

УДК 628.168

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КОАГУЛЯНТІВ В ПРОЦЕСАХ ВОДООЧИЩЕННЯ

**Яковлєва Поліна Єгорівна,**

студентка;

**Панайотова Тетяна Дмитрівна,**

кандидат хімічних наук, доцентка, доцентка

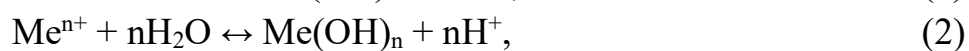
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Tetyana.Panayotova@kname.edu.ua](mailto:Tetyana.Panayotova@kname.edu.ua)

Актуальність проблеми забезпечення населення високоякісною питною водою підвищується і впливає на соціальний, екологічний і економічний стан у країні. Вибір методів очищення води визначається її хімічним складом і властивостями. Одним із головних технологічних процесів очищення природної води є коагулювання. Це пов'язано з його достатньою ефективністю та відносною дешевизною.

Коагуляцію застосовують для зниження седиментаційної та агрегативної стійкості іоногенних, колоїдних і високодисперсних домішок, що забруднюють воду. Суть її полягає в тому, що у воду додають коагулянти. Найчастіше – це солі алюмінію й феруму, а також їх суміші, але можна використовувати й солі інших багатовалентних катіонів – магнію, титану. Відбувається процес гідролізу коагулянту, який є одним із найважливіших етапів в процесі коагуляційного очищення води. Повнота його перебігу впливає на якість знебарвлення, дезодорації, прояснення, видалення забрудників та вміст залишкового алюмінію в очищеній воді, а також на витрату дороговартісного коагулянту.

Гідроліз солей, які використовують для коагуляції, забезпечується фізико-хімічними умовами, які відповідають природі обраної солі [1]. Перебіг реакції відбувається постадійно [1]:



$$K = [\text{Me}(\text{OH})_n], \quad (3)$$

$$K = \frac{K_W}{K_{\text{дMe}(\text{OH})_n}}, \quad (4)$$

де  $\text{Me}^{n+}$  – катіон,

$\text{A}^-$  – аніон солі,

$K$  – константа гідролізу,

$K_W$  – йонний добуток води,

$K_{\text{дMe}(\text{OH})_n}$  – константа дисоціації гідроксиду металу.

Фактори, які сприяють збільшенню константи гідролізу, що приводять до більш повного його перебігу, визначаються рівнянням (3) [1]:

- зменшення концентрації коагулянту в воді (розбавлення розчину);
- зв'язування йонів  $H^+$  в недисоційовані молекули;
- видалення важкорозчинних гідроксидів  $Me(OH)_n$  із зони реакції.

Під час гідролізу коагулянтів відбувається підкислення води за рахунок утворення кислот за реакціями (1) і (2). Тому для посилення гідролізу, крім виведення гідроксидів металів із зони реакції, необхідна нейтралізація надлишку йонів  $H^+$ . Для цього у воду додають лужні реагенти, оскільки лужності води, що визначається наявністю йонів  $HCO_3^-$ , які здатні вступати в реакцію з катіоном  $H^+$ , у воді, що підлягає очищенню, як правило, недостатня. За несприятливих фізико-хімічних умов спостерігається неповнота гідролізу солей, і катіони електроліта-коагулянта залишаються в очищеній воді (вторинне забруднення). Інформативною величиною щодо фазових переходів у розчині та ступеня гідролізу електроліту є добуток розчинності гідроксидів металів (продуктів коагуляції) та швидкість процесу гідролізу [1].

Гідроліз йонів металів, які утворюють гідроксиди з меншою константою дисоціації, відбувається більш повною мірою. Із наведених даних щодо добутку розчинності:

$$DP(Me(OH)_n) = [Me^{n+}][OH^-]^n$$

$$DP(Al(OH)_3) = 1 \cdot 10^{-32};$$

$$DP(Fe(OH)_2) = 1 \cdot 10^{-15};$$

$$DP(Fe(OH)_3) = 3,2 \cdot 10^{-38},$$

слідуює, що  $Fe(OH)_3$  менш розчинний, ніж  $Al(OH)_3$  і  $Fe(OH)_2$ . Це означає, що солі феруму(III) гідролізуються повніше, ніж солі алюмінію і феруму(II). Тому під час вибору коагулянту слід віддавати перевагу солям феруму(III).

На сьогодні найпоширенішими неорганічними коагулянтами є алюміній сульфат  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , ферум(II) сульфат  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  та ферум(III) хлорид –  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . Використовують також основні сульфати алюмінію різної основності та змішані коагулянти на основі феруму та алюмінію [2].

До сьогодні в нашій країні використовують переважно солі алюміній сульфату та алюміній хлориду. До негативних властивостей цих коагулянтів можна віднести такі:

- необхідність регулювання показника рН;
- неповнота гідролізу за температур нижче  $+4$  °С, що призводить до появи йонів алюмінію у водопровідній мережі (це неприпустиме через високу токсичність йонів алюмінію для живих організмів);

– зміна індексу стабільності води.

Відмічено ще одну екологічну проблему за використання солей алюмінію: крім вторинного забруднення води йонами алюмінію, додається забруднення газовою фазою CO<sub>2</sub> [1]. Додавання у воду Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> знижує її лужність. Процес супроводжується утворенням вільної карбонатної кислоти:

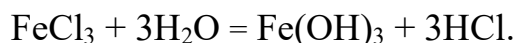
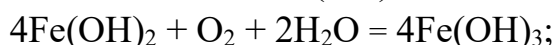
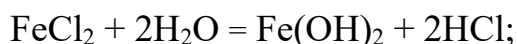
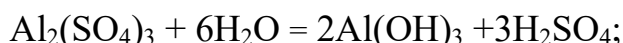


внаслідок чого підвищується агресивність води відносно бетону (будівельного матеріалу споруд) [3]. Корозійна активність робочих розчинів роблять їх небажаними в технології очистки питної води.

Коагуляція солей феруму практично не залежить від температурного режиму, ефективна в широкому інтервалі показника рН середовища. Заміна солей алюмінію на солі феруму в практиці методу коагуляції дозволить суттєво зменшити концентрацію органічних речовин у очищеній воді. Солі феруму ефективні в процесах очищення води з інтенсивним забарвленням, оскільки здатні утворювати стійкі комплексні сполуки з гуміновими речовинами. Недоліком феруму(III) хлориду є здатність катіонів феруму утворювати кольорові комплекси з деякими органічними лігандами, присутніми у воді. При цьому забарвленість води зростає [1].

Використання змішаних коагулянтів дозволяє позбутися недоліків, які мають окремі сполуки, і набути ряд цінних якостей.

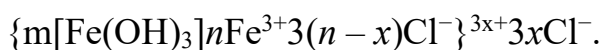
Коагуляція як солями алюмінію, так і феруму супроводжується підвищенням кислотності води, тобто в результаті їх гідролізу розчин стає корозійно активним. Цей недолік усувається додаванням у воду лужних реагентів, найчастіше Ca(OH)<sub>2</sub>. Гідроксиди тривалентного феруму мають найменшу розчинність порівняно з іншими, їх гідроліз менше залежний від рН та температури води. Разом із тим у технології водоочистки частіше використовують солі FeSO<sub>4</sub>, як відносно дешеві. Коагулянт Fe(OH)<sub>2</sub>, що утворюється під час гідролізу двовалентного феруму, більш розчинний порівняно з Fe(OH)<sub>3</sub>. З метою отримання Fe(OH)<sub>3</sub> в процесі обробки води реагентом FeSO<sub>4</sub> двовалентні йони феруму окиснюють до Fe<sup>3+</sup>, інтенсифікуючи процес додаванням до води лугу у вигляді вапняного молока:



Розробки науковців у напрямку пошуку нових реагентів дозволили отримати гідроксосульфати та гідроксохлориди алюмінію, які характеризуються

підвищеною основністю, майже повністю гідролізуються у воді, що дозволяє знизити залишок алюмінію у очищеній воді [1].

Електроліти, здатні до гідролізу, дестабілізують стійкі водні суспензії та емульсії. Вони гідролізуються з утворенням золів гідроксидів металів. Колоїдні частинки гідроксидів металів позитивно заряджені, мають значну питому поверхню та високі адсорбційні властивості відносно розчинних та колоїдно-розчинних домішок води:



Агрегативна стійкість системи характеризується наявністю енергії поверхневого шару диспергованих компонентів та подвійного електричного шару на поверхні утвореної твердої фази. Тому важливою характеристикою коагуляційного процесу може бути зміна  $\xi$ -потенціалу. Електрокінетичний потенціал  $\xi$  (визначають методом електрофорезу) виникає в динаміці потоку на межі дотику поверхонь колоїдних дисперсій, і для домішок природної води становить приблизно 70 мВ. Його зменшення вказує на послаблення агрегативної стійкості дисперсної системи [1].

Вивчення залежності електрокінетичного потенціалу від концентрації коагулянту показало, що за однакових умов алюміній гідроксохлорид (АГХС) –  $\text{Al}_n(\text{OH})_{(3n-m)}\text{Cl}_m$  –  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  швидше зменшує  $\zeta$ -потенціал, ніж алюміній сульфат. Результати досліджень свідчать, що заміна традиційного алюміній сульфату на алюміній гідроксохлорид підвищує показники якості очищення води [4].

Переваги алюмінієвих коагулянтів підвищеної основності порівняно із сульфатом алюмінію, що традиційно застосовується, очевидні, проте в Україні переважає виробництво останнього. Гідроксохлориди ефективніші, ніж сульфат алюмінію, але дорогі, що й стримує їх впровадження.

### Список використаних джерел

1. Шкавро З.М., Антонюк Н. Г. Теорія та практика використання коагулянтів у технології її водоочищення. Наукові записки. Хімічні науки та технології. 2014. Том 157. С. 65–78.
2. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія очищення води коагулюванням сульфатом алюмінію. Вода і водоочисні технології. 2012. № 4(6). С. 4–14.
3. Кульський Л. А. Теоретичні основи та технологія кондиціонування води. Київ: Наукова думка, 1980. 564 с.
4. Мельник О.Д., Пукіш А.В. Дослідження процесу коагуляції в технології очищення бурових стічних вод. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 2(35). С. 125–128.