

О.О. Хижняк, аспірант

O. Khizhnyak

А.К. Запольський, д.т.н., професор

A. Zapolskiy

**ЗАСТОСУВАННЯ ОСНОВНИХ СУЛЬФАТІВ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ  
ЕФЕКТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ  
APPLICATION OF THE BASIC SULFATES OF ALUMINIUM FOR  
EFFECTIVE CLEARING NATURAL WATER**

*Представлені результати коагуляційного очищення природної води річок Десна і Дніпро в весняно-осінній та паводковий періоди року коагулянтами на основі сульфату алюмінію. Визначено ефективний коагулянт для отримання якісної води.*

**Ключові слова:** *коагулянт, основні сульфати алюмінію, сульфат алюмінію, коагуляційне очищення.*

*Results coagulatory clearing of natural water of the rivers Desna and Dnepr in spring - autumn and flood the periods of year coagulants are submitted on the basis of sulfate of aluminium, is determined optimum coagulant for reception of potable water.*

**Key words:** *coagulant, basis of sulfate of aluminium, sulfate of aluminium, coagulatory clearing.*

Вода – є основою життя. І дуже хочеться, щоб питна вода була чистою і безпечною. Але, нажаль, вода забруднена багатьма шкідливими сполуками, які іноді перевищують нормативи. Це характерно як для природної води, так і для водопровідної води. Основними реагентами в технології очищення води є сульфат алюмінію та хлор, що обумовлює вміст розчинних сполук алюмінію та органічних речовин, зокрема канцерогенних хлорорганічних речовин. Встановлено зв'язок між підвищеним вмістом алюмінію і такими хворобами в організмі людини,

як анемія, порушення обміну речовин, хвороба Альцгеймера та ін [1].

З літератури [2] відомо, що сульфат алюмінію ефективний при дестабілізації природних дисперсій з невеликим вмістом глинистих мінералів та колоїднорозчинних гумусових речовин в інтервалі значень рН 5,0 – 7,5. Але суттєвим недоліком цього коагулянту є зниження його коагулятивної ефективності при низькій температурі очищеної води. В цих умовах повільна швидкість агрегатоутворення і седиментації призводять до підвищеного вмісту алюмінію в очищеній воді. Висока кислотність сульфату алюмінію зумовлює потребу в підвищеному лужному резерві або в додатковій стадії водоочищення – підлугуванні. Основні солі алюмінію не мають вище перерахованих недоліків.

Метою досліджень було порівняння ефективності коагулювання основних солей алюмінію з традиційним коагулянтом – сульфатом алюмінію в весняний і осінній періоди року, а також оцінка якості води після її обробки.

В якості основних солей алюмінію використовували основні сульфати алюмінію (КК) з  $M_o$  2.7, 2.5, 2.3 та дигідроксосульфат алюмінію (ДГСА) з  $M_o$  2.0.  $M_o$  (модуль основності) – це відношення  $SO_3 : Al_2O_3$  в молекулі солі. Ефективність коагуляційної здатності речовин, що досліджували, визначали методом пробної коагуляції. Контролювали природну і очищену воду згідно показників каламутності, кольоровості та вмісту залишкового алюмінію. Коагулянти дозували 1,0 % - им розчином по  $Al_2O_3$ . Для знезаражування використовували хлор. Дозу хлору визначали як для виробничого первинного хлорування. Порівняння коагулятивної здатності композитних коагулянтів з сульфатом алюмінію проводили в умовах, наближених до виробничих: введення коагулянту, первинне хлорування, відстоювання та фільтрування. Температура природної води змінювалась в межах 5.1 - 14 °С.

На Деснянській станції дослідження коагуляційної ефективності композитів і сульфату алюмінію здійснювали в два етапи, а саме 5,1 – 8,0 °С і 8,1 – 14,0 °С. На Дніпровській станції в один, а саме при  $t > 5.0$

°С. Це було пов'язано, по-перше, з відсутністю весняного паводку на Дніпрі, а, по-друге, з практичною незмінністю показників вихідної води в цей час:  $M^* = 2.0 - 3.5 \text{ мг/дм}^3$ ;  $K^{**} = 43 - 65 \text{ град}$ ;  $L^{***} = 1.85 - 2.8 \text{ ммоль/дм}^3$ ;  $pH = 7.70 - 8.2$ .

Отримані результати (табл. 1 – 4) наглядно демонструють закономірність: зменшення модуля основності зразків в діапазоні 3,0 – 2,0 зміщує оптимальну дозу коагулянту в область менших значень. Відповідно, композитні коагулянти підвищеної основності більш ефективні за сульфат алюмінію і при очищенні високомутих вод. Це пояснюється тим, що зі збільшенням основності збільшується заряд позитивно заряджених продуктів їх гідролізу. Додаткове збільшення останнього спостерігається і при зменшенні дози коагулянтів. Вказана дія цих факторів на дзета-потенціал частинок гідроксиду алюмінію повинно сприяє більш інтенсивній їх взаємодії з від'ємно зарядженими домішками в процесі гетерокоагуляції, і, отже, більш глибокому їх видаленню за менших витрат коагулянту, що й спостерігається на практиці.

З табл. 1 видно, що оптимальні дози композитних коагулянтів підвищеної основності для  $M_0 = 2,0; 2,3; 2,5$  і  $2,7$  значно менші, ніж для сульфату алюмінію і становлять відповідно 13,5; 16,5, 16,5 і 18,0  $\text{мг/дм}^3$ . Для сульфату алюмінію вона становить більше 18,0  $\text{мг/дм}^3$ . Щодо осінньої пори року, то динаміка визначення оптимальних доз КК і ДГСА, дещо інша, якщо весною, ми визначали оптимальну дозу по вмісту залишкового алюмінію, оскільки мали мінімальне значення, то восени такого значення немає – зі збільшенням дози коагулянту зменшується кольоровість і залишковий алюміній. Тому оптимальною вважали дозу, яка давала значення кольоровості менше 20 град, а вміст алюмінію біля 0,8  $\text{мг/дм}^3$ . Для сульфату алюмінію така доза становила більше 12  $\text{мг/дм}^3$ , для ДГСА – 6,0  $\text{мг/дм}^3$ .

---

$M^*$  - мутність;  $K^{**}$  - кольоровість;  $L^{***}$  - лужність.

**Вплив типу коагулянту та дози на ефективність коагуляції в  
весняну пору року річки Дніпро.**

Вихідна вода: М = 2,5 мг/л; К = 65 град; Л = 1,85 ммоль/л; рН = 8,0

№	Коагулянт (тип, модуль)	Доза (мг/дм <sup>3</sup> )	Параметри очищеної води			Пластівце- утворення, осадження
			Каламут- ність, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоро- вість, град	Al <sub>ЗАЛ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	
1	СА	12	1,1	24	1,17	поч.осадж.
2		13,5	1,0	23	1,08	поч.осадж.
3		15	0,9	22	0,98	осадження
4		16,5	0,75	21	1,03	зн.осадж.
5		18	0,65	20	1,1	зн.осадж.
6	ДГСА M <sub>ос</sub> = 2.0	12	0,8	18	0,77	осадження
7		13,5	0,6	17	0,68	осадження
8		15	0,5	16	0,63	зн.осадж.
9		16,5	0,4	15	0,76	зн.осадж.
10		18	0,35	14	0,81	зн.осадж.
11	КК M <sub>ос</sub> = 2.3	12	0,85	19	0,86	осадження
12		13,5	0,75	18	0,78	осадження
13		15	0,6	17	0,75	зн.осадж.
14		16,5	0,5	16	0,72	зн.осадж.
15		18	0,4	15	0,84	зн.осадж.
16	КК M <sub>ос</sub> = 2.5	12	0,9	20	0,91	поч.осадж.
17		13,5	0,8	18	0,83	осадження
18		15	0,7	17	0,78	осадження
19		16,5	0,6	16	0,75	осадження
20		18	0,45	16	0,84	зн.осадж.
21	КК M <sub>ос</sub> = 2.7	12	0,95	21	0,95	поч.осадж.
22		13,5	0,85	20	0,86	поч.осадж.
23		15	0,75	18	0,84	осадження
24		16,5	0,6	17	0,80	осадження
25		18	0,5	17	0,76	зн.осадж.

## Вплив типу коагулянту та його дози на ефективність коагуляції в осінню пору року річки Дніпро.

Вихідна вода: М = 3,5 мг/л; К = 45 град; Л = 2,8 ммоль/л; рН = 8,2

№	Коагулянт (тип, модуль)	Доза (мг/дм <sup>3</sup> )	Параметри очищеної води			Пластівце- утворення, осадження
			Каламут- ність, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоро- вість, град	Al <sub>ЗАЛ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	
1	СА	6,0	1,8	26	1,24	др.пласт
2		7,5	1,7	24	1,17	кр.пласт.
3		9,0	1,65	23	1,09	поч.осадж.
4		10,5	1,55	22	1,00	поч.осадж.
5		12	1,45	21	0,91	осадження
6	ДГСА M <sub>ос</sub> = 2.0	6,0	0,95	18	0,84	осадження
7		7,5	0,85	17	0,77	осадження
8		9,0	0,75	16	0,69	осадження
9		10,5	0,65	15	0,61	зн.осадж.
10		12	0,50	14	0,54	зн.осадж.
11	КК M <sub>ос</sub> = 2.3	6,0	1,0	20	0,95	поч.осадж.
12		7,5	0,9	19	0,85	осадження
13		9,0	0,8	17	0,77	осадження
14		10,5	0,7	16	0,69	осадження
15		12	0,6	15	0,61	зн.осадж.
16	КК M <sub>ос</sub> = 2.5	6,0	1,15	21	1,09	кр.пласт.
17		7,5	1,05	20	0,98	поч.осадж.
18		9,0	0,95	18	0,89	осадження
19		10,5	0,9	17	0,81	осадження
20		12	0,85	16	0,72	зн.осадж.
21	КК M <sub>ос</sub> = 2.7	6,0	1,40	23	1,13	кр.пласт.
22		7,5	1,25	21	1,06	кр.пласт.
23		9,0	1,15	20	0,97	поч.осадж.
24		10,5	1,10	19	0,89	осадження
25		12	1,00	18	0,80	осадження

Так залишковий алюміній в досліджуваному інтервалі оптимальних доз коагулянтів 6,0 – 18,0 мг/дм<sup>3</sup> не перевищує 0,7-0,8 мг/дм<sup>3</sup>. В той же час інтенсивність процесу пластівцеутворення забезпечує практично повну седиментацію дисперсної фази у відстійниках, що дозволяє зменшити навантаження на фільтри на очисних спорудах.

Для Деснянської води дослідження коагуляційної ефективності ДГСА, КК і сульфату алюмінію здійснювали в два етапи – 5,1 ÷ 8,0 °С і

8,1 ÷ 14,0 °С, оскільки річка характеризується паводковим періодом, (різке збільшення показників кольоровості і мутності) в першому інтервалі температур. Це було необхідним для з'ясування впливу високої мутності і температури на процес коагуляції з використанням досліджуваних коагулянтів. Перш за все варто відмітити, що збільшення температури і мутності води р. Десна (порівняно з зимовим періодом) позитивно впливає на коагулюючу дію сульфату алюмінію, що узгоджується з літературними даними [3].

**Вплив типу коагулянту та його дози на ефективність коагуляції в паводковий період року річки Десна**

Вихідна вода: М = 9,6 мг/дм<sup>3</sup>; К = 55 град; Л = 2,7 ммоль/дм<sup>3</sup>; рН = 7,9

№	Коагулянт (тип, модуль)	Доза (мг/дм <sup>3</sup> )	Параметри очищеної води			Пластівце- утворення, осадження
			Каламут- ність, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоро- вість, град	Al <sub>ЗАЛ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	
1	СА	1,5	4,50	26	1,32	поч.осадж.
2		3,0	4,25	25	1,29	поч.осадж.
3		4,5	4,10	24	1,13	др.пласт.
4		6,0	3,45	23	1,00	др.пласт.
5		7,5	2,90	21	0,91	кр.пласт.
6		9,0	2,50	20	0,83	осадження
7	ДГСА M <sub>ос</sub> = 2.0	1,5	4,10	21	1,06	поч.осадж.
8		3,0	3,75	20	0,88	др.пласт.
9		4,5	3,40	19	0,79	др.пласт.
10		6,0	2,55	18	0,71	кр.пласт.
11		7,5	1,69	17	0,63	осадження
12		9,0	1,45	16	0,56	зн.осадж.
13	КК M <sub>ос</sub> = 2.3	1,5	4,15	22	1,04	поч.осадж.
14		3,0	3,95	21	1,04	поч.осадж.
15		4,5	3,60	20	0,89	осадження
16		6,0	3,20	19	0,77	осадження
17		7,5	2,90	18	0,69	зн.осадж.
18		9,0	2,55	17	0,60	зн.осадж.
19	КК M <sub>ос</sub> = 2.5	1,5	4,30	24	1,11	поч.осадж.
20		3,0	4,05	23	1,09	поч.осадж.
21		4,5	3,75	22	0,94	др.пласт.
22		6,0	3,40	21	0,83	др.пласт.
23		7,5	3,15	20	0,75	кр.пласт.
24		9,0	3,05	19	0,68	осадження
25	КК M <sub>ос</sub> = 2.7	1,5	4,40	25	1,26	поч.осадж.
26		3,0	4,15	24	1,23	др.пласт.
27		4,5	3,85	23	1,05	др.пласт.
28		6,0	3,50	22	0,88	др.пласт.
29		7,5	3,25	21	0,79	кр.пласт.
30		9,0	3,00	20	0,70	осадження

**Вплив типу коагулянту та його дози на ефективність коагуляції в  
весняно-осінній період року річки Десна**

Вихідна вода: М = 4,9 мг/дм<sup>3</sup>; К = 45 град; Л = 3,3 ммоль/дм<sup>3</sup>; рН = 7,9

№	Коагулянт (тип, модуль)	Доза (мг/дм <sup>3</sup> )	Параметри очищеної води			Пластівце- утворення, осадження
			Каламут- ність, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоро- вість, град	Al <sub>ЗАЛ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	
1	СА	1,5	1,65	25	1,24	поч.осадж.
2		3,0	1,55	24	1,18	поч.осадж.
3		4,5	1,45	23	1,05	поч.осадж.
4		6,0	1,35	22	0,97	др.пласт.
5		7,5	1,25	20	0,91	кр.пласт.
6		9,0	1,20	19	0,86	осадження
7	ДГСА	1,5	1,30	20	1,04	поч.осадж.
8	М <sub>ос</sub> = 2.0	3,0	1,20	19	0,98	др.пласт.
9		4,5	1,10	18	0,87	осадження
10		6,0	1,00	17	0,80	осадження
11		7,5	0,95	16	0,75	зн.осадж.
12		9,0	0,85	15	0,70	зн.осадж.
13	КК	1,5	1,45	21	1,09	поч.осадж.
14	М <sub>ос</sub> = 2.3	3,0	1,35	20	1,02	поч.осадж.
15		4,5	1,25	19	0,90	осадження
16		6,0	1,15	18	0,82	осадження
17		7,5	1,05	17	0,76	зн.осадж.
18		9,0	0,95	16	0,71	зн.осадж.
19	КК	1,5	1,50	23	1,16	поч.осадж.
20	М <sub>ос</sub> = 2.5	3,0	1,40	21	1,09	поч.осадж.
21		4,5	1,30	20	0,97	др.пласт
22		6,0	1,20	19	0,89	др.пласт
23		7,5	1,10	18	0,82	осадження
24		9,0	1,00	17	0,76	осадження
25	КК	1,5	1,65	24	1,21	поч.осадж.
26	М <sub>ос</sub> = 2.7	3,0	1,55	23	1,14	поч.осадж.
27		4,5	1,45	22	0,96	поч.осадж.
28		6,0	1,35	21	0,88	осадження
29		7,5	1,25	20	0,83	осадження
30		9,0	1,15	19	0,78	зн.осадж.

Паводковий період річки Десна характеризується високими показниками якості природної води – мутності і кольоровості, зокрема висока мутність, кольоровість. Тому для очищення води потрібні високі



оптимальні дози коагулянтів. Так для сульфату алюмінію вона становить  $9.0 \text{ мг/дм}^3$ . Тенденція зниження дози коагулянту при підвищенні основності КК спостерігається в повній мірі. Оптимальні дози для КК з  $M_0$  від 2,7 до 2,0 змінюються від 9,0 до 4,5  $\text{мг/дм}^3$ .

Збільшення температури вище  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  за підвищеної мутності Деснянської води позитивно відображається на пластівцеутворювальній здатності сульфату алюмінію, доза якого зменшується від 9,0  $\text{мг/л}$  для температури  $\sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл.1) до оптимальної величини 7,5  $\text{мг/л}$  для  $t \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 10.4).

В табл. 1 - 4 наведені результати коагуляційного очищення Дніпровської і Деснянської вод ДГСА, КК підвищеної основності і сульфатом алюмінію у весняний та осінній сезони. Як видно, за співставимих показників очищеної води заміна сульфату алюмінію коагулянтами з  $M_0 = 2,0; 2,3; 2,5; 2,7$  обумовлює економію дози реагента в 1,5 – 2,5 рази. При цьому кількість розчиненого алюмінію у очищеній воді також нижча при використанні композитів і ДГСА.

Таким чином, дослідження, виконані на спорудах Деснянської та Дніпровської водопровідних станцій, показали, що у весняний паводковий період композитні коагулянти з підвищеною основністю є більш ефективними коагулянтами ніж сульфат алюмінію. Використання останнього за температур нижче  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  і підвищеної мутності недоцільне, через неповне очищення води і додаткове внесення залишкового алюмінію.

### **Висновки**

Використання сульфату алюмінію при очищенні Деснянської води в весняну ( $t < 5^\circ\text{C}$ ) пори року недоцільне, оскільки залишковий алюміній в очищеній воді більше 0,8  $\text{мг/л}$ .

Висока коагуляційна активність композитів з підвищеною основністю дозволяє при їх застосуванні в оптимальних умовах не тільки зменшити витрату реагенту, але й зменшити вміст залишкового

алюмінію в очищеній воді в декілька разів, особливо в зимовий і весняний період на Десні (~3 рази).

Таким чином, дослідження процесу водопідготовки Деснянської і Дніпровської вод показали, що застосування композитних коагулянтів і ДГСА дозволяють отримати воду високої якості. Досліджені коагулянти є більш ефективними в порівнянні з сульфатом алюмінію в весняно-осінню та паводкову пори року. Чим вище основність коагулянтів (від 2,7 до 2,0), тим активніше протікає коагуляція (знижуються значення кольоровості, каламутності, залишкового алюмінію). Найкращу коагулятивну здатність проявляє дигідроксосульфат алюмінію (табл. 1 - 4).

### ЛІТЕРАТУРА

1. Запольський А.К., Баран А.А, Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. – 208с.
2. Гончарук В.В., Соломенцева И.М., Герасименко Н.Г. Коллоидно-химические аспекты использования основных солей алюминия в водоподготовке // Химия и технология воды. – 1999. – 21, № 1. – с.52 – 88.
3. Ткачев К.В., Запольский А.К., Кисель Ю.К. Технология коагулянтов. – Л.: Химия, 1978. – 183 с.

*Надійшла до редколегії 19.02.07р.*