

16. Etienne, M. Analytical investigation of the chemical reactivity and stability of aminopropyl-grafted silica in aqueous medium [Text] / M. Etienne, A. Walcarius // Talanta. – 2003. – Vol. 59, Issue 6. – P. 1173–1188. doi:10.1016/s0039-9140(03)00024-9
17. Perrez-Quintanilla, D. Preparation of 2-mercaptobenzothiazole – derivatized mesoporous silica and removal of Hg (II) from aqueous solution [Text] / D. Perrez-Quintanilla, J. Hierro, M. Fajardo, I. Sierra // J. Environ. Monit. – 2006. – Vol. 8, Issue 1. – P. 214–222. doi:10.1039/b507983g
18. Арендарюк, Е. Н. Сорбционно-спектроскопическое определение ртути на γ -аминопропилсиликагеле [Текст] / Е. Н. Арендарюк, А. К. Трофимчук, Э. С. Яновская, Л. А. Батковская // Укр. хим. журн. – 2001. – Т. 67, № 9. – С. 33–36.
19. Симонова, Л. Н. Сорбционно-фотометрическое определение различных форм ртути с помощью силикагеля с привитой N-бензоил-N'-пропилтиомочевинной [Текст] / Л. Н. Симонова, И. М. Брускина, А. К. Трофимчук, А. С. Тряпин // Журн. аналит. химии. – 1989. – Т. 44. – С. 661–665.
20. Айвазов, Б. В. Практическое руководство по хроматографии [Текст] / Б. В. Айвазов. – М.: Высш. шк., 1968. – С. 81–88.
21. Костенко, Е. Е. Твердофазная спектрофотометрия – эффективный метод определения тяжелых металлов в пищевых объектах [Текст] / Е. Е. Костенко, М. И. Штокало // Журн. аналит. химии. – 2004. – Т. 59, № 12. – С. 1276–1282.
22. Костенко, Е. Е. Хіміко-аналітичні властивості сульфогфталейнових барвників, іммобілізованих на аніоніті АВ-17×8 та їх використання в аналізі харчових об'єктів [Текст] / Е. Е. Костенко // Методи та об'єкти хім. аналізу. – 2011. – Т. 6, № 1 – 2. – С. 56 – 70.
23. Пат. № 49538 А. Україна. МПК 7 C01G13/00. Спосіб визначення мікрокількостей ртуті (II) [Текст] / Костенко Е. Е.; заявник і власник патенту Національний університет харчових технологій. – № 2001128967; заявлено 25.12.01; Надрук. 16.09.2002, Бюл. № 9. – 4 с.
24. Николаева, Т. М. Определение железа методом твердофазной спектрофотометрии [Текст] / Т. М. Николаева, А. И. Лазарев // Заводская лаборатория. – 1992. – Т. 58, № 10. – С. 10–13.
25. Брыкина, Г. Д. Твердофазная спектрофотометрия [Текст] / Г. Д. Брыкина, Д. Ю. Марченко, О. А Шпигун // Журн. аналит. химии. – 1995. – Т. 50, № 5. – С. 484–491.
26. Брыкина, Г. Д. Твердофазная спектрофотометрия [Текст] / Г. Д. Брыкина, Л. С. Крысина, В. М. Иванов // Журн. аналит. химии. – 1988. – Т. 43, № 9. – С. 1547–1560.

Вивчено процеси електрохімічного опріснення розчинів з високим вмістом іонів жорсткості в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами. Показано, що ефективно знесолення розчину сульфату магнію, який знаходиться між аніонними мембранами, відбувається за рахунок дифузії сульфат-аніонів в анодну область та гідролізу іонів магнію за рахунок дифузії гідроксид-аніонів з катодної камери в роботу

Ключові слова: електродіаліз, опріснення води, аніонні мембрани, шахтні води, католіт, аноліт

Изучены процессы электрохимического опреснения растворов с высоким содержанием ионов жесткости в трехкамерном электролизере с двумя анионными мембранами. Показано, что эффективное обессоливание раствора сульфата магния, который находится между анионными мембранами, происходит за счет диффузии сульфат-анионов в анодную область и гидролиза ионов магния за счет диффузии гидроксид-анионов с катодной камеры в рабочую

Ключевые слова: электродиализ, опреснение воды, анионные мембраны, шахтные воды, католит, анолит

УДК 521.359.7

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ЗНЕСОЛЕННЯ РОЗЧИНІВ, ЩО МІСТЯТЬ ІОНИ ЖОРСТКОСТІ

І. М. Макаренко

Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Кафедра екології та
технології рослинних полімерів
Національний технічний університет
України «Київський
політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: dsts1@ukr.net

1. Вступ

Надмірна мінералізація поверхневих вод є гострою проблемою для ряду регіонів України. Обумовлено це як природними, так і антропогенними факторами. Проблема актуальна для Донбасу, Приазов'я, Криму, ряду регіонів центральних та західних областей України. Насамперед це стосується

районів з розвинутою промисловістю та шахтобудуванням.

До таких районів слід віднести райони з потужними підприємствами вугледобувної промисловості, райони розміщення підприємств ядерної промисловості, залізрудні райони, базові підприємства нафтодобувної та нафтопереробної промисловості, металургії та інших галузей виробництва.

Загострюється дана проблема через нерівномірний розподіл водних ресурсів. Густозаселені райони, як правило, знаходяться в маловодних областях України – на сході та півдні.

Проблему неможливо вирішити простим згортанням виробництв. Закриття шахт і підприємств призводить до різкого падіння економіки країни. Надлишкові шахтні води скидаються в гідрологічну мережу і з непрацюючих шахт. На сьогодні на 1 тону видобутого вугілля скидається до 10 м³ шахтних вод. По мірі закриття шахт цей показник зростає.

Не дивлячись на те, що зараз значна кількість населення України та велика кількість підприємств споживають воду із підвищеним рівнем жорсткості і мінералізації сучасні технології знесолення води застосовуються вкрай рідко. Обумовлено це недостатністю як законодавства в області водоспоживання, так і відсутністю маловідходних, економічно доцільних технологій опріснення води.

На сьогоднішній час існуючі методи знесолення високомінералізованих вод (електродіаліз, випарювання, зворотній осмос) достатньо енергоємні, а також вимагають високої якості попереднього освітлення води (до 0,1–0,5 мг/дм³). Також складною є проблема утилізації концентратів, каламутних розсолів або сухих солей.

Без вирішення даної проблеми вищезгадані технології практично неможливо застосовувати в межах чинного екологічного законодавства. Тому досить актуальною є проблема розробки ефективних процесів переробки засолених рідких відходів.

2. Аналіз літературних даних

До найбільш перспективних методів [1–3] переробки засолених рідких відходів слід віднести електродіалізні методи, серед яких варто виділити процеси електродіалізу. Дані методи дозволяють не лише пом'якшувати [1], опріснювати [2–4] слабомінералізовані води, але і переробляти концентрати з отриманням розчинів чистих реагентів. До них можна віднести отримання лугу та сірчаної кислоти [5], лугу та соляної кислоти [6], лугу, сірчаної кислоти та гіпохлориту натрію [7]. Ці проблеми успішно вирішуються при застосуванні високоселективних іонообмінних мембран [4, 8]. Проте, ситуація суттєво ускладнюється при наявності у воді [9, 10] іонів жорсткості. Дані іони при електродіалізі здатні утворювати малорозчинні плівки із продуктів гідролізу на катодах, підвищувати опір системи або призводити до отруєння катіонообмінних мембран [11]. Подібні процеси відбуваються і при переробці методом електродіалізу відпрацьованих регенераційних розчинів іонного обміну, які містять іони жорсткості.

Як показано в роботі [12], проблема переробки засолених рідких відходів, що містять іони жорсткості, зустрічаються дуже часто. Це стосується як іонного обміну, так і баромембранних процесів.

Проведення обробки засолених рідких відходів у дві стадії (пом'якшення, електродіаліз) значно ускладнює технологію. Тому доцільно розробити такий метод

електродіалізу, який забезпечував би знесолення води при її ефективному пом'якшенні, що було предметом дослідження даної роботи.

3. Мета та задачі досліджень

Метою даної роботи було вивчення процесів електродіалізу розчинів сульфату магнію, шахтної води з високим рівнем жорсткості в електродіалізері з двома аніонними мембранами та визначення впливу умов електродіалізу на ефективність знесолення та пом'якшення води.

Для досягнення цієї мети вирішувались наступні задачі:

1) вивчення процесу електродіалізу сульфату магнію із застосуванням трикамерного електродіалізера з двома аніонними мембранами МА-41 з встановленням закономірності дифузії сульфат-іонів в анодну область та зміну рН середовища в робочій зоні;

2) визначення впливу рН середовища в робочій зоні трикамерного електродіалізера на процес гідролізу іонів магнію та пом'якшення води;

3) оцінка впливу лужності католіту на процес знесолення та пом'якшення модельного розчину та шахтної води;

4) оцінка впливу магнезиту при пом'якшенні та знесоленні шахтної води в трикамерному електродіалізері з двома аніонними мембранами.

4. Методика пом'якшення та знесолення води в трикамерному

Як електродіалізер використовували пластикову комірку, об'ємом 600 см³, поділену на 3 рівні частини аніонними мембранами МА-41. Площа поверхні мембрани рівна площі аноду і катоду і дорівнює 0,2 дм². Анод використовували з титану, вкритого оксидом рутенію, катод – із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Катодну область заповнювали розчинами лугу концентрацією: 0,01 Н; 0,1 Н; 0,25 Н; 0,5 Н та 1 Н. В анодній області був розчин сірчаної кислоти, концентрацією 50 мг-екв/дм³.

Робочі розчини та шахтну воду при проведенні експерименту розміщували в середній комірці між аніонними мембранами. Електродіаліз проводили при силі струму 0,1–1,2 А при напрузі 10–50 В.

Як водні середовища використовували розчини сульфату магнію, концентрацією приблизно 460 мг-екв/дм³ та шахтну воду наступного складу: [Cl⁻]=650 мг-екв/дм³, [SO₄²⁻]=1050 мг-екв/дм³, Ж=36,5 мг-екв/дм³, [Ca²⁺]=20,5 мг-екв/дм³, Л=7,5 мг-екв/дм³, рН=8,87.

При проведенні електродіалізу через однакові проміжки часу контролювали лужність в катодній та робочій зоні, рН в робочій зоні, вміст хлоридів, сульфатів, іонів жорсткості в робочому розчині та вміст хлоридів і сульфатів в аноліті.

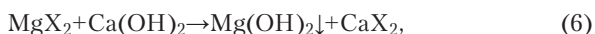
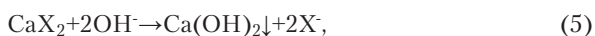
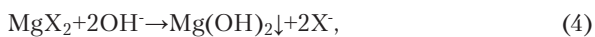
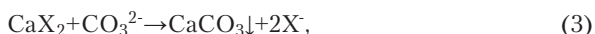
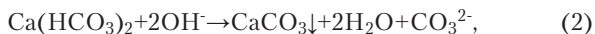
Вихід за струмом розраховували як відношення реальної кількості видалених з розчину хлоридів та сульфатів до теоретично розрахованої кількості [9]. Ступінь пом'якшення (Z, %) розраховували за відомими формулами [12]:

$$Z = \left(1 - \frac{Ж_K}{Ж_{II}}\right) \cdot 100, \tag{1}$$

де $Ж_K$ – жорсткість обробленої води; $Ж_{II}$ – жорсткість необробленого розчину.

5. Оцінка ефективності знесолення води в трикамерному електролізері: результати досліджень та їх обговорення

При проведенні електролізу в трикамерному електролізері відбувається утворення гідроксид-аніонів в катодній камері при видаленні водню. Так, як заряд утворених аніонів не може бути скомпенсованим за рахунок міграції катіонів в катодну область, відділену аніонною мембраною, непроникною для катіонів, то надлишок утворених гідроксид-аніонів переходить з католіту в робочий розчин (стічну воду). Кількість гідроксид-аніонів, переміщених в робочу комірку, еквівалентна кількості хлоридів та сульфатів, переміщених в анодну область. Надлишок гідроксид-аніонів із робочої комірки також може переміщатись в анодну камеру. Але при наявності в робочій камері гідрокарбонату кальцію та іонів магнію гідроксид-аніони ефективно зв'язуються з утворенням нерозчинних осадів.



де X^- – аніон.

Так як при використанні магnezиту іони кальцію з води можна легко видаляти у вигляді карбонату кальцію (реакція 6), то було цікавим вивчити процеси знесолення води при наявності у воді магnezиту.



На початковому етапі досліджень вивчили процеси електролізу в трикамерному електролізері розчинів сульфату магнію.

Застосування двох аніонних мембран, які розділяють електролізер на три камери ($V_k=0,2 \text{ дм}^3$) забезпечує роботу електролізера з перенесенням аніонів з катодної камери в робочу і далі із робочої камери в анодну камеру. Рух катіонів можливий лише в межах окремих камер. Їх перехід з анодної та робочої камери затримують аніонні мембрани. Саме з цим пов'язано зростання опору системи.

Проте за таких умов іони жорсткості не попадали в катодну камеру і не спричиняли негативного впливу на процес електродіалізу за рахунок осадження гідроксидів магнію та кальцію на поверхні катоду. Нейтралізація надлишку гідроксид аніонів, що утворювався при електродіалізі на катоді відбувалась за рахунок їх дифузії в робочу камеру. Накопичення гідроксид-аніонів

в робочій камері відбувалось лише при досягненні рН 10–11. В подальшому гідроксид-аніони зв'язувались при гідролізі іонів магнію. В анодну камеру в основному переходили сульфат-аніони. Це зумовлювало високі значення виходу за струмом кислоти. Вихід за струмом гідроксиду магнію також був високим. Це підтверджують результати, приведені на рис. 1, 2.

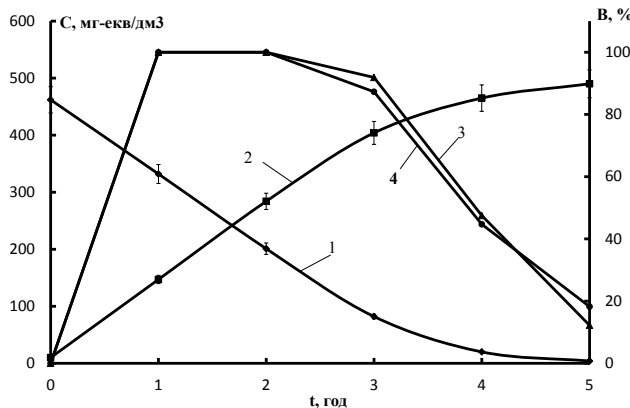


Рис. 1. Результати електродіалізу розчину сульфату магнію ($[Mg^{2+}] = 458 \text{ мг-екв/дм}^3$) в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами МА-41 при густині струму $2,17 \text{ А/дм}^2$ та концентрації луку в катодній камері 10 мг-екв/дм^3 1 – кислотність в анодній камері, мг-екв/дм³; 2 – концентрація іонів магнію в робочій камері, мг-екв/дм³; 3 – вихід за струмом сірчаної кислоти, %; 4 – вихід за струмом гідроксиду магнію, %

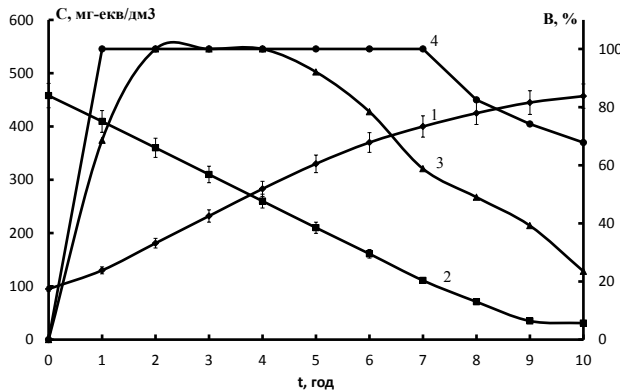


Рис. 2. Результати електродіалізу розчину сульфату магнію ($[Mg^{2+}] = 462 \text{ мг-екв/дм}^3$) в трикамерному електролізері з двома мембранами МА-41 при густині струму $5,83 \text{ А/дм}^2$ та концентрації луку в катодній камері 100 мг-екв/дм^3 1 – концентрація іонів магнію в робочій камері, мг-екв/дм³; 2 – кислотність в анодній зоні, мг-екв/дм³; 3 – вихід за струмом гідроксиду магнію, %; 4 – вихід за струмом сірчаної кислоти, %

Як видно із приведених рисунків, ефективність вилучення з води сульфату магнію, вихід за струмом кислоти в значній мірі залежить від концентрації гідроксиду натрію в катодній камері.

В процесі електродіалізу в анодній області відбувалась концентрація сірчаної кислоти, а в робочій зоні утворювався осад гідроксиду магнію. В разі використання в катодній області розчину гідроксиду натрію концентрацією 10 мг-екв/дм^3 , як джерела гідрок-

сид-іонів, концентрація іонів магнію знижувалась з 458 мг-екв/дм³ до 31 мг-екв/дм³ за 10 годин, так як при напрузі 45–50 В сила струму не перевищувала 0,26 А.

При збільшенні концентрації гідроксид-іонів в катодній області до 100 мг-екв/дм³ концентрація іонів магнію практично падає до нуля (зменшилася з 462 мг-екв/дм³ до 4,0 мг-екв/дм³). При цьому сила струму за тієї ж напруги (50 В) зросла до 0,7 А, а час електродіалізу скоротився до 5 годин. Отже, вихід за струмом зростає із підвищенням лужності в катодній області.

Таким чином, достатньо легко переробляти методом електродіалізу розчини з високим рівнем вмісту іонів магнію. Це дає можливість переробляти електрохімічним методом розчини, отриманні при регенерації катіонів в технологіях пом'якшення та знесолення води.

При очищенні шахтної води ([Cl⁻]=18,3 мг-екв/дм³, [SO₄²⁻]=21,9 мг-екв/дм³, Ж=36,5 мг-екв/дм³, [Ca²⁺]=20,5 мг-екв/дм³, Л=7,5 мг-екв/дм³, рН=8,87) (табл. 1, рис. 3) в робочу камеру у воду додавали магnezит у кількості, рівній різниці між концентрацією іонів кальцію та лужністю розчину. В даному випадку ця доза складала 13,0 мг-екв/дм³.

Як видно з табл. 1 та рис. 3, вилучення хлоридів та сульфатів із шахтної води проходить досить ефективно. При силі струму 0,2 А при щільності струму всього 1,0 А/дм² основна маса хлоридів та сульфатів переходить з робочої камери в аноліт вже за 3,5 години. При цьому, протягом перших двох годин вихід за струмом сягав 70–74 %, а потім поступово падав до 53–55 %, що пов'язано із знесоленням робочого розчину.

Слід відмітити, що в усіх дослідях ефективність знесолення робочих розчинів не залежала від лужності католіту при концентрації луку в ньому від 0,1 Н до 1 Н. Це пов'язано з тим, що електропровідність 0,1 Н розчину луку достатня, і тому катодні процеси не є лімітуючими в даному випадку. При цьому, концентрація хлоридів та сульфатів не перевищує 40 мг-екв/дм³, що значно нижче, ніж концентрація луку в катодній області. При лужності католіту 10 мг-екв/дм³ (рис. 1) та при концентрації сульфату магнію в робочій зоні приблизно 460 мг-екв/дм³ саме лужність католіту може лімітувати процес електродіалізу в цілому, і тому в даному випадку ефективність електродіалізу залежить від лужності католіту.

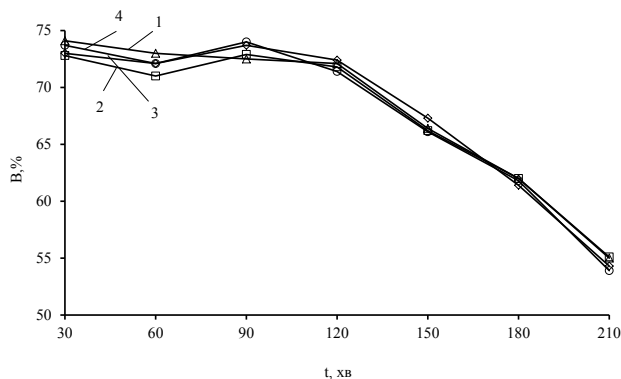
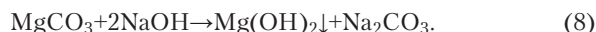


Рис. 3. Залежність виходу за струмом (В) хлоридів та сульфатів при знесоленні шахтної води в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами АМ-41 від часу при дозі магnezиту 13,0 мг-екв/дм³ (I=0,2 А, U=20 В, j=1,0 А/дм²); 1 – концентрація луку в катодній області 0,1 Н; 2 – концентрація луку в катодній області 0,25 Н; 3 – концентрація луку в катодній області 0,5 Н; 4 – концентрація луку в катодній області 1,0 Н

Як видно з рис. 4, процес електродіалізу проходить із підвищенням лужності робочого розчину. Не дивлячись на те, що при протіканні реакцій 1–6 гідроксид-аніони, що переходять з католіту в робочу зону, ефективно зв'язуються, лужність розчину зростає. При цьому також відмічено підвищення рН середовища з 8,94 до 10,20–10,85. Обумовлено це тим, що поряд з гідрокарбонатами, хлоридами та сульфатами кальцію і магнію у воді присутні катіони натрію. Тому при знесоленні та пом'якшенні води в розчині залишається певна кількість карбонату або гідроксиду натрію. Якщо врахувати наявність в робочій камері магnezиту, то головним чином підвищення лужності води відбувається за рахунок утворення карбонату натрію (реакція 7):



Слід відмітити, що після електролізу шахтної води та відстоювання осадів, які утворюються за реакціями (1–3, 5–7) відбувається ефективно пом'якшення води (рис. 4, 5). Ступінь пом'якшення сягає 96,4–100,0 %.

Таблиця 1

Залежність концентрації сульфатів і хлоридів при знесоленні шахтної води в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами АМ-41 від часу електролізу (D_{магnezиту}=13,0 мг-екв/дм³, I=0,2 А, U=20 В, j=1,0 А/дм²)

t, год	[SO ₄ ²⁻], мг-екв/дм ³								[Cl ⁻], мг-екв/дм ³							
	I'	II'	I''	II''	I'''	II'''	I''''	II''''	I'	II'	I''	II''	I'''	II'''	I''''	II''''
0,0	21,9	50,0	21,9	50,0	21,9	50,0	21,9	50,0	18,3	0,0	18,3	0,0	18,3	0,0	18,3	0,0
0,5	18,3	53,6	18,2	53,7	17,9	54,0	18,2	53,0	15,0	3,3	14,9	2,8	15,0	0,5	15,1	3,1
1,0	14,8	57,1	14,5	57,4	14,4	57,2	14,5	52,9	12,2	6,3	12,0	4,0	12,1	2,7	12,3	6,3
1,5	11,1	60,9	10,8	61,0	10,8	61,5	10,9	60,4	9,0	8,3	8,9	6,7	9,2	6,0	9,2	8,0
2,0	7,3	64,7	7,2	64,6	7,0	64,0	6,9	63,9	6,1	10,5	5,9	7,5	6,0	8,5	6,1	9,4
2,5	4,9	66,9	4,8	67,0	4,8	66,7	4,5	66,5	4,4	11,7	4,3	6,2	4,5	9,1	4,5	10
3,0	2,7	69,0	2,6	69,2	2,5	68,9	2,2	69,1	2,8	11,0	2,9	6,0	2,7	8,4	2,9	9,5
3,5	1,6	70,3	1,5	70,4	2,6	69,7	1,5	69,5	2,1	10,6	1,7	5,5	2,4	7,9	1,8	8,5

Примітки: ' – концентрація луку в катодній області 0,1 Н; '' – концентрація луку в катодній області 0,25 Н; ''' – концентрація луку в катодній області 0,5 Н; '''' – концентрація луку в катодній області 1,0 Н; I – робоча область; II – анодна область

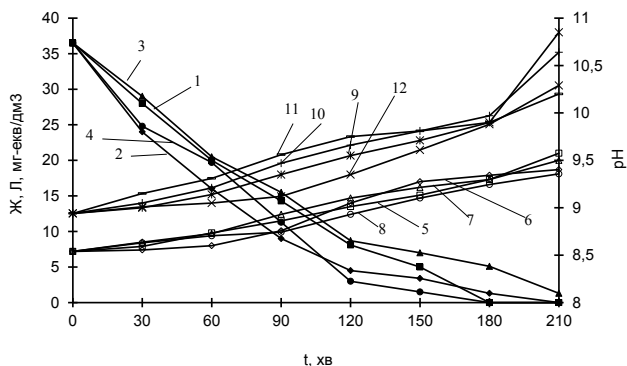


Рис. 4. Вплив часу електролізу шахтної води в трикамерному електролізері (дві аніонні мембрани АМ-41) на зміну її жорсткості, лужності та рН середовища; ($D_{\text{магнезиту}}=13,0$ мг-екв/дм³, $I=0,2$ А, $U=20$ В, $j=1,0$ А/дм²); 1, 2, 3, 4 – жорсткість, мг-екв/дм³; 5, 6, 7, 8 – лужність, мг-екв/дм³; 9, 10, 11, 12 – рН; лужність в катодній області: 1, 5, 9 – 0,1Н, 2, 6, 10 – 0,25 Н, 3, 7, 11 – 0,5 Н, 4, 8, 12 – 1,0 Н

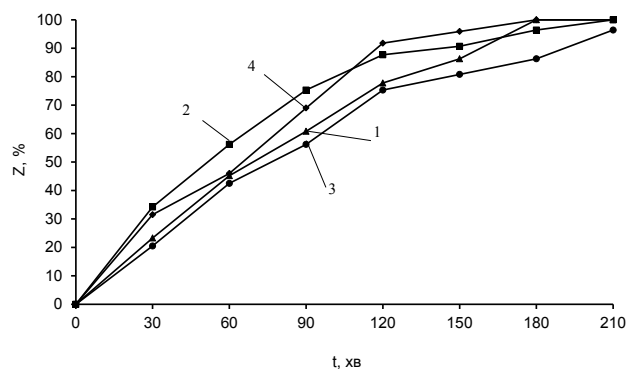


Рис. 5. Залежність ефективності пом'якшення шахтної води від часу електролізу в трикамерному електролізері (дві аніонні мембрани АМ-41) ($D_{\text{магнезиту}}=13,0$ мг-екв/дм³, $I=0,2$ А, $U=20$ В, $j=1,0$ А/дм²); лужність в катодній області: 1 – 0,1Н, 2 – 0,25 Н, 3 – 0,5 Н, 4 – 1,0 Н

По мірі знесолення шахтної води, що обумовлено дифузією хлоридів і сульфатів із робочого розчину в анодну область, зростає кислотність аноліту. Це зростання пропорційне кількості видалених сульфатів і частково кількості видалених хлоридів. Частина хлоридів видалається з аноліту у вигляді активного хлору. Це повністю відповідає даним, приведеним у роботах [9, 11].

Таким чином, із приведених результатів видно, що при застосуванні трикамерного електролізера з двома аніонними мембранами при розміщенні робочих розчинів в міжмембранному просторі можна ефективно знесолювати воду, незалежно від концентрації іонів жорсткості. При використанні магнезиту можна досягти високого ступеню пом'якшення води при мінімальному зростанні лужності та рН розчину.

6. Висновки

Після проведення комплексного дослідження процесів електродіалізу модельного розчину та шахтної води, що містять іони жорсткості, в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами було:

1. Доведено, що при застосуванні трикамерного електролізера з двома аніонними мембранами можна ефективно знесолювати воду електродіалізом, незалежно від рівня її жорсткості.

2. Встановлено, що при лужності католіту більше 0,1 мг-екв/дм³ концентрація луку в катодній області не впливає на ефективність знесолення та пом'якшення стічної води.

3. Показано, що додавання магнезиту в робочу камеру сприяє підвищенню ефективності пом'якшення води в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами за рахунок переведення іонів кальцію в нерозчинні карбонати.

4. Визначено, що кислотність в анодній камері зростає пропорційно кількості вилучених з робочого розчину хлоридів та сульфатів з урахуванням утворення та виділення активного хлору.

Література

- Гончарук, В. В. Умягчение воды в электролизере с керамической мембраной [Текст] / В. В. Гончарук, Р. Д. Чеботарева, В. А. Багрий, С. Ю. Баштан, С. В. Ремез // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27, № 5. – С. 460–470.
- Feina, Xu Electrodialysis with ion exchange membranes in organic media [Text] / Xu Feina, Innocent Christophe, Poureelly Gerald // Separ. and Purif. Technol. – 2005. – Vol. 43, Issue 1. – P. 17–24. doi:10.1016/j.seppur.2004.09.009
- Дыганова, Р. Я. Исследование динамики процесса умягчения воды в аппарате ЭХУ [Текст] / Р. Я. Дыганова, Е. О. Шинкевич, С. Р. Бариева // Изв. вузов. Пробл. энерг. – 2003. – № 1–2. – С. 128–135.
- Wisniewski, J. Donnan dialysis for hardness removal from water before electro-dialytic desalination [Text] / J. Wisniewski, A. Rozanska // Desalination. – 2007. – Vol. 212, Issue 1-3. – P. 251–260. doi:10.1016/j.desal.2006.11.008
- Писарска, Б. Анализ условий получения H₂SO₄ и NaOH из растворов сульфата натрия методом электродиализа [Текст] / Б. Писарска, Р. Дилевски // Журнал прикладной химии. – 2005. – Т. 78, № 8. – С. 33–38.
- Шаблій, Т. О. Електродіаліз розчину хлориду натрію з одержанням соляної кислоти та луку [Текст] / Т. О. Шаблій, В. В. Іванюк, М. Д. Гомеля // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2011. – № 1 (11). – С. 67–71.
- Голтвяницька, О. В. Видалення та розділення хлоридів і сульфатів при іонообмінному знесоленні води [Текст] / О. В. Голтвяницька, Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля, С. С. Ставська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 6 (55). – С. 40–44.
- Ayala-Bribiesca, E. Nature identification and morphology characterization of anion-exchange membrane fouling during conventional electro-dialysis [Text] / E. Ayala-Bribiesca, G. Pourcelly, L. Bazinet // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007. – Vol. 308, Issue 1. – P. 182–190. doi:10.1016/j.jcis.2006.11.012

9. Чхенадзе, Н. В. К определению допустимой величины кальциевой жёсткости при электродиализе минерализованных вод с одно-временным концентрированием [Текст] / Н. В. Чхенадзе, Ц. С. Курцхалиа // GEN: Georg. Eng. News. – 2004. – № 4. – С. 118–122.
10. Кучерик, Г. В. Електрохімічне вилучення хлоридів із природних вод і лужних регенераційних розчинів [Текст] / Г. В. Кучерик, Ю. А. Омельчук, М. Д. Гомеля // Збірник наукових праць СХУЯЕ та П. – 2011. – Т. 2, № 38. – С. 189–196.
11. Шаблій, Т. О. Електрохімічна переробка відпрацьованих розчинів, що утворюються при регенерації катіонітів [Текст] / Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля, Є. М. Панов // Екологія і промисловість. – 2010. – № 2. – С. 33–38.
12. Шаблій, Т. О. Створення нових реагентів і технологій для захисту водойм від забруднення промисловими стоками [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 21.06.01 / Т. О. Шаблій // Екологічна безпека. – Київ, 2014. – 39 с.

Доступними та порівняно простими фізико-хімічними методами досліджено вплив катіонних поверхнево-активних речовин з різною структурою гідрофобного ланцюга на зміну структури поверхні силікатного мінералу монтморилоніту. Доведено, що при збільшенні довжини гідрофобної частини при адсорбції алкіламонійних солей відбувається формування подвійного шару органічних катіонів, що призводить до значного покращення адсорбційних властивостей

Ключові слова: поверхня, адсорбція, монтморилоніт, четвертинні алкіламонійні соли, седиментація, макроелектрофорез, хром, кобальт

Доступными и сравнительно простыми физико-химическими методами исследовано влияние катионных поверхностно-активных веществ с разной структурой гидрофобной цепи на изменение структуры поверхности силікатного мінерала монтморилоніта. Доказано, что при увеличении длины гидрофобной части при адсорбции алкіламоніевих солей происходит формирование двойного слоя органических катионов, которое приводит к значительному улучшению адсорбционных свойств

Ключевые слова: поверхность, адсорбция, монтморилонит, четвертичные алкіламоніевые соли, седиментация, макроелектрофорез, хром, кобальт

УДК 544.723.2, 544.72.05

ЗМІНА СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ МОНТМОРИЛОНІТУ ПРИ АДСОРБЦІЇ КАТІОННИХ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН

А. О. Голембіовський
Аспірант*

E-mail: a.golemb@yahoo.com

А. М. Брезіцька*

E-mail: annabrezitska@gmail.com

Л. М. Спасьонова

Кандидат хімічних наук, доцент*

E-mail: lar_spas@yahoo.com

*Кафедра хімічної технології кераміки та скла
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Шаруваті силікати досить поширені у багатьох галузях промисловості через високі величини питомої поверхні, здатності до набухання, катіонообмінної ємності, і, як наслідок, значних адсорбційних ємностей [1]. Серед набухаючих глинистих мінералів найбільш широке застосування отримав монтморилоніт (ММТ), в якому між двома шарами кремнекисневих тетраєдрів (Т) розташований шар алюмокисневих октаєдрів (О). Внаслідок ізоморфних замішень тетраєдричних атомів Si^{4+} на Al^{3+} , та октаєдричних Al^{3+} на Mg^{2+} або Fe^{2+} в структурі ММТ накопичується негативний заряд, який компенсується гідратованими обмінними катіонами, такими як Na^+ або Ca^{2+} , які розташовуються у міжшаровому просторі між двома паралельними шарами структури Т–О–Т. Гідратація неорганічних

катіонів на іонообмінних місцях обумовлена тим, що смектити формуються у водних середовищах, та, як наслідок, ці катіони слабо утримуються лише електростатичною взаємодією.

В дуже розведених водних суспензіях Na –ММТ дисоціює на невеликі катіони та великі негативно заряджені силікатні шари, які проявляють властивості поліелектроліту [2]. Таким чином, дисоційовані Т–О–Т шари можуть адсорбувати інші неорганічні та органічні катіони. При неповній дисоціації відбувається лише часткове деламінування шарів та спостерігається утворення тактоїдів, що складаються з декількох паралельних Т–О–Т шарів, які тримаються електростатичною взаємодією з обмінними катіонами в міжшаровому просторі. Вода та полярні органічні молекули притягуються на іонообмінні позиції та можуть інтеркалюватись в міжшаровий простір, що