

К. І. Блажівський, І. Є. Максимович, Х. Я. Кочкодан  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра хімії і технології неорганічних речовин

## КОНВЕРСІЯ ХЛОРИДНИХ СОЛЕЙ З НАТРІЮ СУЛЬФАТОМ ПІД ЧАС ВИПАРОВУВАННЯ ХЛОРИДНО-СУЛЬФАТНИХ РОЗЧИНІВ

© Блажівський К. І., Максимович І. Є., Кочкодан Х. Я., 2017

Досліджено вплив кількості  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і ступеня випаровування на вихід і склад сольових сумішей, одержаних внаслідок конверсії  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  з хлоридними солями під час випаровування і подальшого охолодження розчинів хвостосховища. З'ясовано, що доданий  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  частково конвертує з утворенням  $\text{NaCl}$ , який кристалізується під час випаровування і охолодження випаруваного розчину, частково випадає у вигляді сульфатів натрію та магнію, а решта залишається у кінцевому розчині, витісняючи з нього калію та магнію сульфати.

**Ключові слова:** розчин хвостосховища, конверсія, випаровування,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , хлоридні солі, кристалізація,  $\text{NaCl}$ .

K. I. Blazhivskyi, I. E. Maksymovych, Ch. Y. Kochkodan

## CONVERSION CHLORIDE SALTS FROM SODIUM SULFATE DURING EVAPORATION CHLORIDE-SULPHATE SOLUTIONS

© Blazhivskyi K. I., Maksymovych I. E., Kochkodan Ch. Y., 2017

The influence of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  number and degree of evaporation to yield and composition of salt mixtures obtained from conversion of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  chloride salts during the evaporation and subsequent cooling solutions tailings. It was found that added  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  partially converts to form  $\text{NaCl}$ , which crystallizes during evaporation and cooling solution evaporated partly falls as sodium and magnesium sulphate, and the rest remains in the final solution, replacing it with potassium and magnesium sulfates.

**Key words:** tailing solution, conversion, evaporation,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , chloride salt, crystallization,  $\text{NaCl}$ .

**Постановка проблеми.** За період більше як тридцятирічної діяльності Стебницького і Калуського калійних підприємств у хвостосховищах у районі виробництв накопичені мільйони тонн відхідних розчинів, які містять близько 200...400 г/дм<sup>3</sup> натрію, калію і магнію хлоридів та сульфатів. Подібним за складом є розчин Домбровського кар'єру, який утворився внаслідок його затоплення атмосферними опадами і фільтраційними водами. Сьогодні ці розчини постійно засолюють прилеглі території та води і становлять екологічну загрозу для району виробництва та ріки Дністер. Водночас вони можуть бути використані як легкодоступна сировина для одержання калійно-магнієвих добрив, натрію хлориду та інших цінних продуктів.

Розроблена технологія [1] перероблення зазначених розсолів, яка полягає у їх постадійному випаровуванні та охолодженні з кристалізацією окремих солей і мінералів (натрію і калію хлоридів, шеніту, епсоміту тощо) та їх сумішей, з яких потім отримують кондиційні продукти. Недоліком цієї

та подібних технологій є утворення у кінці процесу відхідних магнійхлоридних розчинів, з якими втрачаються цінні компоненти сировини. Їх утилізація є непростим завданням, вимагає ускладнення технології та додаткових енергозатрат.

Аналогічна ситуація виникає у процесах перероблення полімінеральних калійних руд Прикарпатського родовища, які містять небагато легкорозчинних сульфатних солей, а ступінь розчинення важкорозчинних сульфатних мінералів не перевищує 20...30 % [2]. Внаслідок цього після стадії розчинення руди утворюються виробничі розчини, що мають незбалансоване співвідношення  $Cl^- : SO_4^{2-}$ , і у яких у кінці процесу накопичується надлишковий  $MgCl_2$ . Утворення надлишкового магнію хлориду зумовлене тим, що еквівалентний вміст хлорид-іонів у накопичених розсолах і виробничих розчинах більший, ніж  $Na^+$ , тому їх неможливо повністю зв'язати та вивести у формі  $NaCl$  і одержати безхлоридні продукти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі методи одержання безхлоридних калійно-магнієвих добрив конверсією калію хлориду із сульфатовмісними сполуками (натрію сульфатом, магнію сульфатом, сульфатною кислотою, гіпсом) [3]. Так, калію сульфат чи калімагнезію одержують взаємодією калію хлориду з натрію чи амонію сульфатами. Процес здійснюють у концентрованих розчинах за різних температур (20...100 °C) із виділенням у тверду фазу калію сульфату, шеніту  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$  або глазериту  $Na_2SO_4 \cdot 3K_2SO_4$ , які переробляють у  $K_2SO_4$  або калімагнезію.

У Калуському ДНДІ галургії розроблено технологічний процес перероблення полімінеральної калійної руди на безхлоридну калімагнезію, в основу якого покладено конверсію хлоридовмісних мінералів (сильвіну  $KCl$ , каїніту  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ) із мірабілітом  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ , яку здійснюють на стадії підготовки руди [4]. Далі проконвертовану руду розчиняють і з очищених розсолів вакуум-кристалізацією виділяють шеніт, який переробляють на безхлоридну калімагнезію. Це дає змогу, на відміну від існуючої технології [2], уникнути утворення відхідних магнійхлоридних розчинів, спростити технологічну схему, різко зменшити енерговитрати, збільшити випуск добрив.

На підставі зазначеного можна припустити, що введенням у перероблювані системи (розчини хвостосховищ і Домбровського кар'єру, розчини після розчинення руди) відповідних кількостей сульфатних солей, наприклад  $Na_2SO_4$ , можна збалансувати співвідношення  $Cl^- : SO_4^{2-}$ , зв'язати увесь Калій і Магній у шеніт і епсоміт, а хлорид-іони – у  $NaCl$ .

Досліджували можливість реалізації запропонованої ідеї під час стадії випаровування розчинів хвостосховища з додаванням до них натрію сульфату. Випаровуванням і охолодженням випаруваних розчинів намагалися одержати окремі продукти.

**Мета роботи** – вивчити вплив кількості  $Na_2SO_4$ , доданого на конверсію до розчину хвостосховища, і ступінь випаровування на вихід і склад сольових сумішей, одержаних під час випаровування утвореної системи та її охолодження.

**Експериментальна частина.** Для досліджень використали розчин Калуського хвостосховища № 2, відібраний у місці його фільтрації через тіло дамби, такого складу (мас. %):  $K^+$  – 2,19;  $Na^+$  – 5,74;  $Mg^{2+}$  – 2,21;  $Cl^-$  – 11,66;  $SO_4^{2-}$  – 7,65;  $H_2O$  – 70,55.

Вивчали вплив кількості доданого  $Na_2SO_4$  щодо стехіометрії і ступеня випаровування розчину на вихід і склад сольових осадів. Стехіометричну норму  $Na_2SO_4$  розраховували за вмістом  $Na^+$ , якого не вистачає у початковому розчині для зв'язування усього  $Cl^-$  у  $NaCl$ .  $Na_2SO_4$  брали у недостатчі (28...98 % від стехіометричної норми), щоб уникнути кристалізації сульфатних мінералів під час випаровування. Ступінь випаровування розчинів вибирали таким, за якого кристалізувався б сольовий осад із вмістом  $K^+$  і  $Mg^{2+}$  не більше як 0,5...0,6 %.

Відповідну кількість  $Na_2SO_4$  додавали до початкового розчину перед випаровуванням. Випаровування здійснювали на лабораторній вакуум-випарній установці під розрідженням 76 і 78 кПа. Після досягнення потрібного ступеня випаровування суспензію охолоджували до температури 323 К, за якої ще продовжував кристалізуватися  $NaCl$ , і розділяли на вакуум-фільтрі.

Зважували одержану сіль та гарячий фільтрат і відбирали їхні проби на аналіз. У відібраних пробах визначали вміст компонентів відомими методами:  $K^+$  і  $Na^+$  – полуменевофотометричним;  $Mg^{2+}$  і  $Ca^{2+}$  – комплексонометричним;  $Cl^-$  – меркурометричним;  $SO_4^{2-}$  – за різницею еквівалентів катіонів та аніонів. Випаруваний розчин охолоджували до 293 К, витримували за цієї температури 30 хв і утворену суспензію розділяли на вакуум-фільтрі. Одержані сіль і маточний розчин зважували і відбирали з них проби на аналіз. Для порівняння виконали також експерименти з випаровування розчину хвостосховища без додавання  $Na_2SO_4$ .

За результатами аналізів визначали хімічний склад розчинів та одержаних сольових осадів. Хімічний склад осадів перераховували на мінеральний. Розраховували матеріальні баланси і за ними визначали виходи сольових осадів (%): за масою – як відношення маси осаду до маси початкової суміші; за  $NaCl$ , за  $K^+$  і за  $Mg^{2+}$  – як відношення мас, відповідно,  $NaCl$ ,  $K^+$  і  $Mg^{2+}$  в одержаному осаді до мас цих самих компонентів у початковій суміші.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Одержані результати (табл. 1) показали, що за ступеня випарювання 21,77 % і додавання на конверсію 98 % кількості  $Na_2SO_4$  щодо стехіометрії із випаруваного розчину кристалізувався осад натрію хлориду (84,1 %) із істотною кількістю домішок сульфатних солей (вміст  $SO_4^{2-}$  становив 7,52 %). Перерахунок хімічного складу на мінеральний показав, що основною домішкою, найімовірніше був вантгофіт  $MgSO_4 \cdot 3Na_2SO_4$ , вміст якого становив 9,4 %. Зменшення кількості  $Na_2SO_4$  на конверсію до 55 % зі збільшенням ступеня випарювання розчину до 23...27 % зумовило різке зменшення вмісту сульфат-іонів (до 3,6...4 %). У перерахунку на мінеральний склад вміст вантгофіту в осадах упав до 1,7...2,3 %, а з'явилися леоніт  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$  (2,3...2,8 %) та епсоміт  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (2,1...3,3 %). Подальше зменшення кількості  $Na_2SO_4$  на конверсію до 28 % від стехіометрії та збільшення ступеня випарювання розчину до 29 % меншою мірою вплинуло на склад одержуваних осадів. Вміст  $NaCl$  у них становив 84...86 %, а серед домішок леоніту та епсоміту виявили також  $KCl$  (1,1...2,2 %).

Таблиця 1

**Вплив ступеня випаровування ( $\alpha$ ) і кількості  $Na_2SO_4$  на склад рідких і твердих фаз після випаровування розчину хвостосховища**

$\alpha$ , %	Кількість $Na_2SO_4$ щодо стехіометрії, %	Назва фази	Склад, % мас.					
			$K^+$	$Na^+$	$Mg^{2+}$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$H_2O$
21,77	98	Осад $O_{30}$	0,50	35,45	0,49	51,02	7,52	5,01
		Розчин $P_{30}$	2,85	6,84	2,87	11,95	12,98	62,50
23,21	55	Осад $O_{20}$	0,60	33,33	0,59	50,75	3,98	10,74
		Розчин $P_{20}$	2,94	6,70	3,04	11,28	14,34	61,70
26,62	55	Осад $O_{10}$	0,49	34,05	0,46	51,62	3,64	9,74
		Розчин $P_{10}$	3,06	6,47	3,02	11,38	13,82	62,24
26,91	28	Осад $O_{50}$	0,58	33,85	0,56	52,63	2,36	10,02
		Розчин $P_{50}$	3,09	6,71	3,14	12,10	13,86	61,10
28,55	29	Осад $O_{70}$	0,67	33,37	0,56	51,97	2,36	11,07
		Розчин $P_{70}$	3,19	6,04	3,38	12,63	12,78	61,98
28,84	32	Осад $O_{40}$	0,62	33,16	0,58	52,18	1,67	11,78
		Розчин $P_{40}$	3,16	6,28	3,33	12,54	13,18	61,51
30,01	–	Осад $O_{80}$	0,58	34,41	0,50	54,42	0,87	9,22
		Розчин $P_{80}$	3,27	5,43	3,86	13,17	12,75	61,52
39,10	–	Осад $O_{60}$	1,15	33,47	0,82	52,94	2,88	8,73
		Розчин $P_{60}$	4,12	4,47	4,41	13,14	14,04	59,82

У дослідях, у яких не додавали  $Na_2SO_4$  на конверсію, розчини випаровували до такого самого і вищого ступенів випарювання. За  $\alpha = 30,0$  % одержали осад  $O_{80}$  з вмістом  $NaCl$  87,5 % і мінімальною кількістю домішок сульфатних солей (вміст  $SO_4^{2-}$  становив 0,87 %), а за  $\alpha = 39,1$  % в осаді  $O_{60}$  був 85,1 %  $NaCl$  і в 3,3 раза більше сульфат-іонів.

Аналіз складу випаруваних розчинів показав їх доволі високу насиченість за іонами  $\text{Na}^+$  і особливо  $\text{Cl}^-$ , зокрема у розчинах, до яких додавали  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , вміст  $\text{Na}^+$  на 0,6...1 % вищий.

За результатами досліджень розраховали виходи сольових осадів(табл. 2).

Таблиця 2

**Вихід осадів залежно від ступеня випаровування розчину і кількості  $\text{Na}_2\text{SO}_4$**

Назва осаду	Вихід осаду, %	
	за масою	за $\text{NaCl}$
Осад $O_{30}$	6,75	32,76
Осад $O_{20}$	6,22	31,54
Осад $O_{10}$	6,74	34,47
Осад $O_{50}$	6,44	35,55
Осад $O_{70}$	7,81	42,20
Осад $O_{40}$	7,54	40,97
Осад $O_{80}$	7,33	42,96
Осад $O_{60}$	11,40	66,05

Розрахунки показали деяке зменшення виходів за масою і за  $\text{NaCl}$  в осаді  $O_{20}$  порівняно з осадом  $O_{30}$ , зумовлене зменшенням стехіометричної норми натрію сульфату від 98 до 55 %, незважаючи на збільшення ступеня випаровування від 21 до 23 %. Це свідчить про зменшення в осаді кількості  $\text{NaCl}$ , утвореного внаслідок конверсії. Надалі зі збільшенням ступеня випаровування від 23 до 29 % і зменшенням кількості  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  щодо стехіометричної норми, вихід осаду за масою зріс на 1,6 %, а вихід за  $\text{NaCl}$  – на 11 %. Тобто основну роль тут відіграло збільшення ступеня випаровування розчину.

У досліджах без додавання  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на конверсію навіть за дещо вищого ступеня випарювання (30,0 проти 28,6 чи 28,8 %) вихід осаду  $O_{80}$  за масою був трохи менший, ніж осадів  $O_{70}$  чи  $O_{40}$ , у яких випадали ще й сульфатні солі, хоча вихід за  $\text{NaCl}$  дещо більший. За  $\alpha = 39,1$  % відбулося 1,5-разове зростання обох показників виходів внаслідок глибокого зневоднення розчину.

Отже, додавання  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на стадію випаровування розчинів хвостосховища не дає змоги збільшити вихід  $\text{NaCl}$  внаслідок конверсії із хлоридними солями, оскільки відбувається кристалізація спільних сульфатних мінералів Натрію та Магнію. Очікували, що конверсійний  $\text{NaCl}$  виділятиметься на подальших стадіях перероблення розчинів.

Гарячі розчини після випаровування є значною мірою збагаченими за калію та магнію сульфатами. Їх охолодженням до температури 293 К сподівалися одержати сольові суміші на основі шеніту, які можна було б переробляти на безхлоридне добриво. Результати цих дослідів наведені у табл. 3.

Таблиця 3

**Склад розчинів та сольових осадів після охолодження випарованих розчинів**

$\alpha$ , %	Кількість $\text{Na}_2\text{SO}_4$ щодо стехіометрії, %	Назва фази	Склад, % мас.					
			$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{O}$
21,77	98	Осад $O_{31}$	13,39	11,89	4,04	15,90	35,72	19,06
		Розчин $P_{31}$	2,39	6,36	2,84	11,55	11,80	65,07
23,21	55	Осад $O_{21}$	12,41	13,10	4,28	13,82	40,82	15,57
		Розчин $P_{21}$	2,47	6,47	2,91	11,79	12,07	64,29
26,62	55	Осад $O_{11}$	14,02	9,85	4,33	12,89	37,43	21,48
		Розчин $P_{11}$	2,16	6,22	2,90	11,09	12,09	65,54
26,91	28	Осад $O_{51}$	14,81	9,05	4,38	14,20	35,18	22,38
		Розчин $P_{51}$	2,32	6,08	3,11	11,94	11,68	64,87
28,55	29	Осад $O_{71}$	16,27	7,69	5,09	14,90	35,97	20,08
		Розчин $P_{71}$	2,19	6,07	3,31	12,58	11,41	64,44
28,84	32	Осад $O_{41}$	14,14	9,48	4,64	13,01	37,92	20,80
		Розчин $P_{41}$	2,31	6,02	3,17	11,94	11,78	64,70
30,01	-	Осад $O_{81}$	14,38	10,65	4,45	14,20	38,27	18,05
		Розчин $P_{81}$	2,58	5,13	3,47	13,17	9,77	65,88
39,10	-	Осад $O_{61}$	19,84	4,58	2,85	5,32	38,01	29,41
		Розчин $P_{61}$	2,10	4,24	3,89	12,85	9,41	67,51

Із одержаних результатів бачимо, що внаслідок охолодження випарованих розчинів із них кристалізуються суміші сульфатних солей (35...41 %  $\text{SO}_4^{2-}$ ) із значним вмістом хлоридних (13...16 %  $\text{Cl}$ ), що ускладнює їх перероблення на безхлоридні добрива. Підвищення ступеня випаровування і зменшення кількостей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , доданих на конверсію, зумовили зменшення вмісту  $\text{Na}^+$  у складі осади, одержаних після охолодження, від 13 до 8 %, і підвищення вмісту  $\text{K}^+$  (від 12 до 16 %) та  $\text{Mg}^{2+}$  (від 4 до 5 %). Осади, одержані під час охолодження випарованих розчинів без додавання  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на конверсію, містять більше  $\text{K}^+$  і менше  $\text{Mg}^{2+}$  за близького вмісту  $\text{SO}_4^{2-}$ . Водночас у їхніх маточних розчинах вміст  $\text{Na}^+$  на 1...1,5 % менший.

У перерахунку на мінеральний склад одержані осади склалися переважно з леоніту (57...76 %) із домішками  $\text{NaCl}$  і  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , вміст яких зменшувався відповідно від 28 до 20 % і від 7 до 3 % (або взагалі без  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) із зменшенням кількості  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на конверсію. Осади, одержані із випарованих розчинів без додавання  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , містили аналогічні кількості леоніту, а вміст  $\text{NaCl}$  в осаді  $\text{O}_{81}$  був навіть дещо вищим порівняно з осадом  $\text{O}_{41}$  (23,4 проти 21,5 %), що зумовлено вищим ступенем випаровування. Осад  $\text{O}_{61}$ , одержаний охолодженням найбільш випарованого розчину, містив найменше  $\text{NaCl}$  (14,2 %), оскільки він випав під час випаровування, і 7,1 %  $\text{KCl}$ .

Розрахунки виходу осади, одержаних після охолодження випарованих розчинів, показали (табл. 4), що зі збільшенням ступеня випаровування від 21 до 29 % та зменшенням кількості  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  порівняно зі стехіометричною нормою, вихід осади за масою зріс в 1,8 раза, а вихід за  $\text{NaCl}$  змінювався у межах 5...10 %. Виходи за  $\text{K}^+$  та  $\text{Mg}^{2+}$  спершу різко зросли із зміною ступеня випаровування від 23 до 27 %, а далі вихід за  $\text{K}^+$  зростав повільніше, а за  $\text{Mg}^{2+}$  фактично не змінювався. Потрібно відзначити, що внаслідок одночасної дії збільшення ступеня випаровування у поєднанні з конверсією відбувалося значне зростання виходу осади не лише за  $\text{K}^+$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , а й за  $\text{NaCl}$  (наприклад, осад  $\text{O}_{11}$ ), тобто  $\text{NaCl}$ , утворений за рахунок конверсії, випадав також під час охолодження випарованих розчинів.

Таблиця 4

#### Вихід осади після охолодження випарованих розчинів

Назва осади	Вихід осади, %			
	за масою	за $\text{NaCl}$	за $\text{K}^+$	за $\text{Mg}^{2+}$
Осад $\text{O}_{31}$	4,33	6,57	20,31	6,08
Осад $\text{O}_{21}$	4,63	7,57	19,50	5,89
Осад $\text{O}_{11}$	7,68	9,91	35,17	11,02
Осад $\text{O}_{51}$	6,56	7,95	36,17	9,16
Осад $\text{O}_{71}$	7,17	5,36	36,42	10,86
Осад $\text{O}_{41}$	7,57	8,72	41,47	10,41
Осад $\text{O}_{81}$	5,85	9,91	25,81	6,67
Осад $\text{O}_{61}$	11,43	8,79	55,01	13,14

У дослідях, у яких не додавали  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на конверсію, після охолодження випарованих розчинів одержали сольові осади  $\text{O}_{81}$  і  $\text{O}_{61}$ , які значно відрізнялися за виходами компонентів між собою, що зумовлено різним ступенем випаровування розчинів, і від попередніх осади, де введення  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  сприяло повнішому осадженню калійно-магнієвих солей. Так, виходи за масою, за  $\text{K}^+$  і за  $\text{Mg}^{2+}$  осади  $\text{O}_{81}$  в 1,3...1,6 раза менші від цих самих показників для осади  $\text{O}_{41}$ . Водночас деяке збільшення виходу за  $\text{NaCl}$  в осадах  $\text{O}_{81}$  і  $\text{O}_{61}$  зумовлене лише більшим ступенем випаровування. Сольовий осад  $\text{O}_{61}$ , одержаний охолодженням найглибше випарованого розчину, містить найбільше калію та найменше  $\text{Cl}$ , тобто найбільше підходить для перероблення на безхлоридне добриво.

Отже,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , доданий на стадію випаровування розчину хвостосховища, конвертує частково з утворенням  $\text{NaCl}$ , який кристалізується як під час випаровування, так і під час охолодження випарованого розчину. Частина надлишкового  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  випадає під час випаровування у вигляді вантгофіту і під час охолодження випареного розчину у формі тенардиту. Решта  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  залишається у кінцевому розчині, витісняючи з нього калію та магнію сульфати.

**Висновки:** 1. У накопичених внаслідок діяльності калійних підприємств розчинах хвостосховищ Домбровського кар'єру, а також у виробничих розчинах після розчинення руди еквівалентний вміст  $\text{Cl}^-$ -іонів більший, ніж  $\text{Na}^+$ , тому їх неможливо повністю зв'язати та вивести у формі  $\text{NaCl}$  і важко одержувати безхлоридні продукти. Введення у зазначені розчини  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  створює передумови для вирівнювання співвідношення  $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-}$ , зв'язування усього Калію і Магнію у шеніт і епсоміт, а хлорид-іонів – у  $\text{NaCl}$ .

2. Доданий на стадію випаровування розчинів хвостосховища  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  дає змогу дещо збільшити вихід  $\text{NaCl}$  під час випаровування і подальшого охолодження випарованих розчинів внаслідок конверсії із хлоридними солями, надлишкова його кількість кристалізується у вигляді спільних сульфатних мінералів Натрію та Магнію і тенардиту.

3. Частина  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  залишається у випарованому розчині, витісняючи з нього калію та магнію сульфати.

1. Яворский В. Т. *Переработка растворов хвостохранилищ калийных производств Прикарпатья в кондиционные продукты* / В. Т. Яворский, Т. В. Перекупко, К. И. Блаживский, И. Е. Максимович, А. В. Перекупко // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2012. – № 5. – С. 71–75. 2. Лунькова Ю. Н., Хабер Н. В. *Производство концентрированных калийных удобрений из полиминеральных руд*. – К: Техніка, 1980. – 158 с. 3. *Переработка природных солей и рассолов: справочник* / И. Д. Соколов, А. В. Муравьев, Ю. С. Сафрыгин и др.; под ред. И. Д. Соколова. – Л.: Химия, 1985. – 209 с. 4. Артус М. І. *Безхлорний шеніт. Перероблення полімінеральних калійних руд шляхом конверсії хлоридних калійних і калійно-магнієвих мінералів із натрій сульфатом* / М. І. Артус, І. Ю. Костів // *Хімічна промисловість України*. – 2014. – №2(121). – С. 53–57.