

УДК 628.16

РАДОВЕНЧИК Я. В., к.т.н., ст. викл.; РАДОВЕНЧИК В. М., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФЛОКУЛЯНТІВ ПРИ ВИДАЛЕННІ ЧАСТОК КАОЛІНУ ІЗ ВОДИ

В статті викладені результати дослідження ефективності процесів зниження мутності природних вод шляхом видалення часток каоліну. В якості інтенсифікаторів освітлення води досліджено аніон- та катіоноактивні і неіоногенні флокулянти. Встановлено, що жоден і досліджених флокулянтів не забезпечує нормативних значень вмісту змулених речовин у питній воді і вимагає подальшого її доочищення шляхом фільтрування. Визначені найбільш ефективні умови використання флокулянтів та фактори, що на них впливають.

Ключові слова: каолін, флокулянт, відстоювання, освітлення, обробка води, зниження мутності води.

DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143392

© Радовенчик Я. В., Радовенчик В. М., 2018

Постановка проблеми. Зменшення запасів якісних природних вод змушує все більше уваги приділяти технологіям підготовки питної води. При цьому з кожним роком підприємства водопідготовки стають потужнішими, об'ємнішими, а затрати на підготовку води питної якості суттєво зростають. Тому забезпечити якісною водою сьогодні всіх жителів планети практично неможливо. В результаті цього значна частина і населення України споживає сьогодні неякісну воду. За оцінками фахівців ООН, на початок 2010 року Україна за якістю питної води займала 95 місце із 122 країн [1]. За оцінками співробітників ВООЗ, близько 80 % всіх захворювань людини, від котрих щорічно помирає 25 млн. жителів планети, в тій чи іншій мірі пов'язані із споживанням неякісної води. Зважаючи на інтенсивне забруднення поверхневих та підземних вод, проблеми забезпечення жителів якісною питною водою є надзвичайно гострими, актуальними і, без сумніву, в майбутньому будуть загострюватися.

В докільні відсутні води, вільні від домішок різноманітних твердих часток, які представлені, переважно, дисперсними твердими залишками руйнування русел річок та життєдіяльності живих організмів. Висока дисперсність таких часток зумовлює значні труднощі при видаленні їх з води. Тому дослідження в цій галузі і сьогодні є своєчасними та актуальними.

Аналіз попередніх досліджень. Згідно вимог чинного законодавства, вміст твердої фази в питній воді не повинен перевищувати 0,58 мг/дм³ [2]. Для досягнення таких рівнів вмісту твердої фази сьогодні використовують відстоювання, фільтрування, флотацію, сорбцію та інші методи. Найбільш прийнятним, простим та економічно виправданим є метод відстоювання. Однак, ефективність цього методу в більшості випадків недостатня. Тому для підвищення ефективності відстоювання застосовують коагулянти та флокулянти. Як нами було встановлено раніше [3], при використанні в якості модельного розчину суспензії бентоніту навіть при концентраціях коагулянтів 50 мг/дм³ досягти нормативного значення по вмісту твердої фази для питної води не вдається. Оскільки в природному водному середовищі надзвичайно багато різноманітних твердих часток із характеристиками, що суттєво різняться між собою, то для підвищення ефективності очищення природних вод необхідно досліджувати різні види таких часток. Попередні дослідження процесів видалення відстоюванням часток каоліну [4, 5] показали, що використання різних видів коагулянтів навіть в дозах 70 мг/дм³ не дозволяє отримати бажаного результату.

Метою даної роботи було подальше вивчення можливості підвищення ефективності видалення часток каоліну із водного середовища шляхом використання різних типів флокулянтів промислового виробництва.

Викладення основного матеріалу. Як і в зазначених раніше дослідженнях [4, 5], в якості модельного розчину використовували попередньо відстояну протягом двох годин суспензію каоліну. Зважаючи на надзвичайно високу дисперсність часток каоліну, після замочування 3 г реагенту у 5 дм³ води та наступного відстоювання протягом 2 годин залишкова концентрація твердої фази складала 225 мг/дм³. Для проведення дослідів 100 см³ суспензії з відомим вмістом твердої фази обробляли визначеною дозою реагенту, коригували рН та знімали криві відстоювання протягом 2 годин. Після відстоювання фотоколориметричним методом визначали залишкову мутність води. В якості реагентів використовували флокулянти Magnafloc-156 з

аніонним зарядом та молекулярною масою до 20 млн. в. о. і Zetag-7692 з катіонним зарядом та молекулярною масою до 20 млн. в. о., а також розчини поліакриламід (ПАА) в якості неіоногенного флокулянту.

Проведені дослідження показали, що всі типи флокулянтів по різному взаємодіють із частками каоліну, однак ефективність їх невисока. Так, ефективність флокулянту Magnafloc-156 виявилася досить низькою і, в загальному випадку, додавання цього реагенту лише гальмує процес освітлення (рис. 1).

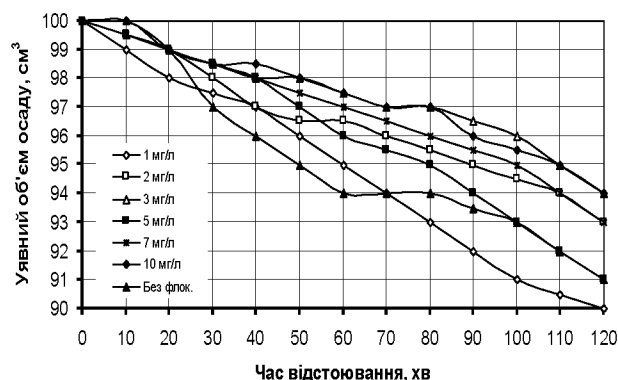


Рис. 1 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225 \text{ мг/дм}^3$) флокулянтом Magnafloc-156 при різних концентраціях реагенту

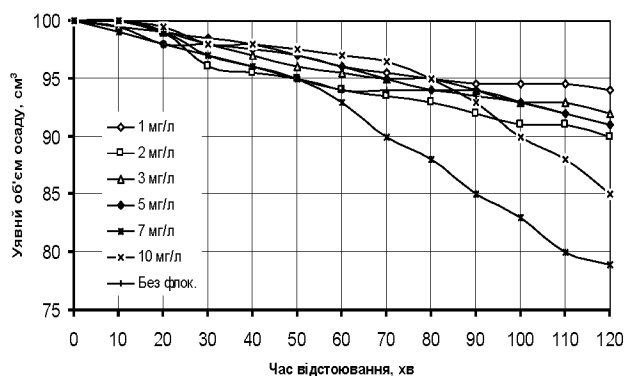


Рис. 2 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225 \text{ мг/дм}^3$) флокулянтом Zetag-7692 при різних концентраціях реагенту

Якщо при концентрації флокулянту 1 мг/дм^3 інтенсивність відстоювання співставна із інтенсивністю відстоювання без обробки реагентами, то подальше підвищення концентрації лише погіршує ситуацію. При цьому мінімальна залишкова концентрація твердої фази в обробленій воді при вмісті флокулянту 10 мг/дм^3 складала всього $10,3 \text{ мг/дм}^3$ (табл. 1), але мінімальний уявний об'єм осаду при цьому – 94% від початкового об'єму суспензії, що не дозволяє вважати реагент придатним для практичного використання. При концентрації флокулянту $1 - 2 \text{ мг/дм}^3$ залишковий вміст твердої фази після 2-х годин відстоювання навіть перевищував аналогічні значення для відстоювання без обробки реагентами. Якщо зважити на те, що виробник флокулянтів пропонує при розрахунках виходити із співвідношення $2 - 6 \text{ мг}$ флокулянту на 1 г сухої речовини твердої фази, то очевидно, що використання даного флокулянту за визначених умов недопустиме. Не набагато кращою виявилася і ефективність флокулянту Zetag-7692 (рис. 2), навіть незважаючи на те, що його властивості суттєво відрізняються від аналогічних властивостей попереднього флокулянту. І хоча мінімальний уявний об'єм твердої фази після 2-х годин відстоювання склав 79% від початкового об'єму суспензії при залишковій концентрації твердої фази 29 мг/дм^3 , такі показники не дозволяють рекомендувати даний реагент для використання при обробці води, що містить значну кількість часток каоліну. З отриманих результатів можна зробити висновок про те, що в суспензії міститься суміш часток з різним поверхневим зарядом, тому досліджені флокулянти малоефективні. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми може бути використання для інтенсифікації процесу відстоювання суспензії каоліну ПАА.

Таблиця 1 - Залишкові концентрації твердої фази після відстоювання суспензії каоліну протягом 2 годин з обробкою різними реагентами ($C_k = 225 \text{ мг/дм}^3$) при різних його концентраціях

Реагент	Без реагента	1 мг/дм^3	2 мг/дм^3	3 мг/дм^3	5 мг/дм^3	7 мг/дм^3	10 мг/дм^3
Magnafloc-156	75,0	95,0	97,5	70,0	67,5	43,0	10,3
Zetag-7692	75,0	56,0	41,0	37,0	29,0	25,1	23,5
ПАА	75,0	56,0	56,3	55,8	52,2	50,3	50,7

Як виявилось (рис. 3, табл. 1), ефективність ПАА нічим не відрізняється від ефективності досліджених раніше флокулянтів. Практично, порівнюючи результати процесу відстоювання суспензії без флокулянту, можна стверджувати, що додавання реагенту, як і в попередніх випадках, більше навіть гальмує осадження твердих часток каоліну, ніж сприяє процесу освітлення. Причому, зміна дози флокулянту практично не впливає на залишкові концентрації твердої фази у відстоюній протягом 2 годин суспензії.

Відомо, що коригування рН може впливати як на властивості реагенту, так і на поверхневі властивості часток каоліну, і, відповідно, суттєво впливати на ефективність процесів відстоювання. І хоча в процесах обробки води регулювання рН завжди пов'язано із використанням додаткових реагентів та підвищенням вартості кінцевого продукту, нами були проведені дослідження впливу на ефективність флокулянтів і цього фактора. На жаль, як було встановлено в результаті досліджень, в усьому діапазоні рН 4 – 10 при концентрації реагенту 3,0 мг/дм³ з використанням флокулянту Magnafloc-156 не зафіксовано якихось змін в інтенсивності відстоювання та його ефективності (рис. 4, табл. 2). Мінімальні концентрації твердої фази у відстоюній воді не опускаються нижче 35 мг/дм³ і характерні для нейтрального середовища. Процес освітлення практично не спостерігається. Мінімальне значення уявного об'єму твердої фази після 2 годин відстоювання складає лише 93 % від початкового об'єму суспензії. Причому, криві відстоювання досить близькі між собою і діапазон значень уявного об'єму твердої фази при різних рН не перевищує похибки вимірювання. Аналогічна залежність характерна і для флокулянту Zetag-7692 (рис. 5). Єдина різниця в тому, що через 2 години відстоювання на границях діапазону рН спостерігається підвищення інтенсивності освітлення суспензії при рН 4 та гальмування інтенсивності освітлення при рН 10. Мінімальні концентрації твердої фази на рівні 25 мг/дм³ зафіксовані при рН 4 (табл. 2) і з підвищенням рН вони несуттєво зростають.

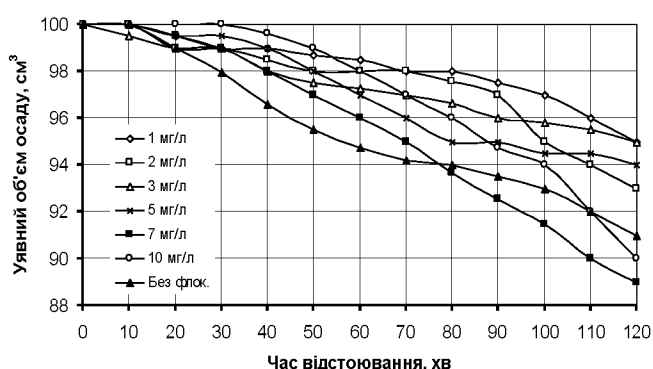


Рис. 3 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225$ мг/дм³) флокулянтом ПАА при різних концентраціях реагенту

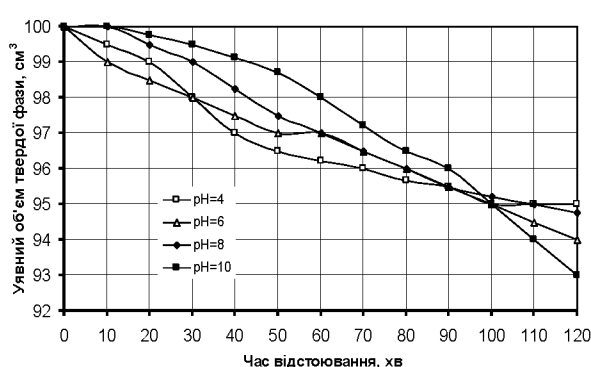


Рис. 4 – Вплив рН на ефективність відстоювання суспензії каоліну з Magnafloc-156 ($C_k = 225$ мг/дм³, $C_{\text{флок.}} = 3,0$)

Таблиця 2 – Залишкові концентрації твердої фази після відстоювання суспензії каоліну протягом 2 годин з обробкою різними реагентами ($C_k = 225$ мг/дм³, $C_{\text{флок.}} = 3$ мг/дм³) при різних рН

Реагент	рН 4	рН 6	рН 8	рН 10
без реагентів	68,5	75,0	78,8	74,3
Magnafloc-156	36,0	35,5	68,2	70,4
Zetag-7692	25,1	35,4	31,7	40,1
ПАА	20,2	26,4	32,2	50,9

Використання ПАА дозволило отримати найкращий результат в об'ємі цієї роботи. Як видно із рис. 6, при рН 4 спостерігається суттєве зниження уявного об'єму твердої фази – до 60 % від початкового об'єму суспензії. Такого значення не вдалося зафіксувати за досліджених умов для інших флокулянтів. При інших значеннях рН (рис. 6) такого підвищення не спостерігається. Якщо порівнювати результати коригування рН із флокулянтом і без нього (рис. 1) [5], то можна відмітити, що таке збільшення ефективності при рН 4 зумовлено саме присутністю флокулянту, оскільки без додавання реагенту підвищення ефективності відстоювання спостерігається при рН 11. Використання ПАА забезпечує й найбільш низькі залишкові концентрації твердої фази у відстоюній протягом 2 годин суспензії. Причому, із збільшенням рН до 11 вони зростають більше ніж у 2 рази. Разом з тим, навіть за таких результатів ПАА не можна вважати достатнім реагентом для видалення із водного середовища часток каоліну.

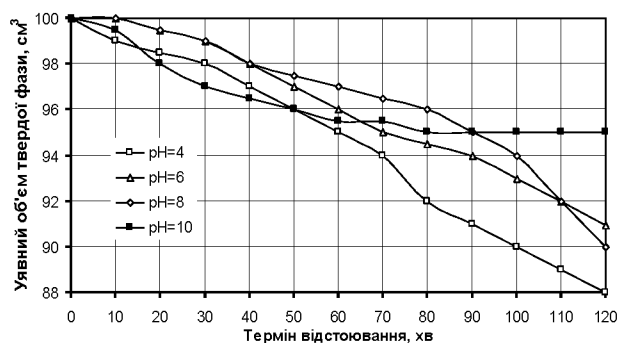


Рис. 5 – Вплив pH на ефективність відстоювання суспензії каоліну з Zetag-7692 ($C_K = 225 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{Zetag}} = 3,0 \text{ мг/дм}^3$)

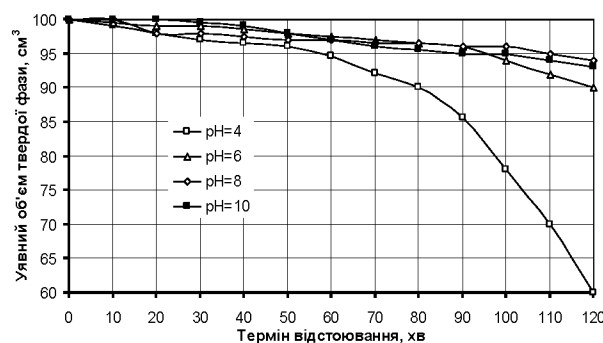


Рис. 6 – Вплив pH на ефективність відстоювання суспензії каоліну з ПАА ($C_K = 225 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{ПАА}} = 3,0 \text{ мг/дм}^3$)

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що жоден з трьох типів досліджених флокулянтів не забезпечує нормативних вимог по вмісту твердої фази в питних водах, оброблених відстоюванням. Встановлено відсутність суттєвої залежності ефективності роботи флокулянтів різних типів від pH та початкового вмісту реагенту. Найкращі результати зафіксовані для ПАА, які склали $20,2 \text{ мг/дм}^3$ для залишкового вмісту та 60 % уявного об'єму твердої фази при pH 4. При інших умовах освітлення та за використання інших флокулянтів результати були ще гіршими. Тому очевидно, що для отримання кращих результатів необхідно використовувати нові типи коагулянтів та флокулянтів, комбінувати коагулянти з флокулянтами чи передбачати процес доочищення шляхом фільтрування освітленої води через зернисті завантаження.

Список використаної літератури

1. Пашков А. П. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні / А. П. Пашков // Безпека життєдіяльності. - 2011. - №4. – С. 10 – 16.
2. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2.2.4-171-10. - Наказ Міністерства охорони здоров'я України 12 трав. 2010 р. № 400.
3. Оцінка ефективності алюмініймістких коагулянтів в процесах освітлення природних вод / В. М. Радовенчик, С. В. Глиняна, Я. В. Радовенчик, Н. В. Калініченко // Східно-європейський журнал передових технологій. - 2014. - №2 (10). – С. 17-20.
4. Радовенчик В. М. Дослідження ефективності освітлення природних вод відстоюванням / В. М. Радовенчик, Н. В. Калініченко, Я.В. Радовенчик / Зимові наукові читання : зб. наук. пр. – К.: Центр наукових публікацій, 2016. – С. 108 – 113.
5. Радовенчик Я. В. Підвищення ефективності видалення часток каоліну з води коагулянтами / Я. В. Радовенчик, Н. В. Калініченко, В. М. Радовенчик // Хім. інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2016. - №1 (15). – С. 81 – 85.

Надійшла до редакції 25.04.2018

Radovenchuk Y. V., Radovenchuk V. M.

EFFICIENCY OF FLOCCULUVES TO REMOVE COWLINES FROM WATER

The paper presents the results of studies of the effectiveness of different types of flocculants in the processes of illumination of kaolin suspensions. It is established that the suspension of kaolin particles is characterized by high dispersion and is difficult to be exposed to light. At initial turbidity of a suspension of 225 mg/dm^3 , the residual solids content in water after settling for 2 hours is 75 mg/dm^3 . The influence of different types of flocculants on the intensification of the processes of protection is studied. Fluorescents Magnafloc-156 with anionic charge and molecular weight up to 20 million c. u. in flocculants were used as reagents and Zetag-7692 with cation charge and molecular weight up to 20 million c. u. as well as solutions of polyacrylamide (PAA) as a nonionic flocculant. The effectiveness of Magnafloc-156 flocculant was rather low and, in general, the addition of this reagent only inhibits the process of lighting. If at concentration of flocculant 1 mg/dm^3 the intensity of protection is comparable to the

intensity of resistance without treatment with reagents, further increase of concentration only worsens the situation. At the same time, the minimum residual concentration of solid phase in treated water at a content of flocculant 10 mg/dm³ was only 10.3 mg/dm³, but the minimum apparent volume of sediment thus – 94 % of the initial volume of the suspension, which does not allow the reagent to be considered suitable for practical use. The effectiveness of the Zetag-7692 flocculant proved to be much better, even though its properties significantly differ from the similar properties of the previous flocculant. Although the minimum apparent volume of the solid phase after 2 hours of defrosting was 79 % of the initial volume of suspension at a residual solid phase concentration of 29 mg/dm³, such indicators do not allow to recommend this reagent for use in the treatment of water containing a significant amount of particles kaolin. The use of PAA allowed to get the best result in the scope of this work. At pH 4 there is a decrease in the imaginary volume of solid phase to 60 % of the initial volume of suspension. This value could not be recorded for other conditions under the conditions studied for other flocculants. At other values of pH this increase is not observed. The use of PAA also provides the lowest residual solids concentration in the solvent for 2 hours of suspension. Moreover, with an increase in pH to 11, they grow more than 2 times. However, even with such results, PAA can not be considered as sufficient reagent to remove kaolin particles from the aqueous medium. Thus, none of the three types of investigated flocculants does not provide regulatory requirements for the solid phase content in drinking water treated with settling.

Key words: kaolin, flocculant, settling, lighting, water treatment, reduction of turbidity of water.

References

1. Pashkov, A. P. (2011), "The problems of pollution of surface, underground and waste water and measures to eliminate and prevent in Ukraine", *Bezpeka Zhittiedial'nosti*, 4, pp. 10 - 16.
2. "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption", No 2.2.4-171-10, Order of the Ministry of Health of Ukraine, 2010, May 12, No 400.
3. Radovenchyk V. M., Glynyana S. V., Radovenchyk Y. V. and Kalinichenko N. V. (2014). "Evaluating the effectiveness of intensive aluminum coagulants in the process of natural lighting water", *Eastern European Journal of advanced technology*, No 2 (10), pp. 17-20.
4. Radovenchyk V. M., Kalinichenko N. V. and Radovenchyk Y. V. (2016). "Research efficiency lighting natural water settling", *Winter scientific readings*, Feb. 22, 2016, pp. 108 - 113.
5. Radovenchyk Y. V., Kalinichenko N. V. and Radovenchyk V. M. (2017). "Efficiency of flocculants of to remove cowlines from water", *Chemical engineering, ecology and resource conservation*, No 1 (15), pp. 81 – 85.