

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 66.048.5.069.834

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/13>**Крисенко Т.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Радовенчик Я.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Глушко О.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Сіренко Л.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАСИЧЕННЯ ІОНІВ ПІД ЧАС ІОНООБМІННОГО ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

У роботі наведені результати оцінки відомих на сьогодні хімічних реакцій якісного аналізу вод на наявність іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} з метою використання їх для визначення моменту насичення катіонітів під час пом'якшення води. Зазначено, що сучасні іонообмінні технології управління пом'якшенням води базуються на використанні розрахункового об'єму, який здатна обробити визначена кількість катіоніту для води даних характеристик. Інші методи контролю жорсткості води або надто складні та дорогі (як із використанням аналізатора «АКМС-1»), або не дозволяють фіксувати проскок іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} (як із використанням індикаторних смужок «Водомер – жесткость»). Тому в умовах промисловості бажане використання простих у реалізації та дешевих якісних реакцій. Для якісного аналізу іонів Ca^{2+} запропоновано використовувати реакцію з родизонатом натрію. Серед інших реакцій вона виділяється надзвичайною чутливістю, не потребує попередньої обробки проби води та складних маніпуляцій у процесі аналізу і може бути реалізована обслуговуючим персоналом без спеціальної підготовки. Для якісного аналізу іонів Mg^{2+} вибрано найбільш просту серед існуючих методику з використанням магнезону. Вона досить проста, чутлива, передбачає використання лише одного реагенту і може легко проводитися в умовах виробничого процесу. Перевагою цієї методики є також той факт, що за незначних концентрацій іонів Mg^{2+} осад може не утворюватися, але проба забарвлюється в синій колір, що також дозволяє використовувати її для відкриття іонів Mg^{2+} . Зазначено, що в реальних умовах найбільш прийнятна методика вибирається в кожному конкретному випадку в залежності від характеристик води, кваліфікації персоналу, вимог до результатів аналізу, умов технологічного процесу і т.п. Наведений перелік якісних реакцій дозволяє вибрати прийнятну методику для практично будь-яких умов проведення процесу пом'якшення води. Описано особливості відомих реакцій, умови їх проведення та результати взаємодії, мінімальні концентрації іонів жорсткості, що відкриваються цими реакціями. Використання вибраних реакцій дозволяє оперативно фіксувати проскок іонів жорсткості під час іонообмінного пом'якшення води.

Ключові слова: пом'якшення води, катіоніти, якісний аналіз, іони жорсткості, хімічні реакції на іони жорсткості, родизонат натрію, магnezон.

Постановка проблеми. Останні роки характеризуються негативними змінами в гідросфері. Сьогодні якість води в поверхневих водоймах

є для багатьох промислово розвинутих регіонів України чи не найгострішою проблемою. Підвищення мінералізації поверхневих вод змушує

передбачати попередню обробку питної води з метою її пом'якшення і доведення загальної твердості до рівня 7 мг-екв/дм³ [1, с. 14]. З іншого боку, більшість енергетичних установок вимагають використання води із жорсткістю на рівні 0,03 – 0,05 мг-екв/дм³ і навіть менше [2, с. 151]. Традиційною технологією пом'якшення води є іонообмінна технологія, яка дозволяє замінити у воді іони Ca²⁺ та Mg²⁺ на іони натрію. Основним матеріалом, що забезпечує реалізацію такого обміну, є катіоніти в Na⁺-формі. Оскільки обмінна ємкість катіоніту має чітко визначену величину, то періодично виникає необхідність у відновленні його іонообмінних характеристик. Із точки зору економії та надійності забезпечення якості води важливо досить точно визначити момент насичення катіоніту іонами жорсткості. Тому в технологіях пом'якшення води залишається актуальним питання оперативного контролю за роботою іонообмінників та чітким встановленням моменту початку процесу регенерації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На потужних енергетичних підприємствах, де в структурі передбачено цех хімоводоочистки, проблем із визначенням моменту насичення катіоніту не виникає, оскільки одночасно створюється і працює такий підрозділ, як заводська лабораторія. Тут є можливість проводити кількісний аналіз на іони Ca²⁺ та Mg²⁺ комплексонометричним методом із титруванням трилоном Б у присутності індикатора [3, с. 178]. Очевидно, що такий аналіз можливо проводити лише в лабораторних умовах із використанням значної кількості реактивів для зменшення впливу на результат вимірювання різноманітних домішок. Крім цього, сам аналіз досить трудомісткий, а спектрометрична індикація кінцевої точки титрування ускладнює його ще більше. У виробничих умовах можливе використання аналізатора «АКМС-1», в основі роботи якого лежить потенціометрична методика визначення жорсткості води [4]. Разом із тим аналізатор досить складний, потребує кваліфікованого обслуговування і, відповідно, має значну вартість. Значно простіше та дешевше проводити вимірювання жорсткості води індикаторними смужками «Водомер – жорсткість», які нещодавно почали виготовляти в ТОВ «Норма» в Києві [5]. Робота смужки базується на зміні кольору індикатора еріохром чорний Т у присутності різних реагентів у залежності від жорсткості води. Найбільш значним недоліком смужок є високий мінімальний рівень жорсткості – 1,5 мг-екв/дм³. Якщо для оціночних вимірювань жорсткості води

смужки можуть бути використані, то для визначення моменту проскоку іонів Ca²⁺ та Mg²⁺ вони однозначно не підходять, оскільки діапазон жорсткості води 0 - 1,5 мг-екв/дм³ залишається для них недоступним. Тому сьгодні масово перераховані методи аналізу в процесах іонообмінного пом'якшення води не застосовуються, особливо в системах малої та середньої продуктивності.

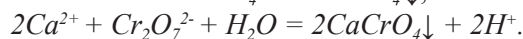
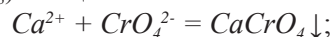
Володіючи початковими характеристиками води, що піддається пом'якшенню, досить просто розрахувати об'єм води, яка гарантовано буде оброблена до необхідних рівнів жорсткості тим чи іншим іонітом у відповідній формі. Для контролю процесу насичення іонітів при цьому найчастіше виходять із об'єму води, який можна пропустити через іонообмінний фільтр до проскоку іонів жорсткості. В якості контрольних параметрів застосовують або допустимий термін фільтрування при постійній витраті, протягом якого через фільтр проходить визначений об'єм води, або вимірюють безпосередньо визначений об'єм води [2, с. 162]. При цьому зазначений об'єм води є чисто розрахунковим і не враховує зміну характеристик води, обмінної ємкості іоніту в процесі роботи, нестабільності роботи насосного обладнання і т.п.

Мета роботи. Метою даної роботи було вивчення відомих якісних хімічних реакцій на іони Ca²⁺ та Mg²⁺, аналіз цих реакцій та вибір найбільш прийнятних для оперативного визначення моменту насичення катіонітів під час пом'якшення води та початку їх регенерації.

Виклад основного матеріалу. Зважаючи на той факт, що жорсткість води визначається переважно вмістом іонів Ca²⁺ та Mg²⁺, вивчення якісних реакцій на них також розділимо на дві частини.

Методики якісного визначення катіонів Ca²⁺.

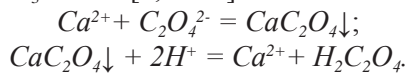
Багато підручників та посібників із аналітичної хімії приводять, як найбільш придатну для візуального контролю, реакцію іонів Ca²⁺ із хроматом K₂CrO₄ чи дихроматом калію K₂Cr₂O₇ [6, с. 71; 7, с. 178; 8, с. 254]. Іони Ca²⁺ утворюють із зазначеними реагентами осад хромату кальцію жовтого кольору, який розчиняється в сильних кислотах (HCl, HNO₃) та ацетатній кислоті:



У той же час не всі автори звертають увагу на деякі особливості приведених реакцій. Перш за все, розчинність хромату кальцію у воді за різних умов складає [9, с. 132] (в г/100 г розчинника): 19°C – 2,3; 70°C – 0,79; 100°C – 0,42. Таким чином, отримати жовтий осад можливо лише під час зливання досить концентрованих розчинів, які під

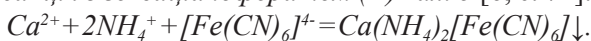
час пом'якшення води не утворюються. Тому, на нашу думку, немає сенсу розглядати дану реакцію більш детально, хоча за інших умов вона може бути досить перспективною – наприклад, під час утилізації регенераційних розчинів іонообмінних установок.

Більш перспективною є реакція з оксалатом амонію $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. У результаті реакції іони Ca^{2+} утворюють білий кристалічний осад CaC_2O_4 , який розчиняється в сильних кислотах і не розчиняється в CH_3COOH [6, с. 72]:



Варто пам'ятати, що під час використання концентрованих розчинів білий дрібнокристалічний осад утворюється відразу, з розбавлених розчинів – поступово [7, с. 179]. Розчинність оксалату кальцію складає $6,2 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. Чутливість реакції складає 100 мкг. Для успішного проведення реакції спочатку оцтовою кислотою виводять $\text{pH} < 7$, краплями додають реагент до проби і встановлюють $\text{pH} > 7$ (слабкоаміачне середовище). При низьких концентраціях компонентів рекомендується нагрівання суміші, що сприяє формуванню осаду. Очевидно, що труднощі з формуванням осаду у випадку незначних концентрацій іонів кальцію та нестабільність самого процесу перешкоджають використанню методики у процесах пом'якшення води.

Більш чутливою, хоча і більш складною, є реакція з гексаціанофератом (II) калію [6, с. 72]:

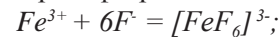


Чутливість реакції складає 25 мкг. Недоліком реакції є необхідність проведення її в аміачному буфері та під час нагрівання суміші до кипіння. Методика аналізу полягає в такому. До проби досліджуваного розчину додають 2 краплі аміачного буферного розчину ($\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$), нагрівають до кипіння і осаджують приблизно рівним об'ємом насиченого розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. У результаті випадає білий кристалічний осад $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Досить складна реакція, яка потребує приготування значної кількості реагентів, тому її застосування під силу кваліфікованим хімікам.

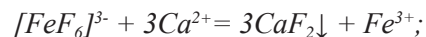
Цікавим видається опосередковане виявлення іонів Ca^{2+} (крапельна реакція). Для її реалізації на фільтрувальний папір наносять краплю розчину FeCl_3 і обережно підсушують над полум'ям газового пальника. Далі на оброблений фільтрувальний папір додають розчин NaF і також висушують. Третім на фільтрувальний папір наносять розчин NH_4SCN . Тепер, якщо на оброблений таким чином

фільтрувальний папір капнути розчин, що містить катіони кальцію, – пляма набуває криваво-червоного забарвлення. Процеси, що мають місце під час реалізації цієї методики, пояснюються протіканням кількох реакцій [6, с. 72]:

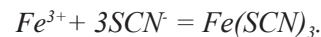
– оброблення змоченого хлоридом заліза (III) фільтрувального паперу розчином NaF супроводжується його знебарвленням у результаті зв'язування іонів Fe^{3+} у безбарвні фторидні комплекси



– під час змочування фільтрувального паперу розчином, що містить іони Ca^{2+} , останні утворюють із фторид-іонами малорозчинну сполуку, руйнують фторидні комплекси і звільняють катіони Fe^{3+} :



– наявність вільних катіонів Fe^{3+} супроводжується утворенням комплексу $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ криваво-червоного кольору, що і надає смужці паперу забарвлення:



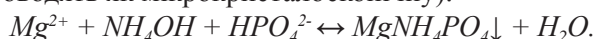
Досить цікава методика, однак придатна для використання в лабораторних умовах, тому не може вважатися придатною для виробничих умов.

Надзвичайно чутливою є реакція іонів кальцію з родизонатом натрію [7, с. 196; 10, с. 161]. Суть методики полягає в такому. Родизонат натрію ($\text{Na}_2\text{C}_6\text{O}_6$) з іонами Ca^{2+} в лужному середовищі утворює осад основного родизонату кальцію фіолетового кольору. Характерною особливістю реакції є її миттєвість, відсутність осаду в нейтральному середовищі та висока чутливість, яка складає біля 1 мкг іонів Ca^{2+} . Для проведення аналізу необхідно краплю нейтрального чи слабкокислого досліджуваного розчину помістити на листок фільтрувального паперу чи фарфорову пластинку. Далі додають краплю свіжого 0,2%-го розчину родизонату натрію та 1 краплю 0,5 н розчину NaOH . За наявності у пробі іонів Ca^{2+} випадає осад фіолетового кольору. Реакції заважають іони Ba^{2+} та Sr^{2+} , однак, зважаючи на їх невисокі концентрації в природних водах у порівнянні з концентраціями іонів Ca^{2+} , їх впливом на результат аналізу можна знехтувати. Це одна з найбільш придатних реакцій для оперативного контролю вмісту іонів кальцію.

На закінчення варто також згадати кілька традиційних відомих реакцій з іонами Ca^{2+} . Так, давно відомо, що під час внесення в полум'я газового пальника солі кальцію, змоченої краплею розчину хлоридної кислоти, полум'я стає цегляно-червоним. За відсутності інших катіонів II аналітичної групи відкривати іони Ca^{2+} можливо з використанням карбонату амонію. У результаті такої реакції

утворюється білий осад, практично нерозчинний у воді.

Методики якісного визначення катіонів Mg^{2+} . Реакція іонів Mg^{2+} з *гідрофосфатом натрію* Na_2HPO_4 у присутності NH_4Cl і NH_4OH є чи не найчастіше рекомендованою в аналітичній хімії [6, с. 186]. У присутності хлориду амонію і аміаку в результаті реакції утворюється малорозчинна подвійна сіль $MgNH_4PO_4$ у вигляді білих блискучих кристалів, форма яких залежить від способу їх одержання: за повільного – призми, трапеції, за швидкого – зірочки або дендрити (якщо реакцію проводять як мікрокристалоскопічну):



Однак методика має кілька суттєвих недоліків. Перш за все, це широкий перелік катіонів більшості металів, що утворюють малорозчинні фосфати з Na_2HPO_4 чи гідроксиди з NH_4OH і підлягають попередньому вилученню. Сама реакція і утворена тверда фаза значною мірою залежить від умов осадження – температури, співвідношення компонентів, використаних реагентів і т.п. Методика потребує нагрівання компонентів та тривалого (до 2-х годин) терміну витримки для росту кристалів. Крім цього, зважаючи на значну розчинність осадженої твердої фази, при початкових концентраціях іонів Mg^{2+} менше 50 мг/дм³ отримання стабільних результатів значно ускладнюється. Разом із тим рекомендується така методика проведення аналізу. У пробірку вносять 5-10 крапель проби води, додають 3-5 крапель розчину NH_4Cl і 2-3 краплі NH_4OH . Розчин NH_4Cl додають для того, щоб запобігти утворення осаду $Mg(OH)_2$. Після перемішування вносять 3-5 крапель розчину Na_2HPO_4 . Повертають пробірку в горизонтальне положення, щоб реакційна суміш потрапила на її стінки, і потирають їх скляною паличкою. Далі пробірку тримають 1-2 хв на водяній бані і охолоджують до кімнатної температури. Осадження на стінках пробірки блискучих кристаликів свідчить про наявність іонів магнію у пробі води.

За подібних умов реалізується і реакція з *8-оксихіноліном* HO_x [6, с. 87]. Із солями магнію в амонійному середовищі при рН = 8 - 13 8-оксихінолін утворює жовто-зелений кристалічний осад оксихіноліату магнію $Mg(Ox)_2$.

Недоліком реакції є той факт, що 8-оксихінолін утворює забарвлені комплекси з катіонами Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} тощо, тому вони підлягають попередньому вилученню. У загальному випадку методика аналізу виконується таким чином. У пробірку вносять 2-3 краплі досліджу-

ваної води і 2-3 краплі розчину NH_4OH . У результаті у пробірці випадає білий осад $Mg(OH)_2$. До утвореної суміші додають краплями розчин амоній хлориду NH_4Cl до повного розчинення білого осаду $Mg(OH)_2$. До отриманого розчину краплями додають спиртовий розчин 8-оксихіноліну до утворення жовто-зеленого осаду. Чутливість реакції складає 0,1 мг іонів магнію. Багатостадійність методики та необхідність деяких навичок хіміка значно ускладнюють її використання.

Гідроксид магнію має здатність адсорбувати на своїй поверхні деякі *органічні барвники*. При цьому забарвлення утвореної сполуки відрізняється від забарвлення барвника в розчині. До таких барвників відносять магнезон, феназо, титановий жовтий, хіналізарин, дифенілкарбазид та ін. Цим реакціям можуть заважати солі амонію (не випадає $Mg(OH)_2$), тому їх необхідно видаляти.

З іонами Mg^{2+} у лужному середовищі *хіналізарин* утворює малорозчинну сполуку синього кольору [6, с. 88]. Вважається, що хіналізариновий лак є адсорбційною сполукою гідроксиду магнію з реагентом. Реакції не заважають іони лужноземельних металів, а також іони алюмінію за великого надміру лугу (Al^{3+} зв'язується за цієї умови у стійкі безбарвні гідросокомплекси). Іони амонію перешкоджають виявленню Mg^{2+} , оскільки сприяють розчиненню $Mg(OH)_2$, знижуючи рН середовища. У лужному середовищі розчин хіналізарину забарвлений у фіолетовий колір, тому проводять контрольний дослід. Для проведення аналізу до 1-2 крапель проби води додають стільки ж розчину реагенту та 30%-го розчину лугу. У результаті у пробірці утворюється осад синього кольору. Для контролю в іншу пробірку до 1-2 крапель дистильованої води додають ті ж реактиви, що наведені вище, – розчин забарвлюється у фіолетовий колір. Необхідність порівняння забарвлення робить методику досить суб'єктивною та знижує стабільність отримуваних результатів.

Досить перспективною, на наш погляд, є реакція з *магнезоном* [8, с. 189]. Вважається, що реакція базується на адсорбції барвника на поверхні частинок гідроксиду магнію під час його осадження. Реакція проходить миттєво і супроводжується зміною початкового забарвлення барвника. Чутливість реакції складає 0,5 мкг іонів магнію. Для проведення аналізу на предметне скло наносять краплю проби води і додають 1-2 краплі лужного розчину магнезону (0,1%-й розчин в 2 н $NaOH$). У результаті реакції утворюється синій осад. Суттєвою перевагою аналізу є те, що за малих концентрацій іонів Mg^{2+} осад не утворюється, але

розчин забарвлюється в синій колір. Якщо розчин кислий, з'являється жовте забарвлення. Для переходу забарвлення необхідно додати до нього кілька крапель розчину лугу. Проведенню реакції заважають іони Ni^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , гідроксиди яких також забарвлюються магнезоном.

Ще одним барвником, що специфічно реагує з гідроксидом магнію, є *феназо*. Феназо – порошок темно-коричневого кольору, не розчинний у воді та кислотах, але розчинний у спирті, ацетоні, хлороформі та бензолі. Розчин барвника має жовтий колір, який під час додавання лугу переходить у червоний. Феназо утворює з гідроксидом магнію забарвлену в синьо-фіолетовий колір адсорбційну сполуку. Для виконання аналізу в пробірку наливають 0,5 мл проби води, додають 2 мл 4 н. розчину NaOH і 1 краплю 0,001%-го спиртового розчину феназо, струшують і дають постояти протягом 1 хвилини. У пробірці спостерігається випадання синьо-фіолетового осаду [10, с. 101].

Аналогічно взаємодіє з гідроксидом магнію і барвник *титановий жовтий* [11, с. 134]. Розчин барвника в лужному середовищі має жовто-буре забарвлення. У процесі взаємодії з гідроксидом магнію забарвлення змінюється на червоне. При цьому іони лужних і лужноземельних металів не заважають реакції. Для аналізу до 3-5 краплин нейтрального або слабкокислого досліджуваного розчину додають 3-5 краплин титанового жовтого і 1 мл 2 н. розчину лугу. Залежно від кількості магнію в розчині утворюється червоний осад, або розчин забарвлюється в червоний колір, у випадку слабого нагрівання якого випадає червоний осад.

Дещо складніше відбувається реакція між іонами магнію та гіпойодитом калію KIO [11, с. 131]. Під час осадження магнію у вигляді гідроокису в присутності йоду випадає осад буро-червоного кольору. Вважається, що цей осад є адсорбційною сполукою $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і I_2 . Реакція краще відбувається з реактивом, що являє собою лужний розчин йоду і йодиду калію.

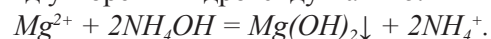
Реакцію розчинення йоду в лузі можна зобразити таким рівнянням:



Як видно, реакція являє собою оборотний процес. Під час додавання реактиву до розчину солі магнію іони Mg^{2+} зв'язуються іонами OH^- і випадають в осад у вигляді $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Утворення цього осаду супроводжується зменшенням кількості іонів OH^- у розчині, внаслідок чого рівновага реакції зміщується вліво; при цьому виникає достатня кількість вільного йоду для адсорбції осадом $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Оскільки під час зберігання

іони IO^- , які постачають вільний йод для реакції, розкладаються, в аналізі слід користуватись свіжоприготовленим реактивом. Для проведення аналізу до 0,5 мл 0,1 н. розчину йоду в KI додають краплями 1 н. розчин NaOH або KOH , поки розчин не стане лимонно-жовтим. До цього розчину приливають 1 мл досліджуваної води. У присутності магнію випадає буро-червоний осад. Цією реакцією можна виявляти магній у присутності барію, стронцію і кальцію. Солі амонію і кислоти заважають реакції, оскільки гідроокис магнію у присутності солей амонію не випадає, а в кислотах розчиняється.

Відомо, що гідроксид магнію, частково розчиняючись у воді, встановлює $\text{pH} \approx 10$, за якого фенолфталеїн має яскраво-червоний колір [12, с. 139]. На цій властивості базується ще одна якісна реакція на іони магнію. Для її виконання на смужку фенолфталеїнового паперу наносять краплю досліджуваної води і краплю 2 н. розчину аміаку. Папір забарвлюється в червоний колір, що залежить як від присутності надлишку NH_4OH , так і від утворення гідроксиду магнію:



Далі, тримаючи папір над полум'ям, обережно висушують його. При цьому аміак і вода випаровуються, і червоне забарвлення зникає. Якщо тепер обробити папір краплею води, то в присутності Mg^{2+} він знову почервоніє внаслідок часткового розчинення $\text{Mg}(\text{OH})_2$. За відсутності іонів Mg^{2+} папір залишиться безбарвним.

Реакція дозволяє виявляти іони Mg^{2+} у присутності іонів K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} і Ba^{2+} . Катіони Al^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} , Pb^{2+} , Ag^+ , Hg_2^{2+} повинні бути попередньо видалені. Іони NH_4^+ , присутність яких перешкоджає випадінню осаду $\text{Mg}(\text{OH})_2$, повинні також бути відсутніми. Недоліком методики також є необхідність проведення її в лабораторних умовах.

Висновки. Проведені дослідження підтверджують наявність достатньої кількості якісних реакцій для встановлення моменту насичення іоніту під час пом'якшення природних вод. Для якісного аналізу іонів Ca^{2+} найбільш прийнятною видається реакція з використанням родизонату натрію. Вона надзвичайно чутлива, не потребує попереднього оброблення проби води та складних маніпуляцій у процесі аналізу. Для якісного аналізу іонів Mg^{2+} найбільш простою та прийнятною видається методика з використанням магнезону. Вона досить проста, передбачає використання лише одного реагенту, досить чутлива і може проводитися в умовах виробничого

процесу. Перевагою цієї методики є також той факт, що за незначних концентрацій іонів Mg^{2+} осад може не утворюватися, але проба також забарвлюється в синій колір. У той же час найбільш прийнятна методика вибирається в кожному конкретному випадку в залежності від

характеристик води, кваліфікації персоналу, вимог до результатів аналізу, умов технологічного процесу і т.п. Приведений перелік якісних реакцій дозволяє вибрати прийнятну методику для практично будь-яких умов проведення процесу пом'якшення води.

Список літератури:

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. ДСанПіН 2.2.4 – 171 – 10.
2. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. Москва : ДеЛи принт, 2004. 301 с.
3. Лалак Н., Походило Є. Аналіз методів визначення загальної твердості води. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2009. № 70. С. 177–181.
4. Аналізатор жёсткости воды «АКМС-1». URL : <https://www.lumex.ru/catalog/akms-1.php> (дата звернення: 02.01.2020).
5. Полосы индикаторные «Водомер – жесткость». URL : <https://www.norma.in.ua/vodomer-zhestkost.htm> (дата звернення: 02.01.2020).
6. Бутченко Л.І., Хохотва О.П., Терещенко О.М., Глушко О.В., Крисенко Т.В. Аналітична хімія. Методи якісного хімічного аналізу (теоретичні аспекти та лабораторний практикум) : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 152 с.
7. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Качественный анализ. Т. 1. Москва : Химия, 1970. 472 с.
8. Рева Т.Д., Чхало О.М., Зайцева Г.М., Сліпчук В.Л., Калібабчук В.О. Аналітична хімія. Якісний аналіз : навч.-метод. посіб. Київ : ВСВ «Медицина», 2017. 280 с.
9. Реми Г. Курс неорганической химии. Т. 2. Москва : Изд. иностранной литературы, 1963. 919 с.
10. Мурашова В.И., Тананаева А.Н., Ховякова Р.Ф. Качественный химический дробный анализ. Москва : «Химия», 1976. 280 с.
11. Жаровський Ф.Г., Пилипенко А.Т., П'ятницький І.В. Аналітична хімія. Київ : «Вища школа», 1969. 560 с.
12. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. Москва : «Химия», 1973. 584 с.

Krysenko T.V., Radovenchyk I.V., Hlushko O.V., Syrenko L.V. QUALITATIVE REACTIONS FOR CONTROL OF ION-EXCHANGE RESIN SATURATION LEVEL IN WATER SOFTENING PROCESSES

The results of the analysis of the known chemical reactions for qualitative analysis of the Ca^{2+} and Mg^{2+} ions presence in water are presented. Such reactions can be used to determine the moment of saturation of cation-exchange resin at water softening processes. It is stated that modern ion-exchange management technologies of water softening process are based on calculated water volume, which can be processed by a certain amount of cation-exchange resin for water of given characteristics. Other methods of water hardness control are too complex and expensive (such as, for example, “AKMS-1” analyzer) or do not allow to fix the leap of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions (such as the “Vodomer –Hardness” indicator strips). Therefore, it is desirable for industry to use simple to implement and cheap qualitative reactions. For the qualitative analysis of Ca^{2+} ions, it was proposed to use a qualitative reaction with sodium rhodisonate. This qualitative reaction is extremely sensitive, does not require pre-treatment of water samples and complex manipulations during the analysis process and can be implemented by maintenance personnel without additional special training. For the qualitative analysis of Mg^{2+} ions, the simplest available method is reaction with magnezon. It is very simple and sensitive reaction, it involves only one reagent and can be easily carried out in a production process. The main advantage of this method is the fact that at low concentrations of Mg^{2+} ions, the precipitate may not form, but the sample become blue, which also allows to use this reaction for Mg^{2+} ions determination. It is stated that under real conditions the most appropriate method must be chosen in each case separately, depending on the water characteristics, qualification of personnel, requirements for the analysis results, conditions of the technological process, etc. The following list of quality reactions allows chooses an acceptable method for practically any conditions of the water softening process. The features of known reactions, the conditions of their realization and the results of their interaction, the minimal concentrations of ions revealed by these reactions are given. Reactions that are suitable for operational control of water softening processes have been identified. The use of such reactions allows effectively identifying the leap of hardness ions during the ion-exchange water softening processes.

Key words: water softening, cation-exchange resin, qualitative analysis, hardness ions, chemical identification of stiffness ions, sodium rhodisonate, magnezon.