергетических затрат. Простейшей формой такого транспорта является **простая диффузия**, при которой вещество перемещается через липидный бислой напрямую по градиенту концентрации (из области с большей концентрацией в область с меньшей). Путём простой диффузии могут транспортироваться небольшие нейтральные (кислород) и полярные (углекислый газ, глицерин, мочеви́на, вода) молекулы, а также более крупные жирорастворимые молекулы (например, стероидные гормоны). В то же время для крупных полярных молекул (аминокислот, сахаров) и ионов свободная диффузия практически невозможна. Транспорт таких веществ осуществляется при помощи специальных мембранных белков и называется **облегчённой диффузией**.

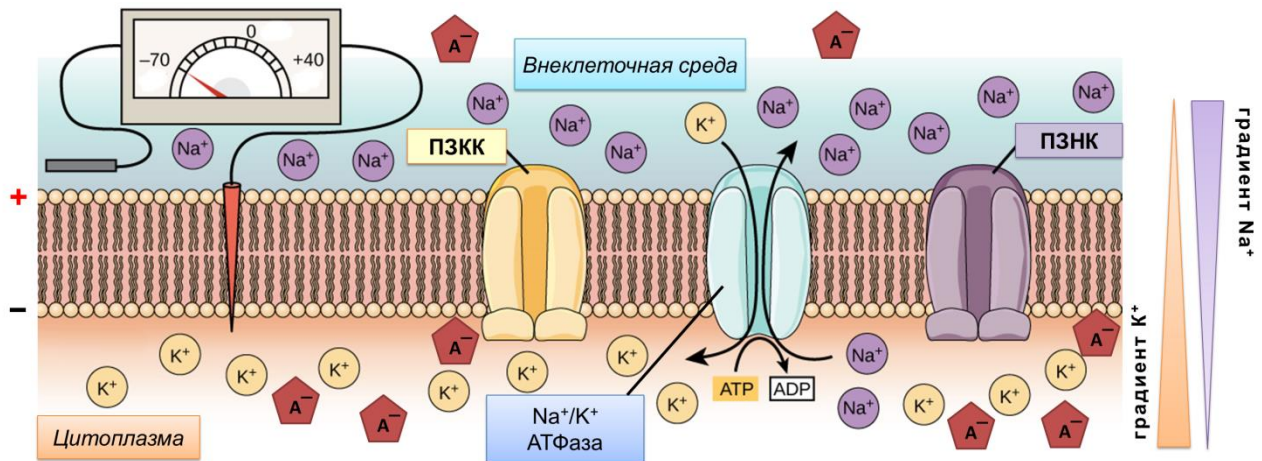
К белкам, обеспечивающим облегчённую диффузию, относятся **ионные каналы**. Это трансмембранные белки, которые формируют в мембране гидрофильную (водную) пору, проницаемую для ионов. Когда пора канала открыта, ионы перемещаются через неё путём диффузии, причём движущей силой такого транспорта является не только градиент концентрации, но и градиент заряда: катионы движутся в сторону отрицательно заряженной среды, а анионы – в сторону положительно заряженной. Важным свойством ионных каналов является избирательная проницаемость (селективность): каждый канал пропускает строго определённые ионы, в то время как остальные проходят через него менее эффективно или не проходят вообще. В плазмалемме имеются каналы, специфично пропускающие ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  и т.д.

Открытие и закрытие каналов может управляться различными сигналами. Например, возбуждающий нейромедиатор глутамат, высвобождаясь в синаптическую щель, вызывает открытие особых глутамат-чувствительных катионных каналов в мембране постсинаптического нейрона, по которым в его цитоплазму входят ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . Такие каналы называют *лиганд-управляемыми*.

**2. Активный транспорт** всегда обеспечивается специальными транспортными белками и идёт против градиента концентрации и заряда, а потому сопряжён с потреблением энергии. Активные транспортёры, которые называют АТФазами (а также насосами или помпами), способны гидролизовать АТФ и использовать высвобождаемую энергию для переноса тех или иных веществ. Например, гидролиз каждой молекулы АТФ позволяет  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазе переносить два иона  $\text{K}^+$  внутрь клетки и три иона  $\text{Na}^+$  – наружу, а  $\text{Ca}^{2+}$ -АТФазе – выкачивать один ион  $\text{Ca}^{2+}$  из цитозоля во внеклеточную среду.

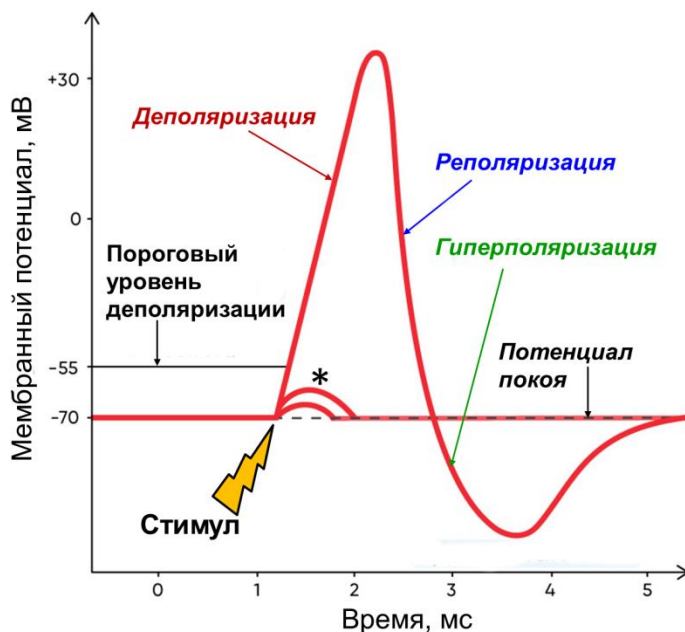
**Фрагмент 2.** Различные ионы неравномерно распределены между цитоплазмой и внеклеточной средой: в целом, снаружи клетки преобладают катионы, а внутри – анионы. Благодаря такому асимметричному распределению заряженных частиц, наружная сторона клеточной мембраны несёт положительный заряд, а внутренняя – отрицательный, и на мембране формируется разность электрических потенциалов, которая называется **мембранным потенциалом**. У невозбудимых животных клеток мембранный потенциал относительно стабилен, в то время как возбудимые клетки (мышечные и нервные) способны значительно изменять мембранный потенциал, что позволяет им генерировать и передавать сигналы в виде электрических импульсов, которые называют **потенциалами действия (ПД)**. Ключевую роль в регуляции мембранного потенциала в нейронах играют ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ . Когда нейрон не получает никаких сигналов (находится в состоянии покоя), его мембранный потенциал называют **потенциалом покоя (ПП)**. Его величина составляет в среднем -70 милливольт (рис. 1). При этом содержание ионов  $\text{Na}^+$  во внеклеточной среде выше, чем в

цитоплазме, а содержание ионов  $K^+$  – наоборот. В основном, данные ионные градиенты поддерживаются за счёт постоянной работы  $Na^+/K^+$ -АТФазы.



**Рисунок 1. Трансмембранные ионные градиенты в нервной клетке во время регистрации потенциала покоя.** Потенциал-зависимые натриевые каналы (ПЗНК) и потенциал-зависимые калиевые каналы (ПЗКК) находятся в закрытом состоянии.  $A^-$  – органические и неорганические анионы.

Генерация ПД происходит, когда нервная клетка получает активирующий сигнал. Этот сигнал вызывает локальное изменение мембранного потенциала, приводящее к открытию особых потенциал-зависимых (потенциал-управляемых) натриевых и калиевых каналов. Натриевые каналы открываются быстрее, и ионы  $Na^+$  начинают входить в цитоплазму по градиенту концентрации и заряда. При этом значение мембранного потенциала устремляется к нулю и даже переходит в область положительных значений (фаза деполяризации, рис. 2). Вход в клетку большого числа катионов приводит к тому, что наружная сторона мембраны на короткое время приобретает отрицательный заряд, а внутренняя – положительный. При этом натриевые каналы закрываются, и открываются калиевые каналы, по которым ионы  $K^+$  выходят из клетки (также по градиенту концентрации и заряда). Мембранный потенциал при этом вновь стремится к уровню ПП (фаза реполяризации, рис. 2) и, поскольку калиевые каналы закрываются довольно медленно, ненадолго приобретает более отрицательные значения (фаза гиперполяризации, рис. 2). После того как калиевые каналы закрываются,  $Na^+/K^+$ -АТФаза восстанавливает исходные ионные градиенты, и значение мембранного потенциала окончательно возвращается к ПП.



**Рисунок 2. Потенциал действия нервной клетки (нервный импульс).** Пояснения в тексте. Знаком \* отмечены изменения мембранного потенциала в ответ на стимулы, которые не позволили достичь порогового уровня деполяризации; мВ – милливольты, мс – миллисекунды.

Следует отметить, что генерация ПД



подчиняется принципу пороговости («всё или ничего»): ПД развивается только в том случае, если активирующий сигнал, принимаемый нейроном, будет достаточно сильным и позволит мембранному потенциалу достичь порогового уровня деполяризации (рис. 2). При этом амплитуда ПД всегда будет одинаковой для каждого конкретного нейрона. Если этот порог не достигнут, генерации ПД не произойдёт.

***В каждом из приведённых ниже заданий выберите ВСЕ правильные варианты ответа. Каждый ответ запишите в специально отведённое поле в виде последовательности букв в алфавитном порядке без знаков препинания и пробелов (регистр не важен).***

**1. Прочитайте фрагмент 1. Опираясь на информацию, приведённую в тексте, и собственные знания, выберите вещества, которые способны транспортироваться через мембрану за счёт простой диффузии.**

- а) Тестостерон
- б) Мочевина
- в) Глюкоза
- г) Кислород

**Ответ: абг**

**2. Прочитайте текстовые фрагменты 1 и 2 и рассмотрите рисунок 1. На основании информации из текстовых фрагментов и рисунка выберите свойства, которые характерны как для ионных каналов, так и для ионных насосов.**

- а) Являются трансмембранными (интегральными) белками
- б) Обеспечивают транспорт ионов против градиента заряда
- в) Обладают селективностью
- г) Могут транспортировать через мембрану только катионы

**Ответ: ав**

**3. Прочитайте текстовый фрагмент 2 и рассмотрите рисунки 1 и 2. На основании полученной информации выберите утверждения, верно характеризующие состояние покоя нервной клетки.**

- а) Внутренняя сторона плазмалеммы несёт отрицательный заряд
- б) Значение мембранного потенциала на плазмалемме равно нулю
- в) Мембранный потенциал плазмалеммы поддерживается на относительно постоянном уровне за счёт систем активного транспорта
- г) Содержание отрицательно заряженных ионов в цитоплазме меньше, чем во внеклеточной среде

**Ответ: ав**

**4. Прочитайте текстовый фрагмент 2 и рассмотрите рисунок 2. Какие утверждения о процессе генерации потенциала действия являются верными?**

- а) Во время фазы деполяризации значение мембранного потенциала переходит из области положительных значений в область отрицательных
- б) Фаза реполяризации связана с массовым выходом ионов  $K^+$  из цитоплазмы во внеклеточную среду
- в) Длительность фазы гиперполяризации составляет около 2 секунд
- г) Чем сильнее активирующий сигнал, тем выше амплитуда потенциала действия

**Ответ: б**

**5. На основе информации, приведённой в тексте и на рисунках, а также собственных знаний выберите верные утверждения.**

- а) В передаче сигналов между нервными клетками принимают участие как потенциал-управляемые, так и лиганд-управляемые ионные каналы

- б) Нервные клетки могут получать друг от друга не только активирующие сигналы, но и тормозные сигналы, которые подавляют генерацию потенциалов действия
- в) Воздействие нейромедиатора глутамата вызывает деполяризацию постсинаптической мембраны
- г) Обезболивающие препараты, блокирующие потенциал-зависимые натриевые каналы, подавляют передачу сигналов между нейронами

**Ответ:** абвг

**Задание 12. Задача по генетике. Решите задачу и запишите ответы в отведенные поля. Максимальная оценка – 5 баллов.**

У некоторого вида двудомных цветковых растений обнаружена рецессивная мутация в гене  $E$ , которая приводит к тому, что спермии, несущие мутантную аллель ( $e$ ), не способны к оплодотворению. При этом на функциональность клеток женского гаметофита эта мутация влияния не оказывает. Какое расщепление по фенотипу и генотипу следует ожидать в потомстве при скрещивании ♀  $Ee \times \text{♂ } Ee$ , если вероятность появления среди потомков мужских и женских растений одинакова? Для решения задачи заполните таблицу.

	<b>Ответ:</b>
Доля нефункциональных (не способных участвовать в оплодотворении) гамет у отцовского растения (в %)	50
Возможный (-е) генотип (-ы) клеток триплоидного эндосперма семени (если необходимо записать несколько вариантов, разделите их друг от друга запятой и пробелом)	$EEE, Eee$
Возможный (-е) генотип (-ы) потомков $F_1$ (если необходимо записать несколько вариантов, разделите их друг от друга запятой и пробелом)	$EE, Ee$
Вероятность появления в $F_1$ доминантных гомозигот (в %)	50
Вероятность появления в $F_1$ растений, способных продуцировать нефункциональные гаметы (в %)	25

**Примечания:**

- Все материнские гаметы функциональны, в то время как среди отцовских гамет функциональны только спермии, несущие аллель  $E$ , и они образуются с вероятностью 50%. Соответственно, нефункциональные гаметы также образуются с вероятностью 50%.
- Чтобы определить возможный генотип эндосперма, необходимо вспомнить, как образуется зародышевый мешок цветковых растений. Особые клетки спорофита – материнские клетки мегаспор – делятся путём мейоза с образованием гаплоидных мегаспор. Затем каждая мегаспора делится митотически с образованием гаплоидных ядер зародышевого мешка. Если спорофит имеет генотип  $Ee$ , то мегаспора, дающая начало зародышевому мешку, и все ядра зародышевого мешка могут иметь генотип  $E$  или  $e$ . Клетки триплоидного эндосперма цветковых растений образуются в результате слияния диплоидной центральной клетки зародышевого мешка и гаплоидной спермией. Исходя из условия задачи, диплоидная центральная клетка может иметь генотип  $EE$  или  $ee$ , а функциональный спермий – только  $E$ . Соответственно, возможные генотипы эндосперма –  $EEE$  или  $Eee$ .
- Потомки  $F_1$  могли бы иметь генотипы  $EE$ ,  $Ee$  и  $ee$ , однако спермии с аллелью  $e$  не могут участвовать в оплодотворении и передавать эту аллель потомкам. Поэтому возможные генотипы потомков – только  $EE$  и  $Ee$  в соотношении 1:1. Следовательно, вероятность появления доминантных гомозигот в  $F_1$  составит 50%.
- По условию задачи, женские и мужские растения появляются в потомстве с вероятностью 1:1 (50% : 50%). При этом среди женских растений все образуют

функциональные гаметы (50% от всех особей в потомстве); среди мужских растений половина будет продуцировать только функциональные гаметы (25% от всех особей в потомстве), а половина (ещё 25% от всех особей в потомстве) – и функциональные, и дефектные. Соответственно, доля потомков, способных продуцировать нефункциональные гаметы, составляет 25%.

**Задание 13. Соответствие данных. Установите однозначное соответствие между биологическими объектами, представленными в таблице, и их характеристиками. Максимальная оценка – 10 баллов.**

Рассмотрите таблицу, в которой представлены различные группы живых организмов, и прочитайте приведённые ниже характеристики. Установите однозначное соответствие между названиями групп и их описаниями. Каждый ответ запишите в виде соответствующей буквы в специально отведённое поле рядом с каждым описанием (регистр не важен).

(А) Археопластиды (Archaeplastida)	(Б) Зелёные растения (Viridiplantae)	(Г) Зелёные водоросли (Chlorophyta)		
		(Д) Эмбриофиты (Embryophyta)	(Е) Сосудистые (Tracheophyta)	(З) Хвощовые (Equisetaceae)
				(И) Сложноцветные (Asteraceae)
				(К) Злаки (Poaceae)
				(Ж) Мхи (Bryophyta sensu lato)
(В) Красные водоросли (Rhodophyta)				

**Характеристики:**

1. Преимущественно наземные фотосинтезирующие многоклеточные организмы, в жизненном цикле которых преобладает спорофит. Их тело состоит из дифференцированных тканей.

Ответ: **Е**

2. Организмы, пластиды которых имеют две мембраны и содержат, помимо хлорофилла, особые пигменты – фикобилины, позволяющие улавливать свет на самых больших глубинах. В жизненном цикле отсутствуют подвижные стадии.

Ответ: **В**

3. Представители этого семейства распространены повсеместно, даже в Антарктиде. Цветки имеют простой околоцветник. Плод – зерновка.

Ответ: **К**

4. Преимущественно наземные фотосинтезирующие многоклеточные организмы, в жизненном цикле которых преобладает гаметофит.

Ответ: **Ж**

5. Преимущественно наземные многоклеточные организмы, способные к фотосинтезу, имеющие специализированные органы размножения. Для них характерен только гапло-диплофазный жизненный цикл.

Ответ: **Д**

6. Организмы, способные к фотосинтезу, содержащие в клетках пластиды с двумя мембранами.

Ответ: **А**

7. Растения, побеги которых имеют членистое строение. Листья редуцированы, а фотосинтез осуществляется преимущественно стеблями. В их клеточных стенках откладывается кремнезём.

Ответ: **З**

8. Преимущественно пресноводные одноклеточные, колониальные или многоклеточные организмы, способные к фотосинтезу. В жизненном цикле имеются подвижные стадии.

Ответ: Г

9. Одно из самых многочисленных семейств покрытосеменных растений. Цветки имеют сростнолепестный венчик. Плод – семянка.

Ответ: И

10. Организмы, пластиды которых имеют две мембраны и содержат хлорофиллы а и b.

Ответ: Б

**Задание 14. Вопрос с развёрнутым ответом. Дайте развернутый ответ, запишите его в отведенное поле. Максимальная оценка – 10 баллов.**

Многие млекопитающие вторично освоили водную среду обитания. Какие преобразования в организме позволили им это сделать? Охарактеризуйте адаптации этих животных к водной среде и приведите примеры.

Ответ:

К водным млекопитающим относят, в первую очередь, представителей групп Китообразные, Ластоногие и Сирены. Рассмотрим основные морфологические и физиологические адаптации к обитанию в водной среде, характерные для этих животных.

**Локомоция в водной среде**

1) Приобретение в ходе эволюции обтекаемой (торпедообразной) формы тела, позволяющей более эффективно преодолевать сопротивление воды при движении. В связи с этим у таких животных изменилось строение позвоночника: например, у китообразных в ходе эволюции произошло уплощение позвонков и сильное сокращение длины таких отделов, как шейный и крестцовый. Кроме того, редуцировались различные выступающие части тела, в частности ушные раковины.

2) Преобразование конечностей в ласты. У китов этой трансформации способствовало увеличение числа фаланг пальцев (полифалангия), а у ластоногих – увеличение длины фаланг. У китообразных и сирен задние конечности редуцированы, однако имеется мощный горизонтальный хвостовой плавник, а у некоторых китообразных (дельфинов) – и спинной плавник, выполняющий функцию стабилизатора.

**Приспособления к длительному нахождению в условиях недостатка кислорода**

Поскольку водные млекопитающие способны дышать только атмосферным кислородом, у них имеется ряд адаптаций к длительному нахождению в воде без поступления кислорода извне.

- Запасание кислорода в мышцах благодаря высокому содержанию миоглобина, а также наличию особых скоплений спиральных кровеносных сосудов, служащих резервуаром крови, насыщенной кислородом.

- Перераспределение кровотока при нырянии таким образом, что кислородом в первую очередь снабжаются органы, наиболее чувствительные к его недостатку, – сердце и головной мозг.

- Замедление сердечного ритма при нырянии, что позволяет снизить энергетические затраты на сердечные сокращения и, как следствие, потребление сердцем кислорода.

- Хорошо развитые лёгкие, состоящие из огромного количества альвеол и обеспечивающие эффективное насыщение крови кислородом при вдыхании атмосферного воздуха. Кроме того, для водных млекопитающих характерна относительно низкая чувствительность дыхательного центра мозга к содержанию в крови углекислого газа.

**Приспособления, направленные на запасание и экономное расходование энергии**

- Накопление подкожного жира, служащего теплоизолятором и запасом питательных веществ.

- Повышение относительной длины кишечника для более эффективного поглощения питательных веществ из пищи. У всех хищных морских млекопитающих, вне зависимости от

происхождения, тонкая кишка длиннее, чем у сухопутных млекопитающих сопоставимых габаритов.

*Возможны и другие правильные элементы ответа.*

**Задание 15. Работа с изображениями объектов. Проанализируйте предложенные изображения и выполните задания, используя отведённое поле. Максимальная оценка – 10 баллов.**



1. Рассмотрите фотографии растений двух разных видов (I, II), относящихся к одному отделу, а также изучите таблицу (см. ниже), которая представляет собой определительный ключ (определитель). Этот определитель позволяет установить принадлежность растения к тому или иному семейству и включает в себя пронумерованные утверждения (тезы и антитезы). Начинать определение объекта необходимо с тезы №1. Если она верно характеризует определяемый объект, то нужно перейти к тезе с номером, указанным рядом в скобках. Если теза №1 не подходит, следует обратиться к противоположному утверждению (антитезе), которая имеет тот же номер, но отмечена знаком «+», а затем переходить к тезе с номером, указанным в скобках рядом. Двигаться по ключу таким образом необходимо до тех пор, пока в конце тезы или антитезы не будет указано название семейства.

Используя таблицу, установите, к какому(-им) семейству(-ам) относятся организмы I и II. Укажите для каждого организма название семейства, а также последовательность номеров тез и/или антитез, верно характеризующих определяемый объект.

№	Теза/антитеза
1. (2)	Завязь верхняя.
1+ (5)	Завязь нижняя.
2. (3)	Завязь глубоко четырёхлопастная; столбик выходит между её лопастями; плод распадается на 4 (1-3) орешковидных плодика.
2+ (4)	Завязь цельная или неглубоко двухлопастная, столбик выходит из её верхушки; плод нераспадающийся, коробочка или ягода.
3.	Листья очередные; стебли цилиндрические, цветки собраны в завитки, нередко выпрямляющиеся к плодоношению и образующие общее соцветие – однобокую кисть, тычинок пять. <p style="text-align: right;"><b>Семейство Бурачниковые</b></p>
3+	Листья супротивные; стебли четырёхгранные; цветки пазушные, супротивные или собраны в ложные мутовки, образующие кистевидные, колосовидные, метельчатые или головчатые соцветия; тычинок четыре или две. <p style="text-align: right;"><b>Семейство Яснотковые</b></p>

4.	Тычинок две, венчик двугубый со шпорцем; листья сверху железистые, клейкие, собраны в прикорневую розетку, из которой выходят цветоносы. <b>Семейство Пузырчатковые</b>
4+	Тычинок 4-5, если две, то венчик колёсовидный; листья сверху не клейкие, стебли более-менее облиственные. <b>Семейство Норичниковые</b>
5.	Тычинок 1-2, сросшихся со столбиком в колонку, околоцветник состоит из шести листочков, один из которых образует губу различной формы и размера. <b>Семейство Орхидные</b>

Ответ:

Организм I – 1, 2, 3+ (семейство Яснотковые).

Организм II – 1+, 5 (семейство Орхидные).

2. Напишите название класса, к которому относится растение I, и укажите не менее двух признаков, характерных для большинства представителей этого класса.

Ответ:

Класс – Однодольные.

Признаки: 1) зародыш с одной семядолей; 2) мочковатая корневая система.

*Возможны и другие элементы ответа, верно характеризующие представителей класса Однодольные.*

3. Используя собственные знания и результаты изучения рисунка, охарактеризуйте растения I и II, используя следующий набор терминов:

Тип околоцветника – *простой/двойной*;

Тип соцветия – *колосовидное/ кистевидное/ метельчатое*;

Тип околоплодника – *сухой/ сочный*.

Ответ:

Организм I: тип околоцветника – простой; тип соцветия – колосовидное; тип околоплодника – сухой.

Организм II: тип околоцветника – двойной; тип соцветия – колосовидное; тип околоплодника – сухой.