

Лабораторная работа

Определение жесткости воды

Цель работы:

Определение различных видов жесткости воды методами кислотно-основного и комплексонометрического титрования.

Теоретические положения

Жесткость – один из технологических показателей, принятых для характеристики состава и качества природных вод.

При оперативном контроле должна определяться жесткость воды после катионитных фильтров, воды из осветлителей при проведении в них коагуляции с известкованием и конденсата производственных потребителей пара.

Жесткостью принято называть сумму молярных концентраций эквивалентов (нормальностей) находящихся в воде ионов кальция и магния.

Общую жесткость определяют как суммарную концентрацию ионов кальция и магния:

$$J_0 = C_{\text{ЭКВ}}(\text{Ca}^{2+}) + C_{\text{ЭКВ}}(\text{Mg}^{2+})$$

Жесткость кальциевая обусловлена концентрацией ионов кальция:

$$J_{\text{Ca}^{2+}} = C_{\text{ЭКВ}}(\text{Ca}^{2+})$$

Жесткость магниевая обусловлена концентрацией ионов магния:

$$J_{\text{Mg}^{2+}} = C_{\text{ЭКВ}}(\text{Mg}^{2+})$$

По природе соединений, обуславливающих жесткость, различают карбонатную (временную) $J_{\text{К}}$ и не карбонатную (постоянную) $J_{\text{НК}}$.

Карбонатная жесткость обусловлена содержанием ионов кальция и магния, эквивалентных ионам гидрокарбоната и карбоната ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgCO_3). Если $J_0 > \text{Щ}_0$, то $J_{\text{К}} = \text{Щ}_0$, в противном случае $J_{\text{К}} = J_0$.

Некарбонатная жесткость – количество ионов кальция и магния, которое связано с анионами сильных кислот – хлоридами, сульфатами, нитратами (CaSO_4 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). $J_{\text{НК}} = J_0 - J_{\text{К}}$

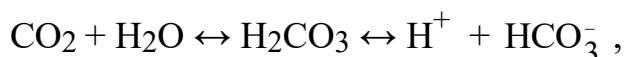
Измеряют жесткость числом миллимолей эквивалентов ионов жесткости (Ca^{2+} и Mg^{2+}) в 1 кг воды (моль/кг).

Так как плотность воды близка к единице, жесткость можно измерять в ммоль/дм³ или моль/л.

Если установлена жесткость по кальцию и магнию отдельно, то единицами измерения жесткости будут г-экв/дм³ (моль/ дм³), мг-экв/ дм³ (ммоль/ дм³) или мкг-экв/ дм³ (мкмоль/ дм³).

Определение карбонатной жесткости воды.

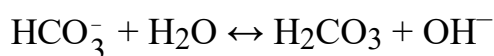
В связи с тем, что в воздухе достаточно велико содержание CO₂, в природной воде есть растворенный диоксид углерода. Протекает взаимодействие CO₂ с H₂O:



результатом которого является образование гидрокарбонат – иона. Концентрация ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ в воде, эквивалентная содержанию иона HCO₃⁻, определяет карбонатную жесткость воды, а концентрация Ca²⁺ и Mg²⁺, эквивалентная всем прочим анионам (SO₄²⁻, Cl⁻ и др.), определяют некарбонатную жесткость. Сумма карбонатной и некарбонатной жесткости составляет общую жесткость воды.

Таким образом, определение карбонатной жесткости воды Ж_к сводится к определению концентрации гидрокарбонат – иона HCO₃⁻ и тем, самым, эквивалентной этим ионам концентрации ионов жесткости Ca²⁺ и Mg²⁺. Анализ проводят методом кислотно-основного титрования: вода титруется в присутствии метилового оранжевого раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски индикатора в оранжевую, т. е. до ΔрН индикатора (3,3 – 4,4).

Анион HCO₃⁻ в воде гидролизуеться:



Поэтому при условии Ж_к > 0 вода имеет щелочную реакцию среды и метиловый оранжевый в ней окрашен в желтый цвет. При титровании раствором HCl такой воды протекает реакция нейтрализации;



Ионы H⁺ нейтрализуют количество ионов OH⁻, эквивалентное концентрации иона HCO₃⁻.

Общую жесткость воды определяют методом комплексонометрического титрования (комплексонометрии), в основе которого – реакция образования комплексных соединений, где в качестве *комплексообразователя* выступают

ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , а в качестве лигандов - ионы металлоиндикатора, а затем комплексона (Y^{4-}) (рис. 1).

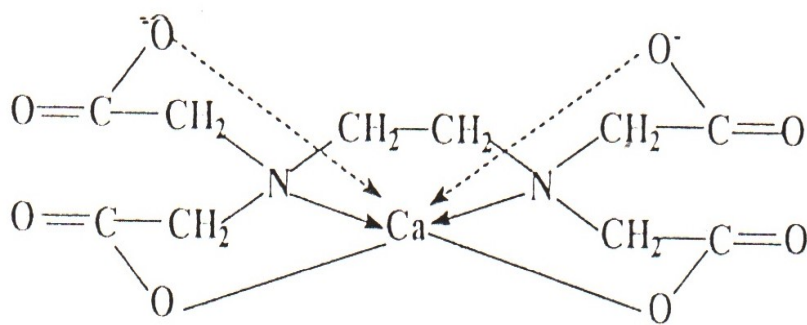


Рис. 1. Хелатный комплекс $[\text{CaY}]^{2-}$

Основным условием проведения анализа является контроль за pH раствора, для чего в пробу добавляют аммиачный буферный раствор, представляющий собой смесь ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$), обеспечивающий pH раствора 9÷10. Это необходимо:

– во-первых, для образования устойчивых комплексов между ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} с ионом Y^{4-} ;

– во-вторых, комплексон при различных значениях pH среды может существовать в нескольких формах, но образование устойчивых комплексов с кальцием и магнием возможно только для одной из этих форм. При pH = 9÷10 молярная доля (α) активной формы Y^{4-} достаточно велика (порядка 0,6) (рис. 2),

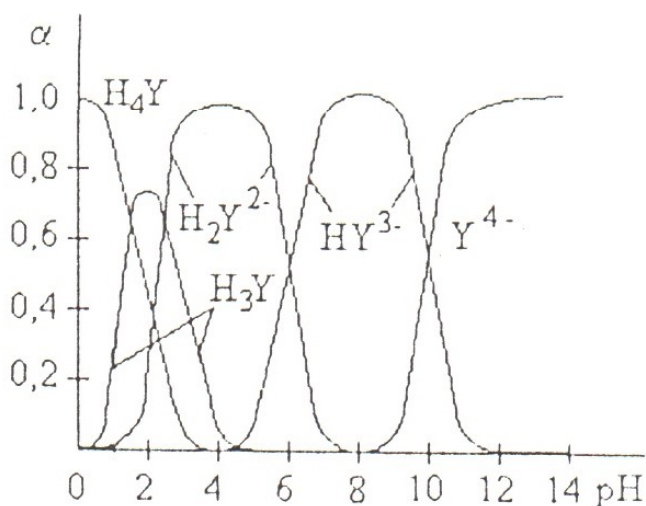


Рис. 2. Области существования различных форм комплексона в зависимости от pH раствора.

однако увеличить ее еще больше не удастся, поскольку увеличение pH среды может привести к образованию гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$, выпадающего в осадок в сильнощелочной среде.

– в третьих, в присутствии аммиака ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в растворе образуются аммиачные комплексы магния $\text{Mg}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, а гидроксокомплексы (способные выпасть в осадок) не образуются.

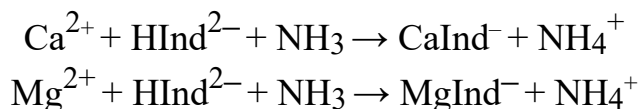
– в четвертых, если анализируема вода содержит щелочь, то хлорид аммония буферной смеси нейтрализует ее:



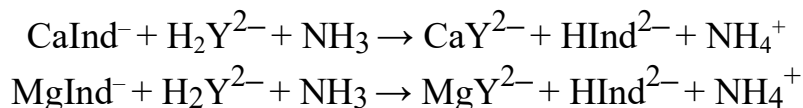
При этом соответственно повышается концентрация аммиака, но при избытке хлорида аммония величина рН не изменится. Дозировка аммиачно-буферной смеси рассчитана на нейтрализацию, как кислотности, так и щелочности воды в довольно широких пределах.

Однако, следует помнить что как сильно щелочные, так и сильно кислые воды необходимо нейтрализовать перед определением их жесткости: если первоначальная проба имеет очень низкие значения $\text{pH} < 5$, то ее необходимо подщелачивать раствором NaOH , а только затем добавлять буферный раствор для поддержания постоянного значения рН.

При добавлении в анализируемую воду раствора металлоиндикатора (например, эриохрома черного Т), он образует с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} комплексные соединения, при этом раствор изменяет окраску (окрашивается в винно-красный цвет):



Затем к окрашенному раствору медленно добавляют раствор комплексона трилона Б с которыми константы устойчивости комплексов ионов кальция и магния выше, чем константы устойчивости комплексов ионов кальция и магния с индикатором. При добавлении трилона Б комплексы кальция (магния) с индикатором разрушаются и образуют бесцветные комплексы ионов кальция (магния) с комплексом. В результате этого раствор приобретает голубую окраску свободного индикатора:



По объему трилона Б, израсходованного до изменения окраски индикатора, рассчитывают концентрацию ионов кальция и магния.

Катионы Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , присутствующие в анализируемой воде, образуют с индикатором очень прочные комплексные соединения, и изменения окраски раствора в процессе титрования не происходит или идет очень медленно даже при большом избытке трилона Б. Это явление получило название

блокирование индикатора. Чтобы предотвратить конкурирующие реакции, мешающие ионы металлов необходимо из раствора удалить осаждением или экстракцией.

Для отдельного определения жесткости, обусловленной каждым из ионов (Ca^{2+} или Mg^{2+}), необходимо создать условия, когда с комплексоном будет реагировать только один из них.

Примеры решения задач:

Пример 1. Рассчитайте общую жесткость воды (ммоль/л), если в 0,25 л воды содержится 16,2 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

Решение. Выразим жесткость воды (ммоль/л) двухзарядных катионов металлов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и соответствующих им солей, содержащихся в 1 л воды:

$$\text{Ж} = \frac{m_1}{M_1 \cdot V} + \frac{m_2}{M_2 \cdot V} + \frac{m_3}{M_3 \cdot V} + \dots,$$

где m_1 , m_2 , m_3 – масса двухзарядных катионов металлов (или соответствующих им солей) в воде, мг;

M_1 , M_2 , M_3 – молярная масса эквивалентов катионов металлов (или соответствующих им солей);

V – объем воды, л.

Определяем молярные массы эквивалентов солей, обуславливающих жесткость воды:

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

$$M_{\text{э}}(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{M}{2} = 146,34/2 = 73,17 \text{ мг/моль};$$

$$M_{\text{э}}(\text{CaCl}_2) = \frac{M}{2} = 110,99/2 = 55,49 \text{ мг/моль};$$

$$M_{\text{э}}(\text{MgCl}_2) = \frac{M}{2} = 95,21/2 = 47,60 \text{ мг/моль}.$$

Общая жесткость данного образца воды (ммоль/л) обусловлена содержанием в ней всех растворимых солей и равна сумме временной и постоянной жесткости:

$$\begin{aligned} J_{\text{общ}} &= \frac{16,20}{81,05 \cdot 0,25} + \frac{2,92}{73,17 \cdot 0,25} + \frac{11,10}{55,49 \cdot 0,25} + \\ &+ \frac{9,50}{47,60 \cdot 0,25} = 0,80 + 0,16 + 0,80 + 0,80 = 2,56 \text{ ммоль/л.} \end{aligned}$$

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

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

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

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

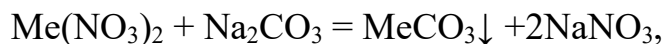
Жесткость данного образца воды равна 9,36 ммоль/л.

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 Ca(OH)₂ и 5,5 г Na₂CO₃. Рассчитайте временную и постоянную жесткость воды.

Решение. Добавление к воде Ca(OH)₂ может устранить временную жесткость, а добавление Na₂CO₃ – 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 Т 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:

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

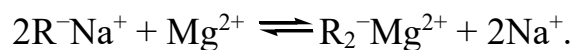
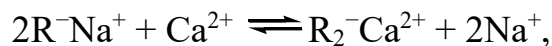
Солесодержание – суммарная концентрация растворенных в воде солей, выраженная в г/л:

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

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:

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

Молярные массы эквивалентов солей жесткости и солей натрия:

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

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

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

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

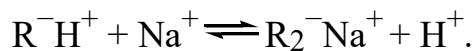
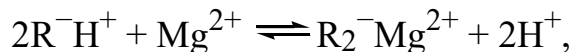
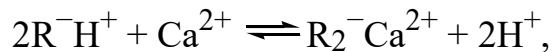
$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M_{\text{Э}} \cdot V} \cdot M_{\text{Э}}(\text{NaHCO}_3) + \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M_{\text{Э}} \cdot V} \cdot M_{\text{Э}}(\text{NaCl}) + \frac{m(\text{NaCl})}{V} = \\ &= \frac{1386 \cdot 10^{-3}}{81,05 \cdot 5} \cdot 84 + \frac{500 \cdot 100^{-3}}{47,62} \cdot 58,5 + \frac{480 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,5 \text{ г/л}. \end{aligned}$$

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

Определение жесткости, солесодержания и рН воды после Н-катионирования

Пример 7. Определите жесткость, солесодержание и рН 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 рН 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

$$\begin{aligned} C_{\text{H}^+} &= \frac{N_{\text{Э, H}^+}}{V} = \frac{m(\text{CaHCO}_3)_2}{M_{\text{Э}} \cdot V} + \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M_{\text{Э}} \cdot V} + \frac{m(\text{NaCl})}{M_{\text{Э}} \cdot V} = \\ &= \frac{1386 \cdot 10^{-3}}{81,05 \cdot 5} + \frac{500 \cdot 10^{-3}}{47,62 \cdot 5} + \frac{480 \cdot 10^{-3}}{58,5 \cdot 5} = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Определим рН обработанной воды:

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

Оборудование и реактивы

Оборудование: штативы с бюретками на 25,0 мл, конические колбы на 250 мл, мерные цилиндры на 50 и 100,0 мл, пипетки, воронки для бюреток, химические стаканы на 50 или 100 мл.

Реактивы: титрованные растворы соляной кислоты HCl, трилона Б; раствор кислотно-основного индикатора: 0,1%-ный раствор метилоранжа; металлоиндикатор – эриохром черный Т (в виде порошка).

Методика и порядок выполнения работы

Опыт 1. Определение карбонатной (временной) жесткости воды методом кислотно-основного титрования

Используя мерный цилиндр, влейте 100 мл исследуемой воды в коническую колбу емкостью 250 мл, добавьте 2-3 капле индикатора метилоранжа и титруйте раствором соляной кислоты до перехода окраски от желтой к оранжевой. Красная окраска раствора вместо оранжевой свидетельствует об избытке прибавленной кислоты, проба перетитрована, опыт необходимо провести заново. Объем соляной кислоты на титрование с метилоранжем до оранжевой окраски раствора отметьте и запишите как $V_{м.о.}^{HCl}$, мл.

Опыт следует провести не менее двух раз при условии, что расхождение между параллельными определениями не превышает 0,1 мл титрованного раствора.

Опыт 2. Определение общей жесткости воды методом комплексометрического титрования

В коническую колбу емкостью 250 мл отмерьте мерным цилиндром 100 мл исследуемой воды, добавьте к пробе воды 5 мл аммиачного буферного раствора и на кончике шпателя – металлоиндикатор – эриохром черный Т. Отметьте цвет раствора. Подготовленную пробу воды медленно при постоянном перемешивании оттитруйте раствором трилона Б 0,1 н концентрации до перехода окраски винно-красной окраски исходного раствора в сине-голубую. Отметьте и напишите израсходованный на титрование объем трилона Б как V_0 (Тр Б), мл.

Повторите титрование. Результаты двух титрований должны различаться не более чем на 0,1 мл.

Расчет общей, карбонатной и некарбонатной жесткости исследованной воды

Расчет *общей и карбонатной* жесткости воды основан на законе эквивалентов для реакции в растворах:

$$C_{н.1} \cdot V_1 = C_{н.2} \cdot V_2$$

где c_n – нормальность раствора (молярная концентрация эквивалента, моль экв/л).

Некарбонатная жесткость воды рассчитывается как разность между общей и карбонатной жесткостью.

Контрольные вопросы

1. Что называют жесткостью воды?
2. Как классифицируют виды жесткости воды ?
3. Единицы измерения жесткости воды.
4. Как определяют общую жесткость воды?
5. На какой реакции основан метод комплексометрического титрования?
6. На изменение какой характеристики раствора реагируют металлоиндикаторы?
7. Как определяют карбонатную жесткость воды?
8. Какие ионы в воде обуславливают карбонатную жесткость воды?
9. Какие ионы в воде обуславливают некарбонатную жесткость воды?
10. Образец воды объемом 1 л содержит 48,6 мг гидрокарбоната кальция и 29,6 мг сульфата магния. Чему равна общая жесткость и солесодержание воды?
11. 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.
12. Образец воды объемом 0,5 л содержит 25 мг гидрокарбоната магния и 13,5 мг хлорида магния. Чему равна общая жесткость и солесодержание воды?
13. 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.
14. На титрование 0,05 л образца воды израсходовано $4,8 \cdot 10^{-3}$ л 0,1 н. HCl. Чему равна карбонатная жесткость воды?
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?
15. При определении общей жесткости воды на титрование 200 мл образца израсходовано 8 мл 0,1 н. раствора трилона Б. Вычислите общую жесткость воды.
16. 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 H₂O израсходовано 1,5 мл 0,1 н. HCl.