РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 504.5:628.33
DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-175-182

Інна Трус, Микола Гомеля, Тамара Крисенко, Катерина Сенькова

ВИКОРИСТАННЯ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ МАГНЕТИТУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Актуальність теми дослідження. *Проблема засолення води є дуже поширеною через природні та антропогенні фактори, а найбільше страждають промислові регіони. Тому пріоритетним напрямом є розробка маловідходних технологій очищення води від іонів важких металів.*

Постановка проблеми. *Внаслідок різноманітних промислових процесів відбувається надходження важких металів до водних екосистем. Надходження цих полютантів до поверхневих та підземних вод стало проблемою України протягом останніх кількох десятиліть.*

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи літературу про основні методи очищення води від іонів важких металів.*

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. *Інформація про ефективність сорбційного очищення та доочищення природних вод.*

Постановка завдання. *У роботі представлені результати дослідження процесів сорбційного очищення води від іонів важких металів. Як сорбент використовували зразки магнетиту, отримані при співвідношенні концентрацій іонів заліза (II) і заліза (III) 1:2; 1:1 і 2:1, та зразки модифіковані сульфідом натрію.*

Виклад основного матеріалу. *Показано, що сорбційна ємність магнетиту по іонах важких металів зростає при збільшенні співвідношення $[Fe^{2+}]$ / $[Fe^{3+}]$ від 1:2 до 2:1. Досліджено вплив pH середовища на ефективність сорбції іонів важких металів на магнетиті. Показано, що сорбційна ємність магнетиту зростає при збільшенні pH середовища, що зумовлено частковим гідролізом іонів важких металів.*

Висновки відповідно до статті. *Сорбційні технології мають високу ефективність і можуть використовуватись на різних етапах очищення води. Підвищення сорбційної ємності магнетиту відбувається при модифікуванні його гуанідином, тіосемікарбазідом і сульфідом натрію, що дозволяє зменшити залишкові концентрації важких металів до мкг/дм^3.*

Ключові слова: *магнетит; важкі метали; сорбційна ємність; модифікування.*
Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Внаслідок тривалого зростання антропогенного навантаження відбувається значне забруднення навколишнього середовища. На сьогодні неможливо уявити людське існування без постійного водозабезпечення, а проблема забруднення джерел водопостачання набуває дедалі більшої актуальності, особливо протягом останнього десятиріччя. Деякі регіони нашої планети страждають від катастрофічної нестачі води, крім того, постає інша проблема – низька якість водних ресурсів [1].

Постановка проблеми. Вміст органічних речовин, нафтопродуктів та важких металів перевищує встановлені нормативи [2]. Важкі метали надходять до природних джерел зі стоками гальванічних, приладобудівних та хімічних виробництв, гірничозбагачувальних комбінатів та теплоелектростанцій [3]. Багато підприємств мають гальванічні цехи або ж ділянки нанесення гальванічного покриття. Гальванічні виробництва є одними з найбільших споживачів води, і відповідно скидають величезні об'єми відходів – як рідких (гальванічні стоки), так і твердих (гальванічні шлами). При скиданні неочищених або недостатньо очищених гальваностоків у річки, озера та інші поверхневі водойми, які містять значну кількість важких металів у своєму складі, завдається величезна шкода навколишньому середовищу: порушується функціонування активного мулу на станціях очищення міських стічних вод, завдається істотна шкода гідробіонтам, втрачається природна здатність водойм до самоочищення [4].

Висока забрудненість водних об'єктів мінералізованими водами та токсичними речовинами потребує розробки ефективних заходів для зменшення цього впливу [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних даних щодо методів очищення стічних вод від іонів важких металів показує, що існує багато методів очищення води від іонів важких металів при використанні реагентного осадження [6], зво-

© Трус І. М., Гомеля М. Д., Крисенко Т. В., Сенькова К. С., 2019

ротного осмосу [7; 8], електрокоагуляції [9], електродіалізу [10], іонного обміну [11; 12] і сорбції [13; 14].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Більшість цих методів досить ефективні, проте не вирішують проблеми глибокого очищення води від іонів важких металів. Більш ефективні сорбенти на основі магнетиту, які дозволяють вилучати іони важких металів з води з високим ступенем очищення. Ефективність очищення досить висока і в присутності іонів жорсткості [14].

Постановка завдання. Метою цієї роботи є створення високоефективних сорбентів на основі магнетиту для глибокого очищення води від іонів важких металів.

Експериментальна частина. При обробці 10 %-м розчином лугу сумішей солей заліза (II) і заліза (III)в межах 1:2; 1:1, 2:1 отримували сорбенти з магнітними властивостями [14]. Для модифікування магнетиту використовували гуанідин, тіосемікарбазід в концентрації 1 % та сульфід натрію в концентрації 1 і 2 %. Як робочі розчини використовували розчини іонів міді, цинку, кадмію, нікелю і свинцю з концентрацією від 1–10 мг/дм^3 до 1000 мг/дм^3. Сорбцію проводили в статичних умовах, до проби розчину об'ємом 100–200 см^3, додавали 1300 мг/дм^3 магнетиту. У пробах води визначали залишкові концентрації іонів важких металів методом хронопотенціометрії [15] і залишкові значення pH середовища. Сорбційну ємність (а) та ступінь очищення (Z) розраховували за формулами:

$$\text{а} = \frac{V_p \cdot (\text{С}_\text{н} - \text{С}_\text{р})}{\text{М}_\text{с}}, \text{мг/г};$$

$$Z = \left(1 - \frac{\text{С}_\text{р}}{\text{С}_\text{н}}\right) \cdot 100, \%$$

де $V_р$ – об'єм розчину, дм^3;

$С_п$ і $С_р$ – початкова і рівноважна концентрація металу, мг/дм^3;

$М_с$ – маса сорбенту, г.

Виклад основного матеріалу.

Для очищення води від іонів міді використовували сорбенти на основі магнетиту. Як видно з рис. 1, сорбційна ємність магнетиту (К = 1:1) по міді практично на 10 % більша, ніж при використанні магнетиту, отриманого при К = 1:2. При вивченні впливу pH на сорбційну ємність було встановлено, що у разі підвищення pH розчину від 5,7 до 6,5 і більше до 7,9 і 8,52 відбувається істотне збільшення ємності сорбенту. Очевидно, що при даних значеннях pH відбувається частковий гідроліз іонів міді з включенням гідроксиду міді в кристалічну гратку магнетиту [14]. Тому в цьому випадку реалізується механізм активованої адсорбції, яка є незворотною і характеризується великими значеннями сорбційної ємності при незначних значеннях рівноважної концентрації металу. Рівноважна концентрація міді при pH = 7,9 не перевищувала 3,04 мг/дм^3, а при 8,52 її значення були нижче 0,2 мг/дм^3. При цьому гранична сорбція досягала значення 1135 мг/г. Очевидно, що кристали магнетиту в цьому випадку були центрами кристалізації гідроксиду, або скоріше оксиду міді, що утворюється внаслідок гідролізу іонів міді.

На рис. 2 наведені дані сорбції іонів свинцю, цинку та кадмію на магнетиті, який було синтезовано при співвідношенні концентрацій заліза (II): заліза (III) (к) 1:2. Цей сорбент має досить велику селективність по іонах свинцю, при pH = 6,9 сорбційна ємність магнетиту становила 550 мг/г. Ймовірно при цьому значенні pH він набуває здатності частково гідролізуватися. Цинк і кадмій при таких значеннях pH знаходяться в іонній формі, тому їх вилучення переважно відбувається за рахунок фізичної адсорбції. При цьому гранична ємність по іонах цинку досягла 92 мг/г, а по іонах кадмію – 205 мг/г. Якщо порахувати в молярному співвідношенні, то ємність по цинку становила 2,82 мг-екв/дм^3, а по кадмію – 3,66 мг-екв/дм^3. Однак рівноважні концентрації цинку й кадмію перевищували 7 мг-екв/дм^3, що є не дуже хорошим результатом. Та й рівноважна концентрація свинцю в пер-

шій пробі була на рівні 0,8 мг/дм^3. Щодо доочищення чи глибокого очищення води від іонів важких металів, то це є досить високі залишкові концентрації. При підвищенні pH до 8,69 ємність магнетиту по іонах цинку зростає до 550 мг/г, проте рівноважні концентрації були більше ніж 4 мг/дм^3, що також є незадовільним результатом.

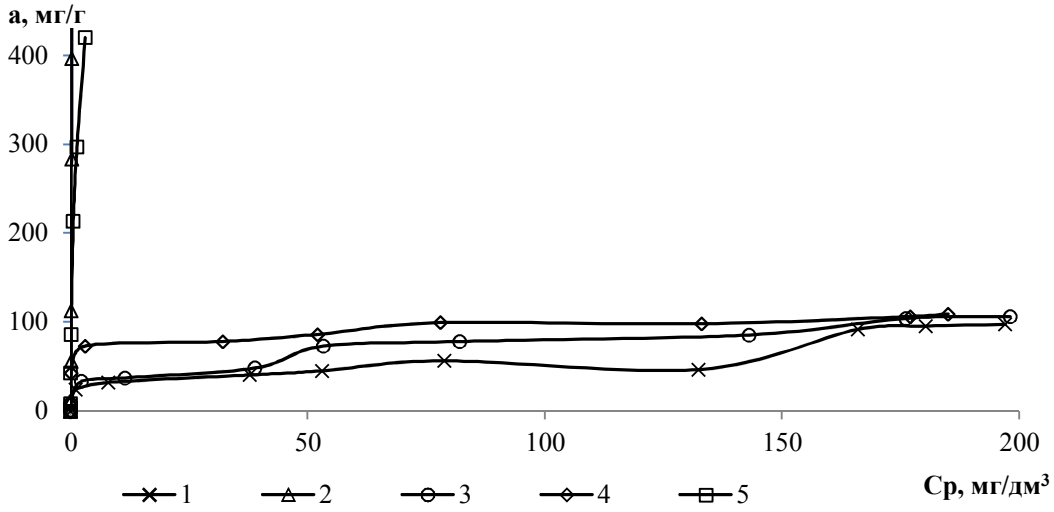

Рис. 1. Ізотерми адсорбції міді на магнетиті (К = 1/2) (1;2), (К = 1) (3; 4; 5) при pH: 5,7 (1, 3); 6,5 (4); 7,9 (5); 8,52 (2) (доза магнетиту - 1300 мг/дм^3)

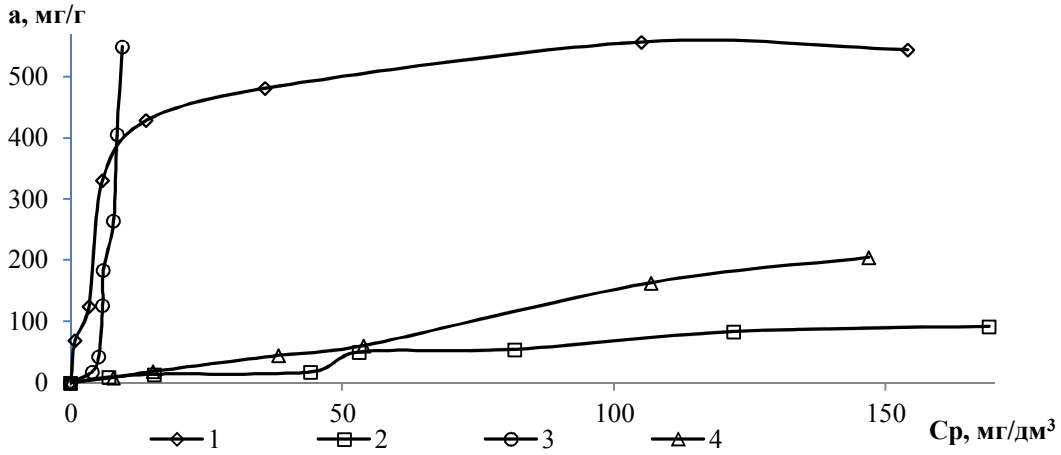

Рис. 2. Ізотерми адсорбції на магнетиті (К = 1/2) іонів свинцю (1), цинку (2; 3) і кадмію (4) при pH: 6,9 (1, 2, 4); 8,69 (3) (доза магнетиту - 1300 мг/дм^3)

Для підвищення ефективності очищення води від іонів важких металів використовували модифікований магнетит.

На рис. 3 представлені результати, отримані при використанні зразків магнетиту, отриманих при К = 1:2 і 2:1 і модифікованих тіосемікарбазідом і сульфідом натрію. На прикладі сорбції іонів міді, магнетит, отриманий при співвідношенні К = 2, має ємність по міді в 4,4 рази вище в порівнянні з магнетитом, отриманому при К = 1:2 (рис. 3). При цьому модифікація магнетиту тіосемікарбазідом призводить до збільшення його сорбційної ємності по міді в 1,5–2,0 раза, а при модифікації магнетиту сульфідом натрію його сорбційна ємність при К = 1:2 зростає з 85 до 332 мг/г, а при К = 2 – з 375 до 550 мг/г. Сорбцію проводили при pH 6,0–6,7. Зростання сорбційної ємності магнетиту при К = 2 в порівнянні з випадком, коли К = 1:2 зумовлено тим, що в першому випадку в отриманому сорбенті значна частина його маси перебуває в аморфному (пухкому) стані, що збільшує площу сорбційної поверхні й адсорбційний об'єм. Магнетит з К = 1:2 складається здебільшого з кристалів. При внесенні в реакційну масу при синтезі

магнетиту гуанідіну, тіосемікарбазіду або сульфіду натрію в структуру магнетиту включаються молекули цих сполук або сульфід аніони. Очевидно, що фрагменти гуанідіну, що містять угруповання типу >C=N або тіосемікарбазіда, що містить групи >C=S здатні утворювати комплексні зв'язки з d-металами і відповідно підвищувати їх сорбцію на магнетиті. Сульфід аніон здатний з багатьма d-металами утворювати нерозчинні сполуки. Тому він є найбільш ефективним модифікуючим реагентом.

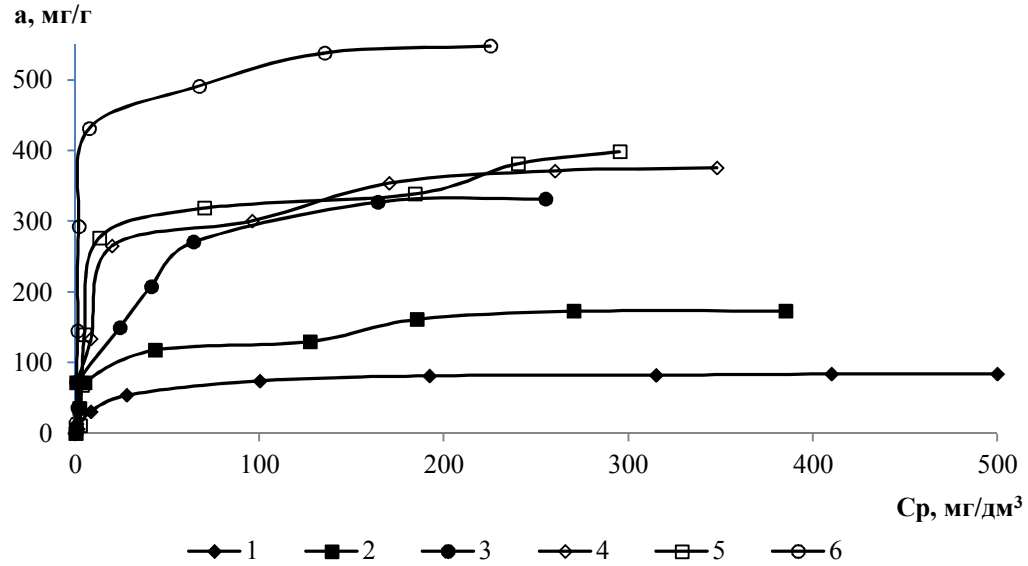

Рис. 3. Ізотерми адсорбції іонів міді на магнетиті К = 1/2 (1; 2; 3) і К = 2 (4; 5; 6) при використанні магнетиту немодифікованого (1; 4) та модифікованого тіосемікарбазідом (2; 5) і сульфідом натрію (3; 6) (доза магнетиту - 1300 мг/дм^3)

Як видно з рис. 4, модифікований сульфідом натрію магнетит (К = 2) має дуже високу сорбційну ємність по іонах нікелю та кадмію. Та й по іонах цинку гранична сорбційна ємність досягає 300 мг/г.

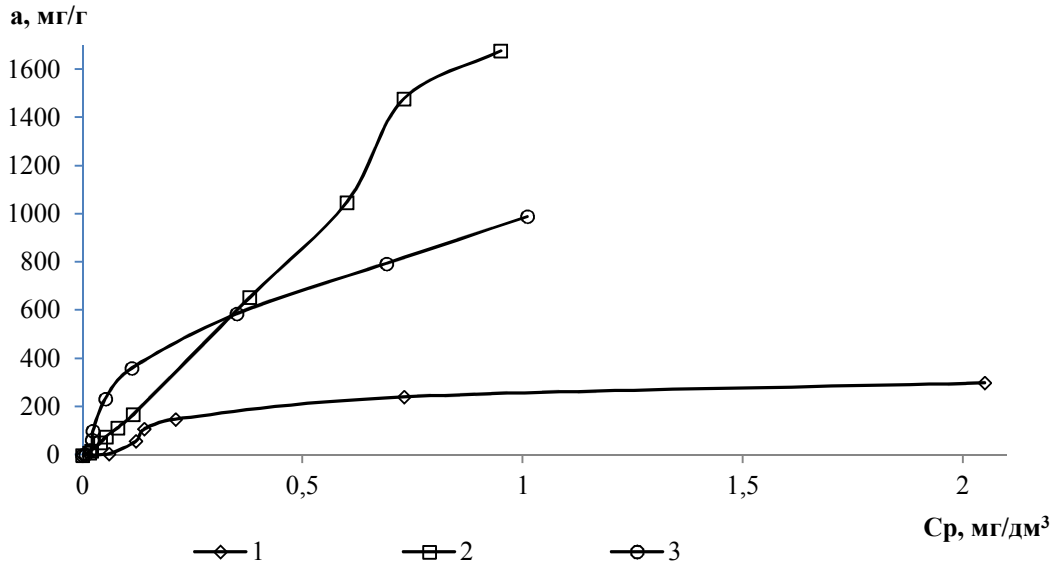

Рис. 4. Ізотерми адсорбції іонів цинку (1), кадмію (2) і нікелю (3) на магнетиті (К = 2) модифікованому 2%-ним розчином сульфіду натрію (доза магнетиту – 1300 мг/дм^3)

Більш низька ємність магнетиту по іонах цинку зумовлена тим, що в процесі проведення сорбції pH розчину знижувався від 6,8 до 4,95, тоді як у випадку іонів нікелю pH змінюється в межах 7,15–5,39, а для іонів кадмію pH – в межах 6,70–6,34 (рис. 5).

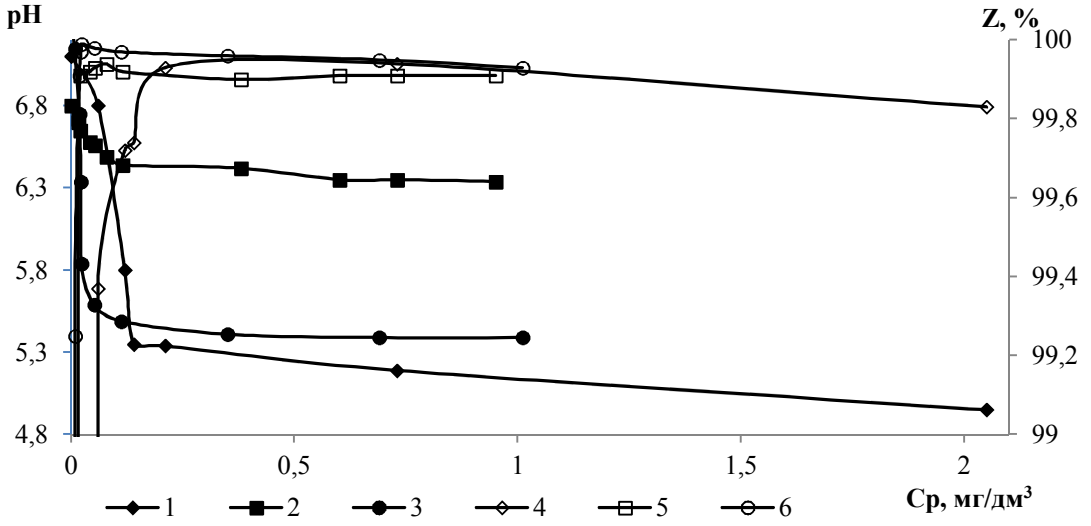

Рис. 5. Залежність pH розчину (1; 2; 3) і ступеня вилучення іонів (4; 5; 6) цинку (1; 4), кадмію (2; 5) і нікелю (3; 6) при сорбції на магнетиті (К = 2:1), модифікованому 2%-ним розчином сульфіду натрію (доза магнетиту - 1300 мг/дм^3)

Слід зазначити, що в усіх випадках ступінь очищення води від іонів важких металів перевищував 99 %. Рівноважні концентрації (рис. 4) в разі іонів цинку також змінювалися від 0,06 до 2,05 мг/дм^3, для іонів кадмію зростали від 0,016 до 0,950 мг/дм^3, а для іонів нікелю від 0,008 до 1,010 мг/дм^3.

З огляду на високі вимоги до якості очищення води від іонів важких металів, особливо при скиданні їх у водойми рибо-господарського призначення або при підготовці питної води, було цікавим визначити мінімальні концентрації, яких можна досягти при використанні сорбентів на основі магнетиту. Як видно з таблиці, при використанні магнетиту, синтезованого при К = 1:2, модифікованого сульфідом натрію, концентрацію міді вдалося знизити до 5,44 мкг/дм^3. При використанні модифікованого сульфідом натрію магнетиту, отриманого при К = 2, воду вдалося повністю очистити від іонів кадмію, а концентрацію міді вдалося знизити до 1,2 мкг/дм^3. Це підтверджує доцільність використання даних сорбентів при доочищенні води від іонів важких металів.

Таблиця

Залежність ефективності вилучення іонів міді (I) і кадмію (II) з водопровідної води від співвідношення [Fe^{2+}/Fe^{3+}] в магнетиті і способу його модифікації

Fe^{2+}/Fe^{3+}	Модифікуючий реагент (концентрат)	Концентрація іонів металів, мг/дм^3				Адсорбція, мг/г		Ступінь вилучення	
		початкова		рівноважна					
		I	II	I	II	I	II	I	II
1:2	–	10,00	10,0	0,75000	0,320	6,300	8,080	92,50	96,80
1:2	Na_2S (1%)	1,63	–	0,00544	–	1,0292	–	99,67	–
1:2	Na_2S (2%)	1,63	–	0,04688	–	0,9960	–	97,12	–
1:2	Гуанідін	1,63	–	0,13255	–	0,9462	–	91,87	–
1:1	–	10,00	10,0	0,15000	0,080	7,3875	7,440	98,50	99,20
1:1	Na_2S (2%)	10,0	10,0	0,05600	0,012	7,4580	7,491	99,44	99,88
2:1	–	2,00	7,5	0,01664	0,0010	1,4875	5,624	99,17	99,99
2:1	Na_2S (2%)	2,00	7,5	0,0012	0,0000	1,4991	5,625	99,94	100,0

Висновки відповідно до статті. Показано, що сорбційна ємність сорбентів на основі магнетиту по іонах важких металів залежить від співвідношення концентрацій іонів

Fe^{2+}іFe^{3+}(К) в реакційній суміші. У разі збільшення К від $^1/_2$ до 2 сорбційна ємність сорбенту збільшується по іонах міді, цинку, нікелю та кадмію.

Встановлено, що сорбційна ємність сорбентів на основі магнетиту по іонах міді, цинку, нікелю та кадмію залежить від pH середовища. Ефективність вилучення важких металів збільшується при підвищенні pH від 6,0 до 8,6.

Вивчено ефективність вилучення іонів важких металів на магнетиті, модифікованому гуанідіном, тіосемікарбазидом і сульфідом натрію. Визначено, що найвищий ступінь вилучення важких металів на магнетиті, що модифікований сульфідом натрію.

Встановлено, що при використанні модифікованих сорбентів на основі магнетиту можна зменшити концентрацію важких металів до 1,2 мкг/дм^3.

Список використаних джерел

1. Гомеля М. Д., Трус І. М., Шаблій Т. О. Електродіалізне опріснення розчинів з високим вмістом іонів жорсткості. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 1 (71). С. 50-55.

2. Tangahu B.V., Sheikh Abdullah S.R., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng*. 2011. P. 1–31.

3. Duruibe, J., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2007. № 2 (5). P. 112-118.

4. Гомеля М., Іванова В., Трус І. Ефективність вилучення іонів важких металів з розведених розчинів іонообмінним методом. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 154-162.

5. Bolisetty S., Peydayesh M., Mezzenga R. Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chem Soc Rev*. 2019. Vol. 48, №2. P. 463-487.

6. Mirbagheri S. A., Hosseini S. N. Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. *Desalination*. 2005. № 171. P. 85-93.

7. Mohsen-Nia M., Montazeri P., Modarress H. Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. *Desalination*. 2007. № 217, P. 276-281.

8. Zhang L. N., Wu Y. J., Qu X. Y., Li Z. S., Ni J. R. Mechanism of combination membrane and electro-winning process on treatment and remediation of Cu^{2+} polluted water body. *J. Environ. Sci*. 2009. №21. P. 764-769.

9. Heidmann I., Calmano W. Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater*. 2008. № 152. P. 934-941.

10. Cifuentes L., García I., Arriagada P., Casas J.M., The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from $CuSO_4$-H_2SO_4-Fe solutions. *Sep. Purif. Technol*. 2009. № 68. P. 105-108.

11. Kang S. Y., Lee J. U., Moon S. H., Kim K. W. Competitive adsorption characteristics of Co^{2+}, Ni^{2+}, and Cr^{3+} by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*. 2004. № 56. P. 141-147.

12. Alyüz B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mater*. 2009. № 167. P. 482-488.

13. Білявський С. А., Сарахман Р. Б., Галиш В. В., Трус І. М. Оптимізація технології одержання сорбентів з відходів рослинного походження. *Екологічні науки*. 2018. № 21. С. 212-217.

14. Ghaedi M., Mosallanejad N. Removal of Heavy Metal Ions from Polluted Waters by Using of Low Cost Adsorbents. *J. Chem. Health Risks*. 2013. Vol. 3, № 1. P. 07-22.

15. Определение тяжелых металлов в водных экосистемах методом инверсионной хронопотенциометрии / Суровцев И. В. и др. *Химия и технология воды*. 2009. Т. 31, № 6. С. 677–687.

References

1. Homelia, M. D., Trus, I. M., Shablii, T. O. (2014). Elektrodializne oprisnennia rozchyniv z vysokym vmistom ioniv zhorstkosti [Electrodialysis desalination of solutions with a high content of rigidity ions]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriia: Tekhnichni nauky – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series: Technical Sciences*, 1 (71), 50-55 [in Ukrainian].

2. Tangahu B.V., Sheikh Abdullah S.R., Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng.*, 1–31.

3. Duruibe, J., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences,* 2 (5), 112–118.

4. Homelia, M., Ivanova ,V., Trus, I. (2017). Efektyvnist vyluchennia ioniv vazhkykh metaliv z rozvedenykh rozchyniv ionoobminnym metodom [Efficiency of extraction of heavy metal ions from dilute solutions by ion-exchange method]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies,* 4 (10), 154-162 [in Ukrainian].

5. Bolisetty, S, Peydayesh, M., Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chem Soc Rev*., 48 (2), 463-487.

6. Mirbagheri, S. A., Hosseinіб S. N. (2005). Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with theobjective of reuse. *Desalination*, 171, 85-93.

7. Mohsen-Nia, M., Montazeri, P., Modarress, H. (2007). Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. *Desalination*, 217, 276-281.

8. Zhang, L. N., Wu, Y. J., Qu, X. Y., Li, Z. S., Ni, J. R. (2009). Mechanism of combination membrane and electro-winning process on treatment and remediation of Cu^{2+} polluted water body. *J. Environ. Sci*., 21, 764-769.

9. Heidmann, I., Calmano, W. (2008). Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.*, 152, 934-941.

10. Cifuentes, L., García, I., Arriagada, P., Casas, J. M. (2009). The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from $CuSO_4$-H_2SO_4-Fe solutions. *Sep. Purif. Technol.,* 68, 105-108.

11. Kang, S. Y., Lee, J. U., Moon, S. H., Kim, K. W. (2004). Competitive adsorption characteristics of Co^{2+}, Ni^{2+}, and Cr^{3+} by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*, 56, 141-147.

12. Alyüz, B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mater.* 2009. № 167. P. 482-488.

13. Biliavskyi, S. A., Sarakhman, R. B., Halysh, V. V., Trus, I. M. (2018). Optymizatsiia tekhnolohii oderzhannia sorbentiv z vidkhodiv roslynnoho pokhodzhennia [Optimization of technology for sorbents production from vegetable waste]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences,* 21, 212-217 [in Ukrainian].

14. Ghaedi, M., Mosallanejad, N. (2013). Removal of Heavy Metal Ions from Polluted Waters by Using of Low Cost Adsorbents. *J. Chem. Health Risks*, 3 (1), 07-22.

15. Surovtcev, I. V. et al. (2009). Opredelenie tiazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh metodom inversionnoi khronopotentciometrii [Determination of heavy metals in aquatic ecosystems by inversion chronopotentiometry]. *Khimiia i tekhnologiia vody – Chemistry and water technology*, 31 (6), 677-687 [in Ukrainian].

UDC 504.5:628.33

Inna Trus, Nikolai Gomelya, Tamara Krysenko, Katerina Senkova

APPLICATION OF SORBENTS BASED ON MAGNETITE FOR WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS

Urgency of the research. *The problem of salinization of water is very common due to natural and anthropogenic factors, and industrial regions suffer the most. Thus, the priority direction is the development of low-waste technology of water purification from heavy metal ions.*

Target setting. *Heavy metals are introduced into the aquatic systems significantly as a result of various industrial operations. The discharge of these pollutants into surface and groundwater has become a matter of concern in Ukraine over the last few decades.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Recent publications in open access were taken into consideration, including literature on the main methods of purification of water from heavy metal ions.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Information on the sorption purification and after-treatment effectiveness of natural water.*

The research objective. *In this work, the results of the study of the processes of sorption purification of water from heavy metal ions are presented. Samples of magnetite obtained at a ratio of concentrations of iron ions (II) and iron (III) 1:2; 1:1 and 2:1, and the samples modified with sodium sulfide were used as the sorbents.*

The statement of basic materials. *It was shown that the sorption capacity of magnetite towards heavy metal ions increases with the increasing in ratio of $[Fe^{2+}]/[Fe^{3+}]$ from 1:2 to 2:1. The influence of the pH of the medium on the sorption efficiency of heavy metal ions on magnetite was investigated. It was shown that the sorption capacity of magnetite increases with the increasing of pH of the medium, due to the partial hydrolysis of heavy metal ions.*

Conclusions. *Sorption technologies have high efficiency and can be used at different stages of water treatment. Improvement of the sorption capacity of magnetite occurs when modified it with guanidine, thiosemicarbazide and sodium sulfide, which allows to reduce the residual concentrations of heavy metals ions to μg/dm.*

Keywords: *magnetite; heavy metals; sorption capacity; modified.*
Fig.: 5. Table: 1. References: 15.

Трус Інна Миколаївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).
Trus Inna – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).
E-mail: inna.trus.m@gmail.com
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6368-6933
ResearcherID: I-3204-2017
Scopus Author ID: 56152219600
h-index: 2

Гомеля Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056).
Gomelya Nikolai – 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» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).
E-mail: m.gomelya@kpi.ua
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1165-7545
Author ID: 6507653734
h-index: 3

Крисенко Тамара Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).
Krysenko Tamara – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).
E-mail: tavok@ukr.net
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9903-6884
Scopus Author ID: 41761961800

Сенькова Катерина Сергіївна – студентка кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).
Senkova Katerina – Student of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

Трус І., Гомеля М., Крисенко Т., Сенькова К. Використання сорбентів на основі магнетиту для очищення води від іонів важких металів. *Технічні науки та технології*. 2019. № 4 (18). С. 175-182.