

## Задача 6

Жёсткость воды — совокупность химических и физических свойств воды, связанных с содержанием в ней растворённых солей щёлочноземельных металлов, главным образом, кальция и магния (так называемых солей жёсткости). Различают временную (гидрокарбонатную) жесткость воды и постоянную жесткость воды. Временная жесткость обусловлена наличием в воде растворимых гидрокарбонатов кальция и магния, при кипячении воды эти растворимые гидрокарбонаты разлагаются, жесткость воды снижается, однако на стенках сосудов образуется нерастворимая в воде накипь. Постоянная жесткость обусловлена содержанием в воде других солей кальция и магния (хлоридов, нитратов, сульфатов и др), постоянная жесткость не снижается при кипячении, для ее устранения требуется обрабатывать воду специальными реагентами — например, известковой водой, технической соды или ортофосфата натрия. По принятому в 2014 году ГОСТ жёсткость выражается в градусах жесткости (°Ж). 1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр.

а) какая масса в (г) атомов кальция или атомов магния содержится в 1 л воды жесткостью 1 °Ж, если жесткость обусловлена только одним типом атомов?

б) в 500 мл воды растворили совместно 0,81 г гидрокарбоната кальция и 0,95 г хлорида магния. Какова жесткость полученного раствора в градусах жесткости?

в) Допустим, что временная жесткость воды создается только гидрокарбонатом кальция. Напишите уравнение реакции, соответствующей процессу уменьшению временной жесткости при кипячении воды. Каков состав накипи? Какая масса накипи может потенциально образоваться при 100 кипячениях чайника объемом 2 л, если временная жесткость воды в данной местности составляет 1,5 °Ж? Какой химический способ удаления накипи можно предложить?

г) Напишите уравнения реакций, которые лежат в основе уменьшения постоянной жесткости воды (условно созданной только сульфатом магния) при помощи известковой воды (раствора гидроксида кальция), технической соды (карбоната натрия), ортофосфата натрия. Какая масса 10% раствора ортофосфата натрия нужна для полного смягчения 1 м<sup>3</sup> воды жесткостью 9 °Ж?

## Решение

а) 1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр. Следовательно, в 1 нашего раствора содержится 0,5 ммоль атомов кальция или магния.

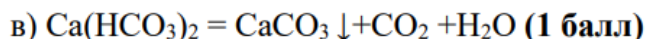
$$m(\text{Ca}) = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ мг} = 0,02 \text{ г (1 балл)}$$

$$m(\text{Mg}) = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ мг} = 0,012 \text{ г (1 балл)}$$

б)  $n(\text{Ca}) = n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,81/162 = 0,005 \text{ моль} = 5 \text{ ммоль. (1 балл)}$

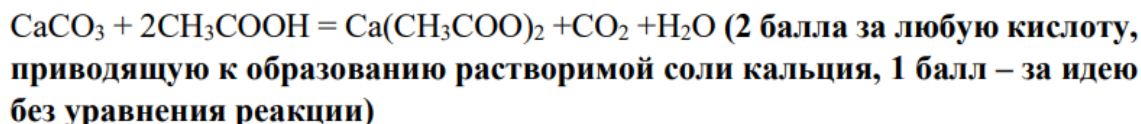
$$n(\text{Mg}) = n(\text{MgCl}_2) = 0,95/95 = 0,01 \text{ моль} = 10 \text{ ммоль (1 балл)}$$

1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр, следовательно, жесткость равна  $(2n(\text{Ca}) + 2n(\text{Mg}))/V = (2 \cdot 5 + 2 \cdot 10)/0,5 = 60 \text{ °Ж (2 балла)}$



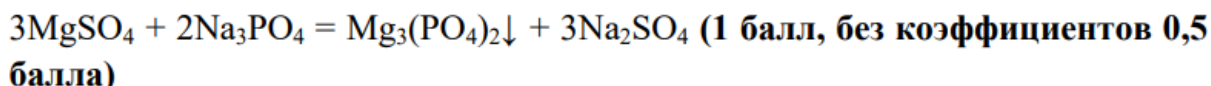
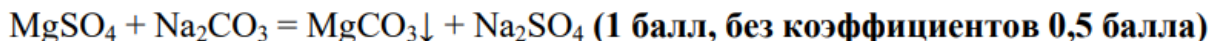
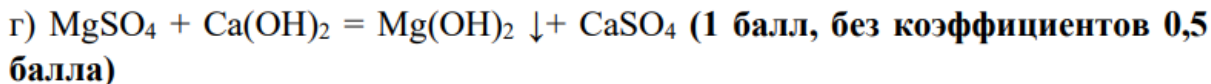
в нашем случае накипь – это осадок карбонат кальция. (1 балл)

Для его удаления можно предложить обработать поверхность с накипью какой-нибудь кислотой, например



Было прокипячено  $100 \cdot 2 = 200 \text{ л}$  воды.

$$n(\text{Ca}) = 200 \cdot 1/2 \cdot 1,5 = 150 \text{ ммоль} = 0,15 \text{ моль. } m(\text{CaCO}_3) = 0,15 \cdot 100 = 15 \text{ г. (2 балла)}$$



$$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л. При жесткости в } 10 \text{ °Ж такой объем содержит } n(\text{Mg}) = n(\text{MgCl}_2) = 9 \cdot 1/2 \cdot 1000 = 4500 \text{ ммоль} = 4,5 \text{ моль (2 балла)}$$

$$\text{по уравнению } n(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 2/3 n(\text{MgCl}_2) = 3 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 164 = 492 \text{ г}$$

$$m_{\text{р}}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = m(\text{Na}_3\text{PO}_4)/\omega = 492/0,1 = 4920 \text{ г. (3 балла за расчет массы раствора фосфата натрия)}$$



