

ОТВЕТЫ НА ЗАДАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ТУРА
муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по биологии.
2025 – 2026 учебный год
11 класс
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

Максимальный балл – 55

ЧАСТЬ I. [маx. 25 баллов]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-10	А	В	Б	В	А	В	А	Б	Г	А
11-20	Б	А	В	Б	А	Б	А	В	Б	А
21-30	В	Г	А	А	Б					

ЧАСТЬ II. [маx. 15 баллов]

1	2	3
АВГ	АГ	АБВГ

ЧАСТЬ III. [маx. 15 баллов].

1. [маx. 6 баллов]

А	Б	В	Г	Д	Е
2	4	1	5	3	6

2 [маx. 6 баллов].

1	2	3	4	5	6
А	Б	Б	А	А	Б

3 [маx. 3 балла]

1	2	3
А	Г	Б

**Ответы на задания практического тура
муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников
по биологии
2025-2026 учебный год
11 класс
Максимальный балл – 80 баллов**

**ЗАДАНИЕ 1. БИОХИМИЯ
(max. 24 балла)**

1. В живых клетках существует потенциал покоя — белковые насосы формируют разницу ионного состава тратя на это энергию АТФ. Внутри клетки накапливается калий, вне клетки натрий. Куда устремится из межклеточной среды натрий в данной ситуации при открытии соответствующих каналов?

Ответ: в клетку (1 балл)

2. Липиды являются важным классом биологических соединений. Какие функции им не свойственны: передача электронов по ЭТЦ, перенос других липидов в крови, гормональная регуляция.

Ответ: перенос электронов по ЭТЦ (1 балл)

3. Сколько спиралей ДНК будет формировать если: а. Добавить 1М NaCl, б. 7М мочевины, в. 10М NaOH. Ответ обоснуйте.

Ответ: а. 2 (2 балла). Na^+ и Cl^- нейтрализуют заряды и делают ДНК более устойчивой (1 балл),

б. 1 (2 балла). Мочевина разрушает водородные связи между азотистыми основаниями и нарушает гидрофобные взаимодействия. В результате двойная спираль расплетается, остаются две отдельные спирали (1 балл),

в. Нисколько (0) (2 балла). Такое количество щёлочи разрушает фосфодиэфирные связи в цепи, то есть происходит щелочной гидролиз ДНК (1 балл).

4. Аминокислоты имеют диссоциирующие амино- и карбоксильные группы; некоторые содержат также заряженные боковые радикалы. Каждая из этих групп способна отдавать или принимать протон в зависимости от соотношения pH и собственной кислотной константы pK: pK₁ — относится к карбоксильной группе ($-\text{COOH}$); pK₂ — к амино-группе ($-\text{NH}_3^+$); pK₃ — к дополнительной ионизируемой группе в боковой цепи (например, у Lys или Arg). Если pH < pK, среда кислая — группа остаётся протонированной (имеет положительный заряд для амино-групп или нейтральный для карбоксильной); если pH > pK, среда щелочная — группа теряет протон (становится нейтральной для амино-

групп или отрицательной для карбоксильной).

Определите суммарный заряд следующих полипептидов в водном растворе при $pH = 6$, используя данные о pK -значениях: для Pro $pK_1 = 1.99$, $pK_2 = 10.6$; для Ala $pK_1 = 2.34$, $pK_2 = 9.69$; для Lys $pK_1 = 2.18$, $pK_2 = 8.95$, $pK_3 = 10.53$; для Arg $pK_1 = 2.17$, $pK_2 = 9.04$, $pK_3 = 12.48$.

а) Pro–Ala–Ser–Ser–Ala–Asn–Met–Gly–Pro

б) Ala–Val–Lys–Tyr–Thr–Lys–Ala–Arg–Ala

Укажите знак заряда каждого пептида и подтвердите ответ расчётами по pK -значениям.

Ответ: **БОЛЕЕ ПОДРОБНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ:** Аминокислоты имеют диссоциирующие amino- и карбоксильные группы; некоторые содержат также заряженные боковые радикалы. При изменении pH степень их ионизации зависит от соотношения pH и pK :

- если $pH < pK$, среда кислая, группа протонирована (имеет протон);
- если $pH > pK$, среда щелочная, группа теряет протон (депротонирована).

Для кислотных групп ($-\text{COOH}$):

- при $pH < pK_1 \rightarrow$ нейтральная ($-\text{COOH}$),
- при $pH > pK_1 \rightarrow$ отрицательная ($-\text{COO}^-$).

Для основных групп ($-\text{NH}_3^+$, боковые цепи Lys, Arg):

- при $pH < pK_{2(3)} \rightarrow$ положительная (+1),
- при $pH > pK_{2(3)} \rightarrow$ нейтральная (0).

а) Pro–Ala–Ser–Ser–Ala–Asn–Met–Gly–Pro

- N-конец: $pK_2(\text{Pro}) = 10.6 \rightarrow pH\ 6 < pK_2 \rightarrow$ группа остаётся протонированной ($-\text{NH}_3^+$) $\rightarrow +1$ (2 балла)
- C-конец: $pK_1(\text{Pro}) = 1.99 \rightarrow pH\ 6 > pK_1 \rightarrow$ группа депротонирована ($-\text{COO}^-$) $\rightarrow -1$ (2 балла)
- Боковые цепи: нейтральные (нет ионизируемых групп). (1 балл)

Суммарный заряд: $+1 - 1 = 0$ (нейтральный пептид). (1 балл)

б) Ala–Val–Lys–Tyr–Thr–Lys–Ala–Arg–Ala

- N-конец: $pK_2(\text{Ala}) = 9.69 \rightarrow pH\ 6 < pK_2 \rightarrow +1$ (2 балла)
- C-конец: $pK_1(\text{Ala}) = 2.34 \rightarrow pH\ 6 > pK_1 \rightarrow -1$ (2 балла)
- Lys (оба): $pK_3 = 10.53 \rightarrow pH\ 6 < pK_3 \rightarrow$ каждая +1 (1 балл)
- Arg: $pK_3 = 12.48 \rightarrow pH\ 6 < pK_3 \rightarrow +1$ (1 балл)

Суммарный заряд: $+1$ (N) $+ +1 + +1 + +1$ (боковые цепи) $- 1$ (C) $= +3$ (положительный пептид). (1 балл)

ЗАДАНИЕ 2. БИОИНФОРМАТИКА

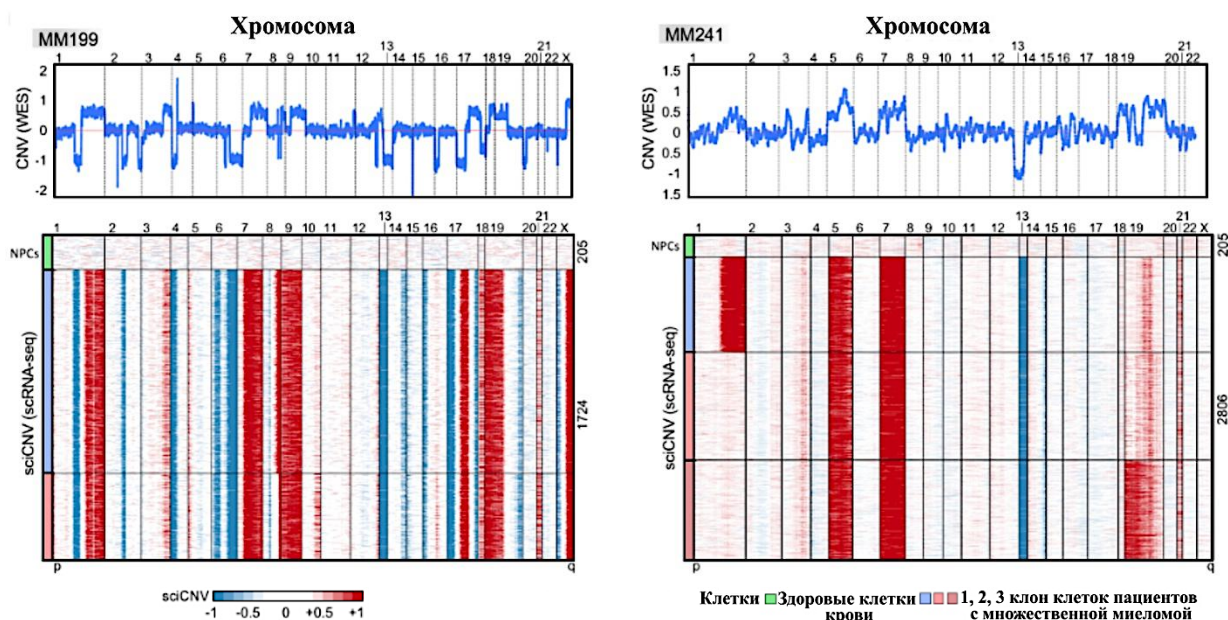
(max. 21 балл)

Одним из способов анализа опухолевых клеток является исследование вариаций числа копий генов (CNV, *copy number variation*) — изменений, при которых отдельные участки генома дублируются или теряются. Такие перестройки часто возникают при злокачественных процессах и приводят к активации онкогенов или потере генов-супрессоров опухолей.

CNV можно выявлять разными методами.

- Экзомное секвенирование (WES) позволяет определить изменения числа копий в совокупной ДНК ткани (*bulk-анализ*), но показывает усреднённую картину по всему образцу.
- Одноклеточное РНК-секвенирование (scRNA-seq) позволяет оценить CNV для каждой клетки отдельно (метод sciCNV) и выявить клеточную гетерогенность — то есть отличия между нормальными и опухолевыми клетками или между разными субклонами внутри опухоли.

На рисунке ниже показаны результаты сравнения этих двух подходов для двух пациентов с множественной миеломой (MM199 и MM241). В верхних панелях (синие графики) представлены CNV-профили, полученные методом экзомного секвенирования



ШИФР _____

(WES) из совокупной опухолевой ткани. В нижних панелях — карты sciCNV, рассчитанные по данным одноклеточного РНК-секвенирования (scRNA-seq).

В верхних панелях (синие графики) представлены CNV-профили, полученные методом экзомного секвенирования (WES) из совокупной опухолевой ткани. На оси по горизонтали показаны хромосомы (каждая вертикальная полоса соответствует определённой хромосоме), а по вертикали — относительное изменение числа копий генов.

В нижних панелях приведены результаты анализа тех же образцов методом sciCNV, рассчитанным по данным одноклеточного РНК-секвенирования (scRNA-seq). На этих тепловых картах каждая горизонтальная линия соответствует отдельной клетке, а цвет отражает изменение числа копий генов в её геноме: синие участки показывают потери (делеции), а красные — увеличения (амплификации).

Таким образом, рисунок позволяет сравнить усреднённый CNV-профиль (WES) с клеточно-детализированным (scRNA-seq), чтобы увидеть, что геномные перестройки затрагивают лишь часть клеток, а не весь образец, а также увидеть клеточную гетерогенность в опухолевых образцах.

1. Проанализируйте данные пациентов MM199 и MM241. На каких хромосомах наблюдается амплификация или делеция, видимая в профиле WES, но присутствующая не во всех клонах на CNV-карте scRNA-seq? Как можно интерпретировать это различие с точки зрения клеточного состава опухоли?

Ответ: Пациент MM199 — **хромосома 8 (2 балла)**

На тепловой карте sciCNV видно, что эти перестройки присутствуют только у части клеток: амплификация хромосомы 8 наблюдается в одном из двух клонов опухолевых клеток (1 балл).

Пациент MM241 — **хромосома 1 (2 балла)**

На тепловой карте sciCNV видно, что эти перестройки присутствуют только у части клеток: амплификация хромосомы 1 наблюдается в одном из трех клонов опухолевых клеток (1 балл).

Пациент MM241 — **хромосома 19 (2 балла)**

На тепловой карте sciCNV видно, что часть этих перестроек присутствуют только у части клеток: один из участков амплификации хромосомы 19 наблюдается в одном из трех клонов опухолевых клеток (1 балл).

2. Почему CNV-профиль, полученный методом WES, выглядит сглаженным и непрерывным, в то время как на sciCNV-карте видны различия между клетками?

Ответ: Потому что при WES анализируется совокупная ДНК всех клеток ткани (2 балла), и полученный сигнал отражает среднее значение CNV по всему образцу (1

балл). Из-за этого индивидуальные различия между клетками сглаживаются, и профиль выглядит непрерывным.

В одноклеточном анализе (sciCNV) каждая клетка рассматривается отдельно (*2 балла*), поэтому на CNV-карте видны участки, где изменения присутствуют только в части клеток (*1 балл*). Это позволяет различить клоны и оценить клеточную гетерогенность опухоли (*1 балл*).

3. Какой биологический вывод можно сделать, если CNV-анализ показывает, что только половина клеток имеет амплификацию определённого участка?

Ответ: Это означает, что амплификация возникла не во всех клетках, а только в одном клоне опухоли (*2 балла*), то есть опухоль генетически гетерогенна (*1 балл*).

Если амплификация определённого участка генома обнаруживается только у половины клеток, это также указывает, что она возникла на более позднем этапе развития опухоли, когда часть клеток уже отделилась в самостоятельный клон (*1 балл*). Такая ситуация отражает внутриопухолевую гетерогенность (*1 балл*).

ЗАДАНИЕ 3. ЭВОЛЮЦИЯ (max. 35 баллов)

Ископаемые кораллы, как и современные, формируют на своём скелете годовые и суточные полосы роста, отражающие циклы активности организма. Каждый крупный слой соответствует одному году, а внутри него видны тонкие микрополосы, возникающие в течение суток под влиянием колебаний условий среды. Эти микрополосы чередуются по цвету — светлые и тёмные — в зависимости от скорости роста скелета в дневное и ночное время.

Рост скелета происходит за счёт осаждения карбоната кальция по реакции:



При этом в морской воде между растворённым углекислым газом и ионами гидрокарбоната существует кислотно-основное равновесие:



Американский палеонтолог Джон Уэллс в 1960-х годах провёл исследование, в котором изучил многочисленные образцы кораллов и других организмов с посуточным ростом (в том числе моллюсков и строматолитов), относящиеся к разным геологическим эпохам — от кембрия до современности (кайнозойская эра). Возраст этих образцов был определён по радиоизотопным данным и стратиграфическим слоям пород, в соответствии с геохронологической шкалой того времени, где кембрийский период оценивался примерно

в 600 млн лет и являлся наиболее древним в исследовании, а кайнозой охватывал последние около 64,5 млн лет — вплоть до современности.

Под микроскопом Уэллс подсчитал количество тонких суточных полос внутри каждого годового кольца и для каждого образца вычислил, сколько суток приходилось на один год. На основании этих данных он построил график зависимости между геологическим возрастом и числом суток в году, показавший, как эта величина менялась на протяжении истории Земли.

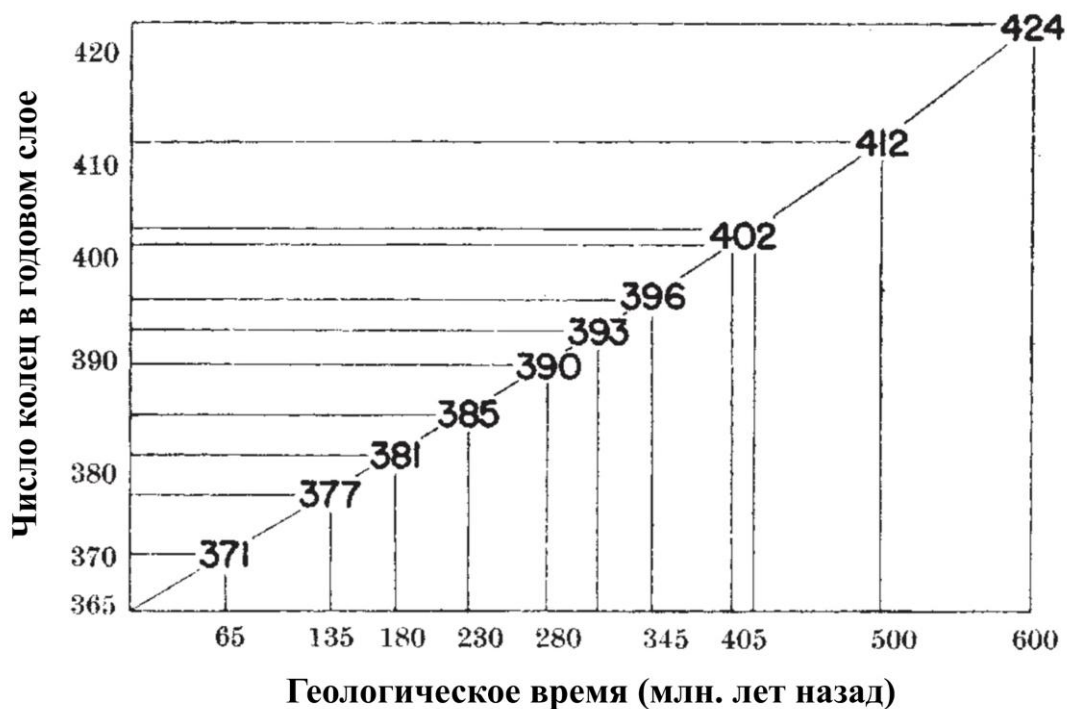


График 1. Соотношение между числом колец в году и геологическим временем (по радиометрическим данным из Kulp, 1961)

Рассмотрите внимательно график и ответьте на вопросы.

1. Используя данные графика, определите, сколько в среднем дней приходилось на один год в:

а) палеозойскую эру: $(424 + 412 + 402 + 396 + 393 + 390 + 385) / 7$ (2 балла) ≈ 400 дней в году (1 балл).

б) мезозойскую эру: $(381 + 377 + 371) / 3$ (2 балла) ≈ 376 дней в году (1 балл).

в) кайнозойскую эру: 365 дней в году (2 балла).

Ответы подтвердите расчетами.

2. Почему в древние геологические эпохи количество дней в году было больше, чем в настоящее время? Подумайте, как гравитационное взаимодействие Земли и Луны, а также приливы и отливы, могут со временем влиять на скорость вращения планеты и длительность суток.

Ответ: Со временем вращение Земли замедлялось из-за приливного трения, вызванного гравитационным взаимодействием с Луной (1 балл). Луна притягивает воду в океанах (1 балл), создавая две приливные “выпуклости” (1 балл): одну — на стороне Земли, обращённой к Луне (1 балл), и вторую — на противоположной (1 балл). Поскольку Земля вращается быстрее, чем Луна движется по орбите, приливная волна немного смещена вперёд относительно линии, соединяющей центры Земли и Луны (1 балл). Эта смещённая масса воды тянет Луну вперёд, заставляя её удаляться от Земли (1 балл), а сама Земля из-за этого теряет часть своей вращательной энергии — сутки становятся длиннее (1 балл). Поэтому год, определяемый орбитальным периодом обращения вокруг Солнца, оставался почти постоянным, но включал всё меньше суток с годами (1 балл).

3. Объясните, как в кораллах формируются суточные полосы роста. Какую роль в этом процессе играют симбиотические водоросли, живущие в тканях кораллов?

Ответ: Кораллы образуют скелет из карбоната кальция (CaCO_3), который осаждается из морской воды (2 балла). Реакция осаждения: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (2 балла). В тканях кораллов живут симбиотические водоросли — зооксантеллы, которые днём активно фотосинтезируют (2 балла). Во время фотосинтеза они поглощают CO_2 (2 балла), что сдвигает равновесие реакции $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ влево, уменьшая концентрацию ионов H^+ (1 балл) и повышая pH (делая среду более щелочной) (1 балл). При более высоком pH осаждение CaCO_3 усиливается (1 балл) — скелет растёт быстрее. Ночью фотосинтез прекращается (1 балл), CO_2 накапливается (1 балл), pH снижается (1 балл), и осаждение кальция замедляется (1 балл). Так за одни сутки формируется пара светлой (дневной) (1 балл) и тёмной (ночной) полос (1 балл), отражающая суточный ритм активности симбиотических водорослей (1 балл).