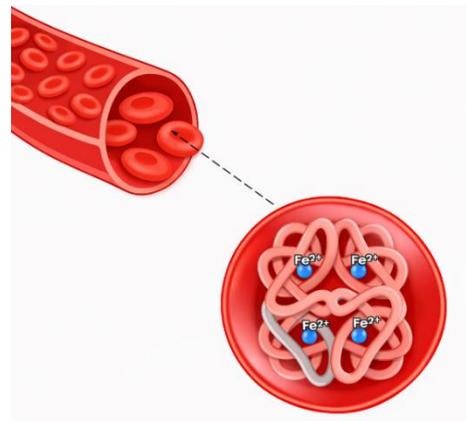


Из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом!

Задача 1. «Химия крови»

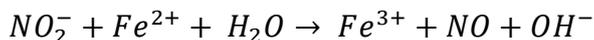
В крови человека содержится гемоглобин, его концентрация в среднем составляет 2,0 ммоль/л. Каждая молекула гемоглобина содержит четыре иона Fe^{2+} , каждый из которых способен связывать одну молекулу кислорода O_2 .



1. Рассчитайте химическое количество молекул кислорода, которое может быть перенесено гемоглобином, содержащимся в 1 литре крови. *Ответ выразите в моль.*
2. Определите число молекул кислорода, переносимых гемоглобином в 1 л крови.
3. Какой объём кислорода (при н.у.) может быть перенесён гемоглобином в крови человека, если объём крови составляет в среднем 5 литров? *Ответ выразите в литрах.*

При отравлении цианидом калия (KCN) одним из методов лечения является введение нитрита натрия $NaNO_2$, который окисляет ионы Fe^{2+} до Fe^{3+} с образованием метгемоглобина. Метгемоглобин способен связывать цианид-ионы, однако не переносит кислород.

4. Определите стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции окисления ионов Fe^{2+} нитрит-ионом в водной среде:



5. Какую максимальную массу нитрита натрия можно ввести в расчёте на 1 литр крови, чтобы концентрация кислорода, переносимого гемоглобином, не снизилась ниже нормы 6,0 ммоль/л?

Цианид-ион способен связываться с метгемоглобином: один ион Fe^{3+} связывает один цианид-ион. Для предотвращения токсического действия необходимо, чтобы весь цианид был связан метгемоглобином.

6. В результате отравления в крови оказалось 110 мг/л цианида калия. Какую массу нитрита натрия необходимо ввести (в расчёте на 1 литр крови), чтобы предотвратить токсическое действие цианида калия?

Решение.

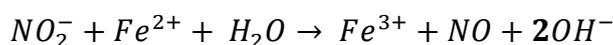
1. $n(O_2) = 2 \text{ ммоль/л} \cdot 4 \cdot 1 \text{ л} = 8 \text{ ммоль} = \mathbf{0,008 \text{ моль}}$
2 балла за верный ответ.
2. $N(O_2) = N_A \cdot n(O_2) = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 0,008 \text{ моль} = \mathbf{4,8 \cdot 10^{21} \text{ молекул}}$
2 балла за верно рассчитанное количество молекул кислорода $N(O_2)$.

3. Объем кислорода, который может быть перенесен 5 л крови:

$$V = 0,008 \text{ моль/л} \cdot 5 \text{ л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = \mathbf{0,896 \text{ л}}$$

2 балла за верно рассчитанный объем.

4.



3 балла за верно расставленные коэффициенты.

5. Концентрация переносимого кислорода в крови 8 ммоль/л.

$$\text{В расчете на 1 литр крови: } n(\text{NaNO}_2) = 8 - 6 = 2 \text{ ммоль} = 0,002 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaNO}_2) = 0,002 \text{ моль} \cdot 69 \text{ г/моль} = \mathbf{0,138 \text{ г}}$$

5 баллов за верный ответ.

6. В 1 литре крови 110 мг KCN.

$$n(\text{KCN}) = 0,11 \text{ г} / 65 \text{ г/моль} = 0,0017 \text{ моль}$$

Fe^{3+} в составе метгемоглобина связывается 1 к 1 с цианид ионами.

$$n(\text{NaNO}_2) = n(\text{Fe}^{3+}) = n(\text{KCN}) = 0,0017 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaNO}_2) = 0,0017 \text{ моль} \cdot 69 \text{ г/моль} = \mathbf{0,1173 \text{ г}}$$

6 баллов за верный ответ.

Максимальный балл за задачу 2+2+2+3+5+6=20.

Задача 2. «Чеширская радуга химии».

В известной сказке математика Льюиса Кэрролла «Алиса в стране чудес» Чеширский Кот обладает способностью по собственному желанию исчезать или наоборот появляться из воздуха. В ряде химических реакций окраска «появляется из воздуха» или исчезает – так же, как Чеширский Кот.

В каждой из следующих 5 химических реакций есть лишь одно окрашенное вещество, остальные – бесцветные или белые. Окрашенное вещество может быть реагентом или продуктом, осадком, газом или растворённым веществом. Восстановите 5 химических реакций и расставьте коэффициенты, укажите, какое вещество и как окрашено в каждой из реакций:

- 1) $\text{AgNO}_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \dots + \dots$
- 2) $\text{SO}_2 + \text{HNO}_3 \text{ (конц)} \rightarrow \dots + \dots$
- 3) $\dots + \dots \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5$
- 4) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{KI} \rightarrow \dots + \dots$
- 5) $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц)} + \text{HI} \rightarrow \dots + \dots + \dots$

Решение.

- 1) $3\text{AgNO}_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \mathbf{Ag_3PO_4}$ (жёлтый) + 3NaNO_3
- 2) $\text{SO}_2 + 2\text{HNO}_3 \text{ (конц)} \rightarrow \mathbf{2NO_2}$ (оранжевый/бурый) + H_2SO_4
- 3) $\mathbf{4P}$ (красный; допустимо - жёлтый, фиолетовый, голубой) + $5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{P}_2\text{O}_5$
- 4) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KI} \rightarrow \mathbf{PbI_2}$ (жёлтый) + 2KNO_3
- 5) $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц)} + 2\text{HI} \rightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \mathbf{I_2}$ (фиолетовый – в виде газа, жёлтый/оранжевый – в водном растворе)

Каждая правильная реакция – по 2 балла (1 балл, если не уравнена), по 1 баллу за указание окрашенного вещества, по 1 баллу за правильный цвет окрашенного вещества. *Максимальный балл за задачу (2+1+1)*5=20 баллов.*

Задача 3. «Юный химик в стране рыцарей и лжецов»

Юный химик Петя попал в волшебную страну. В местной лаборатории он получил 5 баночек с неизвестными веществами. Петя встретил пятерых лаборантов (А, Б, В, Г, Д), каждый из которых может быть рыцарем, лжецом или шпионом. Рыцарь всегда говорит правду и назовёт Пете правильный и катион, и анион соли; лжец всегда говорит неправду, он назовёт Пете неправильный как анион, так и катион; а шпион назовёт либо правильный катион и неправильный анион, либо правильный анион и неправильный катион. Каждый из лаборантов назвал состав 2 солей из 5:

Лаборант А назвал состав следующих солей: в банке 1 – NH_4NO_3 , в банке 4 – K_2SO_4

Лаборант Б назвал состав следующих солей: в банке 3 – NH_4Cl , в банке 5 – K_2SO_3

Лаборант В назвал состав следующих солей: в банке 2 – Na_3PO_4 , в банке 4 – CuCl_2

Лаборант Г назвал состав следующих солей: в банке 1 – NH_4NO_2 , в банке 5 – Na_2CO_3

Лаборант Д назвал состав следующих солей: в банке 2 – SrSO_3 , в банке 3 – AlCl_3

Петя начал исследовать содержание банок. Он установил, что

- 1) соль из банки 1 при нагревании разлагается до газообразных продуктов, не оставляя твёрдого остатка (*реакция 1*), при этом часть газообразных продуктов не поглощается водой;
- 2) соль из банки 2 не растворяется в воде, но растворяется в соляной кислоте (*реакция 2*), при внесении полученного раствора в пламя горелки оно окрашивается в кирпично-красный цвет;
- 3) соль из банки 3 при нагревании разлагается с выделением бурого газа (*реакция 3*), хорошо растворяется в воде, а при внесении в пламя горелки окрашивает его в жёлто-зелёный цвет.

После этого Пете дали задание синтезировать вещества с молярной массой 80 г/моль, 100 г/моль и 120 г/моль; поэтому о солях из банок 4 и 5 Пете известно лишь то, что соль в банке 4 ярко-синяя, а в банке 5 – белая.

1. Определите, кто из лаборантов рыцарь, кто лжец, а кто шпион.
2. Определите, какие соли находятся в каждой из 5 банок.
3. Приведите уравнения указанных химических реакций.
4. Предложите, какие соединения с указанными молярными массами может синтезировать Петя, и приведите уравнения соответствующих реакций. Помимо 5 солей у Пети есть соляная кислота и горелка; молярную массу соединений считать, округляя атомные массы элементов до целых; возможен синтез в несколько стадий.

Решение.

1. При нагревании соль из банки 1 разлагается только на газообразные продукты, значит это соль аммония (при разложении солей металлов остался бы твёрдый остаток, содержащий металл), а поскольку часть газообразных продуктов, образовавшихся при разложении, не растворяется в воде, это нитрат или нитрит аммония (нерастворимый в воде газ – N_2 или N_2O ; в случае карбоната аммония образовывались бы NH_3 , CO_2 и H_2O , все они растворимы в воде). Значит, кто-то из А и Г – рыцарь, а кто-то – шпион. Но А говорит, что соль из банки 4 – сульфат калия, а Петя знает, что соль в банке 4 – синяя. Значит, А не может быть рыцарем, => А – шпион, Г – рыцарь, 1 – NH_4NO_2 , анион соли из банки 4 – сульфат (поскольку все соли калия белого цвета).

Заметим: В заявляет, что соль из банки 4 – хлорид меди. Соли меди имеют синий цвет, но мы знаем, что анион соли из банки 4 – сульфат. Значит, В – тоже шпион, а соль в банке 4 – $CuSO_4$.

Соль из банки 2 не растворяется в воде, но шпион В заявляет, что это фосфат натрия. Все соли натрия растворимы, значит, шпион В здесь называет правильно анион соли – фосфат. Из цвета, в который соль из банки 2 окрашивает пламя (кирпично-красный), определим, что катион этой соли – кальций. Тогда соль из банки 2 – $Ca_3(PO_4)_2$, а Д, который заявляет, что это сульфит стронция – лжец. Об этом говорят и опыты Пети с солью из банки 3: выделение бурого газа (NO_2) указывает на то, что анион соли – нитрат, а не хлорид, а жёлто-зелёный цвет пламени – на то, что катион соли – барий (соли алюминия не окрашивают пламя). Определив, что соль в банке 3 – $Ba(NO_3)_2$, установим, что Б – тоже лжец.

Таким образом, Г – рыцарь, А, В – шпионы, Б, Д – лжецы.

По 1,5 балла за каждого правильно определенного лаборанта. Итого – 7,5 баллов.

2. Мы уже определили состав 4 солей из химии, состав же соли из банки 5 мы можем назвать благодаря тому, что Г – рыцарь. Таким образом, 1 – NH_4NO_2 , 2 – $Ca_3(PO_4)_2$, 3 – $Ba(NO_3)_2$, 4 – $CuSO_4$, 5 – Na_2CO_3 .

По 1 баллу за каждое правильное определённое вещество, итого – 5 баллов.

3. 1) $NH_4NO_2 = N_2 + 2 H_2O$
2) $Ca_3(PO_4)_2 + 6HCl = 3 CaCl_2 + 2 H_3PO_4$
3) $2 Ba(NO_3)_2 = 2 BaO + 4NO_2 + O_2$

По 1 баллу за каждую правильную реакцию (0,5 балла, если реакция не уравнена), итого – 3 балла.

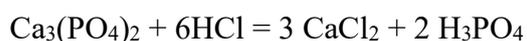
4. 120г/моль – например, гидросульфат натрия:

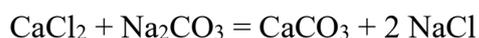


но для простоты запишем карбонат меди)

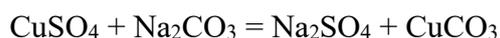


100г/моль – например, карбонат кальция:





80г/моль – например, оксид меди:



Засчитывается также синтез любых других соединений, подходящих под условие молярной массы.

По 1,5 балла за каждый корректный синтез, итого – 4,5 балла.

Максимальный балл за задачу 7,5+5+3+4,5=20 баллов.

Задача 4. «Не всё то золото, что блестит»

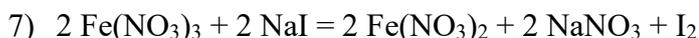
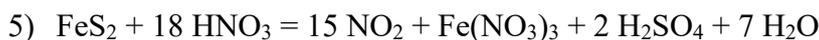
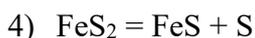
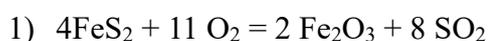
Золото издавна привлекало человека своим ярким желтым цветом и нетускнеющим блеском. Неудивительно, что древние алхимики придумали «тетрасомату» – способ приготовления «искусственного золота», колонизаторы с XVI века искали мифическую страну Эльдорадо, богатую золотом, а с середины XIX века периодически случаются «золотые лихорадки». Но в этой задаче речь пойдёт не о настоящем золоте, а о «золоте дураков» – минерале, который нерадивые золотоискатели иногда путают с заветным благородным металлом.

Минерал **A** действительно чем-то похож на золото – он обладает металлическим блеском и желтым цветом. Но его химические свойства совсем не похожи на свойства золота. Например, **A** реагирует с кислородом при нагревании, при этом образуются два продукта – красно-коричневое твердое вещество **B** и газ **B** с резким запахом (*реакция 1*). Большая часть производимого газа **B** используется для получения **Г**. Для этого **B** вводят в реакцию с диоксидом азота, при этом образуется легколетучая бесцветная жидкость **Д** (*реакция 2*). При взаимодействии **Д** с водой образуется **Г** (*реакция 3*). Если же нагревать минерал **A** в вакууме, то он разлагается на черный твёрдый **Е** и газообразный при температуре проведения разложения **Ж**, представляющий при нормальных условиях простое желтое твёрдое вещество (*реакция 4*). Минерал **A** также растворяется в различных кислотах – например, в азотной концентрированной (*реакция 5*) с образованием желтоватого раствора, окраска которого связана с образованием соли **З**. **З** реагирует с гидроксидом натрия с образованием бурого осадка **И** (*реакция 6*), а также с иодидом натрия (*реакция 7*), при этом раствор также приобретает коричневую окраску из-за присутствия **К**.

1. Определите состав минерала **A**, если известно, что в его составе есть лишь два элемента таблицы Менделеева, а его молярная масса ровно в полтора раза больше молярной массы **Д**, а также остальные неизвестные вещества (**Б-К**), запишите уравнения реакций.
2. Минерал **A** раньше был важнейшей рудой. Какие необходимые для человечества вещества можно получать из минерала **A**?

Решение.

1. Заметим, что А состоит лишь из двух элементов, а при его разложении в вакууме выделяется вещество Ж, при нормальных условиях представляющее жёлтое твёрдое вещество. Поскольку Ж – простое вещество, предположим, что Ж – сера. Проверим это предположение. При окислении А кислородом образуется два вещества, одно из которых – газ В с резким запахом – SO_2 . При реакции с NO_2 образуется SO_3 , который при взаимодействии с водой образует серную кислоту. Определим второй элемент: при растворении А в азотной кислоте образуется раствор жёлтого цвета, при реакции с гидроксидом натрия он превращается в осадок коричневого цвета. Это указывает на железо и его соли. Таким образом, минерал А состоит из железа и серы, его точную формулу можно узнать по его молярной массе: молярная масса Д, то есть SO_3 , равна 80г/моль, тогда молярная масса А = 120г/моль. $120 = 56+32+32$, таким образом, формула А – FeS_2 . Запишем все реакции и определим оставшиеся вещества:



А – FeS_2 , Б – Fe_2O_3 , В – SO_2 , Г – H_2SO_4 , Д – SO_3 , Е – FeS , Ж – S , З – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, И – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, К – I_2

7 реакций – по 1 баллу (0,5 балла, если реакция не уравнена) – итого 7 баллов, по 1 баллу за вещества Б-К – итого 9 баллов, 2 балла за определение А. Итого за п.1 18 баллов.

2. Серная кислота H_2SO_4 , сера S , железный купорос FeSO_4 (достаточно 1 правильного ответа). *2 балла за верный ответ.*

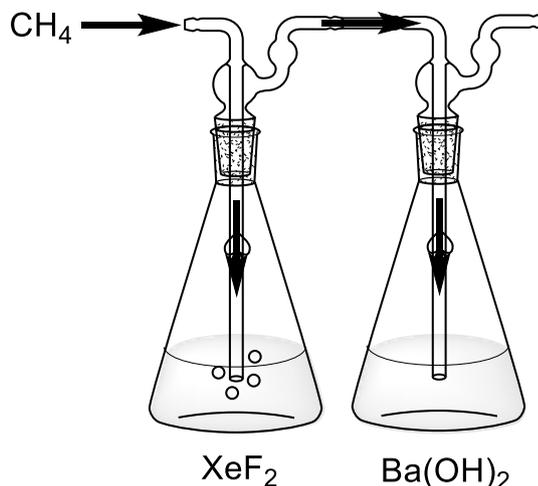
Максимальный балл за задачу 18+2=20 баллов.

Задача 5. «Соединение ксенона»

Несмотря на то, что инертные газы долгое время считались химически неактивными, в настоящее время известно, что они способны образовывать соединения. Одним из таких соединений является фторид ксенона(II) XeF_2 . Он является порошком белого цвета.

1. Определите степени окисления элементов в XeF_2
2. XeF_2 проявляет окислительные свойства и может быть использован для превращения простых веществ в соединения с высшей степенью окисления соответствующего элемента. Напишите реакции фторида ксенона(II) с фосфором, бором, магнием (реакции 1-3).

3. Для изучения свойств соединения порошок XeF_2 массой 1,69 г растворили в воде. Через полученный свежеприготовленный раствор пропускали метан (CH_4). Скорость реакции взаимодействия ксенона с водой достаточно мала. В результате реакции метана, фторида ксенона(II) и воды образовалось три продукта: оксид, простое вещество и кислота (*реакция 4*). Полученный при этом газ направляли в колбу с избытком раствора гидроксида бария $\text{Ba}(\text{OH})_2$. В результате наблюдали выпадение белого осадка (*реакция 5*). Запишите уравнения протекающих реакций и определите массу образовавшегося осадка.



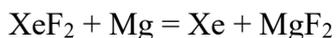
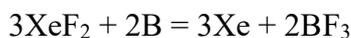
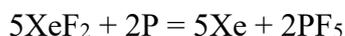
4. Для проведения реакции с 10,00 г XeF_2 использовали 3,621 г простого вещества X . В ходе реакции при нормальных условиях выделилось 1,76 л газов (н.у.). После завершения реакции визуально пробирка оказалась пустой. Определите простое вещество X , запишите уравнение протекающей реакции. При решении пункта 4 значения округляйте до десятитысячных.

Решение.

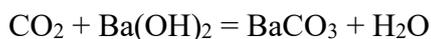
1. Степень окисления ксенона +2, фтора -1.

2 балла за верный ответ.

2. В результате реакции получают соединения элементов с высшей степенью окисления.



По 2 балла за верную реакцию. 1 балл если реакция не уравнена. Суммарно за пункт 6 баллов.



$$n(\text{XeF}_2) = 1,69 \text{ г} / 169 \text{ г/моль} = 0,01 \text{ моль}$$

$$n(\text{BaCO}_3) = n(\text{CO}_2) = n(\text{XeF}_2) / 4 = 0,0025 \text{ моль}$$

$$m(\text{BaCO}_3) = 0,0025 \text{ моль} \cdot 197 \text{ г/моль} = \mathbf{0,4925 \text{ г}}$$

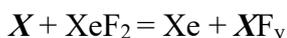
По 2 балла за верную реакцию. 1 балл если реакция не уравнена. 2 балла за верно рассчитанную $m(\text{BaCO}_3)$. Суммарно за пункт 6 баллов.

4. $n(\text{газов}) = 1,76 \text{ л} / 22,4 \text{ моль/л} = \mathbf{0,0786 \text{ моль}}$

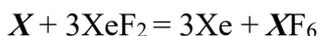
$n(\text{XeF}_2) = 10 \text{ г} / 169 \text{ г/моль} = \mathbf{0,0592 \text{ моль}}$

$n(\text{газов}) : n(\text{XeF}_2) = 0,0786 : 0,0592 = 4:3$

Аналогично пункту 3, реакцию простого вещества X можно представить в виде схемы:



Согласно условию, все продукты – газы. Исходя из соотношения химических количеств газов к химическому количеству XeF_2 , уравнение реакции должно выглядеть следующим образом:



По уравнению реакции $n(X) = n(\text{XeF}_2)/3 = 0,0197 \text{ моль}$

$M(X) = 3,621 \text{ г} / 0,0197 \text{ моль} = 183,8 \text{ г/моль}$, что соответствует молярной массе **вольфрама**.

По 1 баллу за верно рассчитанные химические количества газов и XeF_2 . 2 балла за предположение, что X шестивалентный. 2 балла при верном определении элемента X – вольфрама. Суммарно за пункт 6 баллов.

Максимальный балл за задачу $2+6+6+6=20$.

Задача 6. «Юный химик-аналитик»

Определение нитратов в природных водах является одной из задач химиков с целью контроля экологической обстановки. Повышенное содержание нитратов в природных водах приводит к нарушению экологического равновесия, что вызывает гибель обитателей водоема.

Вдоль реки были отобраны 10 проб воды из разных участков, по 20 мл каждая. Из каждой пробы отобрали по 2,0 мл и объединили их в одну общую пробу для анализа. Такой подход позволяет сначала выполнить один анализ, а при превышении нормы – исследовать отдельные участки.

1. Какая минимальная и максимальная концентрация нитратов может быть в одной из исходных проб, если концентрация нитратов в объединённой пробе составляет 50 мг/л?

В таблице приведены некоторые из методов определения нитратов в природных водах.

Метод	Диапазон концентрации нитрат-ионов мг/л, при котором метод применим
Индикаторные тест-полоски	10 - 500
Гравиметрический	500 - 20000
Электрохимический	0,6 - 6200

Были отобраны и приготовлены объединенные пробы **А**, **Б**, **В** из разных водоемов и определены концентрации нитрат-ионов разными методами:

	Индикаторные тест-полоски	Гравиметрический	Электрохимический
А : водоем около полей с урожаем	500	1000	1100
Б : водоем в лесу	0	0	2
В : водоем около крупного города	15	0	14

2. Для каждой пробы (**А**, **Б**, **В**) укажите, какие методы определения нитратов подходят для определения концентрации.

3. Предположите, почему концентрация нитратов в реке, протекающей около полей с урожаем наибольшая?

4. Одним из исторически первых методов определения нитрат-ионов является гравиметрический метод, основанный на осаждении нитратов нитроном. Нитрон состоит из атомов углерода, водорода и четырех атомов азота. Общее число электронов в молекуле нитрона равно 164, массовая доля углерода составляет 76,9%. Определите молекулярную формулу нитрона.

5. Для гравиметрического определения нитрат-ионов к пробе воды объемом 20 мл добавили кислоту для перевода нитратов в азотную кислоту. Затем внесли раствор нитрона, в результате реакции соединения, протекающей между реагентами в соотношении 1:1, образовался осадок. Определите концентрацию нитрат-ионов в воде (в мг/л), если масса образовавшегося осадка составила 0,375 г.

Решение.

1. Для расчета максимальной концентрации нужно предположить, что во всех объединяемых пробах, кроме одной концентрация нитратов 0 мг/л.

Тогда: $(2\text{мл} \cdot 0\text{ мг/л} \cdot 9\text{ проб} + 2\text{мл} \cdot \text{максимальную концентрацию})/20\text{ мл} = 50\text{ мг/л}$

Максимальная концентрация равна **500 мг/л**.

Минимальная концентрация **0 мг/л**.

По 2 балла за верно определенную максимальную и минимальную концентрацию.

Суммарно за пункт 4 балла.

2. Некоторые методы определения показали некорректный результат, потому что их использовали не в диапазоне, в котором эти методы можно применять.

Корректно определили концентрации:

Для пробы **А** гравиметрический, электрохимический

Для пробы **Б** электрохимический

Для пробы **В** индикаторные тест-полоски, электрохимический

По 2 балла за все верно определенные методы для каждой из проб.

Суммарно за пункт 6 баллов.

3. Нитраты – компоненты удобрений, которые могут смываться в реки и водоемы, находящиеся рядом.

1 балл за верный ответ.

4. Молекулярную формулу нитрона можно представить в виде $C_xH_yN_4$.

$$w(C) = \frac{12 \cdot x}{12 \cdot x + 1 \cdot y + 14 \cdot 4} = 0,769$$

Общее число электронов $164 = 6 \cdot x + 1 \cdot y + 7 \cdot 4$

Исходя из системы из двух уравнений: $x = 20$, $y = 16$

Молекулярная формула нитрона $C_{20}H_{16}N_4$.

3 балла за верный ответ.

5. Согласно условию, реакция нитрона с азотной кислотой – реакция соединения, с соотношением реагентов 1:1.



$$n(C_{20}H_{17}N_5O_3) = 0,375 \text{ г} / 375 \text{ г/моль} = 0,001 \text{ моль} = n(HNO_3) = n(NO_3^-)$$

$$m(NO_3^-) = 0,001 \text{ моль} \cdot 62 \text{ г/моль} = 0,062 \text{ г}$$

Концентрация нитрат ионов равна $62 \text{ мг} / 20 \text{ мл} = 3,1 \text{ мг/мл} = \mathbf{3100 \text{ мг/л}}$

6 баллов за верный ответ.

Максимальный балл за задачу $4+6+1+3+6 = 20$.