

**Вопрос 1.** Мальчик Вася привез из нескольких путешествий в дальние страны семена разных растений и собирается высеять их на клумбу, которую он вскопал под окнами своей квартиры в Москве. «Не делай этого! Это может привести к большой беде!» - говорит Васин дядя, работающий на биофаке МГУ. Как вы думаете, что может вызывать дядины опасения? Назовите как можно больше «бед», которые могут произойти, если Вася его не послушает

**Ответ**

Основные идеи ответа следующие:

- 1) Выросшие растения или их части могут оказаться ядовитыми (жгучими, давать аллергенную пыльцу, ядовитый для каких-то видов опылителей нектар и т.п.), и от контакта с ними могут пострадать люди или животные. Если они распространятся с клумбы и станут инвазивными видами – проблема усугубится.
- 2) Даже если эти растения не обладают опасными свойствами, их широкое расселение может принести вред природным экосистемам или агроэкосистемам (агроценозам). Они могут, например, образовывать густые заросли, затеняя почву и вытесняя местные виды флоры (и как следствие – связанных с этими видами флоры животных), или могут оказаться злостными сорняками.
- 3) В семенах (или на семенах) этих растений или на них могут содержаться болезнетворные (скорее всего – фитопатогенные) организмы: грибы, бактерии, вирусы или животные (нематоды, личинки насекомых и т.п.). Даже если семена погибнут, эти организмы могут попасть в почву и заразить местные виды растений (с меньшей вероятностью – животных), не обладающие устойчивостью к соответствующим болезням.

Возможны и другие варианты ответа.

**Вопрос 2.** Два друга растолстели и решили сесть на диету. Оба стали подсчитывать энергетическую ценность потребляемой пищи и потребляли в день ровно по 2000 килокалорий. Однако вскоре они обнаружили, что один из них начал худеть, а другой продолжает набирать вес. Почему так могло получиться? Назовите как можно больше возможных причин.

**Ответ**

Основные идеи ответа следующие:

- 1) Наиболее очевидный вариант – разная двигательная активность друзей. Если один из них много бегает, плавает или отжимается от пола, а второй все дни сидит за компьютером – первый будет тратить больше калорий и начнет худеть, а второй может продолжать набирать вес (хотя потребление 2.000 ккал в сутки достаточно обычно только для детей или стариков, см. пункт 3).

2) Кроме подвижности, на затраты энергии могут влиять и другие параметры образа жизни. Если, например, у первого друга в квартире было заметно холоднее, чем у второго, то похудеть первому было намного легче. На холоде больше энергии тратится на поддержание температуры, и это может даже сильнее влиять на потерю массы, чем двигательная активность.

3) Еще один очевидный фактор – возраст. Потребность менее 2000 ккал обычна для детей 7-9 лет и людей старше 60 лет. Если один из друзей относился к этой категории, а другой был, например, молодым человеком в возрасте 18-20 лет, то первый мог продолжать набирать вес, а второй – начать его довольно стремительно терять.

3) Важный фактор, влияющий на потребности в энергии (особенно для детей и подростков) – масса тела. Если друзьям было по 14-15 лет, но первый весил 40 кг (и растолстел, поскольку был маленького роста), а второй – 60 кг, то второй мог начать терять вес, а первый – продолжать его набирать.

4) В то же время для взрослого при более высокой степени ожирения потребности в энергии снижаются. Таким образом, если оба друга имели одинаковую массу, но первый растолстел сильнее (имел более высокий индекс массы), то при той же калорийности пищи он мог продолжать толстеть, в то время как второй начал худеть. Связано это с более низким уровнем основного обмена жировой ткани и меньшими потерями тепла при толстой жировой прослойке.

5) Еще один фактор – пол. Если друзьям было, например, по 60 лет, и один из друзей был мужчиной, а другой – женщиной (формулировка это в принципе допускает), то женщина могла продолжать набирать вес, а мужчина – начать худеть. Связано это различие с тем, что у женщин меньше процент мышечной массы (потребляющей больше энергии) и больше процент жировой ткани (в том числе толще подкожная жировая прослойка).

6) Генетические факторы могут влиять на уровень основного обмена: у друга с более низким генетически детерминированным уровнем мог продолжиться набор веса, в то время как его товарищ с более благоприятным для похудения генотипом мог начать худеть. Среди генов, вариации которых влияют на уровень основного обмена, известны белки-разобщители окислительного фосфорилирования и дыхания, рецепторы адреналина, некоторые другие гены сигнальных путей.

7) На результаты усилий друзей могли влиять самые разные патологии: начиная от гормональных нарушений и кончая глистными инвазиями. Не исключено, что какая-то из таких патологий (повышение уровня тироксина или заражение гельминтами) «помогла» начать худеть одному из друзей, возникнув одновременно с решением сбавить вес.

Возможны и многие другие идеи, которые учитывались при проверке.

**Вопрос 3.** Маша и Катя беседуют в продуктовом магазине.

Маша: «Одни яйца продаются по 40 рублей десяток, а другие – по 60 рублей. Срок хранения одинаковый, на вкус они тоже одинаковые. Сэкономлю 20 рублей!»

Катя: «Ничего ты не сэкономишь, а наоборот. Яйца по 40 рублей мельче!»

Маша: «Ну и что? Ты посмотри, они короче всего на четверть, а стоят дешевле на треть!»

Катя: «Да, но по массе-то они различаются сильнее!»

Маша: «А насколько сильнее?»

Катя: «Не знаю...»

Маша: «А еще, наверное, у крупных яиц скорлупа толще! Ну ладно, неважно. А вот интересно – цыплята из крупных яиц вылупляются тоже более крупные?»

Катя: «Вряд ли...Цыпленок ведь получается только из желтка, а желток у них почти одинаковый»

Маша: «Как только из желтка? Ведь яйцо – это яйцеклетка! Желток – ядро, белок – цитоплазма, а скорлупа – оболочка! Значит, цыпленок получается из всего яйца!»

Катя: «Глупенькая ты! Как же так может быть, сама подумай?»

Прочитав текст, ответьте на следующие вопросы (постарайтесь **кратко обосновать** каждый из них):

1. Если диаметр одного яйца 3 см, а другого – 4 см, насколько сильно они различаются по массе?
2. Правда ли в итоге, что Маша прогадает, если купит яйца по 40 рублей?
3. Правда ли, что у крупных яиц скорлупа толще?
4. Вылупятся ли из более крупных яиц (не купленных в магазине, конечно!) более крупные цыплята?
5. Правда ли Маша «глупенькая», если считает, что желток – ядро, белок – цитоплазма, а скорлупа – оболочка яйцеклетки?
6. А интересно, вылупившийся цыпленок будет весить столько же, сколько яйцо, больше или меньше?

## Ответ

1. Соотношение масс будет таким же, как у двух шаров того же диаметра, то есть  $1\frac{13}{268}$ . Таким образом, яйцо диаметром 4 см более чем вдвое превышает по объему яйцо диаметром 3 см.

2. Правда (см. пункт 1).

3. Правда, но только «при прочих равных условиях». В целом, чем крупнее яйцо, тем толще скорлупа. Эта зависимость наблюдается как среди всех птиц, так и внутри каждого вида, в том числе и у кур. Большая толщина скорлупы обеспечивает ее *большую* прочность, а это необходимо, чтобы яйцо большей массы и диаметра не было раздавлено при насиживании. Но на толщину скорлупы влияет множество факторов, особенно при содержании в неволе. У некоторых пород кур в некоторых конкретных случаях самой

толстой оказывалась скорлупа яиц среднего размера, а у крупных и мелких яиц она была тоньше.

4. Да, вылупятся. Размер цыпленка пропорционален запасу питательных веществ в яйце. Для инкубации обычно отбирают крупные яйца, поскольку выживаемость крупных цыплят выше.

5. Правда. На самом деле яйцеклетка – это желток, а белок, пергаментная оболочка и скорлупа – третичные оболочки, их выделяют стенки яйцевода. Это ясно хотя бы потому, что через скорлупу, конечно же, не смог бы пройти сперматозоид; оплодотворение происходит до образования всех третичных оболочек яйца.

6. Масса вылупившегося цыпленка намного (почти вдвое) меньше, чем масса свежеснесенного яйца. Это обусловлено двумя главными причинами: 1) В яйце идет обмен веществ (поглощается кислород, выделяется углекислый газ, и часть органических веществ расщепляется до углекислого газа и воды для получения энергии). Выделяется столько же молей углекислого газа, сколько и поглощается кислорода; но молярная масса углекислого газа выше. Часть воды тоже испаряется через скорлупу, объем воздушной камеры яйца по мере развития увеличивается. 2) При вылуплении цыпленок сбрасывает скорлупу, и вес его в этот момент существенно уменьшается.

**Вопрос 4.** Африканские пигмеи, как известно, имеют средний рост, примерно соответствующий росту детей европейцев 12-14 лет. Главный регулятор роста – соматотропин (он же – гормон роста, ГР), вырабатываемый клетками передней доли гипофиза. У пигмеев и в детском, и во взрослом возрасте концентрация ГР в крови нормальная или лишь немного пониженная (не выходит за пределы нормы для европейцев). Тем не менее, низкий рост пигмеев, видимо, в основном определяется генетически, а не связан просто с влиянием условий жизни. Мутации в каких участках генома могли привести к уменьшению роста пигмеев? Ответ обоснуйте.

**Ответ**

Первый и наиболее очевидный вариант ответа – мутации гена рецептора соматотропина, приводящие к снижению их способности связывать ГР (или передавать сигнал) при нормальной концентрации гормона. Рецептор ГР – это рецептор с тирозинкиназной активностью, сигнал от которого передается в ядро и запускает транскрипцию многих генов-мишеней. Естественно, мутации могли произойти и в любом из генов сигнальных белков, участвующих в этом сигнальном пути. На самом деле пока ни специфичные мутации гена рецептора, ни мутации других генов, кодирующих белки внутриклеточного пути передачи сигнала, у пигмеев не обнаружены.

Второй вариант – могут произойти мутации генов (или регуляторных участков) инсулиноподобных факторов роста (ИФР), которые синтезируются в печени под действием ГР (то есть генов-мишеней сигнального пути).

Именно ИФР действуют на большинство тканей, стимулируя их рост. И действительно – в одной из работ показано, что у пигмеев во взрослом возрасте уровень экспрессии одного из ИФР понижен в несколько раз: видимо, мутировал промотор или другой регуляторный участок этого гена.

Третий вариант – возможное нарушение в синтезе или действии на ткани гормонов щитовидной железы. Дело в том, что гормон роста вызывает нормальный рост тела только при синергичном (совместном, взаимоусиливающем) действии с тироксином и трийодтиронином. По некоторым данным, у пигмеев снижена чувствительность щитовидной железы к тиреотропному гормону (у них реже встречается зоб при пониженном уровне йода в пище). Возможно, у них понижено и содержание йодсодержащих гормонов в крови. Естественно, могут быть нарушены и другие этапы этого пути передачи гормональных сигналов – синтез или структура тиреолиберина (см. задачу «Странный ген», [https://elementy.ru/problems/763/Stranny\\_gen](https://elementy.ru/problems/763/Stranny_gen)), рецепция тироксина/трийодтиронина и т.п.

Можно также предположить, что у пигмеев из-за мутации регуляторного элемента гена усилен синтез соматостатина или произошла мутация гена рецептора соматостатина типа gain-of function – когда рецептор постоянно передает сигнал даже в отсутствие гормона-лиганда.

Наконец, еще один вариант (хотя формулировка задачи его маскирует) – это возможное отсутствие «пубертатного взрыва» при росте. Указано, что концентрация ГР нормальная у пигмеев в детстве и во взрослом возрасте. Однако есть еще подростковый возраст, а обычно в период полового созревания уровень ГР резко повышается, и рост ускоряется. Это ускорение связано с действием андрогенов и эстрогенов – половых гормонов – на ДНК. Если мутировали регуляторные элементы генов ГР или соматолиберина, чувствительные к андрогенам, то это могло замедлить рост в период полового созревания и привести к появлению «пигмейского» фенотипа.

Возможны и другие варианты ответа. При проверке учитывалась грамотность изложения (мутации происходят только в ДНК, но не в белках!) и разумность предлагаемого механизма с учетом условий задачи.

**Вопрос 5.** Бывает, что снижение видового разнообразия (обычно связанное с деятельностью человека) в определенной местности в конце концов приводит к увеличению частоты инфекционных и паразитарных заболеваний среди выживших видов диких животных, а также у домашних животных и людей. Как вы думаете, почему это может происходить? Приведите как можно больше объяснений. (Автор задачи – П.Н. Петров).

## Ответ

Здесь возможно множество вариантов ответа. Например, если рассматривать большие временные интервалы, то можно отметить, что снижение видового разнообразия (уничтожение охотничьих видов животных) способствовало переходу от охоты и собирательства к земледелию и скотоводству. Это по многим причинам увеличило частоту инфекций среди людей и появившихся при этом домашних животных (см., например, [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/431343/Zarozhdenie\\_selskogo\\_khozyaystva\\_pri\\_VELO\\_k\\_rostu\\_infektsionnykh\\_zabolevaniy\\_i\\_snizheniyu\\_agressii](https://elementy.ru/novosti_nauki/431343/Zarozhdenie_selskogo_khozyaystva_pri_VELO_k_rostu_infektsionnykh_zabolevaniy_i_snizheniyu_agressii)). Однако из условия задачи скорее следует, что мы рассматриваем те времена, когда домашние животные уже существовали. Поэтому будем отталкиваться от того, что люди в данной местности ведут оседлый образ жизни, и изменения экосистем не столь значительны, чтобы этот образ жизни изменить (например, породить голод и волну миграции – очевидно, что среди голодающих беженцев частота инфекционных заболеваний повысится).

Почему же в данной местности частота инфекций и паразитарных инвазий может увеличиться из-за снижения видового разнообразия? Одна из вероятных причин – это увеличение численности переносчиков инфекций (насекомых и клещей). Это может произойти из-за исчезновения части их естественных врагов – насекомоядных птиц, хищных насекомых и др.

Другая сходная причина – увеличение численности источников возбудителей (например, грызунов или летучих мышей, от которых человек и другие животные нередко получают вирусные или бактериальные инфекции). К таким последствиям может привести монокультура сельскохозяйственных растений, которыми питаются эти животные, или уничтожение хищников, контролировавших их численность.

Уничтожение хищников может вызвать и эпизоотии среди любых диких животных – ведь сам по себе рост численности увеличивает шансы распространения инфекций. Кроме того, в ряде случаев хищники, видимо, «отбраковывают» больных и ослабленных жертв.

Еще одно возможное следствие снижения видового разнообразия – смена мест обитания или спектра питания уцелевших видов животных. Например, эти виды могут начать искать пропитание в новых биотопах, где больше переносчиков инфекций. Или животные могут начать осваивать в качестве пищевых объектов новые виды жертв, которые чаще являются промежуточными хозяевами паразитов. Хотя данные о том, избегают ли хищники поедания зараженных паразитами жертв, противоречивы, вполне возможно, что такие особенности поведения есть у многих хищников. Очевидно, такое избегание может быть ослаблено, если из-за снижения видового разнообразия выбрать особо не приходится.

Изменение спектра питания и большее однообразие пищевых объектов может приводить и к ослаблению иммунитета или к таким патологиям (например, к авитаминозам), которые облегчают заражение паразитами и проникновение инфекции в организм.

Можно выстроить и другие, более сложные цепочки возможных причинно-следственных связей между видовым разнообразием и частотой инфекционных болезней. Оценивались все разумные варианты ответа.

**Вопрос 6.** По статье в Википедии [https://ru.wikipedia.org/wiki/Лактозный\\_оперон](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лактозный_оперон) ознакомьтесь с устройством и принципом работы лактозного оперона кишечной палочки (если статья покажется Вам слишком сложной, Вы можете самостоятельно найти дополнительные источники информации на русском языке в сети Интернет). После этого ответьте на вопрос:

Мутации в каких участках генома кишечной палочки могут привести к появлению бактерий А) не способных расти на среде, где единственный источник углерода – лактоза; Б) способных усваивать лактозу даже в присутствии глюкозы; В) производящих ферменты для усвоения лактозы даже при ее отсутствии в среде.

Среди мутаций в данной задаче будем иметь в виду только «поломки» (то есть полную утрату нормальной функции белка или участка генома).

### **Ответ**

Этот вопрос отчасти похож на вопрос №4, но условия задачи более определенные.

А) 1. Могут «испортиться» структурные гены лактозного оперона (например, ген лактазы).

2. Может «сломаться» промоторный/операторный участок а) так, что на него не сможет «садиться» РНК-полимераза; б) так, что от него не сможет отделяться белок-репрессор даже при связывании с лактозой; в) так, что к нему не сможет присоединиться САР-белок.

3. Может «сломаться» ген белка-репрессора – так, что белок не сможет связываться с лактозой или даже при связывании с ней не будет отделяться от оператора.

4. Может «сломаться» ген аденилатциклазы – так, что этот фермент больше не будет активироваться при отсутствии в клетке глюкозы и не сможет фосфорилировать САР-белок

Б) 1. Мутация в гене САР-белка, при которой он постоянно связан с промотором (независимо от фосфорилирования)

2. Мутация в гене аденилатциклазы, при которой она постоянно активна и может фосфорилировать САР-белок, даже если в клетке есть глюкоза

3. Мутация промотора, при которой РНК-полимераза может связываться с ним даже в отсутствие CAP-белка

4. Мутация гена РНК-полимеразы, при которой РНК-полимераза может связываться с промотором даже в отсутствие CAP-белка.

В) 1. Мутация промотора/оператора, при которой он перестает связывать белок-репрессор, но по-прежнему может связывать CAP-белок и РНК-полимеразу;

2. Мутация гена белка-репрессора, при которой он больше не способен «садиться» на оператор

Вероятно, возможны и другие варианты ответа (но менее вероятные).

**Вопрос 7.** Бутылочные тыквы (лагенарии) ныне культивируются по всему миру. Американские индейцы использовали тыквы уже 10.000 лет назад (это доказано археологическими находками). Родина этого вида растений – Африка. Существует две версии: 1) тыквы были занесены в Америку из Африки морскими течениями и независимо «окультурены» индейцами; 2) культурные сорта (или дикие предки) бутылочной тыквы попали в Америку вместе с людьми в ходе ее заселения.

Предположим, Вы получили грант для решения этой проблемы. Попробуйте спланировать исследования, которые бы подтвердили одну из гипотез и опровергли противоположную. Опишите, при каких результатах каждого эксперимента или наблюдения была бы опровергнута первая гипотеза и подтверждена вторая (или наоборот).

### **Ответ**

В ответе не обязательно было приводить четкий план исследования – важно было описать, какие данные нужно получить и как их можно интерпретировать.

1) Можно попытаться найти археологические свидетельства пути распространения лагенарии в Новом Свете. Если археологические находки семян или других сохранившихся частей лагенарии наиболее древнего возраста будут обнаружены в районе Аляски или других северо-восточных районах Северной Америки, а по мере продвижения к югу и западу их возраст будет уменьшаться – это сильный довод в пользу гипотезы 2. Если же наиболее древние остатки тыкв будут найдены на западном побережье Южной или Центральной Америки – это довод в пользу гипотезы 1. Кроме остатков тыкв, дополнительные данные можно получить, например, исследуя древние рисунки.

2) Можно использовать генетические данные (как для ископаемого, так и для современного материала).

Если окажется, что американские лагенарии генетически ближе к азиатским (причем наиболее близки к азиатским тыквам образцы из Северной Америки) – это сильный довод в пользу гипотезы 2. Если же окажется, что они генетически ближе к современным африканским лагенариям, и особенно к



**Вопрос 9.** Брахифалангия вызывается доминантной мутацией, которая в гомозиготном состоянии летальна, а в гетерозиготном вызывает укорочение пальцев. Способность свертывать язык в трубочку доминирует над неспособностью. У обоих родителей брахифалангия, один из них не способен сворачивать язык, а другой – способен и гетерозиготен по этому гену. Каким будет расщепление по фенотипу по обоим признакам среди детей от такого брака?

Приведите ход решения.

**Ответ**

A – брахидактилия, a – норма; B – способность сворачивать язык, b – неспособность.

Генотипы родителей – Aabb и AaBb (это очевидно из условия и в обосновании особо не нуждается).

Решетка Пеннета:

	Ab	ab
AB	леталь	Брахидактилия способен
Ab	леталь	Брахидактилия неспособен
aB	Брахидактилия способен	Норма способен
ab	Брахидактилия неспособен	Норма неспособен

Расщепление среди выживших детей – 2 брахидактилия способен : 2 брахидактилия неспособен : 1 норма способен : 1 норма неспособен сворачивать язык трубочкой

**Вопрос 10.** У кошки нормальная окраска - серая. Доминантный аллель W препятствует миграции пигментных клеток к основаниям волос, что приводит к альбинизму. Ген O, сцепленный с X-хромосомой, нарушает синтез черного пигмента, что приводит к появлению рыжей окраски. Какие расщепления по фенотипу в потомстве будут от скрещиваний а)  $ww X^O X^O \times Ww X^O Y$ ? б)  $Ww X^O X^O \times Ww X^O Y$ ? Укажите также фенотипы родителей. Приведите ход решения (например, решетку Пеннета).

**Ответ**

Как в любой задаче, где есть сцепленный с полом ген, здесь расщепление нужно определить отдельно для самцов и для самок. В данном же случае это особенно важно – нужно установить, какой фенотип имеют самки с генотипом  $ww X^O X^O$ . Окраска у них проявляется, но как? На первый взгляд кажется, что они будут рыжими. Но на самом деле это неверно – окраска у них черепаховая (из чередующихся серых и рыжих пятен). Это связано с

тем, что у самок млекопитающих в разных клетках путем случайного выбора инактивируется одна из X-хромосом. Так происходит в том числе и в клетках-предшественниках меланоцитов, поэтому некоторые из них (с активной хромосомой  $X^O$ ) будут вырабатывать только рыжий пигмент, а некоторые (с активной хромосомой  $X^o$ ) – серый. Очевидно, что все особи с генотипом  $W---$  - альбиносы (иногда этот тип альбинизма называют ложным). В остальном это обычная задача на дигибридное скрещивание, которую можно решить с помощью решетки Пеннета.

а) кошка черепаховая, кот альбинос

	$wX^O$	$wX^o$
$WX^O$	Кошка альбинос	Кошка альбинос
$WY$	Кот альбинос	Кот альбинос
$wX^o$	Кошка черепаховая	Кошка серая
$wY$	Кот рыжий	Кот серый

Итак, расщепление среди самок: 2 альбиноса : 1 серая : 1 черепаховая  
Среди самцов: 2 альбиноса : 1 серый : 1 рыжий

б) кошка альбинос, кот альбинос

	$WX^O$	$WX^o$	$wX^O$	$wX^o$
$WX^O$	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка альбинос
$WY$	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот альбинос
$wX^O$	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка рыжая	Кошка черепаховая
$wY$	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот рыжий	Кот серый

Расщепление среди самок: 6 альбиносы : 1 рыжая : 1 черепаховая  
Среди самцов: 6 альбиносы : 1 рыжий : 1 серый