

**«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2019/20. Химия  
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР (90 минут)**

**1 вариант**

**11 класс**

**Задача 11-1**

Минерал анортит из группы полевых шпатов содержит Ca (массовая доля 14.4%), O (массовая доля 46.0%), а также Al и Si. Однако обнаружено, что некоторое количество пар ионов ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ ) в кристаллической решетке анортита может замещаться на пары ( $\text{Na}^+ + \text{Si}^{4+}$ ) без существенного изменения параметров кристаллической решетки (один из типов изоморфного замещения).

1. Выведите простейшую (эмпирическую) формулу минерала анортита.

2. Выведите формулу образца минерала лабрадора, который образовался при равномерном замещении части ионов ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ ) в решетке анортита на ( $\text{Na}^+ + \text{Si}^{4+}$ ). Массовая доля Ca в лабрадоре составляет 8.28%.

3. Приведите уравнения реакций взаимодействия анортита с горячими концентрированными растворами  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HF и NaOH.

При расчетах используйте атомные массы элементов с одним знаком после запятой.

**Решение**

1.

Анортит:	+2	+3	+4	-2
	Ca	Al	Si	O
	14.4 г	x г	39.6-x	46.0 г в 100 г

Уравнение электронейтральности:

$$2 \cdot 14.4 / 40.1 + 3 \cdot x / 27.0 + 4 \cdot (39.6 - x) / 28.1 - 2 \cdot 46.0 / 16.0 = 0,$$

отсюда  $x = 19.4$  г.

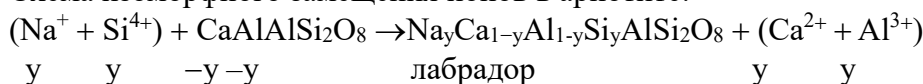
Отношение количества вещества элементов:

$$n(\text{Ca}):n(\text{Al}):n(\text{Si}):n(\text{O}) = 14.4/40.1 : 19.4/27.0 : 20.2/28.1 : 46.0/16 = \\ = 0.359 : 0.719 : 0.719 : 2.875 \approx 1 : 2 : 2 : 8$$

Простейшая (эмпирическая) формула анортита –  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .

2.

Схема изоморфного замещения ионов в анортите:



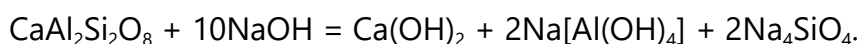
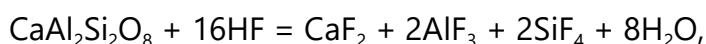
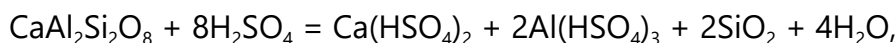
Массовая доля кальция в лабрадоре:

$$\omega(\text{Ca}) = (1-y) \cdot 40.1 / [23.0 \cdot y + (1-y) \cdot 40.1 + (2-y) \cdot 27.0 + (2+y) \cdot 28.1 + 8 \cdot 16] = 0.0828,$$

откуда  $y = 0.440$ .

Формула образца лабрадора:  $(\text{Ca}_{0.56}\text{Na}_{0.44})(\text{Al}_{0.56}\text{Si}_{0.44})\text{AlSi}_2\text{O}_8 = \text{Ca}_{0.56}\text{Na}_{0.44}\text{Al}_{1.56}\text{Si}_{2.44}\text{O}_8$ .

3.



**Разбалловка**

За установление формулы анортита (расчеты + правильный ответ)

4+4=8 б

За установление формулы лабрадора (расчеты + правильный ответ)

4+4=8 б

За написание уравнения реакций

3×3=9 б

**Итого 25 баллов**

### Задача 11-2

Из 500 мл раствора осадил ионы кальция и магния в виде их оксалатов  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  и  $\text{MgC}_2\text{O}_4$ . Осадок сначала прокалили при температуре  $500^\circ\text{C}$  и получили 0.28 г смеси  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgO}$ , а затем – при температуре  $900^\circ\text{C}$ , масса осадка при этом уменьшилась до 0.192 г.

1. Вычислите концентрации ионов кальция и магния в исходном растворе в мг/л.
2. Что такое жесткость воды? Разновидности жесткости воды.
3. Какие химические методы уменьшения жесткости воды вы знаете? Запишите уравнения соответствующих реакций.

### Решение

1.

500°C      900°C



100 г/моль    56 г/моль



40 г/моль

Допустим, в растворе содержались  $x$  моль  $\text{Ca}$  и  $y$  моль  $\text{Mg}$ , тогда справедливы следующие соотношения:

$$100x + 40y = 0.28$$

$$56x + 40y = 0.192,$$

отсюда  $x = 0.002$  моль,  $y = 0.002$  моль.

Таким образом, масса ионов кальция в растворе  $0.002 \cdot 40 = 0.08$  г или 80 мг, масса магния –  $0.002 \cdot 24 = 0.048$  г или 48 мг.

Их концентрации в растворе равны  $80 \text{ мг}/0.5 \text{ л} = 160 \text{ мг/л}$  и  $48 \text{ мг}/0.5 \text{ л} = 96 \text{ мг/л}$ , соответственно.

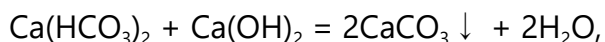
2.

Жесткость воды – это ее свойство, зависящее от наличия в ней, главным образом, растворенных солей кальция и магния. Суммарное содержание этих солей называют общей жесткостью. Это один из важнейших параметров пресной воды, напрямую влияющий на жизнедеятельность и разведение рыб и растений. Пресные воды сильно отличаются по жесткости.

Общая жесткость воды образуется из двух составляющих: карбонатной (временной), обусловленной концентрацией гидрокарбонатов (и карбонатов при pH 8.3) кальция и магния, и некарбонатной (постоянной), обусловленной концентрацией в воде кальциевых и магниевых солей сильных кислот.

3.

Химические методы устранения жесткости воды основаны на химических реакциях, в результате которых катионы кальция и магния переходят в осадок. Известковый способ:



Известково-содовый способ применяется для устранения и временной, и постоянной жесткости воды. Известь осаждают гидрокарбонаты кальция и магния, а сода – хлориды и сульфаты. При наличии только постоянной жесткости применяется содовый способ. Очень распространенным является метод ионного обмена. Иногда используется баритовый способ.

### **Разбалловка:**

За расчет концентрации солей магния и кальция в воде

2·8 = 16 б

За понятие жесткости воды и указание разновидностей

4 б

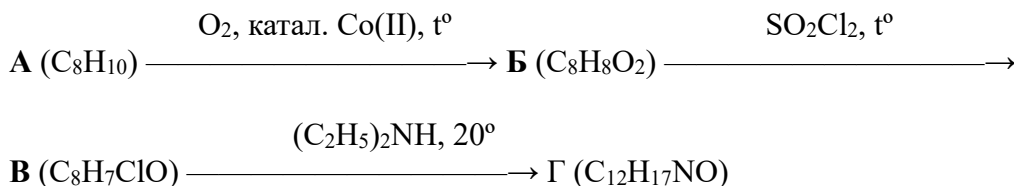
За указание способов устранения жесткости с объяснением и уравнениями реакции

5 б

**Итого 25 баллов**

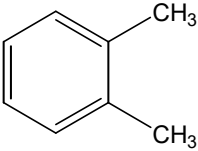
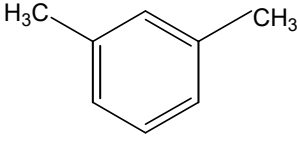
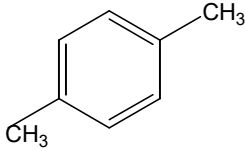
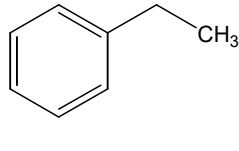
### Задача 11-3

Осуществите цепочку превращений углеводорода А в вещество Г, используемое в качестве репеллента (средства для отпугивания комаров ДЭТА). Спектр ЯМР (ядерного магнитного резонанса) вещества А показал наличие 4 типов атомов водорода с различным окружением. Запишите структурные формулы веществ А-Г, 3 уравнения реакций. Если зашифрованные вещества могут при обычных условиях реагировать с раствором пищевой соды, то напишите уравнения.

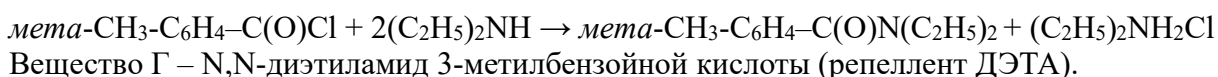
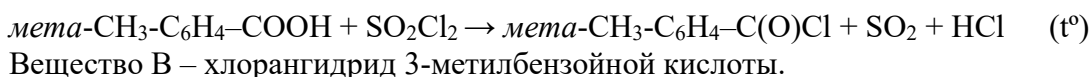
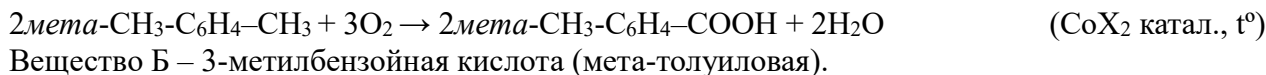


### Решение

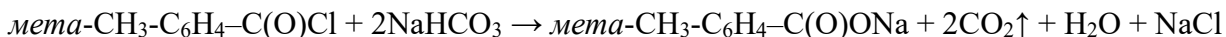
Формула вещества А  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$  соответствует классу аренов. Возможные варианты аренов:

$\text{C}_8\text{H}_{10}$	<i>Орто</i> -ксилол	<i>Мета</i> -ксилол	<i>Пара</i> -ксилол	Этилбензол
Структурная формула				
Число различных типов протонов	3 ( $\text{CH}_3$ , 3,6- $\text{CH}$ , 4,5- $\text{CH}$ )	4 ( $\text{CH}_3$ , 2- $\text{CH}$ , 4,6- $\text{CH}$ , 5- $\text{CH}$ )	2 ( $\text{CH}_3$ , 2,6- $\text{CH}$ , 3,5- $\text{CH}$ )	5 ( $\text{CH}_3$ , $\text{CH}_2$ , 2,6- $\text{CH}$ , 3,5- $\text{CH}$ , 4- $\text{CH}$ )

Только *мета*-ксилол имеет 4 разных типа протонов в молекуле.



Кислота и ее хлорангидрид реагируют при обычных условиях с содой с образованием натриевой соли и выделением  $\text{CO}_2$ :



### Разбалловка:

За структурные формулы 4 веществ А, Б, В, Г по 3 б.

12 б

За 3 уравнения реакций получения Б, В, Г по 3 б.

9 б

За 2 уравнения реакций с содой по 2 б.

4 б

**Итого 25 баллов**

### Задача 11-4

В герметичный сосуд объемом ровно 2 л поместили 132.12 г бесцветной соли **А** и откачали воздух. Добавили 78.38 г воды, при этом вся соль растворилась и получился насыщенный раствор. Его нагрели до 100°C, получив раствор с плотностью 2.105 г/мл. Манометр показал давление паров воды в сосуде 94 кПа. Затем в сосуд добавили CO<sub>2</sub> до давления 2708 кПа (100°C), сосуд медленно охладили до 0°C и выдержали до прекращения падения давления (оно стало 956.51 кПа). Сосуд открыли, в нем оказалась только соль **Б**, частично в виде кристаллов, частично в виде водного раствора. После высушивания остатка и прокаливания всей соли **Б** при 200°C выделился газ и получилась соль **В** (110.5 г).

Определите формулы и назовите соли **А**, **Б**, **В**, если **А** — кристаллогидрат, а **Б** и **В** — безводные соли одного и того же металла.

Составьте уравнения реакций получения **Б** и **В** в соответствии с вышеописанным. Вычислите растворимость соли **В** при 20°C (в г на 100 г воды).

Почему давление паров воды над раствором соли **А** при 100°C ниже, чем 101.3 кПа?

Почему водный раствор соли **Б** не замерзает при 0°C?

### Решение

Найдем объем раствора соли **А**.  $V_{\text{раствора}} = (132.12 + 78.38) / 2.105 = 100$  мл.

Найдем объем газовой части в сосуде.  $V_{\text{газов}} = 2 - 0.1 = 1.9$  л.

Найдем начальное давление CO<sub>2</sub> в сосуде.  $P_1(\text{CO}_2) = 2708 - 94 = 2614$  кПа.

Найдем количество CO<sub>2</sub> в сосуде при 100°C.  $n_1(\text{CO}_2) = P_1 V / RT = (2614 \cdot 1.9) / (8.314 \cdot 373) = 1.6015$  моль.

Найдем количество CO<sub>2</sub> в сосуде при 0°C, когда паров воды нет.  $n_2(\text{CO}_2) = P_2 V / RT = (956.51 \cdot 1.9) / (8.314 \cdot 273) = 0.8007$  моль.

Найдем количество CO<sub>2</sub>, вступившего в реакцию.  $n_1(\text{CO}_2) - n_2(\text{CO}_2) = 1.6015 - 0.8007 = 0.8008$  моль.

Только карбонаты и гидрокарбонаты щелочных металлов растворимы в воде. Они взаимопревращаются:



Найдем количество Met<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.  $n(\text{Met}_2\text{CO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0.8008$  моль.

Найдем молярную массу соли **В** Met<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.  $M(\text{Met}_2\text{CO}_3) = 110.5 / 0.8007 = 138$  г/моль.

Соль **В** - это карбонат калия K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Соль **Б** - это гидрокарбонат калия KHCO<sub>3</sub>.

Найдем количество кристаллизационной воды в кристаллогидрате **А**.

$m(\text{H}_2\text{O крист.}) = 132.12 - 110.5 = 21.62$  г.  $n(\text{H}_2\text{O крист.}) = 21.62 / 18 = 1.2011$  моль, это в 1.5 раза больше чем  $n(\text{K}_2\text{CO}_3)$ . Значит соль **А** — K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · 1.5H<sub>2</sub>O.

Вычислим растворимость соли **В** в воде при 20°C:  $S(\text{соли В}) = 110.5$  г / 100 г воды.

Растворенные вещества повышают температуру кипения растворителя. Поэтому при 100°C раствор карбоната калия не закипает и давление паров воды меньше 1 атм.

Растворенные вещества понижают т. пл. растворителя, поэтому при 0°C раствор гидрокарбоната калия не замерзает.

### **Разбалловка:**

За формулу и название соли <b>А</b>	4 б
За формулы и названия <b>Б</b> и <b>В</b> по 3 б.	6 б
За 2 уравнения реакций получения <b>Б</b> , <b>В</b> по 3 б.	6 б
За расчет растворимости <b>В</b>	3 б
За ответы на вопросы про давление паров и замерзание по 3 б.	6 б

**Итого 25 баллов**