

1. Владыка вечности. (33 балла)

В 1965 году вышел фантастический роман Фрэнка Герберта «Дюна», а осенью 2021 – одноименная экранизация режиссера Дени Вильнева. Действия романа происходят в далеком будущем на пустынной и жаркой планете Арракис.

Известно, что поверхность Арракиса или, по-другому, Дюны – знойная песчаная пустыня с горами и скоплениями скальных выступов. Доминирующей формой жизни, сформировавшей облик Арракиса являются гигантские Песчаные черви – Шай-Хулуд (данное словосочетание можно перевести с арабского как «Владыка Вечности»), взрослые особи которых могут достигать до 400 метров в длину и 80 метров в диаметре.

Тело Шай-Хулуда может состоять более чем из 400 сегментов, каждый из которых обладает собственной примитивной нервной системой и способен дать начало целому червю в случае отделения от тела. Передний сегмент Песчаного червя несет несколько сотен острых кремниевых зубов. Один из передних сегментов после полового созревания (у самок зрелость наступает через 1000 лет, а у самцов – приблизительно через 1100 лет) становится репродуктивным. Взрослый Шай-Хулуд не переносит присутствия воды в почве – она для него смертельна.

Рассмотрим жизненный цикл этих фантастических созданий, описанный самим Фрэнком Гербертом в серии книг. Половозрелая самка (длиной около 100 м и диаметром ротового отверстия 20 м) выбирается на поверхность и начинает бить задним концом тела о землю. Звуки ударов хвостового отдела самки привлекают самца (длина около 400 м, диаметр ротового отверстия – 80 м), который набрасывается на самку, пожирая ее. Следующие несколько недель самец проводит неподвижно, в его теле происходит частичное переваривание тела самки и оплодотворение яиц, находящихся в защитной оболочке. После откладки яиц червь уползает.

Через некоторое время из яиц вылупляется «песчаный планктон» – мелкие одноклеточные организмы, живущие на поверхности песков Арракиса. Песчаный планктон питается останками тела матери. Так же песчаный планктон сам служит пищей взрослому Шай-Хулуду. Выживший песчаный планктон уходит в глубинные слои песка, где вырастает в одноклеточный амeboидный организм – песчаную форель. Песчаная форель имеет длину до 20 см и ширину порядка 6 см и активно поглощает органические вещества из окружающей среды, а также может преодолевать большие расстояния в поисках воды. Песчаные форели способны слипаться в агломераты и, таким образом, образовывать крупные подземные резервуары для воды. Время от времени в этих резервуарах накапливается большое количество углекислого газа, являющегося продуктом жизнедеятельности песчаной форели, что приводит к взрыву. На поверхность планеты выбрасывается смесь песка и останков погибшей песчаной форели – что является пищевым ресурсом для песчаного планктона.

Выжившая песчаная форель, накопившая достаточное количество воды и питательных веществ, способна инцистироваться. Через шесть лет из цисты вылупляется молодой песчаный червь длиной до трех метров. Большая часть песчаных червей погибает, будучи съеденной более крупными особями. Лишь немногие доживают до половозрелого возраста и превращаются в гигантских Шай-Хулудов.

Вопрос 1. Несмотря на фантастичность Шай-Хулудов, в окружающем мире можно найти организмы, обладающие некоторыми морфофизиологическими или поведенческими свойствами этих созданий. Заполните таблицу, соотнесите поведение или процесс в теле Шай-Хулуда с реально существующими. Приведите примеры животных, для которых известны аналогичные процессы.

Вопрос 2. Предположите две причины, зачем Шай-Хулуду необходима жизненная стадия песчаной форели, которая активно поглощает воду, и взрослую стадию, для которой вода смертельно опасна?

Вопрос 3. Найдите грубую биологическую ошибку, руководствуясь только вышеуказанным описанием экосистемы Дюны.

Вопрос 4. Предложите два способа, как можно исправить обнаруженную Вами экологическую ошибку. Так как Шай-Хулуды – это выдуманные животные, вы можете менять их пищевое поведение.

ОТВЕТ

Вопрос 1.

Процесс в теле или поведение Шай-Хулуда	Название биологического процесса или явления	Организм-аналог
Способность развития целого червя лишь из одного сегмента тела	Регенерация	Морская звезда, португальский кораблик
Поедание взрослым червем молодых и/или личиночных форм	Каннибализм	Бурый медведь, Паук <i>Stegodyphus lineatus</i>
Поедание самцом самки в процессе спаривания	Половой каннибализм	Обыкновенный богомол, Черная вдова
Пропускание через себя неорганической массы (песка) для фильтрации пищи		Дождевой червь, Серый кит
«Плавание» в толще песка		Аптечные сцинки, Златокрот
Песчаная форель и взрослый червь, кардинально различающиеся по внешнему виду и способу питания	Полный метаморфоз	Печеночный сосальщик, бычий цепень, бабочка, Морская звезда, Португальский кораблик
Размножение между двумя взрослыми червями	Половое размножение	
Поедание песчаным планктоном останков матери	Матрифагия	Паук <i>Stegodyphus lineatus</i> , Морская звезда
	6 б	14 б

По 1 баллу за явление, по 2 балла за 1 верно указанный организм Всего 20 баллов

№	Вопрос	Ваш ответ
2	Предположите две причины, зачем Шай-Хулуду необходима жизненная стадия песчаной форели, которая активно поглощает воду, и взрослую стадию, для которой вода смертельно опасна? 4 балла	Личиночная форма, таким образом, защищается от поедания взрослой особью. Личиночная и взрослая формы занимают разные экологические ниши, и тем самым, они не конкурируют за ресурсы. (2 балла также ставили за идею о том, что форель, концентрируя воду, очищает от неё толщу песка для благополучия взрослой стадии)
3	Найдите грубую биологическую ошибку, руководствуясь только вышеуказанным описанием экосистемы Дюны. 3 балла	Нет внешнего источника энергии. Получается замкнутый цикл передачи энергии: взрослая особь питается личинками и другими червями, песчаные форели питаются песчаным планктоном, песчаный планктон питается

		мертвой песчаной форелью.
4	Предложите два способа, как можно исправить обнаруженную Вами экологическую ошибку. Так как Шай-Хулуды – это выдуманные животные, вы можете менять их пищевое поведение. 6 баллов	Нужна автотрофная форма жизни, которую будет поедать взрослая или личиночная форма. Это может быть фотоавтотроф: песчаный планктон, потому что он живет на поверхности пустыни и может поглощать солнечную энергию и/или хемоавтотроф: песчаная форель, так как она живет в толще песка.

2. «Постковидный» синдром. (35 баллов)

Известно, что при коронавирусе проводят терапию глюкокортикоидами.

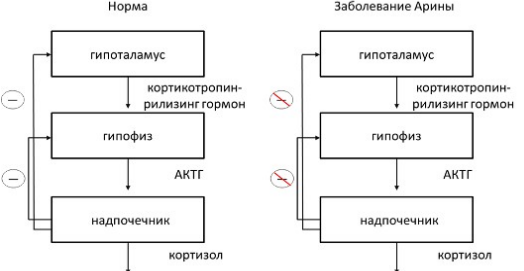
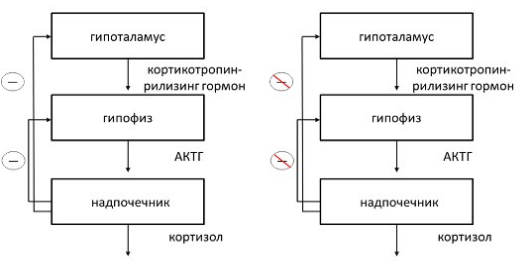
Арине 18 лет. После перенесенной коронавирусной инфекции она начала резко набирать вес и стала очень раздражительной. Арина подумала, что это случилось из-за гиподинамии, и начала заниматься в спортзале, но вес продолжал расти. На теле появились растяжки, лицо приобрело розоватый оттенок, появились волосы и угри на лице.

Однажды утром на пути в университет девушка поскользнулась, упала и сломала бедренную кость. В больнице Арине измерили артериальное давление, оно оказалось выше нормы. Анализ крови показал также повышенный уровень сахара. После определения содержания гормонов в крови у Арины были получены следующие результаты:

Гормон	Результат анализа	Референсные значения
ТТГ	0,35 мМЕ/л	0,4 - 0,5 мМЕ/л
АКТГ	134 пг/л	7 - 63,3 пг/л
Вазопрессин	3,38 пг/л	1-5 пг/л
ЛГ	135 мМЕ/мл	0 - 200 мМЕ/мл

ОТВЕТ

Вопрос	Ответ
Вопрос 1. Уровень каких гормонов и каким образом изменен у Арины?	Увеличение АКТГ. 1 балл
Вопрос 2. Как называется заболевание, которым страдает Арина? Уровень какого гормона надо проверить еще, чтобы удостовериться в диагнозе? Назовем его гормон X .	Синдром (болезнь) Иценко—Кушинга. 1 балл Кортизол. 1 балл .

Вопрос 3. На приведенном рисунке в квадратах напишите органы, в которых вырабатываются гормоны, связанные с заболеванием Арины. Рядом со стрелками подпишите названия этих гормонов.	 5 баллов
Вопрос 4. Для гормона X характерно наличие механизма обратной связи по влиянию на количество вышестоящих гормонов. Дополните схему стрелками, поясняющими механизм обратной связи и его нарушение при заболевании Арины.	 4 балла
Вопрос 5. Для дифференциальной диагностики данного заболевания используют введение вещества Д. Вещество Д - аналог вещества X. Исходя из описанной вами выше схемы, поясните, какой эффект от введения этого вещества вы ожидаете увидеть в норме и при патологии. Укажите, что конкретно вы будете измерять. Как вы думаете, что такое вещество Д?	Д = дексаметазон 1 балл. В норме должно снизиться количество кортизола, при патологии, так как обратная связь не работает, - снижения не будет. 4 балла. Измерять кортизол. 1 балл.
Вопрос 6. Как вы думаете, могло ли лечение глюкокортикоидами спровоцировать данный синдром? Рассмотрите два варианта: краткое и длительное применение.	Увеличение дексаметазона должно вызвать снижение синтеза АКТГ, поэтому на кратковременном приеме - нет. При длительном приеме высокие дозы дексаметазона могут сделать нечувствительными клетки гипофиза к нему (снижается уровень синтеза рецепторов), что по сути и есть синдром Иценко-Кушинга. 5 баллов.
Вопрос 7. Для уточнения формы заболевания Арине назначили компьютерную томографию. Как вы думаете, какие органы можно исследовать в данном случае и как это поможет в уточнении диагноза?	Головы, чтобы увидеть, есть ли увеличение гипофиза. Надпочечников, чтобы увидеть опухоль коры надпочечников. 4 балла.
Вопрос 8. Объясните, с чем связана повышенная раздражительность у Арины? Какой гормон влияет на это?	Кортизол - гормон стресса, повышает восприимчивость к раздражителям. 2 балла
Вопрос 9. Как можно вылечить данное заболевание? Приведите не только известные методы, но и рассуждения о возможных	Удалить опухоль (хирургически или лучевой терапией), снизить потребление глюкокортикоидов (если оно имелось). 2 балла. Теоретически можно активировать синтез рецепторов к кортизолу для

мишенях воздействия.	восстановления обратной связи, подавить синтез рецепторов к кортикотропин-рилизинг фактору (при нарушении клеток гипофиза), подавить синтез рецепторов к АКТГ (при нарушении коры надпочечников). 4 балла.
----------------------	--

3. Генетика ночных фурий. (25 баллов)

Черный цвет ночной фурии обеспечивается наличием пигмента фурина. Синтез этого пигмента в организме фурии осуществляется в одну реакцию из бесцветного вещества-предшественника, поступающего с пищей (сама фурия синтезировать предшественник не может).

Реакцию синтеза фурина катализирует фермент **фуриназа**, который представляет из себя тетрамер из 4 одинаковых субъединиц, кодируемых геном *Fur*. Каждая субъединица независимо синтезируется с этого гена, а затем происходит сборка функционального белка (см. Рисунок в заданиях).

Для того, чтобы фермент работал, все четыре субъединицы должны быть нормальными – если хотя бы одна будет «нерабочей», то белок полностью потеряет свою функцию.

Чтобы фурия была черной, необходимо нормальное количество фермента. Известно, что в природе распространены черные ночные фурии, но иногда встречаются и белые.

Ответьте на следующие вопросы:

1. Известна мутация ***Fur1*** в гене ***Fur***, которая приводит к потере функциональности субъединицы. Рассчитайте, какова будет доля функционального фермента в организме гетерозиготной фурии (несущей один мутантный аллель фуриназы ***Fur1*** и один нормальный – ***Fur+***). Какого цвета – черного или белого – будет такая гетерозиготная особь? Объясните.
 2. Как можно классифицировать взаимоотношения между этими аллелями? (Полное доминирование, неполное, кодоминирование). Какой будет мутация ***Fur1*** по отношению к аллелю дикого типа (***Fur+***)?
 3. Ответьте на первый вопрос для случая любого мультисубъединичного белка: выведите формулу, по которой можно рассчитать долю функционального белка, если он состоит не из четырех, а из ***n*** субъединиц.
 4. Другая мутация, ***Fur2*** – выпадение одного нуклеотида в районе, кодирующем вторую аминокислоту субъединицы. В результате с этого аллеля синтезируется совсем небольшой фрагмент белка длиной 9 аминокислот (можно считать, что данного продукта вообще нет, т.к. он неспособен участвовать ни в каких взаимодействиях).
- 4-1.** Будет ли функциональный белок в организме фурии, гетерозиготной по аллелю ***Fur2*** и аллелю дикого типа ***Fur+***? Объясните.
- 4-2.** Каким будет ожидаемое количество этого белка по сравнению с гомозиготами по аллелю дикого типа? Ответ обоснуйте.

4-3. Почему синтез белка с аллеля прекращается на 9 аминокислоте, хотя мутация затрагивает район 2-ой аминокислоты?

5. При содержании черных ночных фурий в неволе они часто светлеют и становятся не черными, а разных оттенков серого. Анализ их генотипа показал, что все они – гомозиготы по аллелю дикого типа *Fur*⁺. С чем может быть связано такое изменение окраски?

6. Ночные фурии дикого типа имеют зеленый цвет глаз, который обеспечивается наличием пигмента, синтез которого идет в две стадии из голубых предшественников.

В отсутствие зеленого пигмента цвет глаз фурий – голубой.

В неволе были выведены три разные линии ночных фурий с голубыми глазами (линии 1, 2, 3). При скрещивании особей из линий 1 и 2 все потомство было таким же голубоглазым, как родители. А вот при скрещивании линий 2 и 3 или 3 и 1 все потомки получались с зелеными глазами.

Предположите, мутации каких генов могли вызвать голубой цвет глаз в линиях 1, 2 и 3. Введите обозначения этих генов, их нормальных и мутантных аллелей. Запишите схемы скрещиваний линий 1 и 2, 1 и 3, включая потомков второго поколения, объясняющие полученные результаты.

ОТВЕТ

№	Вопрос	Ваш ответ
1-1	Рассчитайте, какова будет доля функционального фермента в организме гетерозиготной фурии. Объясните.	1/16 (0,0625) Объяснение: у гетерозиготы «правильных» субъединиц будет ровно половина. Соответственно, вероятность, что все 4 окажутся нормальными – $(1/2)^4 = 1/16$ 2 балла
1-2	Какого цвета – черного или белого – будет такая гетерозиготная особь?	белого цвета 1 балл
2-1	Как можно классифицировать взаимоотношения между этими аллелями? (Полное доминирование, неполное, кодоминирование).	Полное доминирование 1 балл
2-2	Какой будет мутация <i>Fur1</i> по отношению к аллелю дикого типа (<i>Fur</i> ⁺)?	мутация доминантная 1 балл
3	Выведите формулу, по которой можно рассчитать долю функционального белка, если он состоит не из 4, а из n субъединиц.	$1/2^n$ или $(1/2)^n$ 2 балла
4-1	Будет ли функциональный белок в организме фурии, гетерозиготной по аллелю <i>Fur2</i> и аллелю дикого типа	Да 2 балла, если есть объяснение

	<i>Fur</i> ⁺ ? Объясните							
4-2	Каким будет ожидаемое количество этого белка по сравнению с гомозиготами по аллелю дикого типа? Ответ обоснуйте.	1/2 2 балла, если есть объяснение						
4-3	Почему синтез белка с аллеля <i>Fur</i> ² прекращается на 9 а.к., хотя мутация затрагивает район 2-ой а.к.?	Происходит сдвиг рамки, который вызывает возникновение СТОП-кодона ниже по течению 2 балла						
5	При содержании черных ночных фурий в неволе они часто светлеют и становятся не черными, а разных оттенков серого. Анализ их генотипа показал, что все они – гомозиготы по аллелю дикого типа <i>Fur</i> ⁺ . С чем может быть связано такое изменение окраски?	Отсутствие или нехватка в пище предшественника синтеза 2 балла Тут могут быть и другие объяснения, связанные со средой – например, стресс от неволи влияет на активность или количество фермента. 1 балл						
6-1	Предположите, мутации каких генов могли вызвать голубой цвет глаз в линиях 1, 2 и 3.	<table><tr><td>Линия 1</td><td></td></tr><tr><td>Линия 2</td><td></td></tr><tr><td>Линия 3</td><td></td></tr></table> У линий 1 и 2 мутация в одном и том же гене (кодирующем, например, фермент, катализирующий 1 этап синтеза пигмента) у линии 3 – в другом (кодирующем, например, фермент 2 этапа синтеза) 2 балла	Линия 1		Линия 2		Линия 3	
Линия 1								
Линия 2								
Линия 3								
6-2	Запишите схему скрещивания особей из линий 1 и 2, включая второе поколение. Объясните расщепление.	Скрещивание 1 и 2 P: <i>alal</i> x <i>a2a2</i> 1 балл F1: <i>al a2</i> , голубые (компаунд гетерозигота) 1 балл F2: <i>alal</i> : <i>2al a2</i> : <i>a2a2</i> , все голубые 1 балл						
6-3	Запишите схему скрещивания особей из линий 1 и 3, включая второе поколение. Объясните расщепление.	Скрещивание 1 и 3 (2 и 3 аналогично) P: <i>alalBB</i> x <i>AAbb</i> 1 балл F1: <i>AaBb</i> , зеленые 1 балл F2: 9:7 (комплементарность) 2 балла						

4. Парк Юрского периода. (33 балла)

Первая часть. Поиск ошибок.

Найдите биологические ошибки в фильме «Парк Юрского периода» 1993 года (только во фрагменте 24:34 – 31:12). В поле для ответов напишите время, когда встретилась ошибка, ошибочный факт из фильма и исправленный вами вариант с объяснением.

Вторая часть. Помощь учёным.

Согласно сюжету фильма, когда учёные выделили ДНК динозавра и попытались определить последовательность её нуклеотидов, то обнаружилось, что ДНК сохранилась лишь частично.

Для заполнения «пробелов» ДНК динозавра учёные использовали последовательность нуклеотидов ДНК современной лягушки. Что бы вы им посоветовали сделать для более точного воссоздания ДНК динозавра? Предложите два варианта. Опишите недостатки (хотя бы по одному) каждого предложенного вами варианта.

ОТВЕТЫ

Первая часть. Поиск ошибок.

Время (мм:сс)	Ошибка, допущенная в фильме	В чём именно ошибка? Объяснение. (Если возможно, то также и исправленный вариант фрагмента)	Макс. балл
26:01	Они вытянули кровь из брюшка комара... (1 б)	Спустя более чем 65 млн лет в кишечнике комара не могла сохраниться жидкая кровь. (2 б)	3
26:04	... и получили ДНК динозавра. (1 б)	ДНК динозавров также не могла сохраниться. (2 б)	3
26:11	В цепочке ДНК 3 млрд. генетических кодов. (1 б)	Генетический код – система записи информации (таблица кодонов), в нём нельзя измерить длину ДНК. (2 б) Исправление. Скорее всего, имеется в виду, что в цепочке ДНК 3 млрд. пар нуклеотидов (или пар азотистых оснований). (1 б)	4
26:15	Если смотреть на каждое звено по секунде в течение 8 часов каждый день, то на одну цепочку ДНК уйдет 2 года. (1 б)	За два года таким образом можно просмотреть $60 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 365 \cdot 2 = 21024000$ (21 млн) звеньев. Это в 142,7 раза меньше, чем необходимые 3 млрд. – значит, на просмотр одной цепочки ДНК уйдёт $142,7 \cdot 2 = 285$ лет (примерно). (3 б) Другой способ расчёта. Ежедневно смотрим $60 \cdot 60 \cdot 8 = 28800$ секунд. $3 \cdot 10^9 / 28800 = 104167$ дней надо для просмотра. Это $104167 / 365 = 285$ лет. (3 б) Исправление. ... 285 лет (1 б)	5
26:48	... завершить расшифровку генетического кода. (1 б)	Генетический код (тот, который универсальный) давно расшифрован. (2 б) Исправление. ... завершить расшифровку первичной структуры ДНК. (1 б)	4
26:50	В кадре видны неправильные пары	Правило комплементарности: А/Т, Г/Ц. (2 б)	3

	нуклеотидов, например, А/Ц, Ц/Т, Г/Т и другие. (1 б)		
30:31	Все эмбрионы позвоночных изначально женского пола. Лишь на определённой стадии появляется гормон, изменяющий пол. (1 б)	Морфологически пола вообще нет, а генетический есть (если хромосомный). Можно привести пример со сменой пола. (Например, особи рыбы дорады в возрасте 1–2 лет – самцы, а потом они превращаются в самок.) (2 б)	3

Примечания:

(24:57) В одной капле крови миллиарды цепочек ДНК.

Верное утверждение.

В одной капле (0,1 мл) крови примерно 10^6 лейкоцитов, в каждом ядре 92 цепочки ДНК, значит, всего около 10^8 цепочек ядерной ДНК. Ещё есть митохондриальная ДНК лейкоцитов и тромбоцитов, с учётом которых и получится более миллиарда цепочек ДНК в капле крови.

Если указано, что это ошибочно, то ставили **2 балла**.

(26:50) В кадре виден нуклеотид «В» – он обозначает варианты нуклеотидов (Т, Г или Ц), которые могут находиться на этом месте. **Не считать за ошибку. Если найдено, то 0 баллов.**

(30:12) – И они теплокровные? Температура постоянная? – Да.

Не считать за ошибку.

Неясно, о чём утвердительный ответ: про теплокровность, температуру тела динозавров или температуру инкубации яиц. **Если найдено, то 0 баллов.**

Критерии:

За каждую правильно найденную ошибку **1 б**, за объяснение **2 б**, за исправление **1 б**.

(Кроме 26:15 – там за объяснение **3 б**, по 1 б за подчёркнутое.)

В сумме 25 баллов.

- Если нашли ещё какую-нибудь ошибку, её тоже оценивали по критериям: ошибка – объяснение – исправление.
- Если не указана отметка времени, то строчку не оценивали: мы не должны пересматривать весь фильм в поисках ошибки.
- За неверно найденные ошибки **0 баллов**.

Вторая часть. Помощь учёным.

Ваш совет для более точного восстановления ДНК динозавров (по 3 б за заполненную клетку)	Недостатки и проблемы, с которыми столкнутся учёные, следуя совету (по 2 б за заполненную клетку)
Выделить ДНК несколько раз (из разных комаров) – тогда фрагменты, которые не сохранились в одной ДНК, могут сохраниться в другой ДНК.	Надо быть уверенным, что выделенная ДНК принадлежит одному виду динозавра (быть может, даже не виду, а генотипу).
Использовать ДНК видов, эволюционно более близких к динозаврам, чем к лягушкам. Например, современных рептилий.	ДНК современных рептилий, очевидно, отличается от ДНК динозавров.
(Улучшение второго варианта) Для восстановления использовать те участки ДНК, которые одинаковы у современных земноводных и современных пресмыкающихся – тогда первичная структура ДНК динозавров в тех же участках, скорее всего, совпадает.	Не факт, что эти совпадающие участки ДНК закроют все пробелы в ДНК динозавра, поэтому для оставшихся пробелов надо применять второй вариант решения.

За каждый предложенный работающий способ 3 б. За указанный недостаток 2 б.

Итого 10 б за второй вопрос (требуется написать 2 совета).

Рисунок к советам 2 и 3:

