# БІОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 628.16:579.222
DOI: 10.20535/1810-0546.2016.6.84142

О.В. Кравченко
ДП "Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства", Київ, Україна

## ВПЛИВ ОЗОНУ І ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ БІОЛОГІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ СКЛАДОВИХ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ТА ДЕМАНГАНАЦІЇ ВОДИ

**Background.** Compounds of iron and manganese are the most common components that are present in groundwater of nearly all regions of Ukraine. Elevated concentrations of iron and manganese cause deterioration of the organoleptic properties of water, leading to the formation of precipitates, overgrown water supply and water intake valves. Therefore, there is a need to improve existing technologies to extract these elements from the water.
**Objective.** The aim is to determine the effects of oxidants – ozone and hydrogen peroxide – at doses that are not sufficient for disinfection (0.25–3.0 mg/dm$^3$), compared with the oxygen for iron and manganese removal from water through filtration on the zeolite filters.
**Methods.** The research was conducted on iron-bearing groundwater. Water is treated with oxygen at the laboratory unit, which consists of aerator closed contact capacity and free-flow filter with zeolite loading. Water ozonation at manganese removal on zeolite filter was conducted in Drexel glasses, which acted ozone-air mix with ozone generator. In experiments with hydrogen peroxide in a container of water was added a solution of said reagent in various concentrations, then the mixture was mixed and lodged in the filter.
**Results.** It is shown that at concentrations of oxidants 0.25 and 0.5 mg/dm$^3$ biological processes are dominated. From a technological point of view, it is possible to achieve the same depth cleaning at both low and higher doses of ozone. The implementation process in such circumstances would achieve significant savings of ozone and therefore electricity needed for its formation.
**Conclusions.** The conclusions about the fundamental possibility of intensifying the process of removing compounds of iron and manganese from water through water treatment by ozone in small doses, followed by filtration through a layer of zeolite loadings are carried out. In this regard ozone promotes more efficient removal of water manganese, which is usually quite difficult technological challenge.

**Keywords:** ozone; hydrogen peroxide; iron removal; manganese removal.

### Вступ

Нові знання щодо якості води та її впливу на здоров'я людини засвідчили необхідність все більш глибокого її очищення від токсичних інгредієнтів, які потрапляють у вододжерела внаслідок техногенного і антропогенного забруднення. Технології водопідготовки потребують застосування сучасних, більш досконалих методів, що, безумовно, призводить до зростання вартості очищення води для питних цілей. Це особливо стосується поверхневих вод – менш захищених від будь-якого зовнішнього впливу. В умовах надзвичайно складних економічних ситуацій проблема забезпечення якісною питною водою може вирішуватися саме за рахунок більш широкого залучення до систем водопостачання підземних вод.

До найбільш поширених компонентів, які містяться в підземних водах майже всіх регіонів України, належать сполуки заліза та марганцю. Їх вміст може коливатися в досить широкому діапазоні, сягаючи в окремих випадках концентрації для заліза – 20–30 мг/дм$^3$, для марганцю – 5–6 мг/дм$^3$.

Зважаючи на те що підвищені концентрації заліза і марганцю спричиняють до погіршення органолептичних властивостей води, призводять до утворення осадів, заростання водопровідних мереж і водозабірної арматури тощо, існує потреба в удосконаленні існуючих технологій вилучення цих елементів із води.

Для вирішення проблеми знезалізнення підземних вод на сьогодні запропоновано багато методів (як хімічних, так і біологічних), які різняться за ступенем технологічної надійності, економічності, простоти експлуатації тощо. У той же час видалення з води сполук марганцю залишається досить складною задачею: нині деманганація реалізується лише на рівні окремих установок зі спеціальним завантаженням, яке потребує періодичної регенерації високовартісними реагентами. Тому розвиток технологій очищення води від марганцю потребує особливої уваги.

Вагома роль біологічних процесів при знезалізненні та деманганації води на фільтрах до-

ведена у наших дослідженнях та у низці праць інших авторів [1–6].

Раніше отримані нами експериментальні дані [7] підтвердили важливу роль окисників для мікроорганізмів у традиційному способі видалення заліза та марганцю при фільтруванні на швидких фільтрах. Тому для продовження робіт у цьому напрямі було вирішено дослідити можливість інтенсифікації процесу знезалізнення та деманганації через вплив на його біологічну складову.

Деякі дослідники [3, 8] вважають, що мікроорганізми р. *Leptothrix* здатні виділяти перекис водню, та звертають увагу на можливість використання цього фактора для окиснення розчинених у воді заліза і марганцю:

$$2Fe^{2+} + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Fe^{3+} + 2H_2O,$$

$$Mn^{2+} + 2H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + 2H_2O.$$

Автором роботи [9] експериментально доведено, що окиснення марганцю у нитчастих залізобактерій регулюється інтенсивністю утворення $H_2O_2$ в дихальному ланцюзі під час окиснення органічного субстрату й активністю каталази.

Якщо залізобактерії використовують перекис водню для окиснення сполук заліза та марганцю, то, вірогідно, існує можливість застосування інших окисників, наприклад озону, для інтенсифікації росту залізо- та марганецьокисних бактерій.

Озон може застосовуватися для окиснення двовалентних сполук заліза та марганцю з подальшим видаленням утворюваних осадів [6, 10–13]. Але озон як потужний окисник одночасно проявляє і дезінфікуючі властивості, блокуючи таким чином процес біологічного вилучення вказаних елементів.

Реакція окиснення двовалентного марганцю озоном може відбуватися через кілька стадій до досягнення максимального ступеня окиснення марганцю (до перманганату), що можна відобразити такими основними рівняннями:

$$Mn^{2+} + O_3 + H_2O \rightarrow MnO_2 + O_2 + 2H^+,$$

$$2Mn^{2+} + 5O_3 + 3H_2O \rightarrow 2MnO_4^- + 5O_2 + 6H^+.$$

З цих рівнянь видно, що глибина окиснення марганцю залежить від кількості введеного озону, тобто від його дози. Для видалення з води марганцю на стадії окиснення необхідно забезпечити умови для утворення саме нерозчинного осаду – $MnO_2$. "Передозування" озоном призводить до утворення розчинних сполук марганцю (манганатів або перманганатів). Це і є найбільшим вразливим фактором при окисненні катіонів марганцю озоном.

У наших попередніх дослідженнях [14] спостерігалось порушення оптимального, з точки зору теорії, співвідношення концентрації розчиненого у воді кисню та кількості видаленого заліза, що свідчить про наявність біологічного процесу. З урахуванням сказаного вище, на наш погляд, доцільно для інтенсифікації процесу знезалізнення та деманганації підземних вод, який реалізується фільтруванням через цеолітове завантаження, дослідити вплив помірних концентрацій деяких окисників, зокрема кисню, озону та перекису водню.

### Постановка задачі

Метою дослідження є визначення ефекту впливу окисників – озону та перекису водню – в дозах, які є недостатніми для дезінфекції (0,25–3,0 мг/дм$^3$), порівняно з киснем, на процеси знезалізнення та деманганації води при фільтруванні через цеолітові фільтри.

### Матеріали і методи дослідження

Дослідження проводились із залізовмісною підземною водою, характеристики якої наведено в табл. 1. Концентрація заліза у воді становила 7,9–8,2 мг/дм$^3$, марганцю – 0,3–0,4 мг/дм$^3$.

***Таблиця* 1.** Характеристика якості води

| Показник | Значення |
|---|---|
| Залізо загальне, мг/дм$^3$ | 7,9–8,2 |
| Марганець, мг/дм$^3$ | 0,3–0,4 |
| Забарвленість, градуси | 10–12 |
| Каламутність, мг/дм$^3$ | 0,4–0,6 |
| pH | 6,6–6,8 |
| Жорсткість загальна, ммоль/дм$^3$ | 3,5–3,6 |
| Лужність загальна, ммоль/дм$^3$ | 1,9–2,0 |
| Сульфати, мг/дм$^3$ | 180–185 |
| Хлориди, мг/дм$^3$ | 20–22 |
| Сухий залишок, мг/дм$^3$ | 274–282 |
| Аміак, мг/дм$^3$ | 0,2–0,3 |
| Нітрити, мг/дм$^3$ | <0,003 |
| Нітрати, мг/дм$^3$ | 1–2 |
| Перманганатна окиснюваність, мг/дм$^3$ | 1,4–1,8 |

У цілому за всіма показниками якість води джерела, вибраного для досліджень, була ха-

рактерною для підземних вод, що містять залізо та марганець.

Дослідження впливу кисню на процес знезалізнення та деманганації проводилися на лабораторній установці, яка складається з аератора, закритої контактної ємності та безнапірного фільтра з цеолітовим завантаженням [14]. В аераторі вода насичувалась киснем, потім поступала в закриту контактну ємність і далі надходила в безнапірний фільтр, де в шарі фільтрувального завантаження відбувалось звільнення води від твердої фази сполук заліза (III) і марганцю (IV).

Попереднє озонування води при деманганації на цеолітовому фільтрі проводилось у склянках Дрекселя об'ємом 500 мл, куди поступала озоноповітряна суміш з генератора озону. Об'єм суміші фіксувався газовим лічильником, згідно з показниками якого визначалась доза озону.

В експериментах з перекисом водню у ємність із досліджуваною водою додавався розчин вказаного реагенту в різних концентраціях. Після ретельного перемішування (за допомогою мішалки) суміш подавалась на фільтрування.

Під час проведення досліджень здійснювався аналітичний контроль за вмістом кисню й озону, початковими та кінцевими концентраціями загального заліза і марганцю. Концентрації заліза та марганцю вимірювались за загальноприйнятими методиками, рекомендованими у ДСанПіН 2.2.4–171–10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". Також визначалось загальне мікробне число (ЗМЧ) в одиниці об'єму фільтра та розраховувалось питоме вилучення заліза за ЗМЧ. При оцінці точності експериментів використовували загальноприйняті у хімічній технології методи обробки експериментальних даних.

**Результати і їх обговорення**

Результати експериментів з використанням як окисника кисню наведені в табл. 2 і 3.

Графічна інтерпретація експериментальних даних, що ілюструють ефективність видалення сполук заліза та марганцю з використанням як окисника кисню, наведена на рис. 1.

***Таблиця* 2.** Динаміка зміни концентрації заліза у фільтраті з використанням кисню

| Доза кисню, мг/дм$^3$ | Концентрація заліза, мг/дм$^3$ | | Кількість затриманого заліза, мг/дм$^3$ | Ефективність, % | Відношення $O_2$ до видаленого Fe, мг/мг |
|---|---|---|---|---|---|
| | початкова | кінцева | | | |
| 0,2 | 6,5 ± 0,325 | 3,0 ± 0,150 | 3,5 ± 0,175 | 53,8 ± 2,7 | 0,06 |
| 0,5 | 6,5 ± 0,325 | 2,8 ± 0,140 | 3,7 ± 0,185 | 56,9 ± 2,8 | 0,14 |
| 1,0 | 6,7 ± 0,335 | 2,3 ± 0,115 | 4,4 ± 0,220 | 65,7 ± 3,3 | 0,23 |
| 1,5 | 6,5 ± 0,325 | 1,7 ± 0,085 | 4,8 ± 0,240 | 73,8 ± 3,7 | 0,31 |
| 2,0 | 6,5 ± 0,325 | 1,3 ± 0,065 | 5,2 ± 0,260 | 80,0 ± 4,0 | 0,38 |
| 3,0 | 6,5 ± 0,325 | 0,5 ± 0,025 | 6,0 ± 0,030 | 92,3 ± 4,6 | 0,50 |
| 4,0 | 6,7 ± 0,335 | 0,4 ± 0,020 | 6,3 ± 0,315 | 94,0 ± 4,7 | 0,63 |
| 5,0 | 6,7 ± 0,335 | 0,2 ± 0,010 | 6,5 ± 0,033 | 97,0 ± 4,9 | 0,77 |
| 6,0 | 6,8 ± 0,340 | 0,2 ± 0,010 | 6,6 ± 0,330 | 97,1 ± 4,9 | 0,91 |

***Таблиця* 3.** Динаміка зміни концентрації марганцю у фільтраті з використанням кисню

| Доза кисню, мг/дм$^3$ | Концентрація марганцю, мг/дм$^3$ | | Кількість затриманого марганцю, мг/дм$^3$ | Ефективність, % | Відношення $O_2$ до видаленого Mn, мг/мг |
|---|---|---|---|---|---|
| | початкова | кінцева | | | |
| 0,2 | 0,33 ± 0,017 | 0,25 ± 0,013 | 0,08 ± 0,004 | 24,2 ± 1,21 | 2,50 |
| 0,5 | 0,32 ± 0,016 | 0,24 ± 0,012 | 0,08 ± 0,004 | 25,0 ± 1,25 | 6,25 |
| 1,0 | 0,33 ± 0,017 | 0,22 ± 0,011 | 0,11 ± 0,006 | 33,3 ± 1,67 | 9,09 |
| 1,5 | 0,33 ± 0,017 | 0,14 ± 0,007 | 0,19 ± 0,009 | 57,6 ± 2,88 | 7,89 |
| 2,0 | 0,31 ± 0,016 | 0,12 ± 0,006 | 0,19 ± 0,009 | 61,3 ± 3,07 | 10,53 |
| 3,0 | 0,32 ± 0,015 | 0,11 ± 0,001 | 0,21 ± 0,011 | 65,6 ± 3,28 | 14,29 |
| 4,0 | 0,31 ± 0,016 | 0,08 ± 0,004 | 0,23 ± 0,012 | 74,2 ± 3,71 | 17,39 |
| 5,0 | 0,32 ± 0,016 | 0,08 ± 0,004 | 0,24 ± 0,012 | 75,0 ± 3,75 | 20,83 |
| 6,0 | 0,33 ± 0,017 | 0,07 ± 0,004 | 0,26 ± 0,013 | 78,8 ± 3,94 | 23,08 |

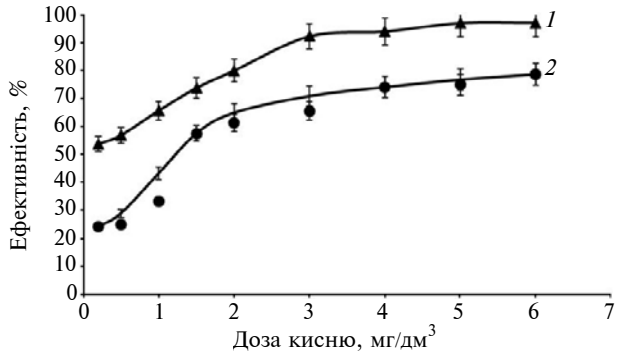


Рис. 1. Ефективність видалення сполук заліза (*1*) та марганцю (*2*) з використанням кисню

Згідно з результатами експериментів, ефективність окиснення заліза поступово зростала і досягала 97 % за вмісту розчиненого кисню 5 мг/дм$^3$. З теоретичної точки зору найбільшу цікавість викликають дані, отримані за низьких доз кисню: 0,2–2 мг/дм$^3$. Співвідношення кількості кисню та кількості вилученого заліза не тільки істотно менше оптимального з теоретичної точки зору (0,7–0,8 мг/мг), але й для перших двох експериментів взагалі менше стехіометричного (0,143 мг/мг). Це підтверджує висунуту нами раніше гіпотезу про роль залізо- та марганецьокисних бактерій при фільтруванні води через цеолітове завантаження [14]. Крім того, результати проведених експериментів вказують на межу біологічного та фізико-хімічного процесів: оскільки різниця між теоретичною кількістю кисню та практичною була значною за низьких доз окисника, то, вірогідно, в цих умовах спостерігається максимальний біологічний ефект.

Графічні залежності, що ілюструють ефективність видалення сполук заліза та марганцю з використанням як окисника озону, наведено на рис. 2.

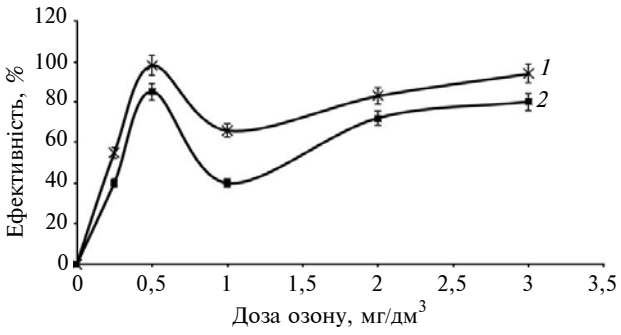


Рис. 2. Ефективність видалення сполук заліза (*1*) та марганцю (*2*) з використанням озону

З аналізу отриманих залежностей (рис. 2) видно, що на початку процесу за невисоких доз озону видалення сполук заліза та марганцю відбувається з високою ефективністю. При збільшенні концентрації озону до 1,0 мг/дм$^3$ ефективність очищення спочатку спадає, а потім збільшується до 94 % – для заліза і до 80 % – для марганцю.

Графіки, наведені на рис. 2, суттєво відрізняються від аналогічних при використанні кисню (див. рис. 1). Різке зниження ефективності видалення заліза та марганцю при застосуванні дози озону 1,0 мг/дм$^3$ може бути пов'язане із загибеллю мікроорганізмів, у т.ч. залізо- та марганецьокисних бактерій, тому що озон, окрім окиснювальної функції, проявляє також дезінфікуючу дію. При збільшенні дози озону до 2,0 мг/дм$^3$ видалення заліза та марганцю відбувається уже за рахунок хімічного окиснення.

Графік, що ілюструє ефективність видалення сполук заліза та марганцю з використанням як окисника перекису водню, зображено на рис. 3.

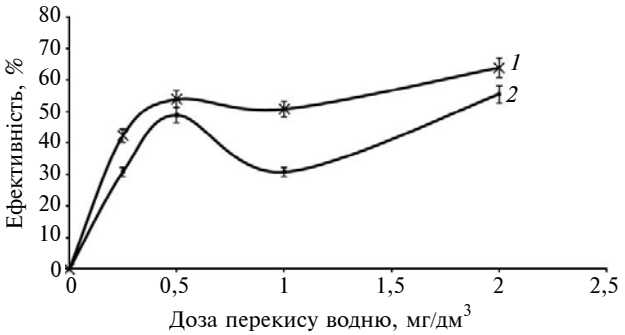


Рис. 3. Ефективність видалення сполук заліза (*1*) та марганцю (*2*) з використанням перекису водню

Як видно, наведені на рис. 3 залежності аналогічні тим, що були отримані при застосуванні озону (див. рис. 2). Тобто застосування окисників у невеликих дозах (до 1,0 мг/дм$^3$) сприяє розвитку залізо- та марганецьокисних бактерій, тим самим збільшуючи ефективність видалення заліза та марганцю. При застосуванні озону ефективність видалення вища (98 % для заліза та 85 % для марганцю), ніж при застосуванні перекису водню (52,9 та 48,7 % відповідно). Тому подальші дослідження проводились із озоном.

Для підтвердження здатності озону інтенсифікувати саме біологічну складову процесу видалення обох елементів під час експериментів визначалася величина ЗМЧ у промивній

воді після 24 год при фільтроциклу. Результати наведено у табл. 4.

***Таблиця* 4.** Зміна величини ЗМЧ у промивній воді при промиванні фільтра (фільтроцикл 24 год) за різних доз озону

| Доза озону, мг/дм$^3$ | ЗМЧ, КУО*/см$^3$ |
|---|---|
| 0,25 | 2000 |
| 0,5 | 4500 |
| 1,0 | 300 |
| 2,0 | 0 |
| 3,0 | 0 |

*КУО – колонієутворювальні одиниці

На рис. 4 наведено залежності питомого вилучення заліза та величини ЗМЧ від дози озону. За низьких доз озону (0,25–0,5 мг/дм$^3$) відбувається інтенсифікація біологічної складової процесу знезалізнення, про що свідчать високі значення ЗМЧ: 2000 та 4500 КУО/см$^3$.

При збільшенні дози озону до 1,0 мг/дм$^3$ ЗМЧ різко зменшується до 300 КУО/см$^3$, що вказує на зниження ефективності біологічного та збільшення ефективності хімічного процесів окиснення заліза (крива питомого вилучення заліза зростає зі збільшенням дози озону). Тобто, згідно з отриманими експериментальними даними, оптимальною при знезалізненні води була доза озону 0,5 мг/дм$^3$. За такої дози у воді ще зберігаються залізобактерії, що і зумовлює значну ефективність видалення заліза. Цей висновок, а саме той факт, що при застосуванні низьких доз озону інтенсифікується саме біологічна складова процесу, підтверджується даними, наведеними в табл. 4 і на рис. 4.

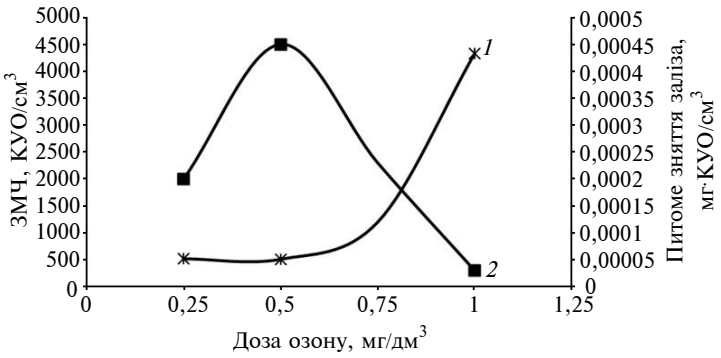


Рис. 4. Залежність питомого вилучення заліза (*1*) і ЗМЧ (*2*) від дози озону

**Висновки**

У роботі було вивчено вплив окисників – кисню, озону та перекису водню – на перебіг процесів фільтрування підземної води, в якій містяться сполуки заліза і марганцю, та встановлено, що поряд із хімічними процесами значну роль відіграють також біологічні.

Результатами досліджень експериментально підтверджено, що за низьких концентрацій кисню порушується не тільки оптимальне з теоретичної точки зору, але й стехіометричне співвідношення кількості кисню та кількості видаленого заліза.

Показано, що за концентрацій окисників 0,25 та 0,5 мг/дм$^3$ домінують біологічні процеси. Причому при застосуванні озону в невисоких концентраціях (0,25–0,5 мг/дм$^3$) інтенсифікація біологічного окиснення марганцю набагато вища (до 85 %), ніж при застосуванні кисню (25 %).

Для перекису водню ефективність видалення заліза становила до 54 %, для марганцю – до 52 %. При збільшенні дози озону та перекису водню до 1,0 мг/дм$^3$ відбувається загибель мікроорганізмів, що призводить до зниження ефективності біологічної складової та підвищення ефективності фізико-хімічної складової процесу знезалізнення-деманганації.

З технологічної точки зору, з огляду на результати дослідження, за малих доз озону можна досягти тієї ж самої глибини очищення, як і за більш високих. Реалізація процесу в таких умовах дасть змогу досягти значної економії озону, а отже, й електроенергії, необхідної для його утворення.

Гіпотеза про роль мікроорганізмів у процесі видалення сполук заліза доведена через зіставлення величини ЗМЧ у промивній воді фільтра та питомого видалення заліза. Так, за низьких доз озону (0,25–0,5 мг/дм$^3$), коли зберігається висока ефективність видалення заліза, в промивній воді фільтра визначались високі значення ЗМЧ – 2000 та 4500 КУО/см$^3$ відповідно.

Оптимальною дозою озону для видалення заліза і марганцю, згідно з отриманими експериментальними даними, є 0,5 мг/дм$^3$. За такої дози, з одного боку, спостерігається висока біодеградуюча здат-

ність мікроорганізмів, а з іншого, бактерицидний ефект озону проявляється недостатньою мірою, що дає змогу підтримувати високу кількість бактерій у завантаженні фільтра.

Таким чином, результати проведених досліджень засвідчили, що застосування окисників сприяє підвищенню ефективності біологічної складової процесу знезалізнення-деманганації води. Вони також показали принципову можливість інтенсифікації процесу видалення із води сполук заліза та марганцю обробкою води озоном у малих дозах із подальшим фільтруванням через шар цеолітового завантаження. При цьому озон сприяє більш ефективному вилученню з води марганцю, що зазвичай є досить складною технологічною задачею. У подальших експериментах планується технічна реалізація дослідженого методу.

**Список літератури**


1. *Microbial* activity in drinking water-associated / A. Farkas, M. Dragan-Bularda, V. Muntean *et al.* // Cent. Eur. J. Biol. – 2013. – № 2. – P. 201–214. doi: 10.2478/s11535-013-0126-0
2. *Biological* iron oxidation by *Gallionella* spp. in drinking water production under fully aerated conditions / W.W.J.M. de Vet, I.J.T. Dinkla, L.C. Rietveld, M.C.M. van Loosdrecht // Water Res. – 2011. – № 17. – P. 5389–5398. doi: 10.1016/j.watres.2011.07.028
3. *Modelling* and optimization of processes for removal of dissolved heavy metal compounds from drinking water by microbiological methods / G.A. Dubinina, A.Yu. Sorokina, A.E. Mysyakin et al. // Water Resources. – 2012. – № 4. – P. 398–404. doi: 10.1134/s0097807812030037
4. *Hu F.P., He W., Tang C.C.* Purification efficiency study of biological treatment of iron and manganese for groundwater // Adv. Mater. Res. – 2012. – № 599. – P. 383–386. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.599.383
5. *Internal* porosity of mineral coating supports microbial activity in rapid sand filters for groundwater treatment / A. Gülay, K. Tatari, S. Musovic et al. // Appl. Environ. Microbiol. – 2014. – № 22. – P. 7010–7020. doi: 10.1128/AEM.01959-14
6. *Oxidation* of iron and manganese by ozone / D.A. Reckhow, W.R. Knocke, M.J. Kearney et al. // Ozone Sci. Eng. – 1991. – № 6. – P. 675–695. doi: 10.1080/01919512.1991.10555708
7. *Кравченко О.В.* Застосування окисників для інтенсифікації біологічної складової процесів знезалізнення і деманганації води // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2016. – № 3. – С. 42–47. doi: 10.20535/1810-0546.2016.3.65600
8. Manganese (Mn) oxidation increases intracellular Mn in *Pseudomonas putida* GB-1 / A. Banh, V. Chavez, J. Doi et al. // PLoS One. – 2013. – № 10. – P. 1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0077835
9. *Квартенко О.М.* Використання закріпленої мікрофлори для очистки підземних вод з підвищеним вмістом заліза: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Рівне, 1997. – 23 с.
10. *Установление* закономерностей снижения концентрации железа и марганца в железосодержащих водах при окислении озоном для совершенствования технологий водоподготовки / Л.Э. Шейнкман, Д.В. Дергунов, Л.Н. Савинова, А.Е. Четверикова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 345–350.
11. *Дзюбо В.В., Алферова Л.И.* Озонирование при обезжелезивании-деманганации подземных вод в Сибирском регионе // Вода: химия и экология. – 2011. – № 2. – С. 25–32.
12. *El Araby R., Hawash S., El Diwani G.* Treatment of iron and manganese in simulated groundwater via ozone technology // Desalination. – 2009. – № 3. – P. 1345–1349. doi: 10.1016/j.desal.2009.05.006
13. *Gregory D., Carlson K.* Ozonation of dissolved manganese in the presence of natural organic matter // Ozone Sci. Eng. – 2001. – № 2. – P. 149–159. doi: 10.1080/01919510108961997
14. *Кравченко О.В.* Роль мікроорганізмів при видаленні із води високих концентрацій заліза на фільтрах з цеолітовим завантаженням // Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 58–65.


**References**


1. A. Farkas *et al.*, "Microbial activity in drinking water-associated biofilms", *Cent. Eur. J. Biol.*, vol. 8, no. 2, pp. 201–214, 2013. doi: 10.2478/s11535-013-0126-0
2. W.W.J.M. de Vet *et al.*, "Biological iron oxidation by *Gallionella* spp. in drinking water production under fully aerated conditions", *Water Res.*, vol. 45, no. 17, pp. 5389–5398, 2011. doi: 10.1016/j.watres.2011.07.028
3. G.A. Dubinina *et al.*, "Modelling and optimization of processes for removal of dissolved heavy-metal compounds from drinking water by microbiological methods", *Water Res.*, vol. 39, no. 4, pp. 398–404, 2012. doi: 10.1134/s0097807812030037
4. L.Z. Feng Ping Hu *et al.*, "Purification efficiency study of biological treatment of iron and manganese for groundwater", *Adv. Mater. Res.*, vol. 599, pp. 383–386, 2012. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.599.383

5. A. Gülay *et al.*, "Internal porosity of mineral coating supports microbial activity in rapid sand filters for groundwater treatment", *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 80, no. 22, pp. 7010–7020, 2014. doi: 10.1128/AEM.01959-14
6. D.A. Reckhow *et al.*, "Oxidation of iron and manganese by ozone", *Ozone Sci. Eng.*, vol. 13, no. 6, pp. 675–695, 1991. doi: 10.1080/01919512.1991.10555708
7. O.V. Kravchenko, "Oxidizing agents testing for the intensification of the biological components of the iron and manganese removal from water", *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 3, pp. 42–47, 2016 (in Ukrainian). doi: 10.20535/1810-0546.2016.3.65600
8. A. Banh *et al.*, "Manganese (Mn) oxidation increases intracellular Mn in *Pseudomonas putida* GB-1", *PLoS One*, vol. 8, no. 10, pp. 1–8, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0077835
9. O.M. Kvartenko, "The use of fixed microflora for cleaning groundwater with high iron content", Ph.D. dissertation, Rivne, Ukraine, 1997 (in Ukrainian).
10. L.E. Sheinkman *et al.*, "Establishment of patterns of concentration decrease of iron and manganese in iron-bearing waters at oxidation by ozone for improvement of water preparation technologies", *Fundamentalnyie Issledovaniya*, vol. 5, no. 2, pp. 675–695, 2015 (in Russian).
11. V.V. Dzyuba *et al.*, "Ozonation at demanganation and iron removal from groundwater in the Siberian region", *Voda: Himiya i Ekologiya*, no. 2, pp. 25–32, 2011 (in Russian).
12. R. El Araby *et al.*, "Treatment of iron and manganese in simulated groundwater via ozone technology", *Desalination*, vol. 249, no. 3, pp. 1345–1349, 2009. doi: 10.1016/j.desal.2009.05.006
13. D. Gregory *et al.*, "Ozonation of dissolved manganese in the presence of natural organic matter", *Ozone Sci. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 149–159, 2001. doi: 10.1080/01919510108961997
14. O.V. Kravchenko, "The role of microorganisms at removal from water high content of iron and manganese on filters with zeolite loading", *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni Nauky*, vol. 1, no. 69, pp. 58–65, 2015 (in Ukrainian).

О.В. Кравченко

## ВПЛИВ ОЗОНУ І ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ БІОЛОГІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ СКЛАДОВИХ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ТА ДЕМАНГАНАЦІЇ ВОДИ

**Проблематика.** До найбільш поширених компонентів, які містяться в підземних водах майже всіх регіонів України, належать сполуки заліза та марганцю. Підвищені концентрації заліза та марганцю спричиняють погіршення органолептичних властивостей води, призводять до утворення осадів, заростання водопровідних мереж і водозабірної арматури. Тому існує потреба в удосконаленні існуючих технологій вилучення цих елементів із води.

**Мета дослідження.** Метою роботи є визначення ефекту впливу окисників – озону та перекису водню – в дозах, які є недостатніми для дезінфекції (0,25–3,0 мг/дм$^3$), порівняно з киснем, на процеси знезалізнення та деманганації води при фільтруванні через цеолітові фільтри.

**Методика реалізації.** Дослідження проводились із залізовмісною підземною водою. Воду оброблювали киснем на лабораторній установці, яка складається з аератора, закритої контактної ємності та безнапірного фільтра з цеолітовим завантаженням. Озонування води при деманганації на цеолітовому фільтрі проводилось у склянках Дрекселя, куди поступала озоноповітряна суміш з генератора озону. В експериментах з перекисом водню у ємність з водою додавався розчин вказаного реагенту в різних концентраціях, потім суміш перемішувалась та подавалась на фільтрування.

**Результати дослідження.** Показано, що за концентрацій окисників 0,25 і 0,5 мг/дм$^3$ домінують біологічні процеси. З технологічної точки зору, за малих доз озону можна досягти тієї ж самої глибини очищення, як і за більш високих. Реалізація процесу в таких умовах дасть змогу досягти значної економії озону, а отже, й електроенергії, необхідної для його утворення.

**Висновки.** Зроблено висновки щодо принципової можливості інтенсифікації процесу видалення із води сполук заліза та марганцю обробкою води озоном у малих дозах з подальшим фільтруванням через шар цеолітового завантаження. При цьому озон сприяє більш ефективному вилученню із води марганцю, що зазвичай є досить складною технологічною задачею.

**Ключові слова:** озонування; перекис водню; знезалізнення; деманганація.

А.В. Кравченко

## ВЛИЯНИЕ ОЗОНА И ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ ВОДЫ

**Проблематика.** К наиболее распространенным компонентам, которые содержатся в подземных водах многих регионов Украины, относятся соединения железа и марганца. Повышенные концентрации железа и марганца вызывают ухудшение органолептических свойств воды, приводят к образованию осадков, зарастанию водопроводных сетей и водозаборной арматуры. Поэтому существует необходимость совершенствования существующих технологий извлечения этих элементов из воды.

**Цель исследования.** Целью работы является определение эффекта действия окислителей – озона и перекиси водорода – в дозах, недостаточных для дезинфекции (0,25–3,0 мг/дм$^3$), по сравнению с кислородом, на процессы обезжелезивания и деманганации воды при фильтровании через цеолитовые фильтры.

**Методика реализации.** Исследования проводились с железосодержащей подземной водой. Воду обрабатывали кислородом на лабораторной установке, состоящей из аэратора, закрытой контактной емкости и безнапорного фильтра с цеолитовой загрузкой. Озонирование воды при деманганации на цеолитовых фильтрах проводилось в стаканах Дрекселя, куда поступала озоно-воздушная смесь из генератора озона. В экспериментах с перекисью водорода в емкость с водой добавлялся раствор указанного реагента в различных концентрациях, затем смесь перемешивалась и подавалась на фильтрование.

**Результаты исследования.** Показано, что при концентрациях окислителей 0,25 и 0,5 мг/дм$^3$ доминируют биологические процессы. С технологической точки зрения, при малых дозах озона можно достичь той же глубины очистки, как и при более высоких. Реализация процесса в таких условиях позволит достичь значительной экономии озона, а значит, и электроэнергии, необходимой для его образования.

**Выводы.** Сделаны выводы о принципиальной возможности интенсификации процесса удаления из воды соединений железа и марганца путем обработки воды озоном в малых дозах с последующим фильтрованием через слой цеолитовой загрузки. При этом озон способствует более эффективному извлечению из воды марганца, что обычно является достаточно сложной технологической задачей.

**Ключевые слова:** озонирование; перекись водорода; обезжелезивание; деманганация.

Рекомендована Радою
факультету біотехнології і біотехніки
НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”

Надійшла до редакції
23 листопада 2016 року