

УДК 622.793.5:669.2

ГОМЕЛЯ М. Д., д.т.н., проф., зав каф., КРИЖАНОВСЬКА Я. П., аспірант,  
ШАБЛІЙ Т. О., д.т.н., проф.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ ВІД СУЛЬФАТІВ

*У даній роботі були досліджені процеси реагентного очищення водних розчинів від сульфатів із використанням червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу. Даний шлам, згідно хімічного аналізу, містить достатньо велику кількість оксиду алюмінію (до 18 %) та оксиду кальцію (до 10 %) і наряду з силікатом кальцію та оксидами заліза містить алюмінати натрію та кальцію. Здатність алюмінату натрію висаджувати з розчину сульфати у вигляді сульфоалюмінатів кальцію була використана в роботі для очищення води від сульфат-аніонів. Процес проходить при обробці розчину шламом та суспензією вапна. Ступінь вилучення сульфатів з розчинів досягає 40 – 73 %.*

**Ключові слова:** сульфати, вапно, концентрати, шахтні води, алюмінат, демінералізація.

**DOI:** 10.20535/2617-9741.1.2021.228141

© Гомеля М. Д., Крижановська Я. П., Шаблій Т. О., 2021

**Постановка проблеми.** Однією із найскладніших проблем захисту водойм від забруднення мінеральними солями є очищення, переробка або утилізація шахтних вод, які на сьогодні у значних об'ємах скидаються у природні водойми практично без очищення. В залежності від складу стічних вод, рівня їх мінералізації для знесолення шахтних вод використовують іонний обмін [1], баромембранні методи, включаючи нанофільтрування і зворотній осмос [2], та електродіаліз [3]. Проте, при використанні іонного обміну та баромембранних процесів виникають проблеми утилізації утворених елюатів (регенераційних розчинів) та концентратів. Ця ж проблема існує і при використанні електродіалізу. Але в цьому випадку складним завданням є вибір стійких анодів та катодів, значні затрати електроенергії. Більш перспективним є використання реагентних методів, особливо при пом'якшенні води та вилученні сульфатів.

**Аналіз попередніх досліджень.** На основі проведеного аналізу наукових публікацій за напрямком, що стосується демінералізації води, зокрема з питань вилучення сульфатів, визначено наступні аспекти. Для очищення та доочищення води від сульфатів частіше за все використовують реагентні методи [4–7]. Із проведених робіт видно, що метод очищення води за допомогою вапна є недостатньо ефективним і не дозволяє зменшити концентрацію сульфатів менше, ніж до 1500 мг/дм<sup>3</sup> (31 мг-екв/дм<sup>3</sup>), що зумовлено розчинністю гіпсу. Більш ефективними є процеси, основані на висадженні сульфатів у вигляді сульфоалюмінатів кальцію [6, 7]. Частіше за все при висадженні сульфатів при вапнуванні в якості алюмінієвого коагулянту використовують гідроксоалюмінат натрію [8, 9], гідроксосульфат алюмінію [8, 11–13]. В роботі [14] описано процеси висадження алюмінату кальцію при використанні металевого алюмінію, який в присутності вапна реагує з утворенням гідроксоалюмінату кальцію.

Перевагою реагентних методів у даному випадку є одночасне вилучення сульфатів та іонів жорсткості із води у вигляді нерозчинних осадів, на відміну від баромембранних процесів [2], іонного обміну [1] або електродіалізу [3], де відбувається утворення рідких елюатів та концентратів, які також складно утилізувати. Осади, що утворюються при реагентному очищенні води від сульфатів при її вапнуванні та пом'якшенні, є нетоксичними і придатними для використання у виробництві будівельних матеріалів [15].

Головною проблемою при реалізації даних методів є висока вартість алюмінієвих коагулянтів – гідроксохлоридів алюмінію та алюмінату натрію. А якщо врахувати, що існує необхідність знесолення елюатів і концентратів із відносно високим вмістом сульфатів, то і витрати коагулянтів будуть значними, що в цілому суттєво підвищує затрати на реалізацію технології.

**Метою** статті є визначення умов використання відходів виробництва алюмінію – червоного шламу у процесі очищення води від сульфатів методом вапнування для заміни дорогих алюмінієвих коагулянтів на доступний матеріал.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

1. Провести оцінку червоного шламу з точки зору перспективи використання при очищенні води від сульфатів.
2. Визначити залежність ефективності видалення з води сульфатів від витрати вапна та червоного шламу.
3. Встановити залежність ефективності видалення сульфатів із води при її вапнуванні від концентрації сульфатів у воді.

**Методика роботи.** В роботі використовували модельні розчини сульфату магнію концентрацією 18,3 та 38,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Вищі концентрації використовувати недоцільно, так як при обміні сполуками кальцію концентрацію гіпсу можна знизити до 31 мг-екв/дм<sup>3</sup>, тому що дана концентрація є межею його розчинності. Як шлам використовували відходи Миколаївського глиноземного заводу (МГЗ), що утворюються при виробництві глинозему (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) методом Байера. Склад даного шламу приведено в таблиці 1.

**Таблиця 1 – Хімічний склад червоного шламу**

Маса оксидів, %					Вміст елементів-домішок (г/т)									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Cu	Be	B	S	Ga	Sc	La	Ce	Mo	
5–10	14–18	40–55	5–10	2–4	5	10	50	4	30	30	20	30	20	

За ступенем помелу в шламі присутні фракції 0,005–0,01 мм (45 %), 0,01–0,05мм (17 %), 0,05–0,1 мм (30,1 %). Фракція з розмірами частот більше 0,1 мм складає 7,9 %.

При проведенні досліджень у розчин сульфату магнію, об'ємом 200 см<sup>3</sup>, додавали шлам у кількості від 1 до 50 г/дм<sup>3</sup>.

Після цього при перемішуванні додавали суспензію вапна у воді у кількості від 1 до 12 мг-екв/дм<sup>3</sup> для розчинів з концентрацією сульфатів 18,3 мг-екв/дм<sup>3</sup> та у кількості від 12 до 40 мг-екв/дм<sup>3</sup> до розчинів сульфату магнію концентрацією 38,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Суспензію відстоювали протягом 2,5 годин та фільтрували на фільтрі «синя стрічка». У пробах очищеної води визначили залишковий вміст сульфатів та рН середовища.

Ступінь вилучення сульфатів (Z, %) розраховували за формулою:

$$Z = \left(1 - \frac{c}{c_0}\right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

де С – залишкова концентрація сульфатів в очищеній воді; С<sub>0</sub> – вихідна концентрація сульфатів у розчині.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо, що сульфати у більшості випадків, висаджуються із води у вигляді гідрокосульфаталюмінатів кальцію, загального складу 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O [8].

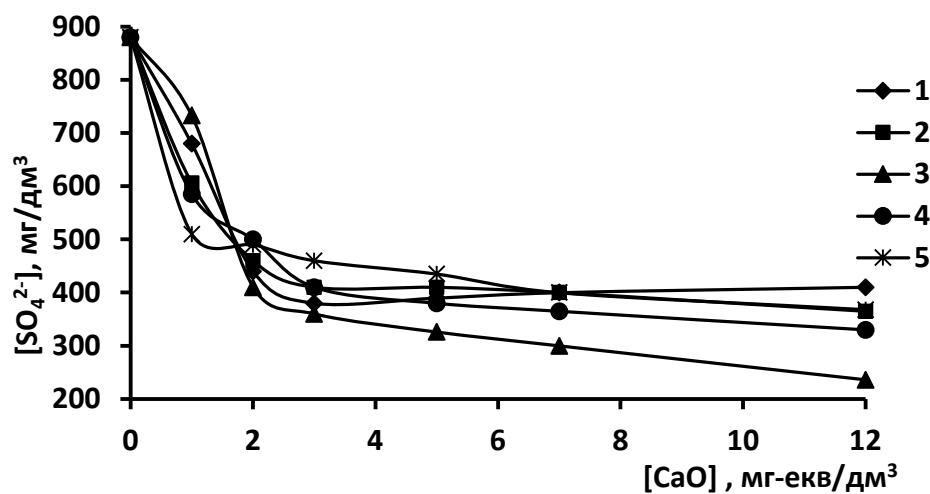
Як видно з таблиці 1, червоний шлам в основному складається із сполук заліза, що присутні у вигляді оксидів та гідроксидів, кристали яких включають іони алюмінію. Даний шлам практично нерозчинний у воді і при змішуванні з водою утворює стійкі суспензії при підвищенні рН води до 9–10. Якщо врахувати, що в осаді присутні оксид алюмінію у кількості 15–18 % та оксид кальцію у кількості 5–10 %, а в цілому даний шлам формується в концентрованих розчинах гідроксоалюмінату натрію, то цілком ймовірно є присутність в осаді алюмінату кальцію. Звичайно, алюмінат кальцію практично нерозчинний у воді, тому важко сподіватись, що при видаленні сульфатів у розчині утворюється сульфоалюмінат кальцію. Скоріше за все, сульфат-аніони проникають до поверхні осаду і сорбуються на його поверхні, включаючись у структуру алюмінату кальцію. При цьому, найімовірніше, проходить активована адсорбція із включенням у кристалічну решітку фрагментів сульфоалюмінату кальцію.

Слід відмітити, що при додаванні у розчини сульфату магнію просто шламу без обробки отриманих суспензій вапном відділення осаду від розчину фільтруванням неможливе при використанні паперового фільтру «синя стрічка» або мікрофільтраційних мембран. Суспензія настільки дрібнодисперсна, що фільтрувальні матеріали забиваються і втрачають здатність пропускати воду.

При обробці суспензій вапном відбувається укрупнення завислих частинок, можливо, за рахунок руйнування гідратних шарів на їх поверхні. Крім того, при додаванні вапна створюються умови для формування осаду сульфоалюмінату кальцію, що сприяє сорбції сульфатів із розчину та укрупненню частинок суспензії. Очевидно, що в присутності вапна та сульфатів у розчині, вони можуть взаємодіяти із частинками оксиду алюмінію зі шламу з утворенням малорозчинного гідроксоалюмінату натрію. При цьому, ефективність зв'язування сульфатів залежить від співвідношення кількості шламу та вапна у водному середовищі. Це підтверджують результати досліджень, наведені на рисунку 1.

Так, при витраті шламу всього 1 г/дм<sup>3</sup> мінімальної концентрації сульфатів вдалось досягти при витраті вапна 3 мг-екв/дм<sup>3</sup>. При дозі шламу 5 г/дм<sup>3</sup> найменша концентрація сульфат-аніонів спостерігалась при витраті вапна 12 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Найкращим результатом було зниження концентрації сульфатів до 236 мг/дм<sup>3</sup>

при витраті шламу 10 г/дм<sup>3</sup> та вапна 12 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Подальше збільшення витрати шламу не сприяло підвищенню ефективності вилучення сульфатів із води. При витраті шламу 20 г/дм<sup>3</sup> мінімальна концентрація сульфатів була на рівні 330 мг/дм<sup>3</sup>, а при витраті шламу 50 г/дм<sup>3</sup> концентрацію сульфатів вдалось знизити лише до 368 мг/дм<sup>3</sup> при максимальній витраті вапна.



1 – 1; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 50

Рис. 1 – Залежність залишкової концентрації сульфатів у розчині сульфату магнію ( $[SO_4^{2-}] = 880 \text{ мг/дм}^3$ ) від витрати вапна при різних дозах шламу (г/дм<sup>3</sup>)

Як видно із таблиці 2, максимальний ступінь очищення води від сульфатів сягав 73,1 %. В той же час при мінімальній витраті шламу та витраті вапна всього 3 мг-екв/дм<sup>3</sup> ступінь очищення води від сульфатів досягав 56,7 %, а концентрація сульфатів при цьому становила 7,91 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Із таблиці 2 також видно, що незалежно від витрати шламу та вапна, рН середовища в очищеній воді не перевищував 11. В цілому, рН середовища був у межах 10,4-10,9.

В разі, коли б сульфати вилучались із води шляхом фізичної адсорбції на поверхні поділу фаз частинок шламу, слід було б сподіватись значного зниження сульфатів при збільшенні витрати шламу, або зростання ємкості сорбенту при підвищенні концентрації сульфатів у воді. Проте, як видно з рисунку 1, підвищення витрати шламу не супроводжувалось значним збільшенням ефективності очищення води від сульфатів. З іншої сторони, при використанні розчину сульфату магнію з концентрацією 38,54 мг-екв/дм<sup>3</sup> не було відмічено значного підвищення сорбційної ємності шламу по сульфат-аніонах (рис.2, табл.3).

При цьому найбільше зниження сульфатів відмічено при витраті шламу всього 1 г/дм<sup>3</sup> і дозі вапна 30 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Подальше підвищення витрати шламу та витрати вапна не сприяло зростанню ефективності вилучення сульфатів. Мінімальні концентрації сульфатів при дозі вапна 30 мг-екв/дм<sup>3</sup> сягали 550–830 мг/дм<sup>3</sup> при всіх витратах шламу.

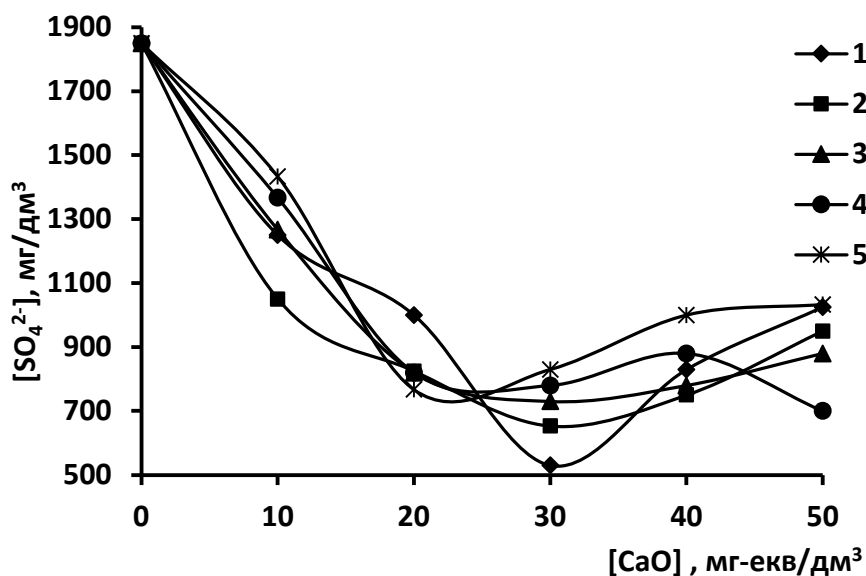
Ефективність очищення знижувалась при подальшому збільшенні дози вапна, так само як знижувались ефективність видалення сульфатів при збільшенні витрати шламу понад 1 г/дм<sup>3</sup>. При повторній обробці розчину з концентрацією сульфатів 530 мг-екв/дм<sup>3</sup> шламом в концентрації 1 г/дм<sup>3</sup> та вапном в концентрації 3 мг-екв/дм<sup>3</sup> було досягнуто зниження вмісту сульфат-аніонів до 240 мг/дм<sup>3</sup>.

В цілому, як видно із таблиці 3, процес вилучення сульфатів в значній мірі залежить від співвідношення концентрацій сульфатів, вапна і шламу. Це, очевидно, впливає на процес зв'язування сульфатів на поверхні шламу з утворенням сульфоалюмінату кальцію. За вихідної концентрації сульфатів 880 мг/дм<sup>3</sup> при витраті шламу 1 г/дм<sup>3</sup> сорбційна ємність сягає 500 мг/г.

Такої високої ємності досягти за рахунок фізичної сорбції неможливо. Скоріше за все, на поверхні частинок шламу відбувається формування осаду гідроксосульфоалюмінату кальцію. Виходячи із складу осаду –  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ , з 1 молем  $Al_2O_3$  може зв'язуватись 3 молі сульфатів. Тобто на 180 мг  $Al_2O_3$ , що знаходиться в 1 г шламу, може сорбуватись 508 мг сульфатів, але при цьому необхідно використати 6 молів (12 мг-екв) кальцію.

Таблиця 2. Залежність залишкової концентрації сульфат-аніонів, рН середовища, ступеню вилучення сульфатів від витрати вапна при використанні шламу в кількості 1(І), 5(ІІ), 10(ІІІ), 20(ІV) та 50(V) г/дм<sup>3</sup>

[CaO] мг-екв/дм <sup>3</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ], мг-екв/дм <sup>3</sup>					рН					Z, %				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
0	18,30	18,30	18,30	18,30	18,30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	14,16	12,63	15,27	12,19	10,62	10,6	10,6	10,5	10,4	10,4	22,6	31,0	16,6	33,4	42
2	9,17	9,58	8,54	10,42	10,42	10,7	10,7	10,7	10,5	10,4	49,9	47,6	53,3	43,1	43,1
3	7,91	8,54	8,54	8,54	9,58	10,6	10,6	10,6	10,7	10,5	56,7	53,3	53,3	53,3	47,6
5	8,13	8,54	6,79	7,92	9,58	10,7	10,7	10,7	10,8	10,7	55,6	53,3	62,9	56,7	47,6
7	8,33	8,33	6,25	7,60	8,33	10,6	10,6	10,7	10,7	10,6	54,5	54,5	65,8	58,4	54,5
12	8,54	7,60	4,91	6,88	7,67	10,9	10,9	10,9	10,9	11,0	53,3	58,4	73,1	62,4	58,0



1 – 1; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 50

Рис. 2 – Зміна залишкової концентрації сульфатів у розчині сульфату магнію ([SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]=1850 мг/дм<sup>3</sup>) в залежності від витрати вапна при різних дозах шламу (г/дм<sup>3</sup>)

Таблиця 3. Залежність сорбційної ємності шламу по сульфат-аніонах від вихідної концентрації сульфатів, витрати шламу та вапна

[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ], мг/дм <sup>3</sup>	[CaO], мг-екв/дм <sup>3</sup>	СС, мг/г				
		Q <sub>шламу</sub> , г/дм <sup>3</sup>				
		1	5	10	20	50
880	1	220,0	54,8	14,7	14,8	7,4
	2	440,0	84,0	47,0	19,0	7,6
	3	500,0	94,0	47,0	23,5	8,4
	5	490,0	94,0	55,4	25,0	8,4
	7	480,0	96,0	58,0	25,8	9,6
	12	470,0	103,0	64,4	27,5	10,2
1850	10	600,0	160,0	58,3	24,15	8,34
	20	700,0	205,0	103,0	51,5	21,7
	30	1314,0	250,4	112,0	53,5	20,4
	40	1020,0	220,0	107,0	48,5	17,0
	50	825,0	180,0	97,0	57,5	16,34

У шламі вміст СаО сягає 10 %, тобто 100 мг/г (3,57 мг-екв). Ефективна доза кальцію у даному випадку складала 3 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Очевидно, що процес зв'язування сульфатів проходить по іншому, складнішому механізмі. В сорбційному об'ємі в даному випадку нечітко витримується співвідношення 3Ca(AlO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>:3CaSO<sub>4</sub>. Так, при збільшенні концентрації сульфатів до 1850 мг/дм<sup>3</sup> (38,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>) при дозі вапна 30 мг-екв/дм<sup>3</sup> та витраті шламу 1 г/дм<sup>3</sup> було досягнуто зниження їх концентрації до 530 мг/дм<sup>3</sup>, а сорбційна ємність сягала 1314 мг/г. Очевидно, що шлам при цьому, в основному, відіграв роль центру кристалізації гіпсу, переводячи його в нерозчинний стан. За даних умов розчинність гіпсу знижувалась до 10,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Частинки алюмінату кальцію, очевидно, виступали центрами кристалізації. При зниженні концентрації сульфатів даний процес проходив неефективно. Тому в усіх випадках при підвищенні витрати шламу ефективність очищення не зростала, а сорбційна ємність шламу по сульфатах різко знижувалась. В усіх випадках при витратах шламу 10–50 г/дм<sup>3</sup> концентрація сульфатів не зменшувалась нижче 650–800 мг/дм<sup>3</sup>.

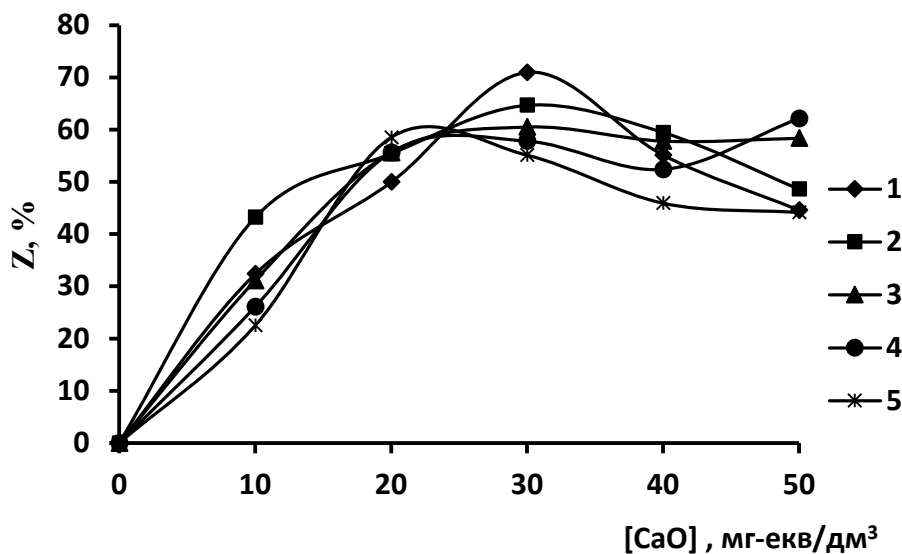
Виходячи із вище приведеного, можна припустити, що механізми вилучення сульфат-аніонів при різних співвідношеннях шламу:сульфати відрізняються. При відношенні концентрації сульфатів до витрати шламу більш як 850 мг/дм<sup>3</sup>:1 г/дм<sup>3</sup>, скоріше, відбувається висадження гіпсу та комплексів сульфалюмінату кальцію. При збільшенні витрати шламу до 10–50 г/дм<sup>3</sup> при тих же концентраціях сульфатів відбувається активована адсорбція сульфат-аніонів на часточках шламу.

Можна припустити, що за відносно невисоких витрат шламу при достатній концентрації вапна відбувається вилуговування сполук алюмінію із шламу з подальшим зв'язуванням їх із вапном та сульфатами у нерозчинні сполуки.

При збільшенні витрати шламу на порядок і більше за використаних доз вапна лужність недостатня для вилуговування сполук алюмінію із поверхні, що супроводжується зв'язуванням сульфатів на поверхні частинок шламу.

Проте, незалежно від того, який механізм вилучення сульфатів реалізується в даних процесах, у більшості випадках відмічено (табл. 2, рис. 3), що ступінь очищення від сульфатів не переважає 50–60 %.

Лише у двох випадках було досягнуто ступеню вилучення сульфатів на рівні 70 %. При цьому, незалежно від дози вапна залишкові рН розчинів були в межах 10,4–10,9 (табл. 2, табл. 4). Очевидно, шлам в даних процесах відіграв роль буфера наряду з іонами магнію, які гідролізуються при рН > 11,0.



1 – 1; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 50

Рис. 3 – Залежність ступеню вилучення сульфатів із розчину сульфату магнію ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 1850 \text{ мг/дм}^3$ ) від витрати вапна при різних дозах шламу ( $\text{г/дм}^3$ )

Таблиця 4. Зміна рН розчину сульфату магнію ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 1850 \text{ мг/дм}^3$ ) в залежності від витрати вапна при витраті шламу,  $\text{г/дм}^3$ : 10 (I), 20 (II), 30 (III), 40 (IV), 50 (V)

[CaO], мг-екв/дм <sup>3</sup>	рН				
	I	II	III	IV	V
10	10,04	10,40	10,50	10,20	10,27
20	10,40	10,53	10,63	10,43	10,48
30	10,39	10,67	11	10,67	10,69
40	10,41	10,62	10,62	10,60	10,60
50	10,55	10,63	10,63	10,73	10,81

В значній мірі неоднозначність отриманих результатів обумовлена неоднорідністю шламу, як по ступеню дисперсності, так і по хімічному складу. Не викликає сумніву лише те, що шлам забезпечує вилучення сульфатів при вапнуванні води.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень по використанню червоного шламу, який утворюється на глиноземному виробництві, показано, що при його застосуванні в кількості 1–50  $\text{г/дм}^3$  під час вапнування розчинів сульфату магнію відбувається очищення води від сульфат-аніонів. Ступінь очищення води досягає 50–70 %.

Встановлено, що ефективність вилучення сульфатів суттєво залежить від витрати вапна і мало зростає при збільшенні витрати шламу понад 1  $\text{г/дм}^3$ .

Визначено залежність ефективності вилучення сульфатів з води від їх вихідної концентрації і показано, що за початкової концентрації сульфатів на рівні 880  $\text{мг/дм}^3$  за витрати вапна 3–12  $\text{мг-екв/дм}^3$  залишкова концентрація сульфатів знижується до 236–460  $\text{мг/дм}^3$ , а при концентрації сульфат-аніонів 1850  $\text{мг/дм}^3$  їх концентрація знижується до 550–830  $\text{мг/дм}^3$  при витраті вапна 30  $\text{мг-екв/дм}^3$  незалежно від витрати шламу.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальшому авторами планується вивчення процесів вилучення сульфатів при використанні червоного шламу глиноземного виробництва із шахтних вод, або концентратів, що утворюються при знесоленні шахтних вод зворотнім осмосом.

#### **Список використаної літератури**

1. Gomelya M., Hrabitchenko V., Trokhymenko A., Shabliy T. Research into ion exchange softening of highly mineralized water // Eastern-European journal of Enterprise Technological. 2016. 4/10 (82). P. 4-9.
2. Epsztein R., Nir O., Lahav O., Green M. Selective nitrate removal from groundwater using a hybrid nanofiltration-reverse osmosis filtration scheme // Chemical Engineering Journal. 2015. 279. P. 372-378.
3. Gomelya M., Trokhymenko A., Hlushko O., Shabliy T. Electroextraction of heavy metal from wastewater for the protection of natural water bodies pollution // Eastern-European journal of Enterprise Technological. 2018. 1/10 (91). P. 55-61.
4. Лебедев В.Н., Локшин Э.П., Бармин И.С. Десульфатация стоков химической очистки бабделентового концентрата Ковдорского ГОКА // Обогащение руд. 2007. 3. С. 43-48.
5. Селицкий Г.А., Ермаков Д.В. Очистка природных и сточных вод от сульфатов // Водоочистка. 2009. 8. С. 29-32.
6. Способ очистки сточных вод от сульфат-ионов: пат. 2322398 Россия. №2006134812/15, заявл. 02.10.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11. 8 с.
7. Буцева Л.Н., Потапова Л.В. Очистка сточных вод от сульфатов известкованием и коагуляцией с применением оксихлорида алюминия // Очистка природных и сточных вод. 2009. 75. С. 49-51.
8. Сальникова Е.О., Передний О.Г. Выбор осадителя при очистке сточных вод от сульфата кальция // Цветные металлы. 1983. 12. С. 22-24.
9. Рисухін В.В., Шаблій Т.О., Камаєв В.С., Гомеля М.Д. Очищення від сульфатів вод з підвищеною мінералізацією і жорсткістю // Екологічна безпека. 2011. 2. С. 70-75.
10. Сальникова Е.О., Гофенберг И.Ф., Туралина Е.Н. Очистка сточных вод от сульфат-ионов с помощью извести и оксосульфата алюминия // Химия и технология воды. 1992. Т. 14. 2. С. 57-61.
11. Серпокрьлов Н.С., Вильсон Е.В., Царева М.Н., Горпинич В.Н., Коропец П.А., Рудик М.Н., Садовников А.Ф. Применение оксохлоридов алюминия в очистке и доочистке сточных вод // ВСТ: Водоснабж. и сан. тех. 2003. 2. С. 32-35.
12. Сальникова Е.О., Передей О.Г., Пушкарев В.В. Осаждение сульфатов из сточных вод в виде сульфалюминатов кальция // Цветные металлы. 1979. 9. С. 41-43.
13. Трус І.М., Грабітченко В.М., Гомеля М.Д. Застосування алюмінієвих коагулянтів для очищення стічних вод від сульфатів при їх пом'якшенні // Східно-європейський журнал передових технологій. 2012. 6/10 (60). С. 13-17.
14. Трус І.М., Грабітченко В.М., Петриченко А.І., Гомеля М.Д. Очищення високомінералізованих шахтних вод від сульфатів при використанні вапна та металевого алюмінію // Екологічна безпека. 2012. 2(14). С. 77-79.
15. Трус І.М., Флейшер Г.Ю., Гомеля М.Д., Токарчук В.В. Переробка осадів, що утворюються при реагентному очищенні шахтних вод від сульфатів // Вісник КрНУ. 2014. 4. С.169-174.

Надійшла до редакції 26.12.2020

---

**Gomelya M. D., Kryzhanovska Ya. P., Shabliy T. O.**

#### **EVALUATION OF RED SLUDGE USE EFFICIENCY FOR WATER PURIFICATION FROM SULPHATES**

*In this work the reagent purification of aqueous solutions from sulfates with the use of red sludge of the Nikolaev alumina plant processes were investigated. This sludge, according to chemical analysis, contains a sufficiently large amount of alumina (up to 18 %) and calcium oxide (up to 10 %) and along with calcium silicate and iron oxides contains sodium and calcium aluminates. The ability of sodium aluminate to be deposited from a solution of sulfates in the form of calcium sulfoaluminates was used in the work to purify water from sulfate anions. The process takes place when treating the solution with sludge and lime suspension. It is shown that when red sludge is applied in the amount of 1–50 g/dm<sup>3</sup> during magnesium sulfate solutions liming, water is purified from sulfate anions. The degree*

of water purification reaches 50–70 %. It was found that the efficiency of sulfate extraction is significantly dependent on the consumption of lime and increases slightly with increasing sludge consumption over 1 g/dm<sup>3</sup>. The dependence of the efficiency of sulfate extraction from water on their initial concentration is determined. It was found that at the initial concentration of sulfates up to 1000 mg/dm<sup>3</sup> at the expense of lime 3–12 mg-eq/dm<sup>3</sup> the residual concentration of sulfates decreases to 236–460 mg/dm<sup>3</sup>, and at the concentration of sulfate anions about 2000 mg/dm<sup>3</sup> their concentration decreases to 550–830 mg/dm<sup>3</sup> at a lime consumption of 30 mg-eq/dm<sup>3</sup> regardless of the sludge consumption. The degree of extraction of sulfates from solutions reaches 40–73 %.

**Ключові слова:** sulfates, lime, concentrates, mine water, aluminate, demineralization

### Referenses

1. Gomelya M., Hrabitchenko V., Trokhymenko A., Shabliy T. (2016). “Reaserch into ion exchange softening of highly mineralized water”, *Eastern-Europen journal of Enterprise Technological*, 4/10 (82). pp. 4-9.
2. Epsztein R., Nir O., Lahav O., Green M. (2015). “Selective nitrate removal from groundwater using a hybrid nanofiltration-reserse osmosis filtration scheme”, *Chemical Engineering Journal*, 279. pp. 372-378.
3. Gomelya M., Trokhymenko A., Hlushko O., Shabliy T. (2018). “Electroexstration of heavy metal from wastewater for the protection of natural water bodies pollution”, *Eastern-Europen journal of Enterprise Technological*, 1/10 (91). pp. 55-61.
4. Lebedev V.N., Lokshyn Э.Р., Barmyn Y.S. (2007). “Desulfatatsyia stokov khymycheskoi ochystky baddelentovoho kontsentrata Kovdorovskoho HOKA”, *Obohashchenye rud*, 3. pp. 43-48. (In Russian).
5. Selytskyi H.A., Ermakov D.V. (2009). “Ochystka pryrodnykh y stochnykh vod ot sulfatov”, *Vodoochystka*, 8. pp. 29-32. (In Russian).
6. Sposob ochystky stochnykh vod ot sulfat-ionov: pat. 2322398 Russia. N 2006134812/15, zaiavl. 02.10.2006; opubl. 20.04.2008, Biul. N 11. 8 p. (In Russian).
7. Butseva L.N., Potapova L.V. (2009). “Ochystka stochnykh vod ot sulfatov yzvestkovanyem i koahuliatsyei s pryomenenyem oksykhlorida aliumyniya”, *Ochystka pryrodnykh y stochnykh vod*, 75. pp. 49-51. (In Russian).
8. Salnykova E.O., Peredenyi O.H. (1983). “Vybor osadytelia pry ochystke stochnykh vod ot sulfata kaltsyia”, *Tsvetnye metaly*, 12. pp. 22-24. (In Russian).
9. Rysukhin V.V., Shablii T.O., Kamaiev V.S., Homelia M.D. (2011). “Ochyshchennia vid sulfativ vod z pidvyshchenoiu mineralizatsiieiu i zhorstkistiu”, *Ekolohichna bezpeka*, 2. pp. 70-75. (In Ukrainian).
10. Salnykova E.O., Hofenberh Y.F., Turanyna E.N. (1992). “Ochystka stochnykh vod ot sulfat-ionov s pomoshchiu yzvesty y oksosulfata aliumyniya”, *Khymyia y tekhnolohyia vody*, 14. 2. pp. 57-61. (In Russian).
11. Serpukrylov N.S., Vylson E.V., Tsareva M.N., Horpynych V.N., Koropets P.A., Rudyk M.N., Sadovnykov A.F. (2003). “Prymenenye oksokhloridov aliumyniya v ochystke y doochystke stochnykh vod”, *VST: Vodosnabzh. y san. Tekh*, 2. pp. 32-35. (In Russian).
12. Salnykova E.O., Peredei O.H., Pushkarev V.V. (1979). “Osazhdenye sulfatov yz stochnykh vod v vyde sulfoaliumynatov kaltsyia”, *Tsvetnye metaly*, 9. pp. 41-43. (In Russian).
13. Trus I.M., Hrabitchenko V.M., Homelia M.D. (2012). “Zastosuvannia aliuminiievykh koahuliantiv dlia ochyshchennia stichnykh vod vid sulfativ pry yikh pomiakshenni”, *Skhidno-yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 6/10 (60). pp. 13-17. (In Ukrainian).
14. Trus I.M., Hrabitchenko V.M., Petrychenko A.I., Homelia M.D. (2012)/ “Ochyshchennia vysokomineralizovanykh shakhtnykh vod vid sulfativ pry vykorystanni vapna ta metalevoho aliuminiuu”, *Ekolohichna bezpeka*, 2(14). pp. 77-79. (In Ukrainian).
15. Trus I.M., Fleisher H.Yu., Homelia M.D., Tokarchuk V.V. (2014). “Pererobka osadiv, shcho utvoriuiutsia pry reahentnomu ochyshchenni shakhtnykh vod vid sulfativ”, *Visnyk KrNU*, 4. pp.169-174. (In Ukrainian).