

Практическое занятие № 12

Определение временной (гидрокарбонатной, J_k) жесткости воды по объему соляной кислоты, пошедшей на ее титрование

Пример 2. Найдите временную жесткость воды, если на титрование 0,1 л образца воды, содержащей гидрокарбонат магния, израсходовано $7,2 \cdot 10^{-3}$ л 0,14 н. соляной кислоты.

Решение. При титровании воды соляной кислотой происходит следующая химическая реакция:



В соответствии с законом эквивалентов количество эквивалентов всех участвующих в химической реакции веществ должно быть одинаково. На титрование 0,1 л воды израсходовано $0,14 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3}$ моль HCl. Следовательно, такое же количество ионов магния содержится в воде, то есть

$$V_{\text{HCl}} \cdot C_{\text{HCl}} = V_{\text{воды}} \cdot C_{\text{воды}},$$

$$C_{\text{воды}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot C_{\text{HCl}}}{V_{\text{воды}}} = \frac{0,936 \cdot 10^{-2}}{0,10} = 0,936 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} = 9,36 \text{ ммоль/л}.$$

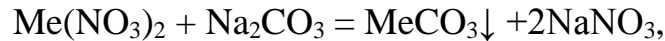
$$J_k = C_{\text{воды}} = 9,36 \text{ ммоль/л}.$$

Жесткость данного образца воды равна 9,36 ммоль/л.

Определение временной и постоянной жесткости воды по количеству реагентов, необходимых для устранения жесткости

Пример 3. Для устранения общей жесткости по известково-содовому методу к 50 л воды добавлено 7,4 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 5,5 г Na_2CO_3 . Рассчитайте временную и постоянную жесткость воды.

Решение. Добавление к воде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ может устранить временную жесткость, а добавление Na_2CO_3 – постоянную жесткость. При добавлении этих реагентов к воде происходят следующие химические реакции:



где Me^{2+} : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и др.

Временную жесткость воды ($\text{Ж}_{\text{вр}}$, ммоль/л) измеряют количеством гидроксида кальция, участвующего в реакции, а постоянную жесткость ($\text{Ж}_{\text{пост}}$) – количеством карбоната натрия.

$$\text{Ж}_{\text{вр}} = \frac{m(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot V}; \quad \text{Ж}_{\text{пост}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V};$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = M / 2 = 74,02 / 2 = 37,04 \text{ моль/л};$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = M / 2 = 106,00 / 2 = 53,0 \text{ моль/л};$$

$$\text{Ж}_{\text{вр}} = 7400 / (37,04 \cdot 50) = 4 \text{ ммоль/л};$$

$$\text{Ж}_{\text{пост}} = 5300 / (53,0 \cdot 50) = 2 \text{ ммоль/л}.$$

Общая жесткость воды равна:

$$\text{Ж}_{\text{общ}} = \text{Ж}_{\text{вр}} + \text{Ж}_{\text{пост}} = 4 + 2 = 6 \text{ ммоль/л}.$$

Определение общей ($\text{Ж}_{\text{общ}}$), временной жесткости (карбонатной, $\text{Ж}_{\text{вр}}$) и постоянной (некарбонатной, $\text{Ж}_{\text{пост}}$) воды по объему трилона Б и соляной кислоты, пошедших на титрование образца воды

Пример 4. Определите общую, карбонатную и некарбонатную жесткость воды, если на титрование ее 100 мл потребовалось 8 мл 0,1 н. раствора трилона Б и 5 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты.

Решение. Общую и карбонатную жесткость воды можно определить методом титрования. Для определения общей жесткости производится комплексометрическое титрование пробы анализируемой воды раствором двузамещенной натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б) в щелочной среде (рН 8–10) в присутствии индикатора (наиболее часто

используют эриохром четный T или мурексид). Карбонатная жесткость определяется кислотно-основным титрованием воды раствором соляной кислоты в присутствии индикатора метилового оранжевого, фиксируется переход желтой окраски в оранжевую.

Расчет жесткости воды ведется по закону эквивалентов:

$$Ж = \frac{V_T \cdot C_{HT} \cdot 1000}{V_{\text{воды}}}, \text{ ммоль/л,}$$

где V_B – объем анализируемой пробы воды, мл;

V_T – объем титрующего раствора, мл;

C_{HT} – нормальность титрующего раствора, моль/л.

После подстановки заданных значений получим:

$$Ж_{\text{общ}} = \frac{8 \cdot 0,1 \cdot 1000}{100} = 8 \text{ ммоль/л,}$$

$$Ж_{\text{вр}} = \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 1000}{100} = 5 \text{ ммоль/л,}$$

$$Ж_{\text{пост}} = Ж_{\text{общ}} - Ж_{\text{вр}} = 8 - 5 = 3 \text{ ммоль/л.}$$

Определение жесткости и солесодержания воды

Пример 5. Анализ воды показал, что в ней содержатся гидрокарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ массой 1386 мг, хлорид кальция CaCl_2 массой 610 мг, хлорид натрия NaCl массой 480 мг. Объем воды составил 5 л. Определите общую жесткость и солесодержание воды.

Решение. Общая жесткость воды – суммарная концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , выраженная в ммоль/л.

Молярные массы эквивалентов солей, обуславливающих жесткость воды:

$$M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,11 \text{ г/моль, } M_{\text{э}}(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,11 / 2 = 81,05 \text{ г/моль;}$$

$$M(\text{CaCl}_2) = 111,0 \text{ г/моль, } M_{\text{э}}(\text{CaCl}_2) = 111,0 / 2 = 55,5 \text{ г/моль.}$$

Общая жесткость воды равна:

$$Ж_{\text{общ}} = \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) \cdot V} + \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2) \cdot V} = \frac{1386}{81 \cdot 5} + \frac{610}{55,5 \cdot 5} = 5,5 \text{ ммоль/л}$$

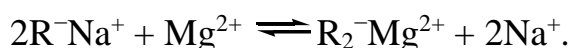
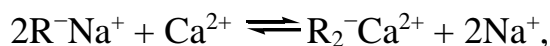
Солесодержание – суммарная концентрация растворенных в воде солей, выраженная в г/л:

$$\rho = \frac{m_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} + m_{\text{CaCl}_2} + m_{\text{NaCl}}}{V} = \frac{(1386 + 610 + 480) \cdot 10^3}{5} = 0,49 \text{ г/л.}$$

Определение жесткости и солесодержания воды после Na-катионирования

Пример 6. Природная вода имеет следующие исходные показатели качества: общая жесткость 5,15 ммоль/л, солесодержание 0,47 г/л. Солевой состав воды: 1386 мг $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 500 мг MgCl_2 , 480 мг NaCl . Объем воды 5 л. Определите жесткость и солесодержание после Na-катионирования.

Решение. При Na-катионировании исходная вода пропускается через слой Na-катионита. При этом ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} из природной воды обмениваются на ионы Na^+ из катионита:



Обмен происходит по закону эквивалентов:

$$N_{\text{Э, Me}^{2+}} = N_{\text{Э, Na}^+} \quad \text{или} \quad Ж_{\text{общ}} \cdot V = N_{\text{Э, Na}^+}.$$

Молярные массы эквивалентов солей жесткости и солей натрия:

$$M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,11 \text{ г/моль}, M_{\text{Э}}(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,11 / 2 = 81,05 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{MgCl}_2) = 95,21 \text{ г/моль}, M_{\text{Э}}(\text{MgCl}_2) = 95,21 / 2 = 47,62 \text{ г/моль};$$

$$M_{\text{Э}}(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль}, M_{\text{Э}}(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}.$$

Тогда солесодержание Na-катионированной воды будет определяться содержанием в воде солей Na^+ :

$$\rho = \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M_{\text{Э}} \cdot V} \cdot M_{\text{Э}}(\text{NaHCO}_3) + \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M_{\text{Э}} \cdot V} \cdot M_{\text{Э}}(\text{NaCl}) + \frac{m(\text{NaCl})}{V} =$$

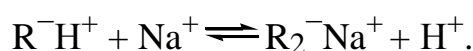
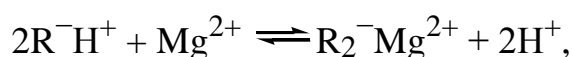
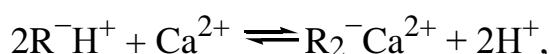
$$= \frac{1386 \cdot 10^{-3}}{81,05 \cdot 5} \cdot 84 + \frac{500 \cdot 100^{-3}}{47,62} \cdot 58,5 + \frac{480 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,5 \text{ г/л.}$$

Как видим, после полного Na-катионирования воды ее солесодержание осталось примерно, как в исходной воде. Жесткость воды стала практически нулевой.

Определение жесткости, солесодержания и pH воды после Н-катионирования

Пример 7. Определите жесткость, солесодержание и pH воды после ее обработки методом Н-катионирования, если природная вода имеет следующий состав: 1386 мг $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 500 мг MgCl_2 , 480 мг NaCl . Объем воды 5 л.

Решение. При Н-катионировании природная вода пропускается через слой Н-катионита. При этом катионы из обрабатываемой воды обмениваются на ионы H^+ из катионита:



Как видим, после полного Н-катионирования в обработанной воде практически не остается растворенных солей, т.е. солесодержание и жесткость становятся близкими к нулю: $\rho = 0$, $\text{Ж}_{\text{общ}} = 0$. Однако обработанная вода в результате образования избытка ионов H^+ становится более коррозионно-агрессивной, так как уменьшается pH среды. Обмен катионов происходит по закону эквивалентов:

$$\sum N_{\text{Э, Me}^{2+}} = N_{\text{Э, H}^+},$$

поэтому концентрация ионов H^+ в обрабатываемой воде будет равна

$$C_{H^+} = \frac{N_{Э, H^+}}{V} = \frac{m(CaHCO_3)_2}{M_{Э} \cdot V} + \frac{m(MgCl_2)}{M_{Э} \cdot V} + \frac{m(NaCl)}{M_{Э} \cdot V} =$$
$$= \frac{1386 \cdot 10^{-3}}{81,05 \cdot 5} + \frac{500 \cdot 10^{-3}}{47,62 \cdot 5} + \frac{480 \cdot 10^{-3}}{58,5 \cdot 5} = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Определим рН обработанной воды:

$$pH = -\lg a_{H^+} = -\lg 7,1 \cdot 10^{-3} = 2,2 - \text{кислая реакция среды.}$$

Контрольные задания

6-1. Образец воды объемом 1 л содержит 48,6 мг гидрокарбоната кальция и 29,6 мг сульфата магния. Чему равна общая жесткость и солесодержание воды?

6-2. Рассчитайте общую жесткость воды (ммоль/л) и солесодержание воды, если в 0,25 л воды содержится 11,5 мг гидрокарбоната кальция, 1,92 мг гидрокарбоната магния, 13,30 мг хлорида кальция и 7,50 мг хлорида магния.

6-3. Образец воды объемом 0,5 л содержит 25 мг гидрокарбоната магния и 13,5 мг хлорида магния. Чему равна общая жесткость и солесодержание воды?

6-4. Рассчитайте общую жесткость (ммоль/л) и солесодержание воды, если в 0,20 л воды содержится 10,5 мг гидрокарбоната кальция, 2,1 мг гидрокарбоната магния, 5,50 мг хлорида железа (2+) и 6,30 мг сульфата магния.

6-5. На титрование 0,05 л образца воды израсходовано $4,8 \cdot 10^{-3}$ л 0,1 н. HCl. Чему равна карбонатная жесткость воды?

6-6. При определении временной жесткости на титрование 0,1 л воды израсходовано $5,25 \cdot 10^{-3}$ л 0,101 н. HCl. Чему равна временная жесткость воды?

6-7. При определении общей жесткости воды на титрование 200 мл образца израсходовано 8 мл 0,1 н. раствора трилона Б. Вычислите общую жесткость воды.

6-8. Вычислите общую, карбонатную и постоянную жесткость воды, если на титрование 200 мл образца израсходовано 7,6 мл 0,05 н. трилона Б, а на титрование 100 мл H_2O израсходовано 1,5 мл 0,1 н. HCl.

6-9. Вычислите общую, карбонатную и постоянную жесткость воды, если на титрование 200 мл образца израсходовано 9,5 мл 0,05 н. трилона Б, а на титрование 200 мл H_2O израсходовано 2,5 мл 0,1 н. HCl .

6-10. На титрование 0,025 л образца воды израсходовано 3,5 мл 0,1 н. HCl . Чему равна карбонатная жесткость воды?

6-11. Определите, сколько мл 0,1 н. раствора трилона Б и 0,1 н. раствора HCl израсходовано при определении жесткости воды методом комплексонометрии, если объем пробы воды равен 100 мл. Результаты анализа: общая жесткость 3 ммоль/л, карбонатная жесткость 2,5 ммоль/л.

6-12. Определите, сколько мл 0,1 н. раствора трилона Б и 0,05 н. раствора HCl израсходовано при определении жесткости воды методом комплексонометрии, если объем пробы воды равен 100 мл. Результаты анализа: общая жесткость 2,5 ммоль/л, карбонатная жесткость 2 ммоль/л.

6-13. Общая жесткость волжской воды равна 6,52 ммоль/л, а временная 3,32 ммоль/л. Какую массу $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и Na_2CO_3 надо взять, чтобы устранить жесткость 5 л воды?

6-14. Некарбонатная жесткость воды равна 3,18 ммоль/л. Какую массу Na_3PO_4 надо взять, чтобы умягчить 1 м³ воды?

6-15. Для умягчения 100 л воды потребовалось 12,72 г Na_2CO_3 . Чему равна жесткость воды (в ммоль/л)?

6-16. Какую массу гашеной извести надо прибавить в 2,5 л воды, чтобы устранить ее временную жесткость, равную 4,43 ммоль/л?

6-17. Жесткость некоторого образца воды обуславливается только нитратом кальция. При обработке 0,25 л образца воды карбонатом натрия в осадок выпало 37,8 мг CaCO_3 . Чему равна жесткость воды?

6-18. Чему равна постоянная жесткость воды, если для ее устранения к 25 л воды добавлено 21,6 г буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$?

6-19. Какую массу и каких реагентов нужно затратить на умягчение 7 л воды, имеющей следующие величины жесткости: общая жесткость 5 ммоль/л, карбонатная жесткость 4 ммоль/л. Составьте уравнения процессов умягчения.

6-20. Какую массу и каких реагентов нужно затратить на умягчение 30 л воды, имеющей следующие величины жесткости: общая жесткость 2,75 ммоль/л, карбонатная жесткость 1,6 ммоль/л. Составьте уравнения процессов умягчения.

6-21. Рассчитайте изменение жесткости воды в результате H^+ -катионирования, если в воду перешло 10 мг/л ионов H^+ . Составьте уравнение процесса.

6-22. Рассчитайте, как изменилась в воде концентрация ионов Ca^{2+} , если в воду после фильтрования через Na -катионит перешло 23 мг/л Na^+ .

6-23. Рассчитайте, как изменилась в воде концентрация ионов Mg^{2+} , если в воду после фильтрования через Na-катионит перешло 46 мг/л Na^+ .

6-24. Определите жесткость, солесодержание и рН воды после ее обработки методом Н-катионирования, если природная вода имеет следующий состав: 1200 мг $Ca(HCO_3)_2$, 550 мг $MgCl_2$, 350 мг $NaCl$. Объем воды 3,5 л.

6-25. Определите жесткость, солесодержание и рН воды после ее обработки методом Н-катионирования, если природная вода имеет следующий состав: 760 мг $Mg(HCO_3)_2$, 280 мг $CaCl_2$, 270 мг $NaCl$. Объем воды 2,5 л.

6-26. Рассчитайте солесодержание воды, в которой было растворено 162 мг/л $Ca(HCO_3)_2$ после Н-катионирования и ОН-анионирования, если образовалось 1,95 ммоль/л воды.

6-27. Рассчитайте солесодержание воды, в которой было растворено 222 мг/л $CaCl_2$ после Н-катионирования и ОН-анионирования, если образовалось 3,8 ммоль/л воды.

6-28. Рассчитайте солесодержание воды, в которой было растворено 180 мг/л $Mg(HCO_3)_2$ после Н-катионирования и ОН-анионирования, если образовалось 1,5 ммоль/л воды.

6-29. Рассчитайте солесодержание воды, в которой было растворено 200 мг/л $MgCl_2$ после Н-катионирования и ОН-анионирования, если образовалось 3,0 ммоль/л воды.

6-30. Рассчитайте изменение солесодержания воды, в которой были растворены соли KCl – 0,5 ммоль/л и $CaCl_2$ – 1,5 ммоль/л после Н-катионирования и ОН-анионирования, если при этом образовалось 2,8 ммоль/л воды.