

## 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 Френком 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 амебоидный 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 Шаи-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 Шаи-Хулуды – это выдуманные животные, вы можете менять их пищевое поведение.

Ответ запишите в **бланк ответа** (отдельный файл).

\*\*\*\*\*

**Бланк ответа**

(это образец, заполняете вы его не здесь, а в отдельном Word-файле)

**Вопрос 1.** Заполните таблицу, соотнесите поведение или процесс в теле Шаи-Хулуда с реально существующими.

**Поведенческие признаки или процессы:** каннибализм, половое размножение, полный метаморфоз, половой каннибализм, регенерация, неполный метаморфоз, изогамия.  
(Процессы/особенности поведения даны в избытке).

Названий организмов должно быть не более двух для ячейки. Клетки, закрашенные серым, заполнять не надо.

Процесс в теле или поведение Шаи-Хулуда	Название биологического процесса или явления	Организм-аналог
Способность развития целого червя лишь из одного сегмента тела		
Поедание взрослым червем молодых и/или личиночных форм		
Поедание самцом самки в процессе спаривания		
Пропускание через себя неорганической массы (песка) для фильтрации пищи		
«Плавание» в толще песка		
Песчаная форель и взрослый червь, кардинально различающиеся по внешнему виду и способу питания		
Размножение между двумя взрослыми червями		
Поедание песчаным планктоном останков матери		

В следующей таблице ответьте на остальные вопросы задачи.

№	Вопрос	Ваш ответ
2	Предположите две причины, зачем Шаи-Хулуду необходима жизненная стадия песчаной форели, которая активно поглощает воду, и взрослую стадию, для которой вода смертельно опасна?	
3	Найдите грубую биологическую ошибку, руководствуясь только вышеуказанным описанием экосистемы Дюны.	
4	Предложите два способа, как можно исправить обнаруженную Вами экологическую ошибку. Так как Шаи-Хулуды – это выдуманные животные, вы можете менять их пищевое поведение.	

## 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

**Вопрос 1.** Уровень какого гормона (каких гормонов) в крови у Арины выходит за пределы нормы?

**Вопрос 2.** Как называется заболевание, которым, вероятно, страдает Арина? Уровень какого гормона надо проверить еще, чтобы удостовериться в диагнозе? Назовем его гормон X.

**Вопрос 3.**

На приведенном рисунке в квадратах напишите органы, в которых вырабатываются гормоны, связанные с заболеванием Арины. Рядом со стрелками подпишите названия этих гормонов.



**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.

**Вопрос 5.** Для дифференциальной диагностики данного заболевания используют введение вещества Д. **Вещество Д** – аналог гормона 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.

Напишите предполагаемое название вещества Д.

**Вопрос 6.** Как вы думаете, могло ли лечение глюкокортикоидами спровоцировать данный синдром? Рассмотрите два варианта: краткое и длительное применение.

**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?

**Вопрос 8.** Объясните, с чем связана повышенная раздражительность у Арины? Какой гормон влияет на это?

**Вопрос 9.** Как можно вылечить данное заболевание? Приведите не только известные методы, но и рассуждения о возможных мишенях воздействия.

Ответ запишите в **бланк ответа** (отдельный файл).

\*\*\*\*\*

**Бланк ответа**

(это образец, заполняете вы его не здесь, а в отдельном Word-файле)

Вопрос	Ответ														
<p><b>Вопрос 1.</b> Уровень каких гормонов и каким образом изменен у Арины?</p>															
<p><b>Вопрос 2.</b> Как называется заболевание, которым страдает Арина? Уровень какого гормона надо проверить еще, чтобы удостовериться в диагнозе? Назовем его <b>гормон X</b>.</p>	<p><b>Заболевание –</b></p> <p><b>Гормон X –</b></p>														
<p><b>Вопрос 3.</b> На приведенном рисунке СЛЕВА напишите <b>органы</b>, в которых вырабатываются гормоны, связанные с заболеванием Арины. СПРАВА рядом со стрелками подпишите <b>названия</b> этих гормонов.</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 20%;"><b>Орган для Z</b></td> <td style="width: 60%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Z</div>                 ↓ гормон Z             </td> <td style="width: 20%;"><b>Гормон Z</b></td> </tr> <tr> <td><b>Орган для Y</b></td> <td> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Y</div>                 ↓ гормон Y             </td> <td><b>Гормон Y</b></td> </tr> <tr> <td><b>Орган для X</b></td> <td> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается X</div>                 ↓ гормон X             </td> <td><b>Гормон X</b></td> </tr> </table>	<b>Орган для Z</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Z</div> ↓ гормон Z	<b>Гормон Z</b>	<b>Орган для Y</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Y</div> ↓ гормон Y	<b>Гормон Y</b>	<b>Орган для X</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается X</div> ↓ гормон X	<b>Гормон X</b>					
<b>Орган для Z</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Z</div> ↓ гормон Z	<b>Гормон Z</b>													
<b>Орган для Y</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается Y</div> ↓ гормон Y	<b>Гормон Y</b>													
<b>Орган для X</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">орган, в котором вырабатывается X</div> ↓ гормон X	<b>Гормон X</b>													
<p><b>Вопрос 4.</b> Для гормона X характерно наличие механизма <b>обратной связи</b> по влиянию на количество вышестоящих гормонов. Дополните схему стрелками, поясняющими механизм обратной связи и его нарушение при заболевании Арины.</p>	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;">Норма</td> <td style="width: 50%;">Заболевание Арины</td> </tr> <tr> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> <td><div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div></td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> </table>	Норма	Заболевание Арины	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	↓	↓	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	↓	↓	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	↓	↓
Норма	Заболевание Арины														
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>														
↓	↓														
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>														
↓	↓														
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>														
↓	↓														
<p><b>Вопрос 5.</b> Для дифференциальной диагностики данного заболевания используют введение вещества Д. Вещество Д – аналог гормона 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. Напишите предполагаемое название вещества Д.</p>															

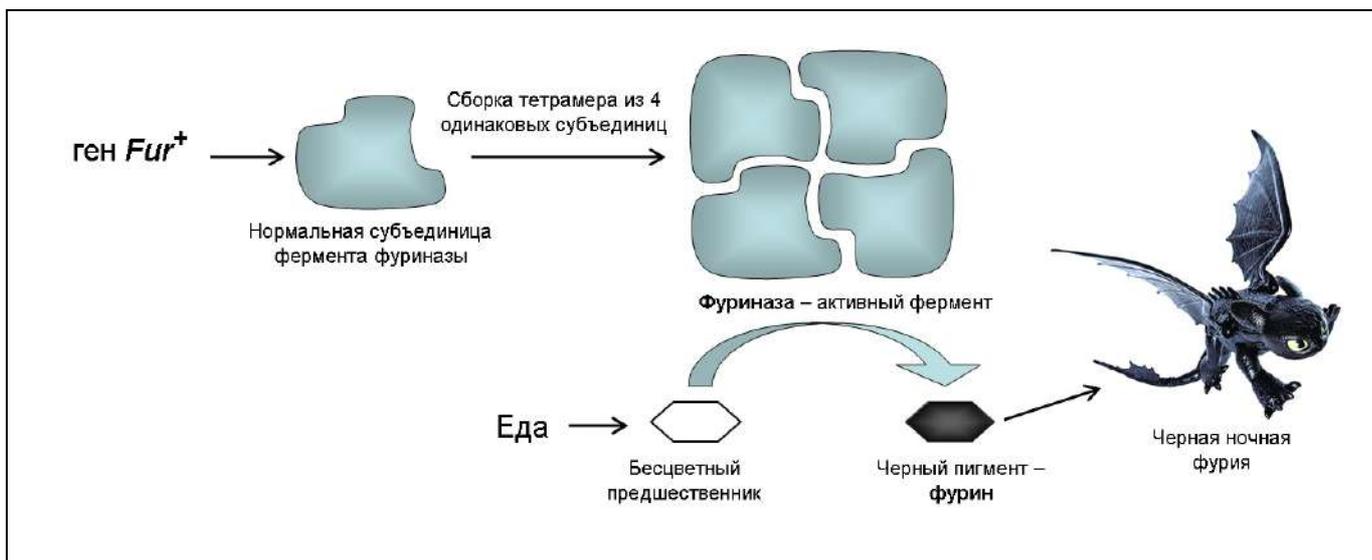
<p><b>Вопрос 6.</b> Как вы думаете, могло ли лечение глюкокортикоидами <b>спровоцировать</b> данный синдром? Рассмотрите два варианта: краткое и длительное применение.</p>	
<p><b>Вопрос 7.</b> Для уточнения формы заболевания Арине назначили компьютерную томографию. Как вы думаете, какие органы можно исследовать в данном случае и как это поможет в уточнении диагноза?</p>	
<p><b>Вопрос 8.</b> Объясните, с чем связана повышенная раздражительность у Арины? Какой гормон влияет на это?</p>	
<p><b>Вопрос 9.</b> Как можно вылечить данное заболевание? Приведите не только известные методы, но и рассуждения о возможных мишенях воздействия.</p>	

### 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).



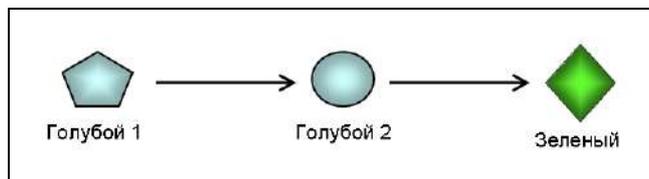
Для того, чтобы фермент работал, все четыре субъединицы должны быть нормальными – если хотя бы одна будет «нерабочей», то белок полностью потеряет свою функцию.

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  $Fur^1$  в гене *Fur*, которая приводит к потере функциональности субъединицы. Рассчитайте, какова будет доля функционального фермента в организме гетерозиготной фурии (несущей один мутантный аллель фуриназы  $Fur^1$  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  $Fur^1$  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,  $Fur^2$  – 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 не способен участвовать ни в каких взаимодействиях).
- 4-1. Будет ли функциональный белок в организме фурии, гетерозиготной по аллелю  $Fur^2$  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 (рис).



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 запишите в **бланк ответа** (отдельный файл).

Бланк ответа

(это образец, заполняете вы его не здесь, а в отдельном Word-файле)

№	Вопрос	Ваш ответ						
1-1	Рассчитайте, какова будет доля функционального фермента в организме гетерозиготной фурии. Объясните.							
1-2	Какого цвета – черного или белого – будет такая гетерозиготная особь?							
2-1	Как можно классифицировать взаимоотношения между этими аллелями? (Полное доминирование, неполное, кодоминирование).							
2-2	Какой будет мутация $Fur^1$ по отношению к аллелю дикого типа ( $Fur^+$ )?							
3	Выведите формулу, по которой можно рассчитать долю функционального белка, если он состоит не из 4, а из n субъединиц.							
4-1	Будет ли функциональный белок в организме фурии, гетерозиготной по аллелю $Fur^2$ 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 $Fur^2$ прекращается на 9 а.к., хотя мутация затрагивает район 2-ой а.к.?							
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?							
6-1	Предположите, мутации каких генов могли вызвать голубой цвет глаз в линиях 1, 2, 3. Введите обозначения этих генов, их нормальных и мутантных аллелей.	<table border="1"> <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>	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.							
6-3	Запишите схему скрещивания особей из линий 1 и 3, включая второе поколение. Объясните расщепление.							



**Вторая часть.**

<b>Ваш совет для более точного восстановления ДНК динозавров</b>	<b>Недостатки и проблемы, с которыми столкнутся учёные, следуя совету</b>