

## Вопрос 1

Беседуют два наблюдательных ученика в октябре 2018 года:

– У меня на даче в поселке все тополя уже пожелтели и листья наполовину сбросили, а в Москве перед подъездом тополь стоит весь зеленый!

– Да, я это тоже заметил. На моей даче тополя все пожелтели, а рядом с домом у проспекта Вернадского стоит пара тополей, и все листья зеленые! Как ты думаешь, с чего бы это?

Предложите разные возможные причины, объясняющие наблюдение школьников.

### Ответ

Пожелтение листьев и листопад могут стимулироваться низкой температурой, недостаточным увлажнением почвы и сокращением длины светового дня. Поэтому основные идеи ответа следующие:

- 1) Обе дачи находились сильно южнее Москвы, и осень там еще не «вступила в свои права».
- 2) Даже в поселке на широте Москвы может быть на 1-2 градуса холоднее, чем в городе, и это могло сыграть свою роль (особенно в случае ночных заморозков).
- 3) Рядом с деревьями в городе могли светить фонари, удлиняя световой день, а в поселке фотопериод был естественный.
- 4) Газоны в городе могли поливать (особенно рядом с проезжей частью); октябрь 2018 года был очень засушливым, и это могло вызвать раннее пожелтение листвы (в начале октября) и листопад там, где воды растениям не хватало.
- 5) Можно также предположить, что в рядом расположенных поселках деревья были поражены какой-то вирусной или грибковой инфекцией (или повреждены насекомыми), а в Москве были здоровыми.

Есть и другие разумные варианты ответа. Например, речь может идти о разных видах тополей.

**Максимум 20 баллов**

## Вопрос 2



Фото 1



Фото 2



Фото 3

На рис. 1, 2 и 3 показаны растения с колючками.

- 1) Попробуйте определить, какого происхождения колючки у этих растений (а если узнали их – назовите).
- 2) А какими вообще способами (по каким признакам) можно узнать, каково происхождение колючек? Ответьте на этот вопрос для колючек побегового и листового происхождения – чтобы было ясно, как их можно отличить друг от друга.

### Ответ

1) На первом фото – «белая акация», или робиния ложноакациевая – *Robinia pseudoacacia* из семейства бобовые. Ее колючки развились из прилистников. На фото 2 – понцирус трехлисточковый, *Poncirus trifoliata* из семейства рутовые. Его колючки стеблевого происхождения. И, наконец, на фото 3 – один из видов барбариса, *Berberis julianae*, из семейства барбарисовые. Его колючки – видоизмененные листья (иногда у барбариса бывают и колючки, образовавшиеся из прилистников).

Эта часть вопроса не требовала обоснований. Но отметим, что догадаться о происхождении колючек часто можно по их расположению (см. вторую часть ответа).

За каждый верный ответ – 2 балла; за каждое верно названное растение – плюс 0,5, итого максимум 7,5 баллов.

2) Как же можно узнать, каково происхождение колючек? Вообще оно может быть самым разным – колючки могут развиваться из побегов, листьев или их частей (в том числе почечных чешуй), прилистников и даже придаточных корней на стеблях (у некоторых пальм). А есть еще шипы – эмергенцы (такие, как у розы) и жесткие волоски-трихомы. Мы решили не делать вопрос (и ответ) слишком объемным, а ограничиться сравнением колючек листового и стеблевого (побегового) происхождения.



Рис. 1. Переходные формы от обычного листа к листовым колючкам у барбариса

Основные идеи ответа такие:

1. Нужно посмотреть на расположение органов. Если колючки расположены так же, как листья (например, на укороченных побегах), а из их пазухи растет побег – это листовые колючки (см. фото 3). А если, напротив, сами колючки развиваются в пазухе листьев – это стеблевые колючки (см. фото 2).
2. Нужно посмотреть на внешнее строение колючки. Если на колючке развиваются почки, есть листья или цветки – почти наверняка это побег. (Правда, иногда колючка развивается из черешка сложного листа; это может ввести в заблуждение, потому что сначала на ней есть листочки, потом они опадают...).
3. Кроме того, часто встречаются переходы между колючками и «нормальными» органами на одном и том же растении – например, все переходы между обычными побегами и колючками у многих розоцветных или переходы между листом и колючкой у некоторых видов барбарисов (см. рис. 1).
4. Нужно посмотреть на внутреннее строение колючки. Хотя оно часто бывает сильно видоизмененным, все-таки есть надежда найти полезные признаки. Если колючка покрыта эпидермисом (да еще и с устьицами) – это, скорее всего, лист, а если пробкой – то, возможно, стебель. Если в колючке сохраняются проводящие пучки – то в стеблевой колючке флоэма, скорее всего, будет окружать ксилему, а в листовой – находиться под ней (как в жилках обычного листа).

5. Можно посмотреть на развитие колючки. Стебель расположен в центральной части почки, листья развиваются как его боковые выросты.  
**Максимум 13,5 баллов**

### **Вопрос 3**

Некоторых животных – например, усатых китов или китовых акул – не удается содержать в неволе сколько-нибудь длительное время. Какими способами можно определить, какова максимальная продолжительность жизни этих животных? Предложите несколько вариантов (нужно не просто назвать способы, но и подробно описать, как с помощью предложенного способа можно оценивать возраст).

#### **Ответ**

Здесь возможно множество вариантов ответа. Основные из них такие:

- 1) Можно пометить китят (или просто научиться индивидуально их распознавать по окраске и т.п.) и следить за ними длительное время. В тех районах, где киты подходят к берегам, их могли научиться опознавать не только ученые, но и местные жители, и такими данными «гражданской науки» тоже можно воспользоваться (с некоторой долей осторожности). Отдельный класс меток – гарпуны, которые иногда застревают в коже китов. По их особенностям иногда удается определить время их производства и использования. С помощью меток (и повторного отлова/обнаружения меченых особей) можно не только определять время мечения, но и определить кривые выживаемости. Аппроксимируя их, можно примерно определить максимальный возраст.
- 2) Можно определить скорость роста в течение нескольких лет у животных разного возраста (в неволе или путем наблюдений в природе), затем построить кривые роста, а по ним (зная максимальные размеры) определить предельный возраст. Этот метод годится для акул, которые, видимо, растут в течение всей жизни, но плохо подходит для китов (в отличие от большинства млекопитающих, они растут еще долго после достижения половозрелости, но в конце концов их рост все-таки останавливается).
- 3) Те же кривые роста можно пробовать строить для постоянно растущих структур (скелет у акул, пластинки китового уса усатых китов).
- 4) В некоторых структурах можно попытаться найти «годовые кольца». У костных рыб они есть в отолитах – слуховых камушках, а часто еще и в чешуе. Но у акул нет отолитов и колец нарастания на чешуях. Зато такие кольца (или слои) есть в телах позвонков, у китов, по некоторым данным – в китовом усе.
- 5) Кроме видимых колец, в структуре скелета могут быть слои, различающиеся содержанием разных изотопов, накопление которых может зависеть от температуры воды (и, следовательно, у постоянно живущих в одном климатическом поясе видов – от сезона года).



- 6) Маркером могут быть изотопы, попадавшие в среду однократно (например, изотоп  $^{14}\text{C}$ , попавший в воду океанов в период атмосферных ядерных испытаний 1957-1967 г.г.). Во многие ткани он включался в любом возрасте, а, например, в хрусталик глаза- только в период его формирования). Комбинация этих данных позволяет понять, с какой скоростью рос скелет, и определить время рождения и возраст особи.
- 7) В хрусталике глаза, в отличие от остальных органов, всю жизнь работают одни и те же белки. В них сперва включаются только L-аминокислоты. Затем с определенной скоростью (которую можно рассчитать, зная возраст хотя бы некоторых особей) происходит рацемизация – часть аминокислот превращается в D-изомер. Наиболее быстро рацемизируется аспарагиновая кислота, и по скорости этого процесса можно довольно точно определить возраст китов (оказалось, что гренландские киты живут более 100 лет, а может быть, и до 200 лет).
- 8) Недавно для определения возраста китов использовали степень метилирования некоторых участков ДНК. Она известным образом меняется с возрастом у мышей и людей. Для генов китов удалось получить похожие данные, и с их помощью (беря пробы кожи) сначала построить кривые для особей известного возраста, а потом оценить возможный предельный возраст.

Возможны и другие идеи ответа.

Справедливости ради отметим, что китовые акулы жили в океанариумах в неволе до 18 лет. Но этого, конечно, недостаточно, чтобы определить их максимальный возраст, который может достигать как минимум 50-70 лет.

**Максимум 20 баллов**

#### **Вопрос 4**

Симпатическая нервная система действует на органы-мишени с помощью нейромедиаторов норадреналина и адреналина, а парасимпатическая система – с помощью нейромедиатора ацетилхолина. Если подействовать адреналином или норадреналином на изолированное сердце, то частота его сокращений увеличится. Но если ввести их в кровь, то в целом организме частота сокращений сердца под действием адреналина увеличится, а под действием норадреналина уменьшится! Если ввести в кровь блокатор рецепторов ацетилхолина, то этот эффект (уменьшение частоты сокращений сердца под действием норадреналина) исчезнет. Предложите объяснение всех описанных результатов.

#### **Ответ**

С изолированным сердцем все ясно ничего объяснять не надо. Почему же замедляется сердечный ритм, если в кровь вводят норадреналин? Ведь даже в целом организме, когда при стрессе норадреналин выделяется из нервных окончаний симпатических нервов и действует непосредственно на сердце, то

заставляет его биться быстрее! Дело в том, что при введении в кровь норадреналин сильнее действует на кровеносные сосуды, вызывая их сужение и резкое повышение артериального давления (АД). Если АД сильно повышается, то барорецепторы посылают более частые нервные импульсы в продолговатый мозг. Там они активируют ядро блуждающего нерва – одного из главных нервов парасимпатического отдела. По блуждающему нерву импульсы идут в сердце и передаются нейронам, которые выделяют ацетилхолин. А ацетилхолин замедляет работу сердца. Частота сердечных сокращений падает, и АД снижается, возвращаясь к норме. Это и происходит, когда из-за сужения кровеносных сосудов под действием норадреналина сильно повышается АД. Если заблокировать действие ацетилхолина на сердце, то при введении в кровь норадреналина частота сердечных сокращений повысится.

Адреналин и норадреналин действуют на одни и те же белки-рецепторы, но рецепторов таких несколько, и действуют на них два этих вещества по-разному. Важно, что эти рецепторы по-разному распределены на клетках разных тканей и даже одной ткани в разных частях организма. Например, на мышечных клетках сердца расположены в основном  $\beta_1$ -рецепторы – на них действуют и норадреналин, и адреналин. При их активации сердце сокращается сильнее и чаще. На гладких мышцах большинства кровеносных сосудов преобладают два других типа рецепторов —  $\alpha_1$  и  $\beta_2$ .  $\alpha_1$  более чувствительны к норадреналину; при действии на них сосуды сужаются – АД растет.  $\beta_2$ -рецепторы более чувствительны к адреналину, норадреналин на них почти не действует. При их активации гладкие мышцы расслабляются, сосуды расширяются, и АД падает. Много  $\beta_2$ -рецепторов на мелких артериях скелетных мышц и коронарных артериях сердца – при стрессе эти сосуды расширяются, чтобы обеспечить наиболее активно работающие органы кислородом и питательными веществами. На остальных сосудах – например, в коже и внутренних органах – больше  $\alpha_1$ -рецепторов, и они при стрессе сужаются. Таким образом, под действием адреналина одни сосуды расширяются, а другие сужаются. Кроме того, адреналин дольше действует на  $\beta_2$ -рецепторы, чем на  $\alpha_1$  – поэтому при однократном его введении АД сначала ненадолго растет, а потом падает.

**Максимум 20 баллов**

**Без обсуждения типов рецепторов, но с упоминанием разного действия норадреналина и адреналина на сосуды и с объяснением роли ацетилхолина - 15 баллов.**

### **Вопрос 5**

Все знают, что можно клонировать животных, и ученые клонировали овечку Долли. Но не все знают, как это делается и что в результате получается.

А) Опишите (в **форме текста**, по пунктам), с помощью каких операций была клонирована овечка Долли.

Б) Был ли полученный клонированный потомок точной копией Долли? Если да – объясните, почему; если нет – объясните, почему и какие отличия между ними могли существовать.

**Ответ**

А) 1. Стимуляция овуляции у овцы, другой породы, чем Долли. 2. Извлечение яйцеклетки из ее яичника 3. Получение клеток молочной железы Долли и создание их культуры. 4. Создание в культуре особых условий (путем изменения состава питательной среды), вызывающих остановку делений клеток (голодание). 5. Энуклеация яйцеклетки – удаление ее ядра (в случае с Долли – с помощью микропипетки). 6. Инъекция соматической клетки Долли под оболочку (*zona pellucida*) лишенной ядра яйцеклетки. 7. Стимуляция слияния соматической клетки с яйцеклеткой с помощью электрического разряда. 8. Стимуляция начала деления яйцеклетки с помощью другого электрического разряда. 9. Получение раннего зародыша – бластоцисты. 10. Перенос его в матку овцы другой породы, чем Долли-суррогатной матери. 11. Эмбриональное развитие и рождение клона Долли. Хотя этот метод называется «метод пересадки соматических ядер», на самом деле ядро из соматической клетки Долли не извлекали!

**За полностью верное описание- 10 баллов.**

Б) Не был точной копией. 1. Он был другого возраста – ягненок, а не овца. При этом он мог унаследовать от Долли укороченные теломеры хромосом, которых у Долли в этом возрасте не было. 2. Он мог иметь отличия, связанные со случайным «шумом» эмбрионального развития (не точно такое же количество шерстинок, ветвление мелких сосудов и т.п.). 3. Он унаследовал митохондрии и их геном почти наверняка от яйцеклетки другой овцы (или, что менее вероятно, смесь митохондрий двух клеток). А от генов митохондрий тоже зависит ряд признаков. 4. Он мог унаследовать от овцы – донора яйцеклетки каких-то внутриклеточных паразитов – например, вирусов. 5. Известно, что на многие признаки потомства влияют условия внутриутробного развития; а клон развивался не в утробе матери Долли, а в матке овцы другой породы.

Возможны и другие разумные варианты ответа.

**Максимум 10 баллов**

### **Вопрос 6**

Обычно белок сам формирует свою пространственную структуру сразу же после того, как он был синтезирован. Однако в клетке есть специальные белки, которые в определенных условиях катализируют процесс разворачивания белков. Как вы думаете, какой может быть смысл в разворачивании белков с уже сложившейся пространственной структурой?

**Ответ**

Основные идеи ответа:

1) Чтобы протаскать через мембрану/мембраны клетки/органойдов. При транспорте в ЭПР это происходит до сворачивания (котрансляционно); а вот

при транспорте в хлоропласты и митохондрии (и наружу из бактериальных клеток) многие белки приходится разворачивать.

2) Чтобы дать возможность неправильно свернувшимся белкам свернуться еще раз. Так работают белки-шапероны, в частности, внутри ЭПС,

3) Чтобы соединить этот белок с другим в комплекс. Обычно белковые комплексы образуются путем самосборки, и это происходит после сворачивания «автоматически», но можно представить себе, что некоторым белкам для объединения потребуется частичное развертывание.

4) Чтобы легче разложить неправильно свернувшийся белок на аминокислоты (в протеасоме). Этим занимается одна из субъединиц протеасомы, распознавая убиквитинилированные белки.

Возможны и другие разумные идеи.

**Максимум 20 баллов**

### **Вопрос 7**

Конечности позвоночных развиваются из зачатков – почек конечностей. У птиц на передней конечности (крыле) есть три пальца – обозначим их как 2, 3 и 4 (спереди назад). Была предложена такая модель развития пальцев:

1) Всего на почке есть шесть позиций для пальцев (можно представить себе ее передне-заднюю ось как отрезок, у заднего края почки координата 0, а у переднего – 6). Больше шести пальцев на почке не умещается. В точке 0 находится особая группа клеток (загадочная палочка – ЗПА), которая управляет развитием пальцев. На позиции (отрезке) 0-1 в норме развивается 4-й палец, на позиции 1-2 – 3-й, на позиции 2-3 – 1-й. Номер пальца определяется только расстоянием от ближайшей ЗПА, и нормальная последовательность пальцев – 000234 (спереди назад), то есть рядом с ЗПА вырастает четвертый палец, а на расстоянии больше 3 единиц пальцев нет. ЗПА можно вырезать и пересадить на другую почку до начала формирования пальцев, она приживется.

Какой будет последовательность пальцев крыла, если

а) оставить нормальную ЗПА и подсадить вторую ЗПА в точку 3?

б) удалить нормальную ЗПА и подсадить другую в точку 4?

Запишите ответы в виде последовательности цифр, как в условии.

### **Ответ**

а) 234434

б) 344320

На самом деле ЗПА расшифровывается как «зона поляризующей активности».



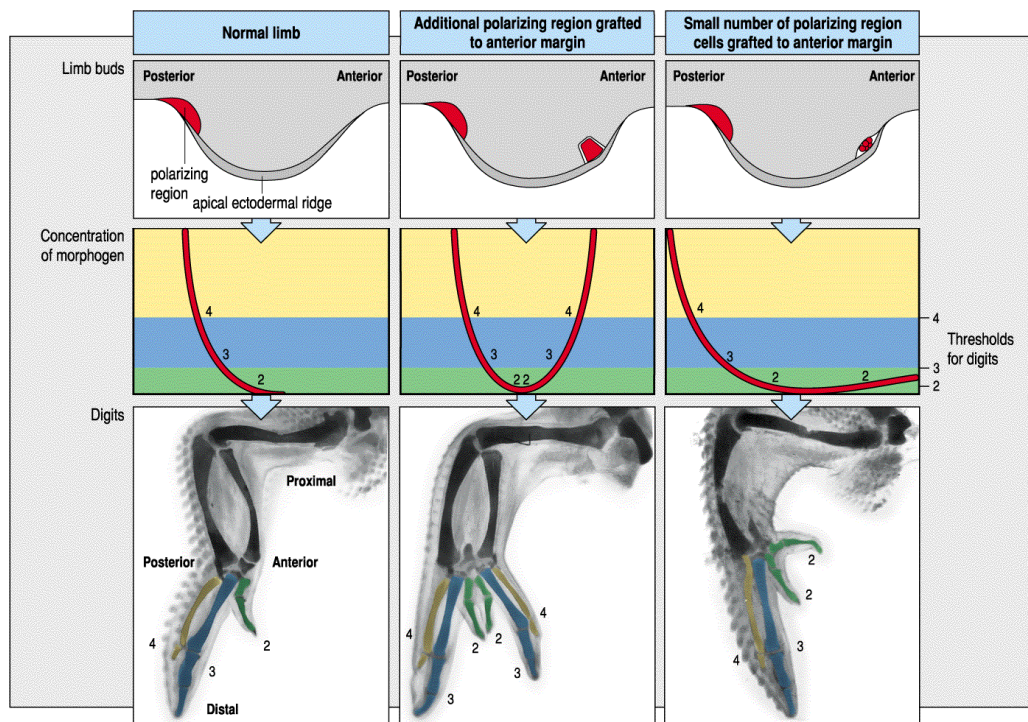


Рис.1. Описание некоторых опытов по пересадкам ЗПА и их результатов (см. <http://courses.biology.utah.edu/bastiani/3230/DB%20Lecture/Lectures/b14Limb.html>). Здесь ЗПА обозначена красным цветом (вверху) и названа “polarizing region”.

По 10 баллов за каждый верный ответ.

Максимум 20 баллов

## Вопрос 8

При приеме некоторых веществ может развиваться авитаминоз (нехватка витаминов) или болезнь с точно такими же симптомами, как при авитаминозе, хотя все витамины поступают в организм с пищей в нормальных количествах. Каковы могут быть механизмы действия таких веществ? Постарайтесь привести как можно больше вариантов ответа (не важно, известен ли тот или иной механизм действия – он должен быть хотя бы теоретически возможным).

### Ответ

Основные идеи ответа следующие:

- 1) «Антивитамины» (обозначим их АВ) могут связывать витамин (иногда химически модифицируя его) и препятствовать его транспорту из кишечника в кровь или из крови в клетки
- 2) АВ могут просто расщеплять витамин (это делают некоторые ферменты при поступлении из пищи); похожий механизм действия – разрушение специальных белков, в комплексе с которыми транспортируются некоторые витамины (пример – внутренний фактор Кастла).
- 3) АВ могут связывать с белками-переносчиками витаминов на стенке кишечника или на других клетках, блокируя его транспорт; похожий механизм действия – блокировка специальных белков, в комплексе с



3. Так же, как предыдущий, формально подходит и вариант, когда ген доминантен у одного пола и рецессивен у другого (часто в качестве такого признака описывается рогатость и комолость у овец). Пусть вислоухость – доминантный признак у самок и рецессивный у самцов. Тогда наша самка (если она чистопородная) имеет генотип AA, самец – aa; при генотипе Aa самки вислоухие, самцы – нормальные. В F1 все самки будут вислоухие, все самцы – нормальные; в F2 при расщеплении 1aa : 2Aa : 1AA все особи с генотипом AA будут вислоухие, aa – нормальные, а среди Aa половина будет вислоухими (самки) и половина нормальными (самцы). Общее расщепление удет близким к 1:1.

Возможны и другие, но более сложные объяснения.

**Максимум 10 баллов**

Б) Самые простые способы проверки – скрещивания. В первом случае анализирующее скрещивание гибрида F1 с исходной самкой даст только четверть нормальных свинок (а не половину, как можно было бы ожидать при моногенном наследовании). Можно также набрать статистику, сделав большее число скрещиваний между гибридами F1, и подтвердить, что расщепление отличается от 1:1 и близко к 9:7.

Во втором случае проверкой служит само по себе расщепление в F1. При аутосомном наследовании следовало бы ожидать, что все потомство будет вислоухим или нормальным, а при сцеплении с полом все самки окажутся нормальными  $X^AX^a$ , а все самцы – вислоухими  $X^aY$  (крисс-кросс наследование, обычно говорящее о сцеплении с полом).

При третьем варианте наследования скрещивание особей F1 с исходным самцом не даст расщепления среди самцов (все нормальные) и даст расщепление 1:1 (вислоухие Aa и нормальные aa) среди самок.

Возможны и другие варианты проверки.

**Максимум 10 баллов**

### **Вопрос 10**

У инфузорий-туфелек встречаются штаммы, содержащие симбиотических бактерий в цитоплазме. Другие штаммы их лишены. Бактерии могут передаваться при конъюгации, но они сохраняются у потомков инфузории, только если в ее ядре есть ген K (то есть при генотипах KK или Kk); у особей с генотипом kk они гибнут.

Кроме конъюгации, у туфелек встречается автогамия – при этом все происходит так же, как при половом размножении, только не происходит обмена пронуклеусами – они сливаются внутри одной клетки.

Мы скрещиваем инфузорий с генотипом Kk (с бактериями) и kk (без бактерий), и все особи F1 получают бактерий, а затем у всех происходит автогамия. Какой процент потомков F2 сохранит бактерий?

### **Ответ**

Естественно, здесь (хоть это и не указано в задании) для получения максимального балла нужно было привести не только ответ, но и ход решения. Приведем его ниже.

При скрещивании половина потомков получит от особи с генотипом Kk пронуклеус с геном K и генотип Kk, а вторая половина – пронуклеус с геном k (и генотип kk). Естественно, все особи с генотипом kk бактерий утратят. Что касается особей с генотипом Kk, то у них перед автогамией гибнут все продукты мейоза, кроме одного ядра – либо K, либо k. Затем оно делится митозом, и два пронуклеуса сливаются. В итоге среди потомков Kk половина будет иметь генотип KK и сохранит бактерий, а половина – генотип kk (и утратит их). Ответ – среди F2 сохранит бактерий  $\frac{1}{4}$  потомков.

**Максимум 20 баллов**