

*В роботі приведено результати очищення від сульфатів концентратів, що утворюються при нанофільтраційному очищенні шахтних вод та вод з підвищеною мінералізацією. Показано, що ефективність процесу залежить від витрати та співвідношення реагентів*

*Ключові слова: баромембранні процеси, нанофільтрування, концентрат, коагулянт, демінералізація*

*В работе приведены результаты очистки от сульфатов концентратов, которые образуются при нанофильтрационной очистке шахтных вод и вод с повышенной минерализацией. Показано, что эффективность процесса зависит от расхода и соотношения реагентов*

*Ключевые слова: баромембранные процессы, нанофильтрация, концентрат, коагулянт, деминерализация*

*The paper presents the results of treatment of sulfate concentrates, which are formed during nanofiltration purification of mine waters and waters with high salinity. It is shown that the effectiveness of the process depends on the flow and the ratio of reagents*

*Keywords: membrane filtration processes, nanofiltration, concentrate, coagulant, demineralization*

## ПЕРЕРОБКА КОНЦЕНТРАТІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОМУ ОЧИЩЕННІ ВОД З ПІДВИЩЕНОЮ МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ

**В. В. Рисухін**

директор

ТОВ «Технології природи»

м. Алчевськ, вул. Московська 4а

Контактний тел.: 06442 – 533 – 00

e-mail: vvr@vumk.com

**Т. О. Шаблій**

Кандидат технічних наук, доцент\*

Контактний тел.: 044 454 91 40

e-mail: dsts1@ukr.net

**М. Д. Гомеля**

Доктор технічних наук, професор

\*Кафедра екології та технології рослинних полімерів

інженерно-хімічного факультета НТУУ «КПІ»

Національний технічний університет України «Київський

політехнічний інститут»

Київ-217, вул. Закревського 13, кв. 138

Контактний тел.: 236 60 83

e-mail: m.gomelya@kpi.ua

### 1. Вступ

Проблема очищення води з підвищеним рівнем мінералізації сьогодні досить актуальна для України. Особливо гостро стоїть вона в промислово розвинутих регіонах України, де внаслідок роботи підприємств чорної та кольорової металургії, нафтогазової та вугільної промисловості, інших галузей виробництва в природне середовище попадає велика кількість забруднених мінералізованих вод. Частіше за все шахтні води забруднені завислими і розчиненими мінеральними речовинами. Вони, як правило, характеризуються підвищеним вмістом сульфатів (приблизно 400-900 мг/дм<sup>3</sup>), підвищеною лужністю (4-16 мг-екв/дм<sup>3</sup>), жорсткістю (7-16 мг-екв/дм<sup>3</sup>), підвищеним рівнем мінералізації (2,1-4,5 мг/дм<sup>3</sup>).

Для очищення води з підвищеною мінералізацією перспективним є використання баромембранних методів. В разі, коли концентрації хлоридів невисокі для очищення води використовують процес нанофільтрування. Головною проблемою в даному ви-

падку є переробка концентратів. Проте, якщо врахувати, що в даному процесі в концентраті накопичуються в основному іони жорсткості, гідрокарбонати та сульфати, проблему переробки таких розчинів можна вирішити шляхом їх реагентного пом'якшення та очищення від сульфатів.

На сьогодні в літературі детально розглянуто процеси вилучення сульфатів у вигляді сульфату кальцію [1], нерозчинних сполук барію [2,3], сульфідів свинцю [4], при комплексній обробці води вапном та алюмінієвими коагулянтами – гідроксосульфатом - [5], гідроксохлоридами [6,7,8,9] алюмінію та алюмінатом натрію [10]. Проте використання сполук барію та свинцю є дорогим і призводить до вторинного забруднення води високотоксичними сполуками. Сульфат кальцію розчинний у воді. Процеси очищення води від сульфатів вапном та алюмінієвими коагулянтами добре вивчені для розчинів із вмістом сульфатів 400-1200 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому жорсткість води не перевищувала 15 мг-екв/дм<sup>3</sup>. У разі очищення концентратів, вміст сульфатів в них може коливатись від 1200 до 4500

мг/дм<sup>3</sup>, жорсткість може сягати 20-60 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Очевидно, це в значній мірі буде впливати на ефективність очищення води.

Тому цікаво було визначити ефективність процесів очищення води від сульфатів при їх осадженні в разі обробки вапном та алюмінієвими коагулянтами з розчинів з концентрацією сульфатів до 5000 мг/дм<sup>3</sup>.

В даному випадку, якщо враховувати, що в концентратах нанофільтраційного очищення води вміст хлоридів, як правило, не перевищує 100 мг/дм<sup>3</sup>, то при повторному використанні очищених концентратів в технологічному процесі водо підготовки не буде відбуватися накопичення хлоридів у воді, навіть за умови певного зростання їх концентрації в очищених концентратах. Тому в якості коагулянтів доцільно використовувати гідроксосульфати алюмінію, вибір яких на Україні сьогодні є досить широким.

Метою даної роботи було визначення ефективності процесу очищення модельних розчинів близьких за складом до концентратів нанофільтраційного очищення води від сульфатів при комбінованій обробці їх вапном та алюмінієвими коагулянтами в залежності від концентрації сульфатів, витрати та співвідношення реагентів за умов незначного вторинного забруднення води використаними реагентами.

**Залежність ефективності видалення сульфат-іонів з модельного розчину ( $[SO_4^{2-}] = 29,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=21,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}] = 1,8$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}] = 19,7$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl^-] = 95$  мг/дм<sup>3</sup>; Л=19,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>) від витрати вапна та 2/3 ГОХА**

2. Методика експерименту	№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Доза 2/3 ГОХА по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	pH	$[SO_4^{2-}]$ мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup> (ОН <sup>-</sup> ; загальна)	$[Cl^-]$ , мг/дм <sup>3</sup>	Ступінь видалення іонів SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , А, %	Ступінь пом'якшення, Z, %
При проведенні досліджень використовували модельні розчини із вмістом сульфатів від 26,0 до 93,8 мг-екв/дм <sup>3</sup> , жорсткістю від 13,0 до 37,0 мг-екв/дм <sup>3</sup> , лужністю від 2,9 до 19,0 мг-екв/дм <sup>3</sup> , концентрацією хлоридів до 100,0 мг/дм <sup>3</sup> . Як реагенти використовували вапно, гідроксохлорид алюмінію (ГОХА) – АКВА-АУРАТ-ТМ-30, який за своїм складом відповідає 2/3 ГОХА, гідроксоалюмінат натрію.	1	21,54	4,5	7,3	1030	23,0	0; 2,6	415	20,5	4,2
	2	21,54	5,4	7,2	1090	27,5	0; 3,0	480	15,9	0,0
	3	31,46	4,5	7,5	1133	19,5	0; 4,5	420	12,6	18,8
	4	31,46	5,4	7,6	1116	28,5	0; 3,2	491	13,9	0,0
	5	31,46	6,8	7,5	1017	28,5	0; 5,0	582	21,5	0,0
	6	47,19	4,5	7,4	1120	7,5	0; 4,4	417	13,6	68,8
	7	47,19	6,8	7,5	600	18,0	0; 6,7	579	53,7	25,0
	8	76,05	4,83	7,5	800,0	3,4	0,0; 9,5	435	42,5	84,2
	9	87,65	4,83	7,7	578,0	2,2	0,0; 12,5	447	58,5	89,8
	10	99,25	4,83	8,9	433,0	2,4	0,0; 17,0	453	68,8	88,8
	11	110,85	4,83	9,7	480,0	11,7	4,8; 21,5	446	65,5	45,6
	12	122,45	4,83	11,3	515,0	20,0	5,8; 34,0	424	63,0	7,0
	13	134,05	4,83	11,4	425,0	27,0	11,0; 37,0	419	69,5	0,0
	14	99,25	5,32	9,1	481,0	2,8	0,0; 16,5	470	65,4	87,0
	15	99,25	5,80	8,7	330,0	3,0	0,0; 17,0	485	76,3	86,0
	16	99,25	6,28	7,9	385,0	3,7	0,0; 11,0	546	72,3	82,8
	17	99,25	6,77	7,8	500,0	4,5	0,0; 7,0	551	64,1	79,1
	18	99,25	7,25	7,6	340,0	6,0	0,0; 8,5	610	75,6	72,1
	19	76,05	7,25	7,9	476,0	5,0	0,0; 9,0	625	21,0	76,7
	20	87,65	7,25	7,8	512,5	6,0	0,0; 9,0	630	63,2	72,1
	21	99,25	7,25	7,7	328,5	8,0	0,0; 8,0	627	76,4	62,8
	22	110,85	7,25	7,8	195,0	11,0	0,0; 9,0	619	86,0	48,8
	23	122,45	7,25	7,9	130,0	12,0	0,0; 9,0	622	90,7	44,2
	24	134,05	7,25	7,9	164,0	15,0	0,0; 10,0	623	88,2	30,2

При обробці води вапном та алюмінієвим коагулянтом враховували витрату вапна як на пом'якшення води, так і на утворення малорозчинного осаду складу 3СаО·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3СаSO<sub>4</sub>·31Н<sub>2</sub>O [5] з урахуванням вмісту кальцію в водному розчині.

Воду при перемішуванні обробляли розрахованою кількістю суспензії вапна та гідроксохлориду алюмінію, витримували в термостаті при температурі 40 0С протягом 4 годин. Осад відфільтровували. Фільтрат аналізували на вміст сульфатів, хлоридів, визначали залишкову жорсткість та лужність розчину, визначали

pH середовища. В окремих дослідах, крім ГОХА, в воду добавляли гідроксоалюмінат натрію.

Сульфати визначали фотометричним методом, хлориди – методом Мора, лужність та жорсткість – за стандартними методиками.

### 3. Результати та їх обговорення

Ефективність очищення води від сульфатів, як і ефективність її пом'якшення, залежить як від витрати вапна та коагулянту, так і від їх співвідношення. Як видно з таблиці 1, за низьких витрат вапна підвищення дози 2/3 ГОХА призводить лише до підвищення концентрації хлоридів у воді без суттєвого її пом'якшення та очищення від сульфатів. При фіксованій дозі коагулянту (табл. 1, рис. 1) при збільшенні витрати вапна спостерігається підвищення ефективності очищення від сульфатів. Ефективного пом'якшення води досягнуто при витраті вапна від 76 до 99 мг-екв/дм<sup>3</sup> при всіх дозах коагулянту. Залишкова лужність води зростає при підвищенні витрати вапна, але зменшується при збільшенні дози коагулянту, який сприяє підкисленню води.

Таблиця 1

Кращі результати за комплексом показників отримано при витраті вапна 99-134 мг-екв/дм<sup>3</sup> при дозі коагулянту 5,8-7,3 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. За даних умов концентрація сульфатів знижується до 130-500 мг/дм<sup>3</sup>. Недоліком процесу є те, що за даних умов залишкова концентрація хлоридів сягає 420-630 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує допустимі норми на скид в каналізацію. Проте при повторному використанні води в технологічному процесі при змішуванні концентратів з природною чи шахтною водою в співвідношеннях від 1:4 до 1:9 концентрації хлоридів будуть в межах

від 170 до 260 мг/дм<sup>3</sup>, що не перевищує допустиму концентрацію для питної води.

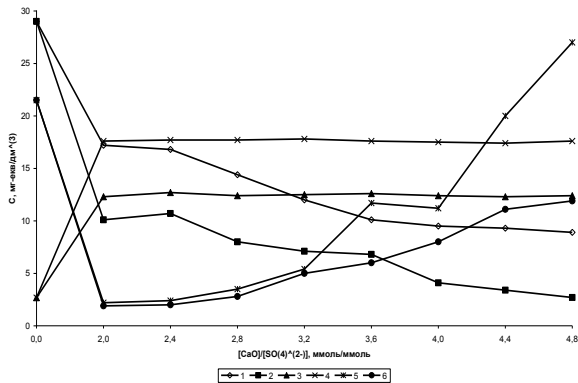


Рис. 1. Залежність залишкової концентрації сульфатів (1,2), хлоридів (3,4) та жорсткості розчину (5,6) від відносної витрати вапна  $[CaO]/[SO_4^{2-}]$  при витраті 2/3 ГОХА 4,8 мг-екв/дм<sup>3</sup> (1,2,3) та 7,25 мг-екв/дм<sup>3</sup> (2,4,6) при обробці модельного розчину ( $[SO_4^{2-}] = 29,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=21,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}] = 1,8$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}] = 19,7$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl^-] = 2,68$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=19,7 мг-екв/дм<sup>3</sup>).

При підвищенні концентрації сульфатів у розчині до 2500 мг/дм<sup>3</sup> ефективність їх вилучення зростає

з підвищенням витрати вапна та коагулянту. Проте збільшення витрати вапна спричиняє підвищення залишкової лужності та жорсткості води (табл. 2), а підвищення дози коагулянту призводить до зростання залишкової концентрації хлоридів у воді. Найбільш прийнятні результати отримано при витраті вапна 104 мг-екв/дм<sup>3</sup>, коагулянту – 8,7 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Подібні результати отримано при очищенні води із концентрацією сульфатів 3120 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2,3). В даному випадку концентрацію сульфатів знижено до 60-100 мг/дм<sup>3</sup> при витраті вапна 166 мг-екв/дм<sup>3</sup> при дозах коагулянту 13-16 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. За даних умов спостерігалось ефективно пом'якшення води при невисокій залишковій лужності. Проте концентрації хлоридів сягали 170-1200 мг/дм<sup>3</sup>. Ще більше зростали концентрації хлоридів при очищенні води з концентрацією сульфатів 4500 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 3). Не дивлячись на те, що концентрації сульфатів при оптимальних співвідношеннях вапна і коагулянту було знижено до 37-194 мг/дм<sup>3</sup>. При даних витратах реагентів вміст хлоридів зростав до 950-1700 мг/дм<sup>3</sup>. Через велику витрату вапна високими були залишкові жорсткість та лужність води.

Для досягнення високої ефективності очищення води від сульфатів за їх високих концентрацій та для запобігання значному забрудненню води хлоридами при обробці води вапном та алюмінієвим коагулянтом в якості коагулянту було використано 2/3 ГОХА та алюмінат натрію (табл. 4). Витрату 2/3 ГОХА

Таблиця 2

Вплив дози вапна та 2/3 гідроксохлориду алюмінію на ефективність вилучення сульфатів і іонів жорсткості при обробці розчину ( $[SO_4^{2-}] = 52,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=13,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}] = 3,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}] = 9,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl^-] = 70$  мг/дм<sup>3</sup>; Л=7,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>) вапном та 2/3 ГОХА

№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Доза 2/3ГОХА по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	pH	$[SO_4^{2-}]$ мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup> (ОН <sup>-</sup> ; загальна)	$[Cl^-]$ , мг/дм <sup>3</sup>	Ступінь вилучення іонів $SO_4^{2-}$ , А, %
1	104	6,94	9,1	375	7,8	0,0; 10,0	565	85,0
2	104	8,68	7,7	310	6,8	0,0; 8,0	690	87,6
3	156	8,68	7,9	380	25,5	0,0; 38,5	695	84,8
4	312	8,68	11,6	280	42,0	14,0; 49,0	702	88,8
5	156	10,42	10,8	111	13,5	0,5; 19,0	820	95,5
6	312	13,02	11,4	44	54,5	12,8; 48,0	1005	98,2

Таблиця 3

Залежність ефективності видалення сульфат-іонів з модельного розчину ( $[SO_4^{2-}] = 93,8$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=14,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}] = 4,6$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}] = 10,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl^-] = 87,0$  мг/дм<sup>3</sup>; Л=5,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>) від витрати вапна та 2/3 ГОХА

№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Доза 2/3ГОХА по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	pH	$[SO_4^{2-}]$ мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup> (ОН <sup>-</sup> ; загальна)	$[Cl^-]$ , мг/дм <sup>3</sup>	Ступінь вилучення іонів $SO_4^{2-}$ , А, %
1	187,50	9,37	11,5	690	29,0	8,0; 43,0	755	84,7
2	187,50	12,50	10,7	192	6,5	0,0; 24,0	975	95,7
3	187,50	15,62	7,9	176	2,7	0,0; 18,0	1201	96,1
4	225,00	15,62	8,2	168	16,0	0,0; 22,0	1195	96,3
5	281,25	9,37	11,8	1240	31,5	9,0; 45,0	759	72,4
6	281,25	12,50	11,9	760	30,0	13,5; 42,0	971	83,1
7	281,25	15,62	11,3	95	26,0	0,0; 38,0	1210	97,9
8	281,25	18,74	10,1	9	30,0	0,0; 34,0	1420	98,9
9	562,50	15,62	10,4	194	30,0	0,0; 45,0	1203	95,7
10	562,50	23,43	10,9	7	48,0	0,0; 48,0	1683	99,2

та алюмінату натрію підбирали так, щоб їх сумарна доза була на рівні 10,8 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Таке співвідношення вибирали із складу осаду сульфату та алюмінату кальцію (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>) та із концентрації сульфатів у воді.

Як видно із таблиці 4, ефективність вилучення сульфатів зростає із підвищенням дози 2/3 ГОХА та

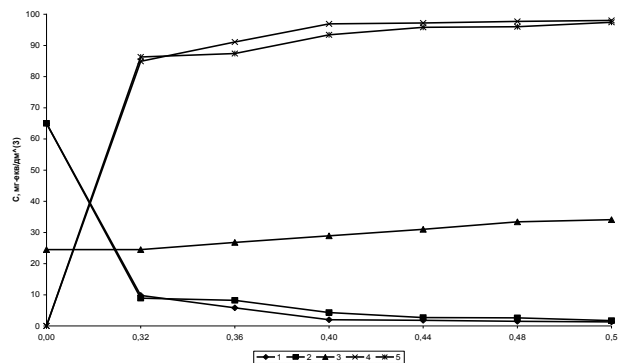


Рис. 2. Залежність залишкових концентрацій сульфатів (1,2), хлоридів (3) та ступеню вилучення сульфатів (4,5) від мольного співвідношення витрати коагулянту до концентрації сульфатів у розчині [Al(OH)2Cl]/[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] ([SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]=65,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=36,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=32,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl-]=105 мг/дм<sup>3</sup>; Л=2,9 мг-екв/дм<sup>3</sup>) при витраті вапна 166 мг-екв/дм<sup>3</sup> (1,3,4) та 231 мг-екв/дм<sup>3</sup> (2,5)

алюмінату натрію при стехіометричній кількості вапна. При збільшенні витрати вапна на 25 % кращих результатів по вилученню сульфатів було досягнуто при витраті алюмінату натрію 5 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та витраті 2/3 ГОХА 8,0 та 9,1 ммоль/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При цьому вміст хлоридів в очищеній воді сягав 712 мг/дм<sup>3</sup>. Якщо враховувати, що в даному випадку вміст сульфатів знижувався із 3120 мг/дм<sup>3</sup> до 94 мг/дм<sup>3</sup>, то результат можна вважати цілком задовільним.

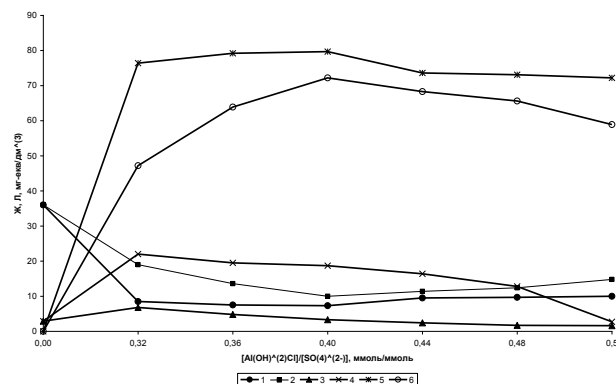


Рис. 3. Вплив мольного співвідношення витрати коагулянту до концентрації сульфатів [Al(OH)2Cl]/[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] на залишкову жорсткість (1,2), лужність (3,4) та ступінь пом'якшення розчину (5,6) ([SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]=65,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=36,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=32,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl-]=105 мг/дм<sup>3</sup>; Л=2,9 мг-екв/дм<sup>3</sup>) при витраті вапна 166 мг-екв/дм<sup>3</sup> (1,3,5) та 231 мг-екв/дм<sup>3</sup> (2,4,6)

Таблиця 4

Вплив витрати вапна, 2/3 ГОХА, алюмінату натрію на ефективність вилучення сульфат-іонів з модельного розчину ([SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]=65,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Ж=36,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=5,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=30,4 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl-]=87,0 мг/дм<sup>3</sup>; Л=5,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Доза по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>		рН	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup> (ОН-; загальна)	[Cl-], мг/дм <sup>3</sup>	Ступінь вилучення іонів SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , А, %
		Al(OH)2Cl	NaAl(OH)4						
1	160	7,8	3,0	7,5	470	16,5	0,0;5,1	643	84,9
2	160	8,9	3,0	7,4	280	8,5	0,0;6,8	722	91,0
3	160	10,0	3,0	7,5	186	7,5	0,0;3,3	805	94,0
4	160	5,8	5,0	7,8	540	12,3	0,0;7,4	503	82,7
5	160	8,0	5,0	7,7	375	7,2	0,0;8,3	657	88,0
6	160	9,1	5,0	7,6	243	6,1	0,0;6,5	736	92,2
7	160	11,3	5,0	7,6	175	4,2	0,0;8,2	892	94,4
8	200	5,8	5,0	10,7	425	26,6	3,2;12,5	506	86,4
9	200	8,0	5,0	10,4	125	25,0	3,4;10,0	661	96,0
10	200	9,1	5,0	10,5	94	13,0	1,6;12,8	742	97,0
11	200	5,0	7,0	11,1	457	14,8	2,5;22,0	445	85,4
12	200	6,0	7,0	11,0	392	8,7	3,7;17,5	516	87,4
13	200	7,1	7,0	10,9	211	6,3	3,0;16,3	597	93,2
14	200	9,3	7,0	10,8	162	5,4	1,8;16,7	754	94,8
15	200	10,4	7,0	10,6	126	5,1	3,4;12,9	832	96,0

Добрими можна вважати результати, отримані при стехіометричній кількості вапна. В даному випадку очищена вода мала незначну жорсткість та лужність. Крім того, залишкова концентрація сульфатів сягала 175-540 мг/дм<sup>3</sup> при концентрації хлоридів від 500 до 900 мг/дм<sup>3</sup>. Якщо вибрати варіант з мінімальним вмістом хлоридів (приблизно 500 мг/дм<sup>3</sup>) за концентрації сульфатів 540 мг/дм<sup>3</sup>, то в цьому випадку очищений концентрат можна повторно подавати на нанофільтраційне очищення води, адже вихідна концентрація сульфатів в шахтній воді сягає 400-900 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, як було сказано раніше, при розведенні концентратів в 4-9 разів при змішуванні з вихідною водою вміст хлоридів у воді, що

подається на нанофільтрування буде в допустимих межах.

#### 4. Висновки

Визначено вплив витрати та співвідношення вапна, 2/3 ГОХА та алюмінату натрію на ефективність вилучення з води сульфатів та її пом'якшення. Показано,

що ефективного очищення води від сульфатів можна досягти при витраті вапна в кількості не менше 2 мг-екв на 1 мг-екв сульфатів при витраті 1 ммоль алюмінієвого коагулянту по  $Al_2O_3$  на 6 мг-екв сульфатів.

Встановлено, що при комплексному використанні 2/3 ГОХА та алюмінату натрію можна досягти ефективного очищення води від сульфатів при зниженні рівня забруднення води хлоридами.

#### Література

1. Лебедев В.Н. Десульфатация стоков химической очистки бадделеитового концентрата Ковдорского ГОКА / В.Н. Лебедев, Э.П. Локшин, И.С. Бармин // Обогащение руд. – 2007. – № 3. – С. 42–44.
2. Кубасов В.Л. Схема очистки воды от ионов сульфатов / В.Л. Кубасов, В. Б. Чинкин // Цв. металлургия. – 2010. – № 3. – С. 26–27.
3. Numerical simulation of barium sulfate precipitation process in a continuous stirred tank with multiple-time-scale turbulent mixer model. [Численное моделирование процесса осаждения сульфата бария в мешалке непрерывного действия при помощи модели турбулентного смесителя с множеством временных масштабов] / Zhang Qinghua, Mao Zai-Sha, Yang Chao, Zhao Chengjun // Ind. and Eng. Chem. Res. – 2009. – Т. 48, № 1. – С. 424–429.
4. Тюрикова А.А. Физико-химическое обоснование процессов очистки водных растворов от сульфат-ионов / А.А. Тюрикова, В.В. Шмелева, С.В. Смирнов, Г.В. Киселева // Экология и научно-технический прогресс: Материалы 3 Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 2005 Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. – 2005. – С. 96–97.
5. Сальникова Е.О. Очистка сточных вод от сульфат-ионов с помощью извести и оксосульфата алюминия // Е.О. Сальникова, И.В. Гофенберг, Е.Н. Туранина, Л.Е. Ситчихина, В.К. Типигин // Химия и технология воды. – 1992. – Т.14, №2. – С.152-157.
6. Буцева Л.Н. Очистка сточных вод от сульфатов известкованием и коагуляцией с применением оксихлорида алюминия / Л.Н. Буцева, Л.В. Потапова // Очистка природных и сточных вод: Сборник научных трудов, Москва, 2009: Юбилейный выпуск. М.: ГНЦ «НИИВОДГЕО». – 2009. – С. 49–51.
7. Липченко М.А. Очистка шахтных вод от сульфатсодержащих соединений / М.А. Липченко, Ю.А. Ефимова, Г.Н. Земченко // Сборник конкурсных работ Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов высших учебных заведений «Эврика-2006», Новочеркасск, 20-26 нояб., 2006. Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2006. – С. 316–318.
8. Беренгартен М. Г. Создание систем очистки шахтных (рудничных) вод / М. Г. Беренгартен, Д. А. Баранов, Т. Э. Воробьева // Вода: химия и экология. – 2008. – № 1. – С. 13–17.
9. Серпокровлов Н.С. Применение оксихлоридов алюминия в очистке и доочистке сточных вод / Серпокровлов Н.С., Вильсон Е. В., Царева М. Н., Горин В. Н., Коропец П. А., Рудик М. Н., Садовников А. Ф. // ВСТ: Водоснабж. и сан. техн. – 2003. – №2. – С.32 – 35.
10. Сальникова Е. О. Выбор осадителя при очистке сточных вод от сульфата кальция / Е. О. Сальникова, О. Г. Передерий // Цветные металлы. – 1983. – № 12. – С. 22–24.