

Всесибирская олимпиада по биологии 2025–2026

Заключительный этап. 1 марта 2026 года

11 класс

Время выполнения задания – 4 часа

N* Новосибирский
государственный
университет
***НАСТОЯЩАЯ НАУКА**

1. Испытание травами (20 баллов)



После многолетнего упадка школа ведьмаков в Казр Морхене пытается восстановить производство трав для испытаний. Многие из необходимых растений утрачены, и их приходится заново получать и модифицировать. Для ускорения работ в Оксенфуртской академии решено использовать методы генной инженерии растений.

В качестве основного инструмента выбрана агробактериальная трансформация — метод, основанный на способности почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens* встраивать участок своей Тi-плазмиды (Т-ДНК) в геном растения. В природных условиях такая трансформация приводит к образованию опухолей растений. В лабораторной практике используют модифицированные Тi-плазмиды, позволяющие встраивать в геном растения нужные исследователю гены.

В качестве модельного объекта используется диплоидное **самоопыляемое** *Arabidopsis thaliana* ($2n = 10$). Известно, что Т-ДНК встраивается в геном растения случайно, при этом в одном геноме может произойти одна или две независимые встройки или не произойти ни одной.

Перед началом работ необходимо понять, какие элементы природной системы агробактерии сохраняют, какие модифицируют и как в эксперименте отбирают успешные трансформации.

Вопрос 1. Рассмотрите схему природной Тi-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*. ДНК между «левой» и «правой» границами переносится в геном растения. Объясните, какую роль играют гены, находящиеся в составе Т-ДНК, при заражении растения в природных условиях.

Вопрос 2. Почему при создании генно-инженерных Тi-плазмид гены синтеза фитогормонов удаляют или заменяют? Какие гены обычно вводят в состав Т-ДНК вместо них и с какой целью? Каким образом отбирают клоны *Agrobacterium tumefaciens*, несущие модифицированную Тi-плазмиду, и растения *Arabidopsis thaliana* со встройкой Т-ДНК в геном?

В результате агробактериальной трансформации растения *Arabidopsis thaliana* были получены растения поколения Т1. Вскоре после этого в районе лабораторий Оксенфуртской академии произошёл магико-природный катаклизм (разрушение теплиц), в результате которого все растения поколения Т1 погибли. Сохранились только собранные семена четырех растений (I-IV), при этом информация о генотипах этих растений была утрачена. Чтобы восстановить, какие события трансформации произошли в каждом случае, семена были высеяны.

Вопрос 3. Используя результаты обработки гербицидом растений поколения Т2, восстановите возможные генотипы утраченных растений поколения Т1 и объясните полученные расщепления. Возможные генотипы: А — одна встройка Т-ДНК; Б — две встройки в одну хромосому; В — по 1 встройке в две гомологичные хромосомы; Г — по 1 встройке в две негомологичные хромосомы. Впишите буквы в бланке ответов.

Потомки растения I		Потомки растения II		Потомки растения III		Потомки растения IV	
Выжили	Умерли	Выжили	Умерли	Выжили	Умерли	Выжили	Умерли
92	29	109	7	115	0	97	4

Предположим, что в одном из экспериментов две копии Т-ДНК встроились в одну хромосому в разные локусы. Расстояние между этими локусами составляет 20 сМ. Растение Т1 было гетерозиготным по обоим встройкам и затем самоопылилось.

Вопрос 4. Рассчитайте ожидаемое расщепление по устойчивости к гербициду в поколении Т2.

Вопрос 5. Какое из полученных потомств (I, II, III, IV) следует использовать для получения чистой линии растения, несущей встройку целевого гена? Обоснуйте выбор и приведите алгоритм действий.

Вопрос 6. Цири случайно занесла одно гетерозиготное семечко *Arabidopsis thaliana* в новый магический мир. Растение прижилось и размножается самоопылением. В идеальной популяции, где достаточно растений для пренебрежения случайными эффектами дрейфа, растения продолжают самоопыляться из поколения в поколение. Какова доля гетерозиготных растений (Aa) через 10 поколений?

2. Циклы крутятся (20 баллов)

В живых организмах практически все реакции осуществляются при помощи биологических катализаторов - ферментов, имеющих преимущественно белковую природу. В зависимости от типа осуществляемой реакции, каждый фермент относят к одному из шести классов, представленных в таблице.

Перед вами один из биохимических циклов, протекающих в организме человека при помощи ферментов — орнитиновый цикл. Каждая стрелка соответствует химической реакции, а буквой над стрелкой зашифрованы ферменты, осуществляющие протекание этой химической реакции. Жирным шрифтом и рамкой для удобства выделены участки молекул, претерпевающие изменения на каждом этапе цикла.

Вопрос 1. На рисунке звездочкой (*) обозначен конечный продукт реакции. Как называется эта молекула?

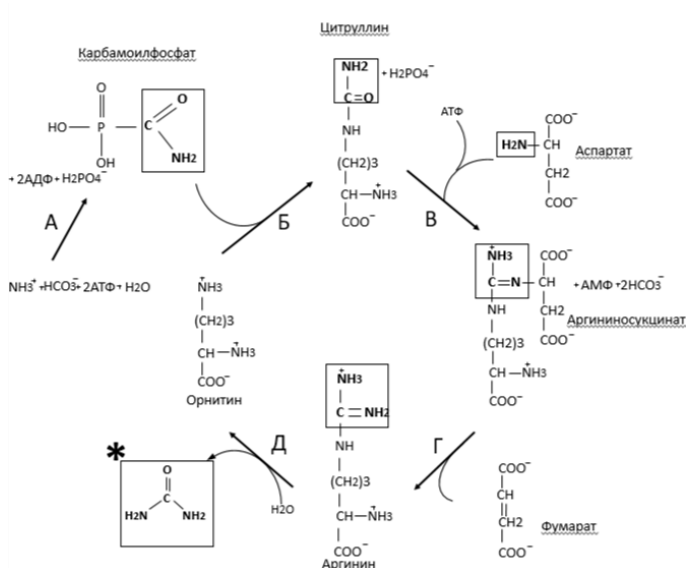
Вопрос 2. В чем заключается биологическая роль образования обозначенной звездочкой молекулы для клетки?

Вопрос 3. Пользуясь данными из таблицы с информацией о классах ферментов, сопоставьте букву над стрелкой с классом, к которому принадлежит фермент.

Вопрос 4. Для описания протекания ферментативных реакций используют математические уравнения. Основным уравнением, описывающим скорость реакции, является уравнение Михаэлиса-Ментен, которое $v = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]}$ связывает скорость реакции, катализируемой ферментом, с концентрацией субстрата. В этом уравнении V — скорость ферментативной реакции, V_{max} — максимальная скорость ферментативной реакции, $[S]$ — концентрация субстрата (субстратом называют вещество, которое преобразуется ферментом в ходе реакции в продукт), K_m — константа Михаэлиса. Уравнение Михаэлиса-Ментен описывает график зависимости скорости реакции от концентрации субстрата, который изменяется в зависимости от наличия ингибитора.

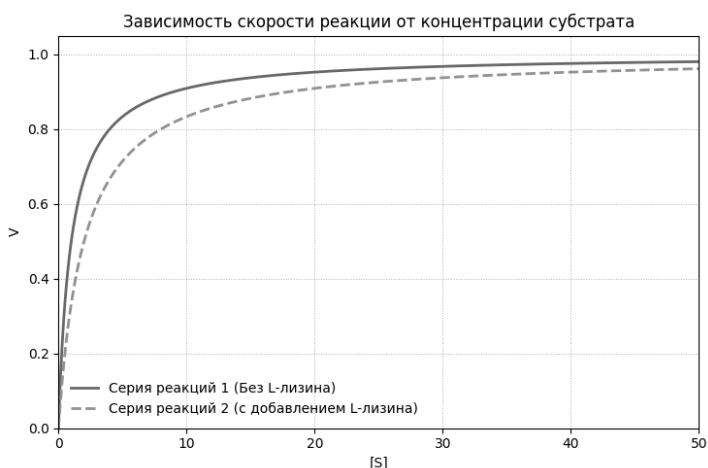
Класс ферментов	Тип реакции
Оксидоредуктазы	Окислительно-восстановительные реакции (перенос протонов/электронов)
Трансферазы	Перенос функциональных групп между молекулами
Гидролазы	Гидролитическое (под действием воды) расщепление химической связи
Лиазы (или синтазы)	Расщепление или образование химической связи; в результате этих реакций либо образуются, либо исчезают двойные связи
Изомеразы	Перемещение групп внутри одной молекулы
Лигазы (или синтазы)	Энергозависимые реакции присоединения, сопряженные с расщеплением нуклеозидтрифосфата

Юный биолог узнал, что некоторые аминокислоты могут ингибировать реакцию, катализируемую ферментом Д, и решил проверить это утверждение. В качестве потенциального ингибитора он выбрал L-лизин. В первой серии экспериментов молодой исследователь добавлял к буферному раствору известное количество фермента Д и последовательно менял концентрации обычного субстрата (аргинина), в результате чего строил зависимость скорости протекания реакции от концентрации субстрата.



В качестве потенциального ингибитора он выбрал L-лизин. В первой серии экспериментов молодой исследователь добавлял к буферному раствору известное количество фермента Д и последовательно менял концентрации обычного субстрата (аргинина), в результате чего строил зависимость скорости протекания реакции от концентрации субстрата.

Во второй серии экспериментов юный биолог делал то же самое, но помимо обычных компонентов, таких как фермент Д, аргинин и буферный раствор, он добавлял в реакционную смесь фиксированное количество L-лизина.



Результаты первой и второй серии экспериментов, обозначенные цифрами 1 и 2 соответственно, представлены на рисунке в виде двух графиков. В учебнике по ферментативной кинетике юный биолог прочитал, что ингибиторы бывают конкурентными (мешает субстрату связаться с ферментом) и неконкурентными (снижают максимальную скорость работы фермента). Проанализируйте полученные графики и определите, как повлияло добавление L-лизина на V_{max} и K_m ферментативной реакции. Сделайте вывод о том, каким ингибитором (конкурентным/неконкурентным) является L-лизин для данной реакции.

Вопрос 5. Орнитиновый цикл протекает не во всех клетках организма человека.

Вопрос 5.1. В каких органах и типах клеток он локализован?

Вопрос 5.2. Объясните, почему протекание этого цикла ограничено именно этими тканями с точки зрения физиологической функции и обмена веществ.

Вопрос 6. Известно, что нарушение работы одного или нескольких ферментов орнитинового цикла приводит к накоплению токсичных азотсодержащих соединений в клетках и тканях организма.

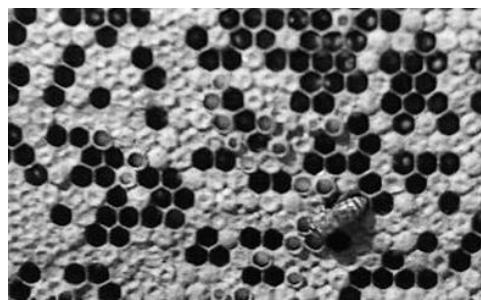
Вопрос 6.1. Какое вещество в этом случае накапливается в наибольшей степени?

Вопрос 6.2. Почему накопление этого вещества опасно для организма на клеточном уровне?

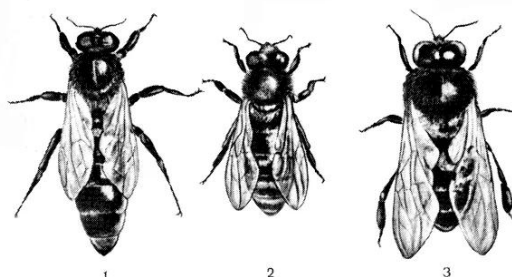
Вопрос 6.3. У пациента диагностировано наследственное снижение активности фермента Д орнитинового цикла (активность снижена, но не равна нулю). По совету ИИ-ассистента пациент принимает аминокислотные добавки, содержащие L-лизин. Используя результаты эксперимента из задания 4 (сравнение серий 1 и 2), объясните, почему добавление L-лизина может усугублять проявления заболевания.

3. Танцы с пчелами (20 баллов)

Раньше считалось, что у пчел пол определяется только диплоидным или гаплоидным набором хромосом в яйце: оплодотворенные яйцеклетки развиваются в самок, а неоплодотворенные — в самцов. Сейчас же известно, что пол медоносной пчелы определяется сочетанием аллелей гена *csd*. Гаплоидные гемизиготные или диплоидные гомозиготные по этому гену особи — самцы, а гетерозиготные — самки. Гомозиготность самцов согласуется с прежним представлением, так как неоплодотворенные яйца всегда несут один набор хромосом, а значит, у них только одна копия гена (другого аллеля не может быть). У гетерозиготных самок при оплодотворении объединяются два гаплоидных набора с разными копиями гена. Но самка может передать своим дочерям такой же аллель, что и в гамете отца. В этом случае даже оплодотворенные яйцеклетки будут развиваться в трутней. Такие трутни съедаются рабочими пчелами вскоре после вылупления из яйца. В результате ячейки в сотах, где были отложены гомозиготные яйца, оказываются пустыми. Пчеловоды называют это явление "пестрым расплодом".



Вопрос 1. Василий решил заняться пчеловодством. Помогите начинающему пасечнику научиться отличать жителей улья друг от друга: рассмотрите изображение и укажите в бланке ответов, как называются члены пчелиной семьи, подписанные 1—3. Укажите их пол и функции, которые они выполняют в улье. Также укажите, есть ли дополнительные условия (помимо оплодотворенного/неоплодотворенного яйца) для развития матки из яйца?



Вопрос 2. Василий обнаружил недалеко от ульев несколько насекомых, которых он принял за «сбежавших» рабочих особей, но при ближайшем рассмотрении оказалось, что он видел муху-журчалку и бабочку-шмелевидку. В бланке ответов укажите не менее трех признаков, по которым можно достоверно различить рабочую особь медоносной пчелы, муху и бабочку.



Вопрос 3. Молодой пчеловод начал разводить пчел с одного улья. Он купил принцессу, гетерозиготную по гену *csd* (обозначим аллели как A1 и A2) и самца, у которого был аллель A3 гена *csd*, и скрестил их в пробирке (самка A1A2 x самец A3). Заполните в матрице ответов таблицу для этого скрещивания.

На следующий сезон Василий решил поставить еще несколько ульев. Он взял маток и трутней из нового поколения и скрестил их. Но через некоторое время он обнаружил на сотах довольно много пустых ячеек. Напишите, сочетания каких генотипов самок и самцов будет приводить к низкому числу рабочих особей в улье.

Вопрос 4. Василий почитал статьи о генетике пчел и понял причину пестрого расплода. Он решил для разнообразия взять диких пчел, которые могут дать потомство с медоносными, из ближайшей к пасеке популяции. По его данным, и у самок, и у самцов в этой популяции частота аллеля A1 около 0,2, частота аллеля A2 около 0,3, и с частотой 0,5 встречается аллель A3. С какой вероятностью пасечник найдет нужного трутня из дикой природы для матки с генотипом, как у первой принцессы?

Вопрос 5. После дополнительного анализа пасечник узнал, что наличие аллеля A3 в генотипе рабочих пчел делает их более эффективными в сборе меда. В этот раз он решил взять и самку, и самца из дикой среды. Какие генотипы должны быть у предпочтительной пары для скрещивания? Ответ поясните. Какова вероятность такого скрещивания в популяции диких пчел?

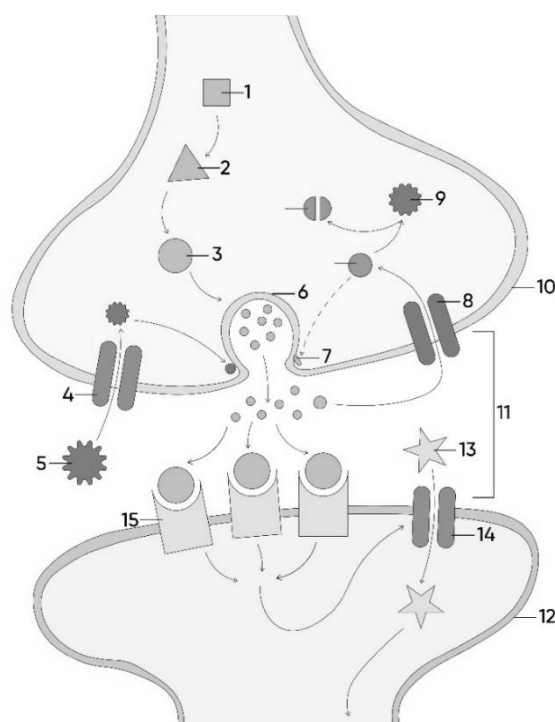
Вопрос 6. Если в популяции диких пчел (вопрос 4) наблюдается свободное скрещивание, из какой доли оплодотворенных яиц не разовьется взрослая особь?

Вопрос 7. В одной из популяций пчел было обнаружено 19 аллелей гена, отвечающего за пол. Сколько разных генотипов может быть у рабочих пчел в этой популяции? Сколько у трутней? Ответ поясните.

Вопрос 8. Исследователи, которые проводят мониторинг состояния популяций диких пчел (медоносной пчелы и других видов), так же, как и пасечники, обращают внимание на гибель диплоидных самцов. Что характерно для генетической структуры популяции, в которой доля диплоидных особей, не доживающих до стадии имаго, особенно высока? Почему такие «неблагополучные» популяции чаще встречаются, например, в Англии, чем в России?

4. Сквидвард шнейне пепе фа (20 баллов)

Сквидвард Тентаклс, страдающий от стойкого депрессивного расстройства, наконец-то согласился на фармакотерапию антидепрессантами, однако ни одно из одобренных лекарственных соединений ему не помогло. Тщательный осмотр, проведенный доктором Патриком Старом с помощью калькулятора и многоотного определителя животных, показал принадлежность Сквидварда к группе головоногих моллюсков, что оказалось основным противопоказанием для лечения человеческими антидепрессантами. Трудности терапии испугали доктора Патрика значительно меньше, чем мрачный характер Сквидварда, из-за чего он охотно взялся за разработку нового антидепрессанта для своего друга. Вид, к которому относится Сквидвард, обладает выраженным социальным поведением и развитой серотониновой системой, схожей по строению и функциям с серотониновой системой человека.



Ознакомившись с современными исследованиями и изучив несколько микропрепаратов, доктор Патрик Стар смог изобразить упрощенную схему работы гигантского серотонинового синапса кальмара, ранее не известного в литературе. Оказалось, что синапс крайне схож с человеческим, однако у доктора Патрика возникли трудности с определением увиденных им структур и процессов.

Вопрос 1. Рассмотрите схему строения серотонинового синапса и выберите из списка названия пронумерованных структур. Названия приведены в избытке.

Список структур:

A. Дендрит	N. Триптофан
B. Аксон	O. Серотонин
C. Синаптическая щель	P. 5-Гидроксиทริปтофан
D. Кальций	Q. Везикула
E. Натрий	R. Эндоплазматическая сеть
F. Магний	S. Аппарат Гольджи
G. Кислород	T. Комплекс мембранных белков SNARE
H. Потенциал-зависимые кальциевые каналы	U. Пероксидаза
I. Лиганд-зависимые кальциевые каналы	V. Моноаминоксидаза
J. Потенциал-зависимые натриевые каналы	W. Супероксиддисмутаза
K. Лиганд-зависимые натриевые каналы	X. Переносчик серотонина
L. Потенциал-зависимые магниевые каналы	Y. Рецептор для активных форм кислорода
M. Лиганд-зависимые магниевые каналы	Z. Рецептор серотонина

Вопрос 2. Синаптическая передача включает несколько основных этапов. Запишите процессы, происходящие в синапсе, в правильной последовательности. Напротив каждого процесса перечислите номера участвующих в нем структур, изображенных на рисунке. Одна структура может участвовать в нескольких процессах.

Процессы синаптической передачи:

- Создание постсинаптического потенциала
- Преобразование потенциала действия в химический сигнал
- Синтез медиатора
- Инактивация медиатора

Задача доктора Патрика стала значительно проще – из-за структурного подобия для лечения Сквидварда может подойти препарат, воздействующий на те же мишени, что и известные антидепрессанты. Принцип работы большинства антидепрессантов опирается на моноаминовую гипотезу депрессии, согласно которой психопатология связана со снижением интенсивности сигнала, приходящего от моноаминовых нейронов на постсинаптические рецепторы. Антидепрессанты, как предполагают, приводят к восстановлению интенсивности сигнала до нормального уровня.

Вопрос 3. К моноаминам относится не только серотонин, но и некоторые другие нейромедиаторы, синтезирующиеся из аминокислот с ароматической группой или гетероциклом в составе.

В бланке ответов приведена таблица с названиями основных нейромедиаторов, а также изображены их структурные формулы. Вам необходимо написать название аминокислоты, из которой синтезируется каждое соединение, и указать, какие из приведенных соединений можно отнести к классу моноаминов.

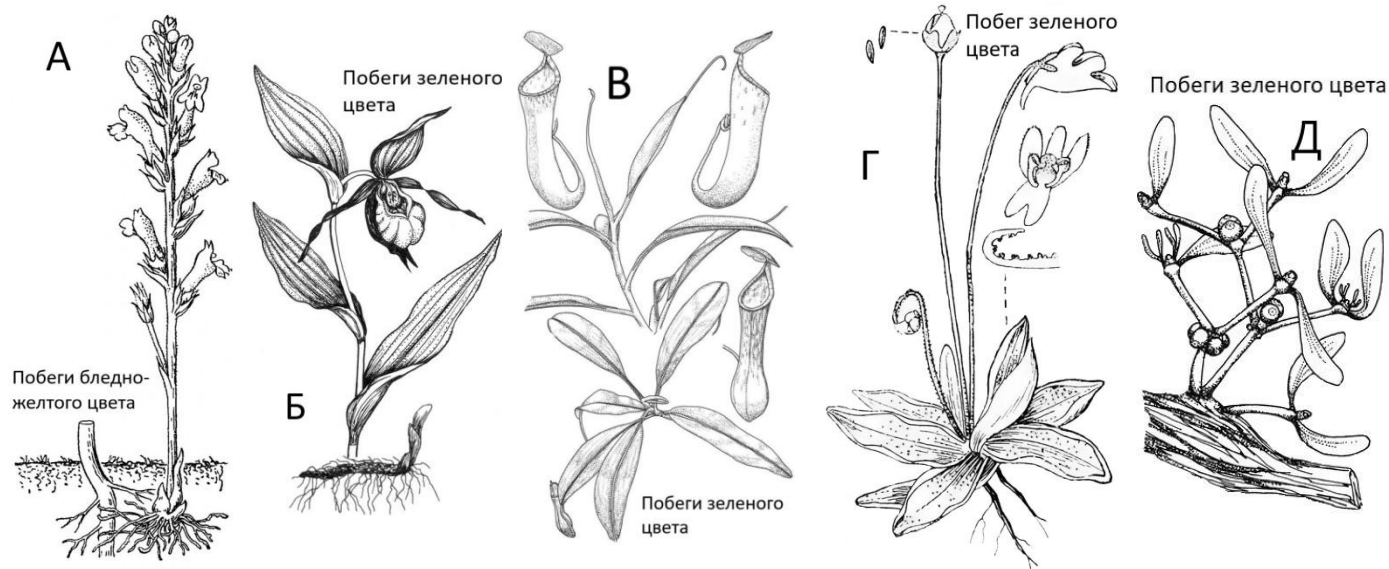
Моноаминовые нейромедиаторы имеют разный путь синтеза, но общий способ инактивации. Это пересечение приводит к тому, что некоторые препараты могут изменять работу сразу нескольких моноаминовых систем. Более того, существуют молекулы, воздействующие на механизмы синаптической передачи, общие для всех нейронов. Доктор Патрик, будучи опытным врачом, знает, что такие препараты обладают непредсказуемыми побочными эффектами, и их применение не поможет склонному к ипохондрии Сквидварду. В то же время, Патрику известно, что наиболее мягко действуют препараты, селективные для серотонинового синапса и не затрагивающие другие нейроны.

Вопрос 4. Доктор Патрик Стар смог разработать несколько молекул-кандидатов на роль антидепрессантов и приступил к их тестированию. В таблице в бланке ответов приведены названия этих веществ и перечислены изученные эффекты. Выберите молекулы, которые не противоречат моноаминовой гипотезе и потенциально могут быть использованы для терапии Сквидварда. Кратко объясните причину своего выбора. Возле молекул, не подошедших для лечения, напишите причину, по которой они не могут быть использованы.

5. Чужой против хищника (20 баллов)

Одним из ключевых особенностей растений является автотрофный тип питания. Однако некоторые растения развили альтернативные источники необходимых микроэлементов и даже органических веществ. Ответьте на вопросы, чтобы разобраться в чужих и хищниках.

Вопрос 1. Рассмотрите предложенные иллюстрации растений. Опираясь на морфологические признаки, определите, к какой экологической группе они относятся: хищники (Х), паразиты (П), полупаразиты (ПП) или облигатные автотрофы (А). Свой ответ подкрепите обоснованием – наличием или отсутствием некоторых морфологических признаков.



Вопрос 2. Одним из самых знаменитых хищников среди растений является Венерина мухоловка (*Dionaea muscipula*). Рассмотрите срез листа этого растения, подпишите анатомические структуры, обозначенные цифрами (1–6).

Вопрос 3. Хищные растения – это полифилетическая группа, объединяющая множество растений по их экологической стратегии. Изучите особенности физиологии и морфологии некоторых семейств (буквы А–Г) и расставьте их по филогенетическому дереву.

А – Содержат беталаины, синтез антоцианов утрачен. Семенная кожура представлена лишь наружной эпидермой. На листьях имеются пищеварительные железы разнообразной морфологии. Ловушки активного типа.

Б – Листья двух видов. Плоские развиваются осенью, кувшинчатые — весной и достигают зрелости летом, в период большого количества насекомых. Кувшинчики окрашены антоцианами, содержат оксалаты.

В – Содержат беталаины, синтез антоцианов утрачен. Семенная кожура представлена лишь наружной эпидермой.

Листья функционально разделены на две части: фотосинтезирующую и ловчую. Верхняя часть кувшинчика покрыта нектарниками, в то время как его дно – пищеварительными железами. Ловушки пассивного типа.

Г – Цветки окрашены антоцианами. Семенная кожура в зрелом состоянии представлена лишь наружной эпидермой, являющейся производной наружной эпидермы интегумента.

