

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-1(27)-152-160

УДК 628.3

**Марія Твердохліб<sup>1</sup>, Інна Трус<sup>2</sup>, Микола Гомеля<sup>3</sup>, Катерина Толстенкова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, асистент кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [madamtverdohleb@gmail.com](mailto:madamtverdohleb@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9731-1969>  
ResearcherID: [AAO-7072-2021](https://orcid.org/0000-0002-9731-1969), Scopus Author ID: [57189384600](https://orcid.org/0000-0002-9731-1969)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>  
ResearcherID: [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933), Scopus Author ID: [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>3</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [m.gomelya@kpi.ua](mailto:m.gomelya@kpi.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>  
ResearcherID: [J-4345-2017](http://orcid.org/0000-0003-1165-7545), Scopus Author ID: [6507653734](http://orcid.org/0000-0003-1165-7545)

<sup>4</sup>студент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ МАНГАНУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РОЗЧИНІВ НАТРІЙ ГІПОХЛОРИТУ

*Окислювальні способи є досить ефективними для вилучення іонів мангану з води, тому були використані розчини натрій гіпохлориту для інтенсифікації процесів окислення сполук мангану в артезіанській воді. Встановлено, що ступінь вилучення мангану залежить від витрати окиснюючого агенту та концентрації іонів мангану у воді. Проведені дослідження дозволили вдосконалити методи очищення води від іонів мангану при їх окисненні натрій гіпохлоритом та встановити, що ефективність очищення води зростає як при збільшенні витрати окиснюючого агенту, так і при підвищенні концентрації іонів мангану у воді.*

**Ключові слова:** артезіанська вода; деманганация; окислення; натрій гіпохлорит; концентрація; доза; окиснюючий агент.

Рис.: 7. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Одним із найважливіших завдань сучасності є охорона навколишнього природного середовища. Раціональне використання водних ресурсів, очищення природних і стічних вод набувають особливо актуального значення, оскільки вони тісно пов'язані з охороною природних вод від забруднень.

З огляду на те, що тенденція погіршення якості джерел питного водопостачання залишається стійкою протягом багатьох років, унаслідок чого спостерігається погіршення як гігієнічних, так і фізико-хімічних характеристик води. Така ситуація викликає особливу занепокоєність світової громадськості. Всесвітня організація охорони здоров'я серед комплексу найважливіших питань на перший план ставить вирішення проблеми питного водопостачання як невід'ємної частини реалізації програми охорони здоров'я в усьому світі.

Відповідно до останніх даних Всесвітньої організації охорони здоров'я, близько 80 % підвищення захворюваності населення спричинені вживанням неякісної питної води. Проблема забезпечення населення питною водою та доступу до її споживання є глобальною екологічною проблемою, однією із важливіших відображених у плані дій на XXI століття та Декларації прийнятих на міжнародній конференції ООН в 1992 році в Ріо-де-Жанейро.

Проблема якості питної води особливо гостро стоїть для населення України, оскільки за останні роки зміна клімату та політичних ситуацій призвели до зниження кількості і якості водних ресурсів. Поверхневі та підземні водні об'єкти піддаються значному антропогенному впливу, внаслідок чого часто містять широкий спектр невластивих їм забруднень.

В останні роки склалася така ситуація, що більша частина населення навіть через системи централізованого водопостачання із поверхневих водойм, а також із артезіанських свердловин, споживає питну воду, яка не відповідає нормативним документам щодо її якості. Завищеними є показники присутності іонів жорсткості, заліза, мангану, амонію та ряду важких металів.

Поверхневі та підземні джерела водопостачання можуть містити домішки як природного, так і антропогенного походження. Їхній склад постійно змінюється через протікання природних процесів окислення і відновлення, а також під впливом людської діяльності. Хоча вважається, що підземні води менше піддаються сторонньому впливу, проте в деяких випадках, залежно від умов їх природного формування, спостерігається підвищений вміст окремих компонентів. Необхідно вирішувати проблему вилучення даних забруднюючих речовин до нормативних значень.

Манган відносяться до елементів, що мають безпосередній вплив на якість води, оскільки він є компонентом багатьох природних мінералів та порід, тому його вимивання неможливо уникнути. Близько 70 % підземних вод містять сполуки мангану в концентраціях, що в багато разів перевищують норми ГДК, тому для питних цілей без попереднього очищення застосування таких вод є неможливим [1].

**Постановка проблеми.** Інтенсивний розвиток галузей промисловості та сільського господарства спричиняє погіршення та зменшення ресурсів питної води. Як у поверхневих, так і підземних водах спостерігається підвищення концентрації різних елементів і сполук, небезпечних для людини. На жаль, видалення цих домішок традиційними методами не завжди задовольняє досягнення нормованих показників якості води. Тому пошук нових, більш сучасних, відповідно ефективних методів очищення води є завжди актуальним.

У природних умовах сполуки мангану здебільшого зустрічаються у вигляді карбонатів, сульфатів, хлоридів, у поєднанні з гумусовими сполуками, іноді у вигляді фосфатів. Присутність сполук мангану призводить до заростання та забруднення водопровідної мережі, відповідно створює певні проблеми під час очищення води.

Очищення природних вод від сполук мангану має ключове значення, враховуючи його токсичність та здатність акумулюватися в живих організмах, досягати високих концентрацій та завдавати негативного впливу на здоров'я людей. На сьогодні проблема очищення води від іонів мангану є досить складною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Попри великий обсяг опублікованих результатів досліджень за цим напрямом, описаних технологічних процесів, у тому числі каталітичних методів очищення води від іонів  $Mn^{2+}$  [2; 3], проблема значною мірою залишається не вирішеною. Обумовлено це тим, що вилучення іонів мангану з води сорбційними [4], іонообмінними [5], мембранними [6], електрохімічними [7] методами проходить недостатньо ефективно. Особливо в присутності іонів жорсткості, концентрація яких у природних водах здебільшого набагато вища за концентрацію іонів мангану та заліза. Це призводить до значного зниження ємності сорбентів та іонообмінних матеріалів по іонах мангану й заліза, а також до зниження селективності мембран за іонами цих металів. Більше того сполуки кальцію, у процесі фільтрування, відкладаються на поверхні мембрани, призводячи до різкого скорочення терміну їх експлуатації та зниження продуктивності. Утворені в процесі очищення води сполуки мангану отруюють сорбенти та іоніти, блокуючи їх пори, за рахунок чого знижується їхня сорбційна та обмінна ємність.

Слід зазначити, що сорбційні, іонообмінні, а особливо мембранні методи є досить дорогими з обмеженою продуктивністю. Тому більш перспективними є окислювальні методи очищення води від іонів мангану. Проте окиснення іонів мангану в аерованому водному середовищі проходить дуже повільно.

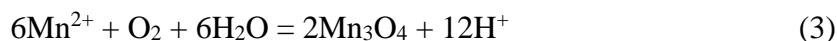
Відповідно до розрахунків Дж. Хема автокаталітична реакція окиснення мангану киснем відбувається відповідно до рівняння (1).

$$d[\text{Mn(II)}]/dt = -k_0[\text{Mn}^{2+}] + k_1[\text{Mn}^{2+}][\text{O}_2][\text{OH}^-]^2. \quad (1)$$

Відповідно до термодинамічних розрахунків, якщо в аерованій воді знаходяться одночасно у мікрограмових кількостях (5–6 мкг/дм<sup>3</sup>) іони  $\text{Mn}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{2+}$ , то вони будуть окиснюватися і гідролізуватися у водному середовищі за такими реакціями:



$$K_{\text{Fe}} = [\text{H}^+]/[\text{FeOH}^+][\text{O}_2] = 10^{49.09};$$



$$K_{\text{Mn}} = [\text{H}^+]/[\text{Mn}^{2+}][\text{O}_2] = 10^{36.54}.$$

Оскільки константа  $K_{\text{Fe}} > K_{\text{Mn}}$ , то окиснення і гідроліз заліза протікає набагато швидше, ніж мангану.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Швидкість окиснення іонів  $\text{Mn}^{2+}$  зростає з підвищенням рН середовища, концентрації кисню та температури середовища. Проте у водному середовищі при температурі до 30 °С, рН ≤ 9 та розчинності кисню до 10 мг/дм<sup>3</sup> швидкість окиснення мангану є дуже низькою, що вимагає розробки способів інтенсифікації процесу.

**Постановка завдання.** Існуючі методи вилучення сполук мангану на практиці часто не забезпечують заявлених показників очищеної води. Або ж відомі розроблені технології мають високу вартість і не завжди дозволяють отримати воду високої якості. Викладене вище переконує про перспективність інтенсифікації процесів окиснення іонів  $\text{Mn}^{2+}$  в процесах окиснення та осадження сполук мангану при використанні окисних реагентів, що сприятиме більш ефективному окисненню сполук мангану при реалізації технологій деманганації води.

**Виклад основного матеріалу.** Загально відомі методи очищення води від сполук мангану можна умовно поділити на реагентні та безреагентні. Основою безреагентних методів є попереднє аерування води, яке може здійснюватися різними способами, і подальше фільтрування через зернисте завантаження, наприклад, через кварцевий пісок. Методи реагентної обробки полягають у фільтруванні води крізь мінеральне завантаження з попереднім дозуванням коагулянтів, флокулянтів, підлугуючих реагентів.

І в тому, і в іншому випадку головною метою є окиснення йонів мангану, оскільки в окисленому стані вони, як правило, нерозчинні, що в подальшому дає змогу відділення утворених суспензій тим чи іншим способом, наприклад, фільтруванням або відстоюванням. Застосування реагентного методу очищення дає більше можливостей для досягнення показників якості питної води із значним перевищенням початкового вмісту у воді сполук мангану.

Відомо, що процеси окиснення мангану протікають ефективніше при використанні окисників, таких як активний хлор, натрій гіпохлорит, перекис водню або озон [8; 9]. Слід зазначити, що найповніше манган видаляється при окисненні озоном, складність приготування озону та велика його собівартість обмежують використання цього методу. При окисненні мангану хлором рН води повинно бути ≥ 9,0.

Манган у водному середовищі може існувати в семи стадіях окиснення в межах від +2 до +7. Зазвичай у природних водах при рН 4–7 переважає двовалентна форма  $\text{Mn}^{2+}$ . Сполуки мангану важче окислюються киснем та реагують з іншими речовинами. При підвищенні рН та збільшенні окислювально-відновного потенціалу води (наприклад, у разі додавання вапна чи хлору)  $\text{Mn}(\text{II})$  може окислюватися до  $\text{Mn}(\text{IV})$ . Можливі й інші

стани окислення, але Mn (III) є стабільним лише як комплекс, іони Mn (V) і Mn (VI) нестабільні в нейтральних розчинах, а Mn (VII) у вигляді перманганат іону ( $MnO_4^-$ ), сильно окислюється і не утворюється в більшості природних вод [10].

Частіше за все іони мангану зустрічаються в артезіанських водах, що використовуються в локальних системах водопостачання з відносно невеликою продуктивністю. Як правило, воду на таких станціях водопідготовки знезаражують з використанням натрій гіпохлориту. Тому було проведено дослідження оцінки ефективності очищення артезіанської води від йонів мангану за допомогою натрій гіпохлориту. Процес проводили в статичних умовах, дозуючи розчин натрій гіпохлориту у модельний розчин з концентраціями по іонах мангану 1; 5; 15 та 30 мг/дм<sup>3</sup> у стехіометричних співвідношеннях  $Mn^{2+}$  до  $ClO^-$  1мг : 1,3 мг згідно з реакцією 4.



Розчини відстоювали протягом 4-х годин, фіксуючи зміну концентрацій мангану кожну годину. Як видно з рис. 1 та 2 при концентрації іонів мангану 1 мг/дм<sup>3</sup> за 4 години концентрацію мангану вдалося знизити до 0,4–0,5 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому ступінь очищення не перевищував 45–60 %. Надлишок натрій гіпохлориту в такому розведеному розчині практично не впливав на ефективність очищення. Навіть трикратний надлишок доданого натрій гіпохлориту забезпечує лише вилучення сполук мангану на рівні 55 %.

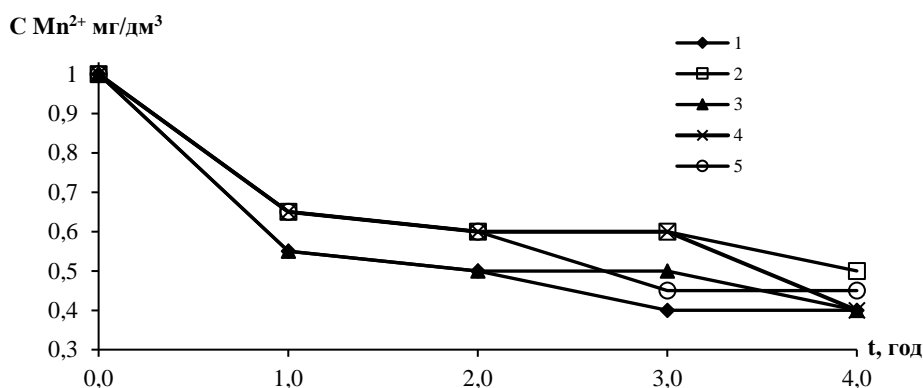


Рис. 1. Залежність залишкової концентрації іонів мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози натрій гіпохлориту при співвідношенні  $Mn^{2+}:Cl^-$ : 1:1(1); 1:1,5(2); 1:2(3); 1:2,5(4); 1:3(5) за початкової концентрації мангану 1 мг/дм<sup>3</sup>  
Джерело: розроблено авторами.

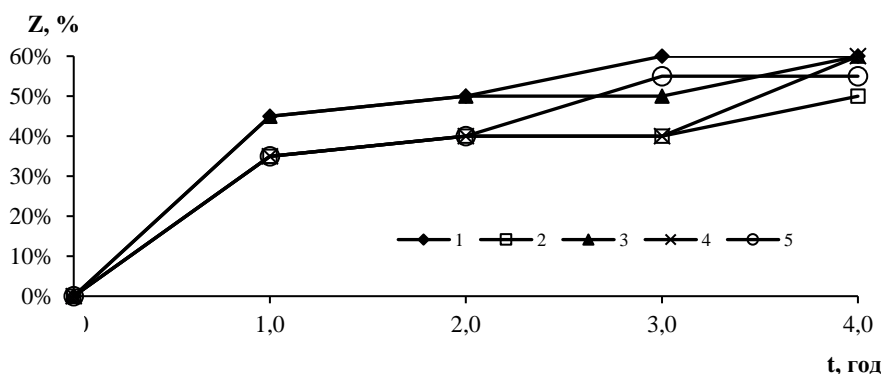
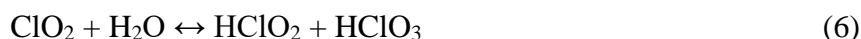


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози  $NaClO$  при співвідношенні  $Mn^{2+}:Cl^-$ : 1:1(1); 1:1,5(2); 1:2(3); 1:2,5(4); 1:3(5) за початкової концентрації мангану 1 мг/дм<sup>3</sup>  
Джерело: розроблено авторами.

Початкове значення рН розчину у цьому випадку було 9,306, кінцеві значення були на рівні 8,892–8,906. Це пов'язано з підкисленням розчину при окисненні йонів мангану по реакції 4. Також пояснити це можна розкладом аніону  $\text{ClO}_2^-$  з дегазацією у вигляді  $\text{Cl}_2$  або  $\text{ClO}_2$ . При розчиненні цих сполук у воді відбувається підкислення середовища за рахунок відповідних реакцій:



Цікаво зауважити, що при концентрації іонів мангану  $5 \text{ мг/дм}^3$  ступінь очищення води натрій гіпохлоритом сягав 64–95 % (рис. 3) при цьому ефективність очищення зростала зі збільшенням надлишку натрій гіпохлориту. При співвідношенні йонів мангану до йонів гіпохлориту 1 : 3 впродовж 4-х годин відстоювання залишкова концентрація мангану становила  $0,25 \text{ мг/дм}^3$ , що відповідає ступеню вилучення мангану на рівні 95 % (рис. 4). Як і в попередньому випадку спостерігалось зниження рН водного середовища з початкового значення 9,229 до значень 8,986–8,859. При цьому чим більше був надлишок натрій гіпохлориту, тим більше становив показник різниці рН.

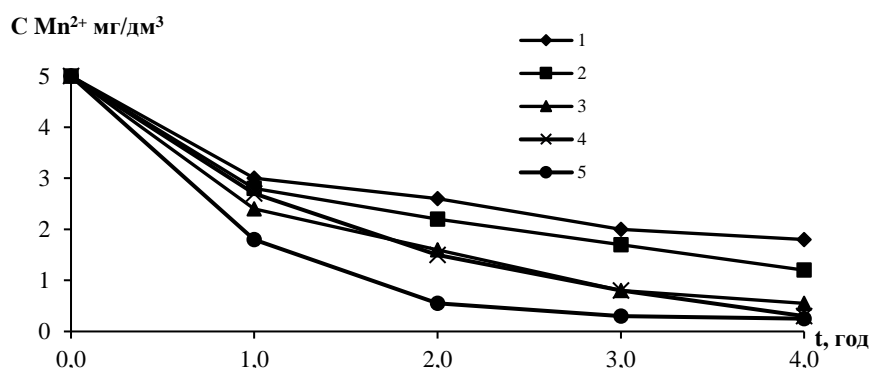


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації іонів мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози натрій гіпохлориту при співвідношенні  $\text{Mn}^{2+}:\text{Cl}^-$ : 1:1(1); 1:1,5(2); 1:2(3); 1:2,5(4); 1:3(5) за початкової концентрації мангану  $5 \text{ мг/дм}^3$   
Джерело: розроблено авторами

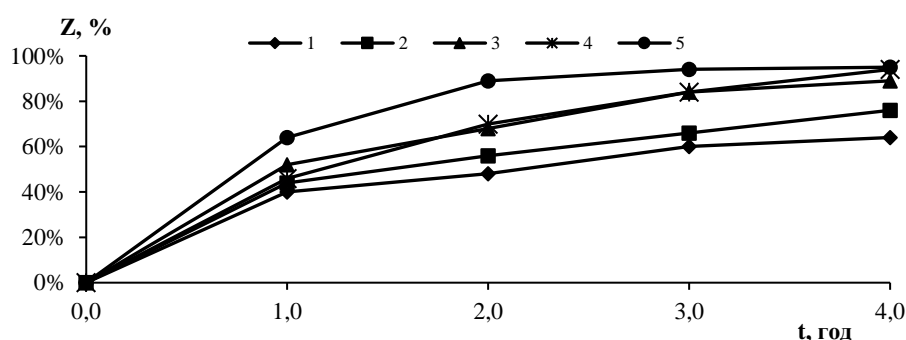


Рис. 4. Залежність ступеня вилучення мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози  $\text{NaClO}$  при співвідношенні  $\text{Mn}^{2+}:\text{Cl}^-$ : 1:1(1); 1:1,5(2); 1:2(3); 1:2,5(4); 1:3(5) за початкової концентрації мангану  $5 \text{ мг/дм}^3$   
Джерело: розроблено авторами

При концентрації іонів мангану  $15 \text{ мг/дм}^3$  ступінь очищення становив 97,7–100 %. На ряду з цим залишкової концентрації по іонах мангану на рівні  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  було досягнуто при 20 %-му надлишку натрій гіпохлориту через 4 години (рис. 5). За 40 %-го і більше надлишку натрій гіпохлориту вдалося повністю окислити іони марганцю та досягти 100 % ступеню очищення води (рис. 6).

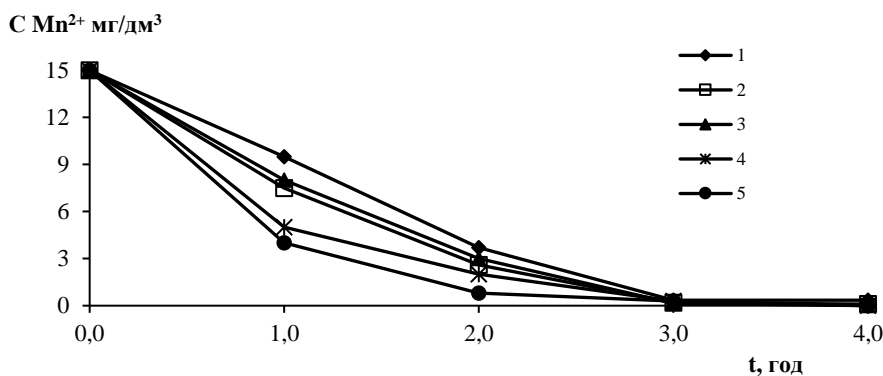


Рис. 5. Залежність залишкової концентрації йонів мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози натрій гіпохлориту при співвідношенні  $Mn^{2+}:Cl^-$ : 1:1(1); 1:1,2(2); 1:1,4(3); 1:1,6(4); 1:2(5) за початкової концентрації мангану 15 мг/дм<sup>3</sup>

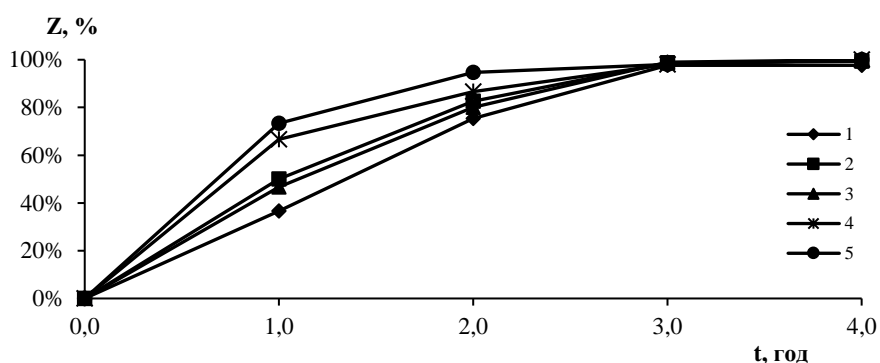


Рис. 6. Залежність ступеня вилучення мангану (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози  $NaClO$  при співвідношенні  $Mn^{2+}:Cl^-$ : 1:1(1); 1:1,2(2); 1:1,4(3); 1:1,6(4); 1:2(5) за початкової концентрації мангану 15 мг/дм<sup>3</sup>

Джерело: розроблено авторами.

За концентрації 30 мг/дм<sup>3</sup> було досягнуто повного вилучення мангану(II) при всіх співвідношеннях концентрацій  $Mn^{2+}$  до  $ClO^-$  через 4 години відстоювання (рис. 7). При цьому вже за 2 години контакту натрій гіпохлориту у 60 %-му надлишку з іонами мангану було досягнуто їх повне окислення (рис. 8).

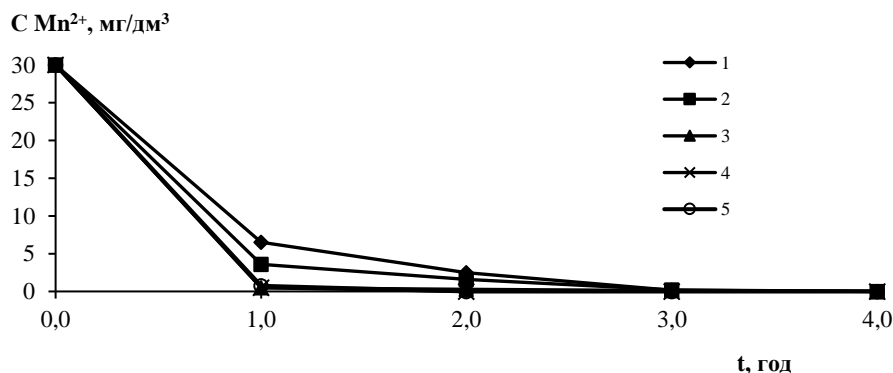


Рис. 7. Залежність залишкової концентрації йонів марганцю (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози гіпохлориту натрію при співвідношенні  $Mn^{2+}:Cl^-$ : 1:1(1); 1:1,2(2); 1:1,4(3); 1:1,6(4); 1:2(5) за початкової концентрації марганцю 30 мг/дм<sup>3</sup>

Джерело: розроблено авторами.

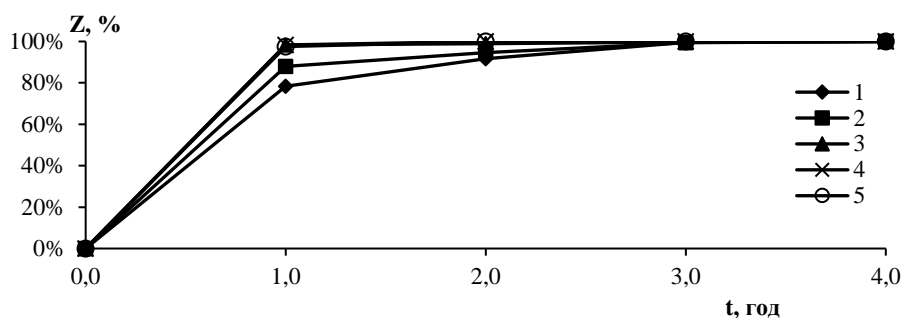


Рис. 8. Залежність ступеня вилучення марганцю (II) у артезіанській воді від часу відстоювання та дози  $\text{NaClO}$  при співвідношенні  $\text{Mn}^{2+}:\text{Cl}^-$ : 1:1(1); 1:1,2(2); 1:1,4(3); 1:1,6(4); 1:2(5) за початкової концентрації марганцю  $30 \text{ мг/дм}^3$

Джерело: розроблено авторами.

Було помічено зміну значення рН середовища в залежності від доданого надлишку натрій гіпохлориту при початкових концентраціях мангану  $15 \text{ мг/дм}^3$  та  $30 \text{ мг/дм}^3$ . За менших доз натрій гіпохлориту окислення іонів  $\text{Mn}^{2+}$  відбувалося не повністю, про що свідчать залишкові концентрації іонів мангану на рівні  $0,3\text{--}0,1 \text{ мг/дм}^3$ , при цьому, спостерігалось зниження рН водного середовища з рівня  $9,160$ ;  $9,260$  до показників  $8,147$ ;  $7,681\text{--}7,811$  відповідно. При додаванні більшої дози натрій гіпохлориту відбувалося повне окислення іонів мангану, при цьому було зафіксовано незначне зниження рН з  $9,16$  до  $8,5$  та з  $9,26$  до  $8,02$ . Якщо говорити про менші початкові концентрації мангану  $1 \text{ мг/дм}^3$  та  $5 \text{ мг/дм}^3$  у воді, реакція окислення натрій гіпохлоритом проходила не до кінця, про що свідчать залишкові концентрації іонів мангану у всіх випадках, відповідно, зміна рН середовища була незначною.

Очевидно, що ефективність використання натрій гіпохлориту зростає при підвищенні вмісту іонів мангану у воді. Використання гіпохлориту як окисника для очищення води від сполук мангану доцільне при концентраціях вище  $5 \text{ мг/дм}^3$  по іонах  $\text{Mn}^{2+}$ . Чим вище концентрація іонів мангану, тим менша кількість натрій гіпохлориту необхідна на його окислення. Важливим також є те, що при вищих початкових концентраціях мангану у воді суттєво скорочується час контакту з натрій гіпохлоритом необхідний на повне вилучення іонів мангану.

**Висновки.** Проведено оцінювання ефективності застосування натрій гіпохлориту в ролі окисника при очищенні артезіанської води від іонів двовалентного мангану. За статичних умов було визначено, що на ступінь вилучення мангану впливає як його початкова концентрація у воді так і доза гіпохлориту натрію. При цьому очищення води від іонів мангану проходить ефективніше з початковими концентраціями вище  $5 \text{ мг/дм}^3$ . За концентрації іонів мангану  $30 \text{ мг/дм}^3$  спостерігалось повне його вилучення за 4 години відстоювання при будь-якому співвідношенні концентрацій мангану та натрій гіпохлориту. При цьому за більших доз натрій гіпохлориту можливо досягти суттєвого зменшення часу контакту для повного вилучення іонів мангану.

#### Список використаних джерел

1. Alvarez-Bastida C. Drinking water characterization and removal of manganese. Removal of manganese from water / C. Alvarez-Bastida, V. Martínez-Miranda, M. Solache-Ríos, I. Linares-Hernández, A. Teutli-Sequeira, G. Vázquez-Mejía // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 6(2) – Pp. 2119-2125.
2. Yang H. Oxidants-assisted sand filter to enhance the simultaneous removals of manganese, iron and ammonia from groundwater: Formation of active  $\text{MnOx}$  and involved mechanisms / H. Yang, X. Tang, X. Luo, G. Li, H. Liang, S. Snyder // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Vol. 415. – 125707.

3. Cheng Y. Effects of dissolved oxygen on the start-up of manganese oxides filter for catalytic oxidative removal of manganese from groundwater / Y. Cheng, T. Huang, C. Liu, S. Zhang // *Chemical Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 371. – Pp. 88-95.
4. Dagbandan A. A comprehensive study on the applicability of tea leaves and rice straw as novel sorbents for iron and manganese removal from running water in a fixed-bed column / A. Dagbandan, B. A. Souraki, M. A. Zadeh // *Korean Journal of Chemical Engineering*. – 2022. – Pp. 1-10.
5. Neculita C. M. A review of the implications and challenges of manganese removal from mine drainage / C. M. Neculita, E. Rosa // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 214. – Pp. 491-510.
6. Du X. Peroxymonosulfate-assisted electro-oxidation/coagulation coupled with ceramic membrane for manganese and phosphorus removal in surface water / X. Du, K. Zhang, B. Xie, J. Zhao, X. Cheng, L. Kai, ... H. Liang // *Chemical Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 365. – Pp. 334-343.
7. Seyedpour S. F. Low fouling ultrathin nanocomposite membranes for efficient removal of manganese / S. F. Seyedpour, A. Rahimpour, H. Mohsenian, M. J. Taherzadeh // *Journal of Membrane Science*. – 2018. – Vol. 549. – Pp. 205-216.
8. Zhao F. Study on the effect of manganese (II) removal with oxidation and coagulation aid of potassium manganite / F. Zhao, X. Li, Y. Yang // *3rd Intern Conf Bioinformatics Biomedical Eng Beijing*. – 2009. – № 9. – Pp. 11–13.
9. Knocke WR. Kinetics of manganese and iron oxidation by potassium permanganate and chlorine dioxide / WR Knocke, JE Van Benschoten, MJ Kearney, A Soborski, DA Reckhow // *J Am Water Works Assoc*. – 1991. – № 9, Vol. 83(6). – Pp. 80–7.
10. Rumsby P.C. Speciation of manganese in drinking water / P.C. Rumsby, L. Rockett, H. Clegg, J. Jonsson, V. Benson, M.M. Harman, T. Doyle, L. Rushton, D.J. Wilkinson, P. Warwick // *Toxicology Letters*. – 2014. – № 229. – Pp. 120–131.

### References

1. Alvarez-Bastida, C., Martínez-Miranda, V., Solache-Ríos, M., Linares-Hernández, I., Teutli-Sequeira, A., & Vázquez-Mejía, G. (2018). Drinking water characterization and removal of manganese. Removal of manganese from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2119-2125.
2. Yang, H., Tang, X., Luo, X., Li, G., Liang, H., & Snyder, S. (2021). Oxidants-assisted sand filter to enhance the simultaneous removals of manganese, iron and ammonia from groundwater: Formation of active MnOx and involved mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*, 415, 125707.
3. Cheng, Y., Huang, T., Liu, C., & Zhang, S. (2019). Effects of dissolved oxygen on the start-up of manganese oxides filter for catalytic oxidative removal of manganese from groundwater. *Chemical Engineering Journal*, 371, 88-95.
4. Dagbandan, A., Souraki, B. A., & Zadeh, M. A. (2022). A comprehensive study on the applicability of tea leaves and rice straw as novel sorbents for iron and manganese removal from running water in a fixed-bed column. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-10.
5. Neculita, C. M., & Rosa, E. (2019). A review of the implications and challenges of manganese removal from mine drainage. *Chemosphere*, 214, 491-510.
6. Du, X., Zhang, K., Xie, B., Zhao, J., Cheng, X., Kai, L., ... & Liang, H. (2019). Peroxymonosulfate-assisted electro-oxidation/coagulation coupled with ceramic membrane for manganese and phosphorus removal in surface water. *Chemical Engineering Journal*, 365, 334-343.
7. Seyedpour, S. F., Rahimpour, A., Mohsenian, H., & Taherzadeh, M. J. (2018). Low fouling ultrathin nanocomposite membranes for efficient removal of manganese. *Journal of Membrane Science*, 549, 205-216.
8. Zhao, F, Li, X, Yang, Y. (2009). Study on the effect of manganese (II) removal with oxidation and coagulation aid of potassium manganite. *3rd Intern Conf Bioinformatics Biomedical Eng Beijing*, 9, 11–13
9. Knocke, WR, Van Benschoten, JE, Kearney, MJ, Soborski, A, Reckhow, DA. (1991). Kinetics of manganese and iron oxidation by potassium permanganate and chlorine dioxide. *J Am Water Works Assoc.*, 83(6), 80–7.
10. Rumsby, P.C., Rockett, L., Clegg, H., Jonsson, J., Benson, V., Harman, M.M., Doyle, T., Rushton, L., Wilkinson, D.J., Warwick, P. (2014). Speciation of manganese in drinking water. *Toxicology Letters*, 229, 120–131.

Отримано 24.01.2022



UDC 628.3

**Mariya Tverdohlib<sup>1</sup>, Inna Trus<sup>2</sup>, Mukola Gomelya<sup>3</sup>, Katerina Tolstenkova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of ecology and technology of plant polymers  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [madamtverdohleb@gmail.com](mailto:madamtverdohleb@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9731-1969>

**ResearcherID:** [AAO-7072-2021](https://orcid.org/0000-0002-9731-1969). **Scopus Author ID:** [57189384600](https://orcid.org/0000-0002-9731-1969)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of ecology and technology of plant polymers  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

**ResearcherID:** [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933). **Scopus Author ID:** [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>3</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of ecology and technology of plant polymers,  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [m.gomelya@kpi.ua](mailto:m.gomelya@kpi.ua). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

**ResearcherID:** [J-4345-2017](http://orcid.org/0000-0003-1165-7545). **Scopus Author ID:** [6507653734](http://orcid.org/0000-0003-1165-7545)

<sup>4</sup>student of Department of ecology and technology of plant polymers  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

## INVESTIGATION OF MANGANESE IONS REMOVAL FROM WATER USING SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTIONS

*The creation of effective demanganization technologies by the development of new and intensification of known processes of manganese removal from natural waters are currently of increasing importance.*

*The search for promising ways to demanganize water to regulatory values is a topical issue for the modern water treatment domain.*

*Recent publications of methods for extraction of manganese ions from water by sorption, membrane, ion exchange methods were reviewed. The prospects of application of oxidative methods for water demanganation are shown.*

*The purpose of the article is to investigate the manganese ions removal methods from water during their oxidation by sodium hypochlorite and to establish the dependence of the efficiency of demanganization on the consumption of oxidizing agent and the concentration of manganese ions in water.*

*The study presents the application of sodium hypochlorite as an oxidant in the purification of artesian water from manganese ions. It was determined in static conditions that the degree of manganese removal is affected by both its initial concentration in water and the dose of sodium hypochlorite. Water purification process is more efficient with initial manganese concentrations above 5 mg/dm<sup>3</sup>. At a manganese ion concentration 30 mg/dm<sup>3</sup>, its complete removal was achieved in 4 hours of settling at a stoichiometric ratio of manganese and sodium hypochlorite in water and at any excess of oxidant.*

*The process of manganese ions oxidation in artesian water by sodium hypochlorite depending on its dose and contact time was studied. The dose of oxidant for the removal of manganese ions from artesian water was also determined. Thus, the research allowed to improve the methods of water purification from manganese ions during their oxidation by sodium hypochlorite and found that the water purification efficiency increased both with increasing consumption of oxidizing agent and increasing the concentration of manganese ions in water.*

**Keywords:** artesian water; demanganation; oxidation; sodium hypochlorite; concentration; dose; oxidizing agent.

*Fig.: 7. References: 10.*