

УДК 615.327.036.8:553.7

ВПЛИВ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ШАРУ З НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА ТА ОКСИДУ МАГНІЮ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

О. О. ОНИЦУК

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк

Подано результати досліджень впливу шару з наночастинок срібла та оксиду магнію (MgO–Ag) як фільтра на твердість води і вміст заліза та фосфору. Встановлено, що після застосування такого фільтрувального шару концентрація заліза та фосфору зменшується. Виявлено, що внаслідок насичення води частинками срібла та оксиду магнію твердість води зменшується, а хімічний склад стає якісніший.

Ключові слова: *фільтр, наночастинки MgO–Ag, структура, срібло, оксид магнію, твердість води, йони, залізо та поліфосфати.*

The results of researches of the influence of a layer of silver and magnesium oxide (MgO–Ag) nanoparticles as a filter on water hardness and admissible content of iron and phosphorus are presented. It is found that after the application of such a filter layer, the content of iron and phosphorus decreases. It is established that due to the saturation of water with particles of silver and magnesium oxide, the water hardness decreases and the better chemical composition of tap water is observed.

Keywords: *filter, MgO–Ag nanoparticles, structure, silver, magnesium oxide, hardness of water, ions, iron and polyphosphates.*

Вступ. Застосування фільтрувальних матеріалів є одним з основних методів водоочищення, який широко використовують у багатьох країнах, зокрема і в Україні. Водопровідна вода залежить від складу природних вод та ефективності діючої системи водопостачання. Її оцінюють за якістю, тобто за складом та концентрацією домішок. Згідно з ГОСТ 2874-82, вода питного призначення повинна бути безпечною (нешкідливою за хімічним складом) і мати задовільні органолептичні властивості [1–3]. На якість води найбільше впливає забруднення залізом і фосфором, частками глини, піску, мулу, гідроксидів заліза, завислих частинок [3].

У працях [4–6] вивчали використання наночастинок оксиду магнію та срібла як основних унікальних фільтрувальних агентів. Ці елементи відрізняються від інших неорганічних матеріалів, зокрема оксиду титану (TiO₂), присутністю активного кисню (O₂) [7].

Срібло для покращення протимікробних, фізико-хімічних властивостей та насичення атомів води досліджували раніше [8, 9]. Його механізм дії полягає в тому, що воно сорбується на поверхні шкідливої клітини і проникає всередину. При цьому всередині клітини відбувається окиснення і окисне фосфорилування [8].

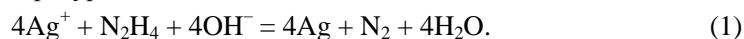
Йони Fe²⁺, Fe³⁺ обумовлюють твердість води. Водночас, оскільки концентрація йонів магнію Mg²⁺ після фільтрування збільшується і є набагато вищою порівняно з концентрацією заліза, то твердість води залежить від вмісту йонів Mg²⁺. Додатково підтверджують [6, 7], що завдяки великій кількості дефектів (кисневих вакансій) на поверхні MgO, яка виробляє значну кількість O₂, наночастинки мають вищу активність, ніж макрочастинки MgO, що виражається в одноелектронному відновленні O₂, адсорбованому на цих дефектах.

Контактна особа: О. О. ОНИЦУК, e-mail: oksanaduda2013@gmail.com

Матеріали та методи. Для дослідження відбирали проби зі свердловин глибиною 20 м. У всіх відібраних усереднених пробах визначали активну реакцію води (рН), загальну твердість, вміст феруму, поліфосфатів тощо. Колір та мутність визначали візуально та фотоколориметричними методами, загальну твердість – титруванням води соляною кислотою. Щоб визначити активність кисню, використовували рН-метр [10, 11]. Для досліджень концентрації фосфору та заліза використовували лабораторний фотоколориметр або ж спектрофотометр, ділильні лінійки, мірні циліндри та колби.

Етапи підготовки води такі: інтенсивне попереднє фільтрування крізь дрібну сітку, яка затримувала крупні механічні домішки; фільтрування через шар з наночастинок MgO–Ag; інтенсивне завершальне фільтрування крізь спеціальну дрібну сітку для видалення крупних домішок. Перед фільтруванням засипали активоване вугілля, що дало змогу дезодорувати воду від присмаків та запахів природного походження і затримувало сполуки хлору та органічні домішки. Нерозчинні та колоїдні домішки у воді виявляли фотоколориметром, отримана каламутність становила 0,4 mg/dm³. Після таких етапів очищення вода є прозорою, без кольору, присмаку і безпечна для споживання. Середнє завантаження фільтрувального шару – 0,25...0,5 м, швидкість фільтрування – 5...10 м/х.

Основна сировина для приготування фільтра з наночастинок MgO–Ag – нітрат срібла та оксид магнію, як допоміжні матеріали – вода та аміак. Нітрат срібла AgNO₃ – безколірні світлочутливі кристали, які легко розчиняються у воді, використовували відповідно до вимог ДСТУ 1277-75 [11, 12]. Щоб отримати срібло, відновлюють солі благородного металу у рідинному середовищі за присутності стабілізаторів (поверхнево-активних речовин). Оксид магнію – порошок білого кольору, нерозчинний у воді, використовували відповідно до вимог міжнародного сертифіката якості [12, 13]. Синтезували наночастинки срібла відновленням його йонів, які знаходяться в розчині нітрату срібла, з використанням гідразину як відновника за температури 40°C [12]:



Паралельно з нітратом срібла до розчину додавали оксид магнію. Таким чином, відбувалася модифікація оксиду магнію утвореними наночастинками срібла та MgO. Процес записали [13] так:



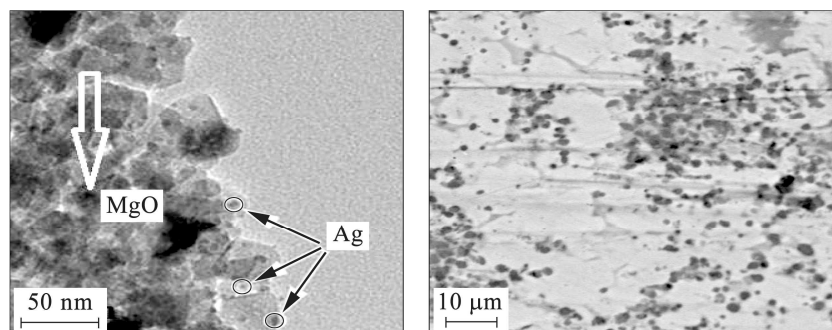
Отриманий матеріал – порошок сірого кольору, завантажували в апарат з мішалкою, витримували впродовж 15 min за температури 40°C і далі подавали в сушарку, в якій підтримували температуру 105°C. Просушений порошок насипали на фільтрувальний папір.

Щоб встановити вміст заліза, готували стандартний розчин солі заліза. В отриманому розчині-концентраті визначали вміст заліза колориметричним методом [11]. Одержане середнє значення вмісту заліза 0,047 mg/dm³ не перевищувало допустиму норму 0,18 mg/ml, що є суттєво менше порівняно з його концентрацією у воді до фільтрування (0,15 mg/dm³) (див. таблицю). Для визначення вмісту фосфору перед початком роботи готували робочі розчини. У зразках фільтрованої води вміст фосфору – 0,04 mg/dm³, що не перевищує допустиму норму 3,5 mg/dm³, що є суттєво менше порівняно з його концентрацією у воді до фільтрування (0,13 mg/dm³).

Електронномікроскопічні дослідження шару на основі наночастинок MgO–Ag здійснювали за допомогою сканувального електронного мікроскопа ZEISS EVO 40XVP зі системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy та електронного мікроскопа МИМ-10 [14].

Результати та їх обговорення. Структура шару з наночастинок MgO–Ag зображена на рисунку. Виявлено, що отримані частинки мали сферичну форму та розмір у межах 50...100 nm. Більші частинки, порівняно зі середнім діаметром 20 nm для оксиду магнію [5], пов'язані з їх агрегацією під час модифікації.

Механізм фільтрування через шар з наночастинок MgO–Ag вивчали через сорбцію (полі)фосфатів та іонів заліза за участі MgO. Нанорозмірний MgO характеризується високою реакційною здатністю і взаємодіє з багатьма йонами інших матеріалів [4–8]. Під час обмінної сорбції відбувається стехіометричне заміщення обмінних іонів сорбента еквівалентною кількістю іонів [7]. При цьому слабкий сорбент витісняється сильнішим. Обмін катіонів відбувається в еквівалентних співвідношеннях, тому середні значення швидкостей фільтрування води вибирали в межах від 5 до 10 м/х, залежно від твердості вихідної води. Зниження твердості води пояснюємо здатністю малорозчинного у воді MgO обмінювати йони Fe^{2+} та Fe^{3+} , які знаходяться в складі води, на Mg^{2+} , відповідно твердість води визначають йони Mg^{2+} .



Структура фільтрувального шару з наночастинок Ag та MgO.

The structure of the filter layer with Ag and MgO nanoparticles.

Результати дослідження якості води за фізико-хімічними показниками

Показники	Після попереднього фільтрування (без шару)	Після фільтрування через шар наночастинок MgO–Ag	Гранично допустима концентрація [10, 11]
Каламутність, mg/dm^3	< 1	< 1	2,6
pH	6,69	6,72	6,5...8,5
Загальна твердість, mol/m^3	6,7	6	7
Ферум загальний, mg/dm^3	0,15	0,047	0,2
(Полі)фосфати, mg/dm^3	0,13	0,04	3,5

Додатково встановлено суттєве зниження вмісту (полі)фосфатів у воді після її фільтрування (див. таблицю). Це можна пояснити адсорбцією аніонів (полі)фосфатів на поверхні фільтрувального шару.

Таким чином, запропонований композит MgO–Ag можна вважати перспективним матеріалом для виробництва водоочисних фільтрів.

ВИСНОВКИ

Наведено результати досліджень використання шару наночастинок MgO–Ag (оксиду магнію та срібла) для фільтрування води. Отримано майже втричі меншу концентрацію феруму та (полі)фосфатів порівняно з водою до фільтрування завдяки шару розробленої композиції. Виявлено, що таке фільтрування води помітно покращує її якість, зокрема, твердість води знижується на 10%, при цьому рН не змінюється. Оскільки срібло використали як антисептик, то далі досліджуватимуть протимікробні властивості композита.

1. *ГОСТ 2874-82*. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. – Взамен ГОСТ 2874-73. Введ. 18.10.1982.
2. *ГОСТ 31862-2012*. Вода питьевая. Отбор проб. – Введ. 01.01.2014. – 12 с.
3. *ГОСТ 24902-81*. Вода хозяйственно-питьевого назначения. Общие требования к полевым методам анализа. – Введ. 01.01.83. – 6 с.
4. *Sol-gel preparation of Ag-doped MgO nanoparticles with high efficiency for bacterial inactivation* / Y. Ca, D. Wu, X. Zhu, W. Wang, F. Tan, J. Chen, X. Qiao, and X. Qiu // *Ceramics International*. – 2017. – **43**, № 1. – P. 1066–1072.
5. *Ponnaiah T. and Ramasamy A.* Synthesis of hierarchical structured MgO by sol-gel method // *J. of Nanotechnology Bulletin*. – 2013. – **2**, № 2. – P. 130–106.
6. *Mechanistic investigation on the toxicity of MgO nanoparticles toward cancer cells* / K. Krishnamoorthy, J. Y. Moon, H. B. Hyun, S. K. Cho, and S.-J. Kim // *J. Mater. Chem.* – 2012. – **22**. – 24610e24617.
7. *Mechanisms of antibacterial activity of MgO: non-ROS mediated toxicity of MgO nanoparticles towards Escherichia coli* / Y. H. Leung, A. M. Ng, X. Xu, Z. Shen, L. A. Gethings, M. T. Wong, C. M. Chan, M. Y. Guo, Y. H. Ng, A. B. Djuricic, P. K. H. Lee, W. K. Chan, L. H. Yu, D. L. Phillips, A. P. Ma, and F. C. Leung // *Small*. – 2014. – **26**, 10(6). – P. 1171–1183.
8. *Sharma V. K., Yngard R. A., and Lin Y.* Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2009. – **145**, № 1–2. – P. 83–96.
9. *Fabrication of Ag/TiO₂ nanoheterostructures with visible light photocatalytic function via a solvothermal approach* / C. Su, L. Liu, M. Zhang, Y. Zhang, and C. Shao // *CrysEngComm*. – 2012. – **14**. – P. 3989–3999.
10. *Запольський А. К.* Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
11. *Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды* / Л. А. Кульский, И. Т. Горюновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. – К.: Наук. думка, 1980. – Ч. 1, 2. – 120 с.
12. *Khodashenasa B. and Ghorbani H. R.* Synthesis of silver nanoparticles with different shapes // *Arab. J. Chem.* – 2019. – **12**, № 8. – P. 1823–1838.
13. *Lee S. H. and Jun B. H.* Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – **20**, № 4. – P. 865–912.
14. *Scanning Microscopy for Nanotechnology. Techniques and Applications* / Eds. Weilie Zhou and Zhong Lin Wang. – New York: Springer, 2007. – 534 p.

Одержано 14.04.2021