

В роботі представлені результати дослідження процесів зниження мутності природних вод шляхом обробки коагулянтами на основі сполук алюмінію та відстоювання. Досліджено різні типи коагулянтів, їх концентрації та умови найбільш ефективного використання при зниженні мутності модельних розчинів на основі бентоніту, вивчено залежність залишкового вмісту твердої фази від умов відстоювання. Проаналізовано отримані результати

Ключові слова: мутність, відстоювання, коагулянт, алюміній, бентоніт, освітлення, залишкові концентрації, питні води

В работе представлены результаты исследования процессов снижения мутности природных вод путем обработки коагулянтами на основе соединений алюминия и отстаивания. Исследованы разные типы коагулянтов, их концентрации и условия использования при снижении мутности модельных растворов на основе бентонита, изучена зависимость остаточного содержания твердой фазы от условий отстаивания. Проанализированы полученные результаты

Ключевые слова: мутность, отстаивание, коагулянт, алюминий, бентонит, осветление, остаточные концентрации, питьевые воды

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЮМІНІЙМІСТКИХ КОАГУЛЯНТІВ В ПРОЦЕСАХ ОСВІТЛЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД

В. М. Радовенчик
Доктор технічних наук, професор*

E-mail: dokeco@ukr.net

С. В. Глиняна

Кафедра екології,

Національний університет

«Києво-Могилянська Академія»

вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, Україна, 04655

E-mail: sofaglynyana@gmail.com

Я. В. Радовенчик

Асистент*

E-mail: r.yar@ukr.net

Н. В. Калініченко*

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

*Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Сучасний стан гідросфери з кожним роком викликає все більшу стурбованість фахівців та пересічних громадян через надмірну забрудненість. Не минула ця проблема і територію України, де сьогодні без загрози здоров'ю споживати природну воду без попереднього очищення можна лише із 6 % поверхневих джерел. Всі інші поверхневі водойми та водотоки, а також і значна частина підземних горизонтів потребують складного очищення та знезараження. Очищення та знезараження складають сьогодні основний об'єм затрат на підготовку якісної питної води. Тому інтенсивні дослідження в даній галузі проводяться і сьогодні з метою здешевлення реагентів та підвищення якості води. З іншого боку, в природних водах міститься надзвичайно широка гама забруднювачів, котрі з різною ефективністю видаляються із водного середовища різними реагентами. Зазвичай, для забезпечення достатньої якості води передбачають попередні дослідження по визначенню ефективності її обробки саме цим реагентом, на основі чого робиться висновок про можливість його застосування в конкретній технології водопідготовки.

2. Постановка проблеми

Одним із найбільш поширених забруднювачів природних вод є високодисперсні тверді частки різної

природи, що утворюються в результаті як природних, так і антропогенних процесів [1]. У більшості випадків вони являють собою частинки глини, піску, ґрунту, що утворюються в результаті розмивання русла водними потоками та живих організмів і їх залишків незначних розмірів, що не осідають у водному середовищі [2]. Та якщо більші частки відділяються від водного середовища досить просто відстоюванням чи фільтруванням, то високодисперсні, особливо частки глини, можуть тривалий час перебувати в завислому стані, проходити через найменші отвори, осідати в порах фільтрів та знижувати їх продуктивність. Згідно з нормативними документами України, вміст твердої фази в питній воді не повинен перевищувати 1,5 мг/дм³. Природні води України мають значно більшу мутність. Наприклад, середня багаторічна мутність води р. Дніпро складає 46,5 мг/дм³ [3]. Тому переважна більшість поверхневих вод підлягає попередній обробці з метою видалення твердої фази. З кожним роком науковцями та промисловістю продукується все більша кількість реагентів, що орієнтовані на застосування в технологіях водопідготовки та збільшується перелік джерел, що застосовуються для забезпечення потреб населення. І якщо раніше в процесах водопостачання можна було використовувати лише джерела із маломутними і низькозабрудненими водами, то сьогодні дефіцит водних ресурсів змушує застосовувати всі наявні води і навіть очищені стічні води. Такий підхід ставить нові завдання по дослідженню

дженню ефективності різних реагентів в процесах обробки води в нових умовах.

3. Аналіз літературних даних

Сучасні технології відділення твердої фази від води використовують найрізноманітніші фізичні процеси, починаючи від відстоювання та закінчуючи центрифугуванням. Традиційними методами вважаються відстоювання та фільтрування, оскільки інші методи (флотація, сорбція, центрифугування та ін.), котрі дозволяють ефективно вирішувати зазначені питання, в більшості випадків, є високозатратними, потребують складного обладнання, мають низьку продуктивність [4]. Сучасні проблеми в галузі розділення фаз при підготовці природної води пов'язані із надзвичайно високою дисперсністю твердих часток, що перешкоджає їх ефективному відстоюванню [5]. Досить часто проблема ускладнюється стабільністю колоїдних часток за рахунок сольватації чи сорбції із розчину різноманітних речовин [6]. Однак на сьогодні відстоювання та фільтрування залишається найбільш прийнятним процесом для освітлення природних та стічних вод.

Сьогодні основні аспекти відстоювання мутних природних вод досить детально вивчені, в промислових масштабах налагоджено випуск необхідного обладнання, тому основним напрямком наукових досліджень в цій галузі є використання допоміжних реагентів для інтенсифікації освітлення води [7]. Найчастіше такими реагентами є коагулянти та флокулянти [8, 9]. В окремих складних випадках для підвищення ефективності відстоювання пропонують використовувати додатково частки магнетиту, металевого заліза, активованого вугілля і т. п. [10]. Зважаючи на відповідні складнощі відділення вказаних речовин від загального потоку рідини, широкого розповсюдження технології з їх використанням не набули. Оскільки склад та властивості твердої фази в різних водотоках можуть суттєво відрізнятися, підбір реагентів та їх дози необхідно проводити в кожному конкретному випадку. В попередній публікації результатів нашої роботи були представлені дані щодо застосування в процесах відстоювання різних типів флокулянтів [11].

Метою даної роботи було вивчення процесів обробки природних вод коагулянтами з метою зниження їх мутності до існуючих нормативів, вибір найбільш ефективних реагентів та умов їх використання.

4. Дослідження ефективності освітлення суспензій бентоніту коагулянтами

В якості модельних розчинів використовували відстояну протягом доби суспензію бентоніту, отриману шляхом відстоювання за методикою [11]. Для проведення дослідів 100 см³ суспензії з відомим вмістом твердої фази обробляли визначеною дозою реагенту, коригували рН (при необхідності) та знімали криві відстоювання протягом 2 годин. Після відстоювання фотоколориметричним методом визначали залишкову мутність води та ефективність відстоювання. В якості реагентів використовували хлорид алюмінію, гідроксохлорид алюмінію (ГОХА) 2/3, коагулянт про-

мислового виробництва на основі сполук алюмінію під торговою назвою "Полвак-68".

Як показали проведені дослідження, висока дисперсність часток бентоніту зумовлює низьку ефективність його відстоювання (рис. 1). Без обробки реагентом освітлення води протягом 2-х годин практично не спостерігається. Додавання хлориду алюмінію в дозах до 50 мг/дм³ (за йоном Al³⁺) суттєво на процеси відстоювання не впливає. Так, при дозі йонів алюмінію 50 мг/дм³ ступінь освітлення води склав всього 77 %. Оскільки початковий вміст твердої фази складав 34 мг/дм³, то доза коагулянту в 50 мг/дм³ в даних умовах є досить високою. Використання коагулянтів пов'язано зі збільшенням загальних витрат на обробку води та утворенням значних об'ємів осадів вологістю 95–99 %, тому подальше збільшення дози коагулянтів є, на нашу думку, недоцільним.

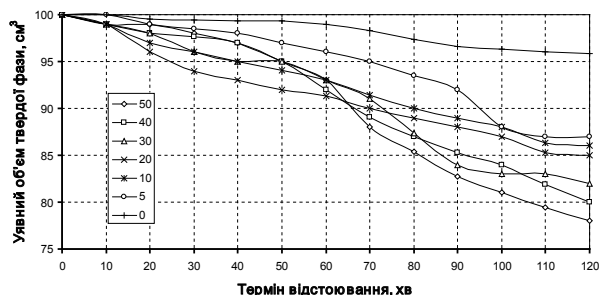


Рис. 1. Ефективність освітлення води при різних дозах коагулянту AlCl₃ (по Al³⁺ – мг/дм³): вміст твердої фази C_T = 34 мг/дм³, рН = 5,6, T = 22 °C

Залишкові концентрації бентоніту при обробці різними дозами коагулянтів досить суттєво змінюються (табл. 1). Нормативних значень мутності не було досягнуто навіть при дозі коагулянту 50 мг/дм³. Причому, об'єм освітленої води при цьому досить незначний – 23 % від початкового об'єму модельного розчину. Тому цілком очевидно, що отримані результати мало придатні для реальних технологічних процесів.

Не вдалося підвищити ефективність відстоювання і шляхом коригування водневого показника (рис. 2). Як видно з отриманих результатів, реагент мало ефективний в слабко кислому та слабко лужному середовищах. Оптимальним для хлориду алюмінію є нейтральне середовище. Як і було передбачено, в слабко кислому середовищі пластівці гідроксиду алюмінію не формуються, а у слабко лужному – починають розчинятися. Саме тому, на нашу думку, інтенсивність відстоювання при рН 8,4 вища, ніж при рН 10. Це підтверджує і характер кривої відстоювання. В перші 30 хв відстоювання тверда фаза при рН 10 осідає значно швидше, ніж при інших рН. В подальшому за рахунок часткового розчинення пластівців інтенсивність седиментації твердої фази суттєво знижується. Вказані тенденції характерні і для залишкових концентрацій твердої фази в освітленій воді (табл. 2), які є мінімальними в нейтральному середовищі та суттєво зростають в кислотній та лужній зонах.

Останнім часом значної популярності набувають реагенти, у яких кислотний залишок частково замінений на гідроксильну групу. Найбільш поширеними

в цьому класі є гідроксохлориди алюмінію з різною основністю. Використання таких реагентів супроводжується меншим засоленням обробленої води та більшою ефективністю відстоювання.

Таблиця 1

Залишкові концентрації твердої фази після обробки коагулянтном та відстоювання протягом 2 годин ($C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 5,6$, $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$)

Коагулянт	Доза коагулянту (по іону металу), мг/дм^3						
	0	5	10	20	30	40	50
AlCl_3	15,7	11,3	8,4	5,8	3,7	2,5	1,6
$\frac{2}{3}$ ГОХА	19,2	9,9	7,3	5,8	4,5	3,3	2,4
“Полвак-68”	15,4	12,8	10,4	8,3	6,1	4,5	3,2

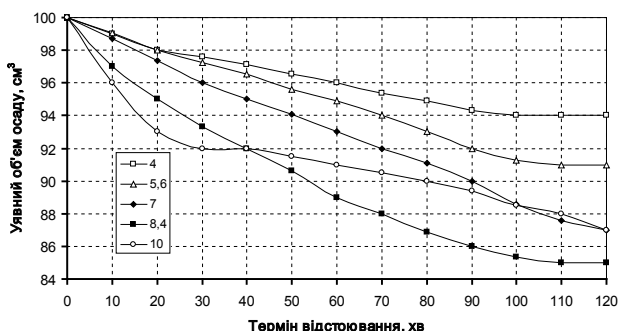


Рис. 2. Ефективність освітлення води хлоридом алюмінію при різних значеннях pH : $C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, доза коагулянту по Al^{3+} $C_K = 20 \text{ мг/дм}^3$, $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблиця 2

Залишкові концентрації бентоніту після обробки коагулянтном та відстоювання протягом 2 годин при різних pH ($C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, $C_K = 20 \text{ мг/дм}^3$, $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$)

Коагулянт	pH				
	4	5,6	7	8,4	10
AlCl_3	16,7	6,5	2,8	2,5	4,5
$\frac{2}{3}$ ГОХА	17,2	15,3	10,0	9,8	11,0
Полвак-68	17,8	14,1	9,2	12,0	17,2

Дослідження синтезованих зразків ГОХА 2/3 показало, що в умовах освітлення суспензії бентоніту їх ефективність навіть нижча, ніж у звичайного хлориду алюмінію (рис. 3). Причому, максимум ефективності спостерігається при дозі ГОХА 30 – 40 мг/дм^3 . При подальшому збільшенні дози (50 мг/дм^3) фіксується зниження інтенсивності відстоювання. Протягом 2 годин відстоювання в найкращому випадку освітлюється лише 13 % початкового об'єму суспензії. Залишковий вміст твердої фази в освітленій воді значно перевищує нормативні значення і не досягається в усьому діапазоні досліджених доз коагулянту (табл. 1).

Коригування pH також виявилось малоефективним (рис. 4). Однак для ГОХА досить помітна різниця в ефективності відстоювання в слабко кислому та нейтральному і слабко лужному середовищах. І хоча ця різниця незначна, однак вона досить чітко виражена на кривих відстоювання суспензії. Залишкові концентрації твердої фази при різних pH (табл. 2) дещо більші,

ніж для хлориду алюмінію, і також залежать від реакції середовища. В загальному випадку, незважаючи на значну кількість позитивних відгуків в науковій літературі, в даних умовах ГОХА 2/3 виявився мало-ефективним.

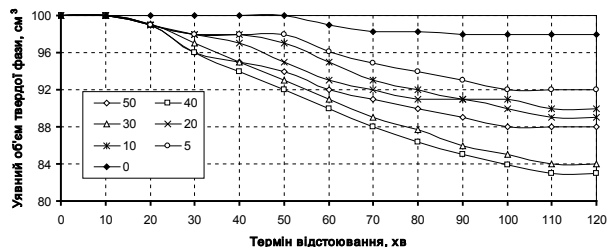


Рис. 3. Ефективність освітлення води при різних дозах коагулянту ГОХА 2/3 (по Al^{3+} – мг/дм^3): $C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 5,6$, $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

Коагулянт промислового виробництва на основі сполук алюмінію під торговою назвою “Полвак-68” являє собою реагент з масовою часткою Al_2O_3 13,1 % та основністю 72 %. Оскільки реагент пройшов всі стадії промислового виробництва, транспортування та зберігання, то його дослідження може дати найбільш близькі до реальних результати.

Незважаючи на низьку ефективність реагенту при освітленні суспензії бентоніту, він показує стабільне збільшення інтенсивності відстоювання із збільшенням дози (рис. 5), що не характерно для хлориду алюмінію та ГОХА 2/3. В цілому навіть при дозі реагенту 50 мг/дм^3 протягом 2 годин освітлюється лишень 22 % початкового об'єму суспензії.

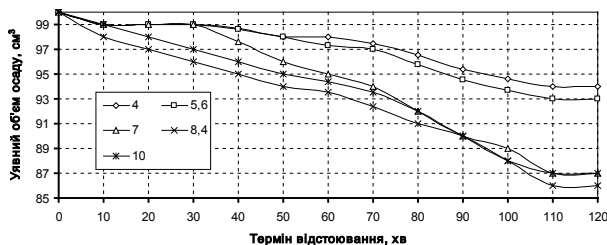


Рис. 4. Ефективність освітлення води коагулянтном ГОХА 2/3 при різних значеннях pH : $C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, $C_K = 20 \text{ мг/дм}^3$ (доза коагулянту по Al^{3+} – 20 мг/дм^3), $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

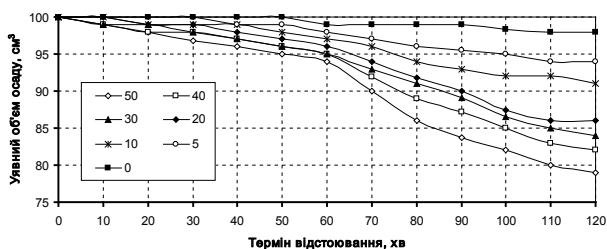


Рис. 5. Ефективність освітлення води при різних дозах коагулянту “Полвак-68” (по Al^{3+} – мг/дм^3): $C_T = 34 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 5,6$, $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

На жаль, збільшення дози реагенту в 10 разів супроводжується збільшенням інтенсивності відстоювання лише на 16 %, що призводить до значної перевитрати реагенту. Та й залишкові концентрації твердої фази в обробленій суспензії далекі від нормативних навіть при максимальних дозах коагулянту (табл. 1).

Як і в попередніх випадках, коригування рН суттєво на інтенсивність освітлення суспензії та залишкові концентрації твердої фази не впливає. При зміні рН в діапазоні 4÷10 інтенсивність відстоювання протягом 2 годин зростає всього на 6 % (рис. 6), а залишкові концентрації твердої фази коливаються в діапазоні 9,2÷17,8 мг/дм³ (табл. 2).

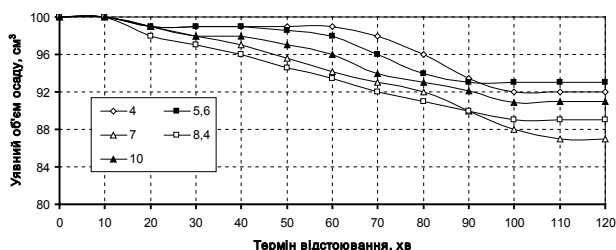


Рис. 6. Ефективність освітлення води коагулянтном "Полвак-68" при різних значеннях рН: $C_T = 34$ мг/дм³, $C_K = 20$ мг/дм³, $T = 22$ °C

Із трьох досліджених коагулянтів останній виявився найменш ефективним при освітленні суспензій бентоніту. Сьогодні нами проводяться більш детальні дослідження складу коагулянтів промислового виготовлення з метою встановлення причин їх нижчої ефективності та критичних стадій виробництва, транспортування та зберігання.

5. Висновки

Проведені дослідження показали, що природні води, що містять високодисперсні частки різноманітного походження, практично не відстоюються і перед споживанням чи використанням вони потребують додаткової обробки. Досліджено ефективність використання в процесах відстоювання коагулянтів на основі сполук алюмінію. Встановлено, що жоден із досліджених коагулянтів (сульфат алюмінію, ГОХА 2/3, "Полвак-68") не забезпечує задовільних результатів навіть при концентраціях 50 мг/дм³ (за йоном Al³⁺). Об'єм освітленої води не перевищує 25 % від початкового, а залишкова концентрація твердої фази коливається в межах 1,6÷19,2 мг/дм³. Цілком очевидно, що для освітлення суспензій бентоніту необхідно використовувати інші коагулянти або комбінувати одночасне використання коагулянтів із флокулянтами. Ще кращим виходом із ситуації може бути застосування методів, що не пов'язані із використанням додаткових хімічних реагентів.

Література

1. Михайлов, В. Н. Общая гидрология [Текст] / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский. – М: Высш. шк., 1991. – 368 с.
2. Филипчук, В. Л. Промислова екологія [Текст]: навч. пос. / В. Л. Филипчук, М. О. Клименко, К. К. Ткачук та ін. – Рівне: НУВГП, 2013. – 494 с.
3. Дрозд, Н. Й. Стік завислих наносів річок України [Текст] / Н. Й. Дрозд, З. О. Горещька // Гідрологічні дослідження та розрахунки. – 1989. – С. 106–120.
4. Гумен, С. Г. Применение современных химических реагентов для обработки маломутных цветных вод [Текст] / С. Г. Гумен, И. Н. Дариенко, Е. А. Евельсон, Л. П. Русанова // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 3. – С. 12–15.
5. Bousely, J. Applying chemical reagents in water production [Text] / J. Bousely, C. Losada, Ph. Zydowisz // Eau. Ind. Nuisances. – 2001. – № 256. – С. 45–49.
6. Васильева, Е. С. Коагулянты в процессах водоочистки [Текст] / Е. С. Васильева, И. И. Волкова, Н. А. Тимашева // Успехи в химии и химической технологии. – 2005. – Т. 19, № 6. – С. 10–11.
7. Новаков, И. А. Особенности агрегирующего действия неорганических композиций на основе полигидроксохлорида алюминия в водных дисперсиях каолина [Текст] / И. А. Новаков, С. С. Радченко, Н. У. Быкадоров, Ф. С. Радченко // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2005. – Т. 48, № 3. – С. 24–26.
8. Augiler, M. Coagulants and flocculants usage in waste water clarification [Text] / M. Augiler, J. Saez, L. Mercedes // Afinidad. – 2002. – Vol. 59, № 501. – P. 521–529.
9. Dimova – Todorova, M. Chemical treatment of natural water with coagulation [Text] / M. Dimova – Todorova, I. Dobrevsky, T. Panayotova // Desalination. – 2004. – Vol. 164, № 1. – P. 71–76.
10. Гомеля, М. Д. Получение гидроксохлоридов алюминия и оценка их эффективности при осветлении воды [Текст] / М. Д. Гомеля, Т. В. Крысенко, Т. А. Шаблій // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 49–52.
11. Радовенчик, Я. В. Освітлення природних вод з використанням флокулянтів [Текст] / Я. В. Радовенчик, А. О. Костриця, В. М. Радовенчик // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 4, № 6 (64). – С. 23–26.