

ДЕФТОРУВАННЯ ПИТНИХ ВОД

Одним із показників якості питної води є вміст у ній фтору – одного із найбільш реакційноактивних хімічних елементів, що має як негативний, так і позитивний вплив. Проблема дефторування підземних вод, що використовуються для питного водопостачання, актуальна для України, оскільки кількість фтору в її підземних джерелах становить у середньому 2,5–5,0 мг/дм³. В даній статті вивчена проблема видалення забруднень із питної води. Було досліджено закономірності реагентного методу, який при менших затратах часу забезпечує ступінь очищення води від фторид-йонів майже на 98 %. Як реагенти для порівняння були використані сульфат алюмінію і дигідроксосульфат алюмінію. Проведені дослідження свідчать про вищу ефективність дигідроксосульфату алюмінію порівняно з сульфатом алюмінію у процесі видалення фтору.

Ключові слова: *питна вода, дефторування, сульфат алюмінію, дигідроксосульфат алюмінію.*

Постановка проблеми

Значення чистої питної води для людини важко переоцінити. Вода, стикаючись з багатьма середовищами, розчиняє в собі величезну кількість хімічних речовин, як органічних, так і неорганічних. Деякі з них самі по собі, можливо, і не дуже шкідливі для організму, але стають шкідливими при контакті з іншими. Вони можуть бути корисними, але у поєднанні, наприклад, з продуктами харчування можуть завдавати значної шкоди. Теж саме у воді: присутність безлічі мікроорганізмів можуть викликати масу захворювань. Відомо, що надходження в організм речовин разом із питною водою, у концентраціях вище граничнодопустимих, може викликати невіправні зміни в роботі найважливіших систем життєдіяльності людини [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтерес до фтору почав виявлятися з 1931 р., коли ряд учених, зокрема Вільгельм, Черчел і Сміт, незалежно один від одного, довели, що причиною захворювань флюорозом є підвищений вміст йонів фториду в питній воді. Крім флюорозу, вода, яка містить надлишок фтору, викликає у людей зміни у кістковій тканині, а у дітей, навіть, рахіт. Також погіршується робота серцево-судинної системи та загальний фізичний стан людини. Згідно з вимогами ВООЗ та медичними нормативами вміст фтору для питної води повинен знаходитися в межах 0,5–1,5 мг/дм³. Українські СанПіН встановлюють оптимальну концентрацію фторидів для систем централізованого водопостачання у межах

0,7–1,2 мг/дм³. Оскільки вміст йонів фтору у воді підземних джерел України складає в середньому 2,5–5,0 мг/дм³ – необхідно дефторувати воду, хоча це досить складне завдання.

Нині питання щодо методів вилучення фторид-йонів з води перебуває у полі зору багатьох науковців. Так, у роботі Н. А. Єпіфанова у технології очистки природних вод від фторидів розроблено та досліджено можливості використання подрібненої модифікованої цеолітвмісної породи, а П. П. Дебелий та С. В. Новоженев пропонують для дефторування використовувати гранульований корозійно-стійкий сплав системи алюміній-магній. Але дотепер не розроблені прості та дешеві методи видалення з води надлишку йонів фториду, тому очищення води є актуальною проблемою для забезпечення населення якісною водою [2, 3].

Мета, завдання та методика досліджень

Метою наших досліджень було вивчення ефективності дефторування питної води при застосуванні реагенту сульфату алюмінію (СА). Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання: виявлення взаємозв'язку між якістю питної води і здоров'ям населення, розробка безреагентної технології очищення питної води.

Об'єктами дослідження обрані реактивний сульфат алюмінію $\mu_0 = \text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3=3$, а також зразки найвищої основності у ряді основних сульфатів алюмінію: дигідроксосульфат алюмінію (ДГСА) $\mu_0 = 2$.

Наразі досить часто для дефторування води використовують низку методів, які можна об'єднати у дві групи. Метод сорбції фтору осадам гідроксиду алюмінію або магнію, а також фосфату кальцію доцільно застосовувати при обробці поверхневих вод, коли крім знефторювання найпотрібніше прояснювання і знебарвлення. Разом з тим, цей метод може знайти застосування для обробки підземних вод за необхідності їх одночасного пом'якшення (реагентним методом) і знефторювання.

Метод фільтрування води крізь фторселективні матеріали заснований на обмінній адсорбції йонів, при якій фтор видаляється у процесі пропуску оброблюваної води через сорбент. Цей метод найбільш ефективний при знефторюванні підземних вод, оскільки не потребує у інших видах кондиціонування, або в тих випадках, коли одночасно із знефторюванням здійснюють ще й опріснення.

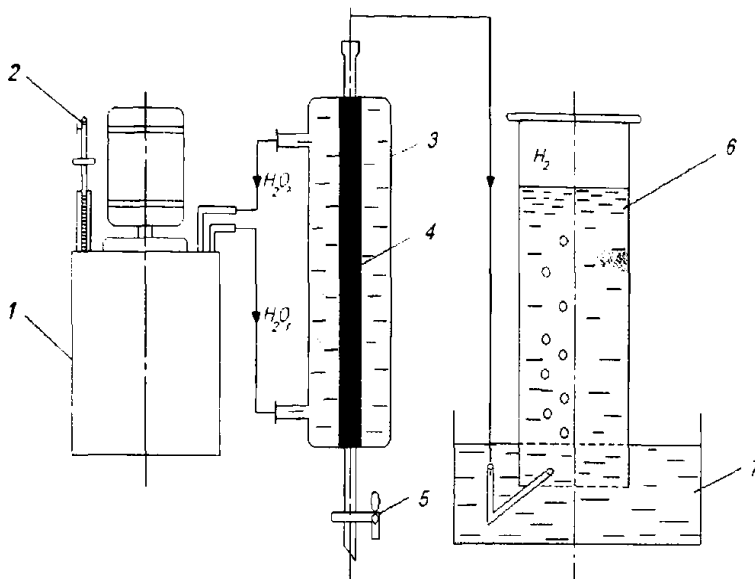
Найбільш практичними методами дефторування є використання сполук алюмінію разом з фільтруванням для відокремлення одержаних нерозчинних сполук. Водночас існуючі методи знефторювання мають значний вплив на склад води через використання надлишкових концентрацій хімічних реагентів [4–9].

До основних недоліків використання сульфату алюмінію для дефторування води слід віднести відносно невисоку ефективність і високу витрату реагенту

(25–30 мг $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{мг F}$). Останнє може призвести до різкого підвищення як солемісту (йони SO_4^{2-}), так і розчиненого залишкового алюмінію у питній воді, що недопустимо з врахуванням його нейрогенної дії на організм людини. Окрім цього, необхідна стабілізаційна обробка питної води внаслідок низьких значень рН і лужності. Недоліки використання СА у процесі дефторування можуть бути усунені або значно зменшені в разі заміни його на основні сульфати (ОСА) і основні хлориди (ОХА) алюмінію.

Відомо про позитивні результати використання основних солей алюмінію для дефторування води не лише методом осадження, але і сорбції на завантаженнях, активованих цими реагентами [$\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$]. При цьому, підвищується ступінь очищення, збільшується фільтроцикл і зменшується залишковий вміст алюмінію в очищеній питній воді [10, 11].

Схема лабораторної установки для отримання ДГСА, який потім аналізували на вміст Al_2O_3 , сульфат-йону згідно зі стандартними методиками ГОСТу 12966–85 [12], представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема лабораторної установки
для отримання ДГСА і ОСА**

1 – водяний термостат; 2 – контактний термометр; 3 – скляний реактор з
водяною «сорочкою»; 4 – завантаження (Al , Fe); 5 – зажим Мора; 6 –
мірний циліндр; 7 – водяний затвор

Дефторування води солями алюмінію ґрунтується на сорбції фтору осадом гідроксиду алюмінію з утворенням на його поверхні твердої фази малорозчинних фторидів. При цьому, ефективність процесу знаходиться в зворотній залежності від рН води. В міру зниження рН води при постійній дозі сульфату алюмінію ефективність дефторування зростає, оскільки склад опадів при гідролізі сульфату алюмінію неоднаковий за різних рН. За низьких значень рН в осаді переважно утворюється основний сульфат алюмінію $Al(OH)SO_4$, ефективність дефторування зростає, зменшується вміст гідроксиду алюмінію, який сорбує фтор меншою мірою, ніж основний сульфат алюмінію. Для дефторування води при значеннях рН, близьких до нейтральних, потрібні дуже великі дози сірчанокислого алюмінію, тому видалення фтору з води цим способом найдоцільніше вести при $pH = 4,3...5,0$ [13].

Результати досліджень

Відповідно до ГОСТу 2784–82 [14] вміст залишкового алюмінію в очищеній воді повинен бути менше $0,5 \text{ мг/дм}^3$, каламутність – менше $1,5 \text{ мг/дм}^3$, кольоровість – менше 20° . Вихідна вода мала наступні показники: каламутність – $1,0\text{--}2,5 \text{ мг/дм}^3$, кольоровість – 25° і температура – $0,2...5,0^\circ\text{C}$.

В таблиці наведені результати очищення води за допомогою ДГСА $\mu_0 = 2,0$ у порівнянні з СА.

Таблиця 1. Коагуляційна ефективність при очищенні води

Коагулянт	Доза, мг/дм^3	Параметри очищеної води, мг/дм^3		
		каламутність	$Al_{\text{зал}}$	F
ДГСА	10	$2,5 \pm 0,27$	$1,5 \pm 0,64$	$3,01 \pm 0,19$
	20	$1,69 \pm 0,19$	$0,9 \pm 0,49$	$1,24 \pm 0,14$
	30	$1,39 \pm 0,22$	$0,65 \pm 0,12$	$1,07 \pm 0,37$
	40	$1,28 \pm 0,42$	$0,5 \pm 0,19$	$0,93 \pm 0,24$
	50	$1,2 \pm 0,39$	$0,34 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,19$
	60	$1,15 \pm 0,36$	$0,25 \pm 0,11$	$0,7 \pm 0,21$
СА	10	$3,1 \pm 0,41$	$2,1 \pm 0,38$	$4,36 \pm 0,68$
	20	$2,18 \pm 0,33$	$1,39 \pm 0,31$	$2,37 \pm 0,5$
	30	$1,72 \pm 0,35$	$1,1 \pm 0,25$	$1,86 \pm 0,48$
	40	$1,5 \pm 0,34$	$0,92 \pm 0,22$	$1,54 \pm 0,45$
	50	$1,33 \pm 0,35$	$0,82 \pm 0,2$	$1,26 \pm 0,31$
	60	$1,25 \pm 0,31$	$0,74 \pm 0,18$	$0,91 \pm 0,22$

Отримані дані свідчать, що використання ДГСА є більш ефективним реагентом, при дозуванні якого показник $Al_{\text{зал}}$ (нефільтрований) був меншим $0,80 \text{ мг/дм}^3$. Вміст залишкового алюмінію після фільтрування був меншим приблизно на 30 %. Оскільки зімітувати фільтри, які використовують на водопровідних станціях, важко, в подальшому використовували значення $Al_{\text{зал}}$ нефільтрованого.

Результати, що зображені на рис. 2, 3, наглядно демонструють виявлену раніше закономірність – зменшення модуля основності зразків зміщує оптимальну дозу ДГСА в область менших значень, тобто витрата реагенту в даному випадку зменшується на 20–35%. При цьому, величини каламутності (див. рис. 2) та $Al_{\text{зал}}$ (див. рис. 3) менші, ніж для сульфату алюмінію.

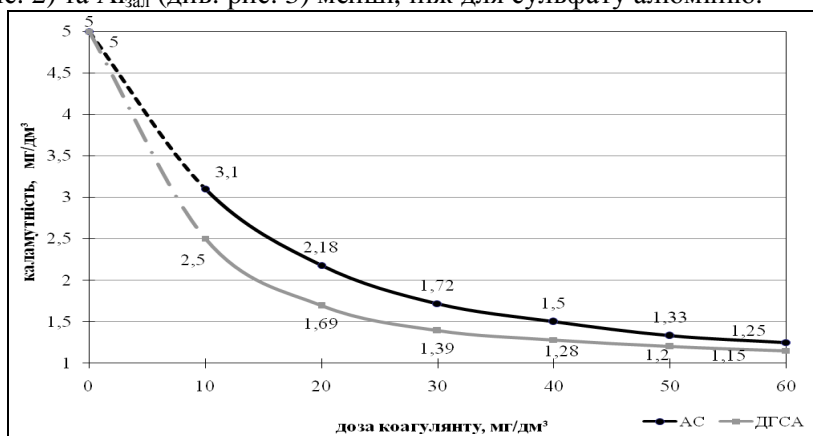


Рис. 2. Вплив дози ДГСА та СА на каламутність води, яка очищується

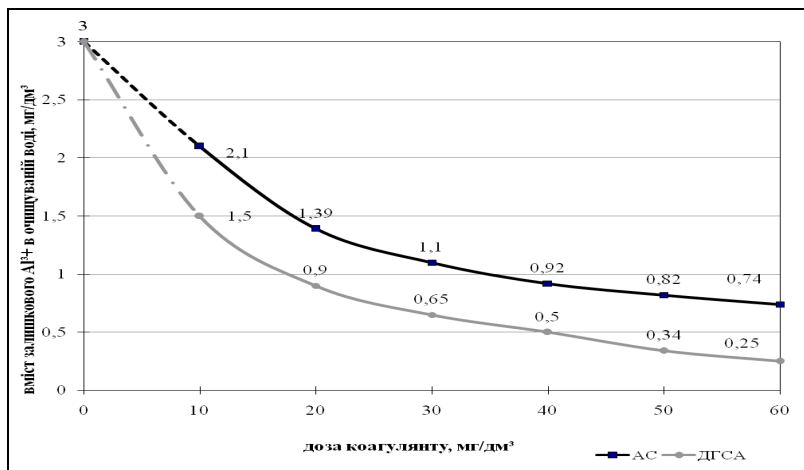


Рис. 3. Вплив дози ДГСА та СА на вміст $Al_{\text{зал}}^{3+}$ в очищеній воді, яка очищується

Висновки та перспективи подальших досліджень

Дефторування води є важливим елементом водопідготовки для багатьох регіонів, підземні води яких містять надлишкову кількість цього елемента. Нині будь-який метод може забезпечити видалення фторид-йонів із води до потрібної кондиції. Основні критерії, які потрібно враховувати при виборі методу дефторування води, є вартість і ефективність технологічного процесу, а також якість питної води за всіма показниками. Визначити ці показники можливо тільки у процесі апробації методу дефторування на воді конкретного джерела.

Проведені дослідження засвідчили, що коагулянт з підвищеною основністю, зокрема дигідроксосульфат алюмінію є ефективнішим реагентом, ніж сульфат алюмінію. Його застосування дозволяє видалити фторид-йони до нормативного значення при дозі 15–20 мг Al_2O_3/dm^3 і кардинально покращує процес дефторування досліджуваної води.

Практичне використання реагентного методу викликає необхідність подальших досліджень щодо ідентифікації фторид-йону для очищення питної води, оскільки питання дефторування води, що використовується для споживання населенням, залишається актуальним, а розробка нової технології допоможе вирішити одну з екологічних проблем України.

Література

1. Основні типи забруднення води і методи її очищення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vodokanal.kiev.ua> – Назва з екрану.
2. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л. А. Кульский – К. : Наук. думка, 1983. – 528 с.
3. Фомин Г. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам / Г. С. Фомин – М. : Протектор, 2000. – 848 с.
4. Фторування і дефторування води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrefs.com.ua/himija/44992-Ftorirovanie-i-deftorirovanie-vody.html> – Назва з екрану.
5. Перспективы развития фундаментальных исследований в области физики, химии и биологии воды / под ред. В. В. Гончарука. – К. : Наук. думка, 2011. – 407 с.
6. Золотова А. С. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / А. С. Золотова, Г. Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
7. Мамченко А. В. Фтор в питьевой воде и методы его удаления / А. В. Мамченко // Вода і водоочисні технології. – 2008. – № 6. – С. 10–23.
8. Николадзе Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1987. – 240 с.
9. Nagendra Rao C. R. Fluoride and environment / C. R. Nagendra Rao // Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health. – Chennai, 2003. – P. 386–399.

10. *Nayak P. P.* Review aluminium: impacts and disease / *P. P. Nayak* // *Environment Res. Sec.* – 2002. – Vol. 89. – P. 101–115.

11. *Матвієнко О. М.* Знефторювання підземних вод на фільтрах з модифікованим завантаженням : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / *О. М. Матвієнко.* – К., 2006. – 18 с.

12. Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса. – Черногловка : Территория, 2003. – 368 с.

13. *Николадзе Г. И.* Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / *Г. И. Николадзе, Д. М. Минц, А. А. Кастальский.* – М. : Высш. шк., 1984. – 368 с.

14. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством : ГОСТ 2874-82. – [Введен в действие в 1985–10–18]. – М. : Изд-во стандартов. 1985. – 7 с.
