ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ

Природная вода представляет собой раствор многих веществ, в том числе, солей, газов, а также веществ органического происхождения.

Важнейшими свойствами природных вод является их жесткость. Жесткость воды определяется содержанием в ней растворимых солей кальция и магния. Степень жесткости принято выражать в миллимолях (ммоль) ионов Ca^{2+} или Mg^{2+} (или обоих ионов) в 1 л воды.

По величине жесткости различают:

- мягкую воду (общая жесткость до 3 ммоль/л);
- воду средней жесткости (3 ÷ 6 ммоль/л);
- жесткую воду (6 ÷ 10 ммоль/л);
- очень жесткую воду (> 10 ммоль/л).

Общая жесткость определяется суммарным содержанием катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Эти ионы входят в состав гидрокарбонатов — $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, что обуславливает так называемую карбонатную жесткость (временную).

Наличие всех остальных солей кальция и магния — в основном сульфатов ($CaSO_4$, $MgSO_4$) и хлоридов ($CaCl_2$, $MgCl_2$) обуславливает некарбонатную (постоянную) жесткость.

ОПЫТ 1. Определение карбонатной жесткости водопроводной воды

Объяснение опыта

Вода, содержащая гидрокарбонаты кальция и магния, имеет щелочную реакцию. Поэтому определение карбонатной жесткости производится путем титрования воды соляной кислотой (HCl) в присутствии индикатора – метилового оранжевого.

Протекающая реакция выражается уравнением:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

$$HCO_3^- + H^+ = H_2O + CO_2$$

Проведение опыта

Реактивы: 0,1 Н раствор соляной кислоты HCl;

индикатор метиловый оранжевый;

исследуемая вода.

Отмерить мерным цилиндром 100 мл водопроводной воды, перелить ее в коническую колбу для титрования. Добавить 2-3 капли индикатора метилового оранжевого.

В бюретку залить 0,1 Н раствор соляной кислоты (HCl). Установить уровень на нулевое деление. После этого приливать соляную кислоту в воду до изменения окраски из желтой в оранжевую. При добавлении кислоты содержимое колбы нужно постоянно перемешивать.

После окончания титрования отметить положение уровня кислоты в бюретке. Объем израсходованной HCl записать в табл. 6.1.

Титрование повторяют еще два раза, каждый раз добавляя в бюретку кислоту до нулевой отметки. Колбочку для титрования нужно каждый раз ополаскивать перед внесением отмеренного объема воды. Результаты каждого титрования заносятся в табл. 6.1.

Расхождение в объеме кислоты не должно превышать 0,1 мл.

Таблица 6.1

Экспериментальные данные

№ титрования	Объем H_2O $V_1(H_2O)$, мл	Объем раствора HCl, пошедшего на титрование V_2(HCl), мл	Средний объем раствора HCl V_2ср(HCl), мл	Нормальная концентрация раствора HCl, C_H(HCl), $\frac{моль-экв}{л}$
1				0,1
2				
3				

Карбонатную (временную) жесткость воды рассчитывают по формуле

$$Ж_К = \frac{C_Н(HCl) \cdot V_2 ср(HCl) \cdot 1000}{V_1(H_2O)}, \quad \frac{ммоль - экв}{л}.$$

ОПЫТ 2. Определение общей жесткости водопроводной воды

Объяснение опыта

Жесткость воды определяют комплексонометрическим методом с применением реактива ЭДТА (трилона Б).

Трилон Б представляет собой двунатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты. Схематично его формулу можно изобразить как $Na_2[H_2Edta]$. Ионы металлов образуют с трилоном Б устойчивые комплексные соединения в соотношении 1:1.

Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, находящиеся в воде, при добавлении индикатора - эриохрома черного Т (схематично H_2R) образуют комплексы винно-красного цвета:

$$Ca^{2+} + R^{2-} \Leftrightarrow CaR\,.$$

синий винно-красный

В условиях анализа эти комплексы разрушаются и образуются более устойчивые бесцветные комплексы с трилоном Б:

$$CaR + Na_2[H_2Edta] = Na_2[CaEdta] + R^{2-} + 2H^{+}.$$

винно-красный бесцветный синий

По завершении титрования окраска раствора приобретает синий цвет, что обусловлено ионами индикатора

$$H_2R \Leftrightarrow 2H^{+} + R^{2-}.$$

темно-лиловый синий

Как видно, реакция сопровождается накоплением ионов водорода. Следовательно, протеканию реакции образования комплексов должна способствовать щелочная среда. Как установлено, наиболее благоприятна слабощелочная среда (pH=8÷10). Обычно такую среду создают, добавляя аммонийную буферную смесь ($NH_4OH + NH_4Cl$).

Проведение опыта

Реактивы: 0,1 Н раствор трилона Б (ЭДТА);

индикатор хромоген черный;

аммонийный буферный раствор (смесь $NH_4OH + NH_4Cl$);

исследуемая вода.

Отмерить мерным цилиндром 100 мл водопроводной воды и перелить ее в коническую колбу. Добавить 5 мл аммонийного буферного раствора для поддержания pH, равным 8 -10. Затем необходимо тщательно перемешать раствор и внести 2-3 капли индикатора хромогена черного. При этом раствор окрасится в винно-красный цвет. Опять перемешать содержимое колбы и медленно, при постоянном перемешивании, титровать из бюретки 0,1 Н раствором трилона Б (ЭДТА) до перехода винно-красной окраски раствора в синюю.

Тирование повторить два раза. Результаты оформить аналогично опыту № 1. Общую жесткость воды рассчитывают по формуле

$$Ж_{общ.} = \frac{C_Н(ЭДТА) \cdot V_2ср(ЭДТА) \cdot 1000}{V_1(H_2O)}, \frac{ммоль-экв}{л}.$$

Рассчитать **некарбонатную** (постоянную) жесткость:

$$Ж_{Н.К.} = Ж_{общ.} - Ж_К, \frac{ммоль-экв}{л}.$$

Сделать вывод, к какому типу воды относится исследованная вода, используя данные по значению $Ж_{общ.}$.

ОПЫТ 3. Умягчение воды химическим методом

Объяснение опыта

Чтобы сделать жесткую воду пригодной для использования во многих технологических процессах применяют умягчение воды различными методами. Применяемые на практике методы устранения жесткости природной воды условно разделяются на химические и физические.

Химические методы устранения жесткости воды основаны на химических реакциях, в результате которых соли кальция и магния, придающие жесткость воде, переводятся в нерастворимые соединения (в осадок). Таких методов несколько.

Если вода обладает только временной жесткостью, для ее устранения применяют известковый способ. То есть к воде добавляют известь $Ca(OH)_2$ в количестве необходимом для осаждения содержащихся в ней гидрокарбонатов кальция и магния по уравнениям реакций:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O,$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + MgCO_3\downarrow + 2H_2O.$$

Образующийся $MgCO_3$ подвергается гидролизу:

$$MgCO_3 + 2H_2O = Mg(OH)_2\downarrow + H_2CO_3.$$

Выделяющаяся углекислота нейтрализуется известью:

$$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + 2H_2O.$$

Общее уравнение:

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + 2H_2O.$$

Таким образом, при взаимодействии извести ($Ca(OH)_2$) с гидрокарбонатами кальция и магния образуются осадки $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$.

Если вода обладает одновременно и временной и постоянной жесткостью, то нередко применяют известково-содовый способ устранения жесткости. Известь ($Ca(OH)_2$) осаждает гидрокарбонаты кальция и магния ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$), а сода (Na_2CO_3) — хлористые и сернокислые соли по реакциям:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4,$$

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 = MgCO_3 + 2NaCl.$$

$MgCO_3$ подвергается гидролизу, а образующаяся при этом углекислота нейтразизуется известью.

При наличии только постоянной жесткости можно применять содовый способ ее устранения. Однако, он рекомендуется при преимущественном содержании в воде солей кальция.

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl.$$

Реакция с солями магния сопровождается образованием углекислоты. В отсутствии извести она остается в воде и может оказать разъедающее действие на металлы.

Проведение опыта

Реактивы: 0,1 Н раствор гидрокарбоната кальция $Ca(HCO_3)_2$;

0,1 Н раствор гидроксида кальция $Ca(OH)_2$;

0,1 Н раствор сульфата кальция $CaSO_4$;

0,1 Н раствор сульфата магния $MgSO_4$;

0,1 Н раствор карбоната натрия Na_2CO_3.

Налить в пробирку 2 мл 0,1 Н раствора $Ca(HCO_3)_2$ и прилить к нему 2,5 мл 0,1 Н раствора $Ca(OH)_2$. Отметить что происходит? Написать уравнение реакции.

Налить в пробирку 2 мл 0,1 Н раствора $CaSO_4$ и добавить 2,5 мл 0,1 Н раствора соды Na_2CO_3. Написать уравнение реакции.

Налить в пробирку 1 мл 0,1 Н раствора $Ca(HCO_3)_2$ и 1 мл 0,1 Н раствора $MgSO_4$. Добавить в нее 2 мл 0,1 Н раствора $Ca(OH)_2$ и 3 мл 0,1 Н раствора Na_2CO_3.

Отметить что происходит. Написать уравнения реакций.

Рассчитать количество извести и соды, необходимое для умягчения определенного объема (V мл) исследуемой воды, жесткость которой определена в опытах №1 и № 2 (в соответствии с вариантом задания):

$$m_{Ca(OH)_2} = \frac{Ж_К \cdot М_Э(Ca(OH)_2) \cdot V(мл)}{1000}, \text{ мг};$$

$$m_{Na_2CO_3} = \frac{Ж_{НК} \cdot М_Э(Na_2CO_3) \cdot V(мл)}{1000}, \text{ мг}.$$

Варианты заданий

$V(H_2O)$, л	1) 2	2) 5	3) 100	4) 500
m $Ca(OH)_2$, мг				
m Na_2CO_3, мг				