

УДК 628.16:579.222

DOI: 10.20535/1810-0546.2017.3.100017

О.В. Кравченко, О.С. Панченко\*

ДП “Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства”, Київ, Україна

## БИОТЕХНОЛОГИЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДАЛЕННЯ АМОНІЮ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ

**Background.** Nitrogen-containing substances are the most common components of groundwater of Ukraine. It was detected, that ammonium may impact on the process of water disinfection, the appearance of nitrite in the distribution system and the problem with the taste and smell of water. The presence of high concentrations of nitrites and nitrates in water can cause methemoglobinemia in children that causes cyanosis and asphyxia. So, there is an urgent demand of developing approaches to intensification of ammonia removing from drinking water.

**Objective.** The aim of these studies is to examine the characteristics of biotechnological processes of nitrogen compounds removing from drinking water in its purification with charge BIOFILTER.

**Methods.** The object of the study was underground water from wells located in the Khmelnytsky region. The initial concentration of ammonia in water was 2.16 mg/dm<sup>3</sup>, nitrite – 0.48 mg/dm<sup>3</sup>, nitrate – 4.5 mg/dm<sup>3</sup>. Investigation of removing of nitrogen-containing substances was conducted on a pilot plant, consisting of aerator, closed contact tank and model filters with charge BIOFILTER. Water was saturated with oxygen in water aerator then came to closed contact tank, where the following parameters were gauged: the concentration of dissolved oxygen, ammonia, nitrites and nitrates. The concentration of dissolved oxygen, ammonia, nitrites and nitrates were controlled in the output water. The pilot plant was set up and worked on the well.

**Results.** It is shown that when the concentration of oxygen decreased from 8.0 to 6.4 mg/dm<sup>3</sup>, a sharp decrease in nitrate concentrations from 4.5 to 3.9 mg/dm<sup>3</sup> was observed. A gradual decrease of nitrates concentrations was observed with increasing doses of consumed oxygen. It was suggested that the nitrification process was passing simultaneously with a process of denitrification as evidenced by a sharp decrease in the concentration of nitrates with a decrease in the oxygen dissolved in water.

**Conclusions.** A decrease in dissolved oxygen concentration violates theoretical ratio of nitrate content in water was experimentally confirmed. The actual content of nitrates in the treated water was less than the theoretical, indicating the passage of denitrification process simultaneously with a process of nitrification. The less concentration of dissolved oxygen in the water at the outlet of the filter, the deeper denitrification is held.

**Keywords:** ammonium; nitrates; nitrites; denitrification; nitrification.

### Вступ

Забруднення водних ресурсів, які використовуються для питного водопостачання, сполуками азоту – проблема, яка впливає насамперед на здоров'я населення у всьому світі. Ризик для здоров'я пов'язаний з наявністю у питній воді високих концентрацій нітритів та нітратів, що викликають метгемоглобінемію у дітей, яка призводить до ціанозу та асфіксії.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), амоній у питній воді не спричиняє шкідливої дії на здоров'я населення, тому санітарно-гігієнічного нормативного значення не запропоновано. Проте встановлено можливий вплив амонію на процес знезараження води, на появу нітритів у системах розподілення води, спричинення проблеми зі смаком та запахом води. Тому обмеження вмісту амонію встановлено у Директиві Ради 98/83/ЄС “Про якість води, при-

значеної для споживання людиною” та ДСанПіН 2.2.4.171–10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”.

У Директиві Ради 98/83/ЄС параметричне значення для амонію у питній воді встановлено на рівні 0,5 мг/л, для нітратів – 50 мг/л, для нітритів – 0,5 мг/л. В Україні згідно з чинними ДСанПіН 2.2.4.171–10 вміст амонію встановлено на рівні  $\leq 0,5$  (2,6) мг/дм<sup>3</sup>, нітратів –  $\leq 50$  мг/дм<sup>3</sup>, нітритів –  $\leq 0,5$  (0,1) мг/дм<sup>3</sup> (нормативи, зазначені в дужках, можуть встановлюватись для певних умов). У Керівництві ВООЗ надано такі рекомендації: для нітратів (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) нормативна величина встановлена на рівні 50 мг/л, для нітритів (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) – 3 мг/л.

Азотвмісні речовини належать до найбільш поширених компонентів підземних вод України, що виводять їх із розряду кондиційних для питного водопостачання. Так, вміст нітратів у під-

\* corresponding author: elena.panchenko.92@gmail.com

земній воді перевищений у Дніпропетровській, Закарпатській, Одеській, Херсонській, Черкаській обл., аміаку – в Хмельницькій обл. [1].

Для видалення амонію застосовується фізико-хімічний метод – хлорування, проте така обробка є високовартісною та при застосуванні хлору у високих концентраціях призводить до формування побічних токсичних продуктів, що є небажаним для питної води. Для видалення нітратів розроблені технології із застосуванням іонного обміну, зворотного осмосу, електродіалізу, нанофільтрації [2, 3]. Проте такі технології мають низку недоліків. Перш за все вони потребують високих капітальних, експлуатаційних затрат і витрат на технічне обслуговування. Іншими недоліками цих методів є виробництво великої кількості концентрованого сольового розчину [2], а також низька селективність до видалення нітратів [3].

Біотехнології для видалення азотвмісних сполук широко застосовуються в усьому світі для очищення стічної води. Основними перевагами біологічного процесу над фізико-хімічним є можливість одночасного видалення багатьох видів забруднювальних речовин, відсутність потреби в додаткових хімічних окисниках, низька вартість процесу очищення порівняно з фізико-хімічними методами, висока ефективність процесу [4–6].

Нині світові технології видалення азотовмісних сполук із питної води передбачають застосування біофільтрів [7–9]. Біологічна нітрифікація зазвичай являє собою двоступеневий процес, під час якого відбувається послідовне окиснення амонію в нітрит і нітриту в нітрат. Бактерії-нітрифікатори заселяються та закріплюються на фільтрувальному матеріалі фільтрів водопідготовки. Їх кількісний та видовий склад добре досліджено для використання у процесі очищення стічних вод. Для питної води біологічну нітрифікацію-денітрифікацію та групи бактерій, які можна застосовувати у процесі очищення питної води, почали вивчати і використовувати лише з 1990 р. [7, 10, 11].

В Україні біофільтри для видалення сполук азоту практично не застосовуються у зв'язку з технологічними труднощами, невисокою ефективністю роботи та значними експлуатаційними витратами. Тому для широкого використання таких фільтрів необхідно шукати шляхи вдосконалення їх роботи. Відомо, що на біофільтрах очищення відбувається за рахунок мікроорганізмів,

які розвиваються на цеолітовому або інших завантаженнях. Також частина цих сполук видаляється із води внаслідок їх каталітичного окиснення на завантаженні фільтрів [12]. Проте видовий склад біологічного агента докладно практично не розглядався, а мікроорганізми досліджувались лише як єдиний біоценоз аналогічно до процесу очищення стічних вод.

З урахуванням сказаного вище для вивчення процесу видалення сполук азоту із підземних вод, який реалізується фільтруванням через завантаження, нами було вирішено докладно дослідити видовий склад присутніх на ньому бактерій.

### Постановка задачі

Мета проведення досліджень полягає у вивченні біотехнологічних особливостей процесів видалення сполук азоту з питної води при очищенні її на завантаженні BIOFILTER.

### Матеріали і методи дослідження

Об'єктом дослідження була підземна вода зі свердловини, розміщеної у Хмельницькій обл., характеристика якості якої наведена в табл. 1. На момент проведення експериментів концентрація амонію у воді становила 2,16 мг/дм<sup>3</sup>, нітритів – 0,48 мг/дм<sup>3</sup>, нітратів – 4,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Як видно з табл. 1, підземна вода характеризується підвищеним вмістом амонію.

Дослідження процесу видалення азотовмісних речовин проводились на пілотній установці, яка складалася з аератора, закритої контактної ємності та модельних фільтрів із завантаженням BIOFILTER італійської фірми Culligan. В аераторі вода насичувалась киснем, потім поступала в закриту контактну ємність, де вимірювались концентрації розчиненого кисню, амонію, нітритів та нітратів. На виході з фільтра у воді контролювались концентрації розчиненого кисню, амонію, нітритів та нітратів. Пілотна установка була встановлена та працювала на свердловині.

Виділення чистих культур нітрифікуючих бактерій проводилось у два етапи. Для отримання культури накопичення проби води, відібраної після очищення на пілотній установці, висівались на живильне середовище такого складу: сірчанокислий амоній – 1,0 г; фосфорнокислий кальцій двоосновний – 1,0 г; хлористий натрій – 2,0 г; сірчанокислий магній – 0,5 г; сірчанокисле залізо (слідова кількість); вуглекислий маг-

Таблиця 1. Характеристика якості води

Показник якості	Мін.	Макс.	Середнє	Норматив ДСанПін 2.2.4.171–10
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	1,73	2,20	1,97	≤0,5 (2,6) <sup>1</sup>
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,062	0,49	0,276	≤0,5 (0,1) <sup>2</sup>
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	3,87	4,52	4,2	≤50
Забарвленість, град	3	7	5	≤20 (35) <sup>1</sup>
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,89	0,6	≤1,5 (2,03) <sup>1</sup>
pH	6,9	7,7	7,3	6,5–8,5
Жорсткість загальна, ммоль/дм <sup>3</sup>	7,2	7,3	7,25	≤7 (10) <sup>1</sup>
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	28,81	79,42	54,12	≤250 (500) <sup>1</sup>
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	10	11	10,5	≤250 (350) <sup>1</sup>
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	463	490	477	≤1000 (1500) <sup>1</sup>
Перманганатна окиснюваність, мг/дм <sup>3</sup>	2,16	2,56	2,36	≤5,0
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,11	0,17	0,14	≤0,2 (1,0) <sup>1</sup>
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,127	0,212	0,17	≤0,05 (0,5) <sup>1</sup>

Примітки. <sup>1</sup>Норматив, зазначений у дужках, має право використовувати підприємство питного водопостачання до 1 січня 2020 р. в окремих випадках, пов'язаних з особливими природними умовами та технологією підготовки питної води.

<sup>2</sup>Норматив, зазначений у дужках, установлюється для обробленої питної води, крім тої, що оброблена методом хлорування з преамонізацією.

ній (надлишок); дистильована вода – 1 дм<sup>3</sup>. Розвиток нітрифікуючих бактерій виявлявся за появою нітритів та зникненням амонію і появою нітратів. Виділення чистої культури нітрифікаторів проводилось пересіванням культури накопичення на середовище того ж самого складу, розведеного в 10 разів. Для визначення чистоти культури проводилися мікроскопічний контроль і висівання на м'ясо-пептонний агар.

Для виділення культур денітрифікуючих бактерій проби води висівались на живильне середовище такого складу: азотнатрієва сіль – 5,0 г; розчинений крохмаль – 5 г; пептон – 1 г; йодистий калій – 0,5 г; фосфорнодвокалієва сіль – 0,5 г; сірчаноокислий магній – 0,3 г; кухонна сіль – 0,3 г; агар-агар – 20 г; дистильована вода – 1 л. Приналежність виділених колоній до денітрифікуючих видів встановлювали так: частину агару, відібраного поблизу колоній, опускали в розчин соляної кислоти. Швидке посиніння вказує на принадлежність колонії до бактерій-денітрифікаторів.

Ефективність роботи фільтрів визначалась вимірюванням початкових і кінцевих концентрацій амонію, нітритів та нітратів. Аналітичний контроль за цими показниками здійснювали відповідно до загальноприйнятих методик, зазначених у ДСанПін 2.2.4–171–10. Експериментальні

дані опрацьовувались із використанням загальноприйнятих методів обробки експериментальних даних у хімічній технології [13].

### Результати і їх обговорення

Результати експериментів з видалення амонійних сполук наведені у табл. 2. Доза кисню, яка подавалась у фільтр, становила  $8,0 \pm 0,3$  мг/дм<sup>3</sup>. Початкова концентрація амонію становила  $2,16 \pm 0,1$  мг/дм<sup>3</sup>, нітритів –  $0,48 \pm 0,02$  мг/дм<sup>3</sup>, нітратів –  $4,5 \pm 0,2$  мг/дм<sup>3</sup>.

Таблиця 2. Динаміка зміни вмісту амонійних сполук і розчиненого кисню у фільтраті

Концентрація на виході, мг/дм <sup>3</sup>				$\Delta\text{NO}_3^-$
O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
$7,4 \pm 0,37$	$1,9 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,02$	$4,4 \pm 0,22$	3,00
$7,0 \pm 0,35$	$1,5 \pm 0,08$	$0,46 \pm 0,02$	$4,2 \pm 0,21$	3,24
$6,4 \pm 0,32$	$1,1 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,02$	$3,9 \pm 0,19$	3,54
$5,2 \pm 0,26$	$0,8 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,02$	$3,5 \pm 0,18$	3,94
$4,6 \pm 0,23$	$0,5 \pm 0,03$	$0,39 \pm 0,02$	$3,1 \pm 0,15$	4,34
$4,3 \pm 0,22$	$0,2 \pm 0,01$	$0,35 \pm 0,02$	$2,3 \pm 0,11$	5,14

Теоретичний вміст нітратів у очищеній воді, розрахований за сумарною реакцією нітри-

фікації, за початкової концентрації іонів амонію  $2,16 \pm 0,1$  мг/дм<sup>3</sup> має бути 7,44 мг/дм<sup>3</sup>. Для оцінки різниці отриманих концентрації нітратів у фільтраті від теоретичного значення було розраховано кількість фактично знятого амонію ( $\Delta\text{NO}_3^-$ ).

На рис. 1 наведено залежність концентрації нітратів на виході з фільтра від вмісту розчиненого кисню на виході. На рис. 2 наведено динаміку вмісту нітритів у воді після очищення на фільтрі залежно від витраченого кисню.

Із залежності на рис. 1 видно, що за низьких концентрацій кисню видалення нітратів відбувалося практично без змін. При зменшенні концентрації кисню з 8,0 до 6,4 мг/дм<sup>3</sup> спостерігалось різке зменшення їх концентрації з 4,5 до 3,9 мг/дм<sup>3</sup>. При видаленні нітритів (рис. 2) спостерігалось поступове зменшення їх концентрації зі збільшенням дози спожитого кисню. Це дає змогу припустити, що одночасно з процесом нітрифікації також відбувався процес денітрифікації, про що свідчить різке зниження концентрації

нітратів при зменшенні вмісту розчиненого кисню у воді.

Для перевірки наявності нітрифікуючих та денітрифікуючих бактерій змиви із завантаженого фільтрів було висіяно на відповідні живильні середовища. Із бактерій-нітрифікаторів було виділено бактерії родів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*. Їх наявність свідчить про проходження біологічної нітрифікації та перетворення амонію в нітрати.

Бактерії-денітрифікатори було виділено в невеликій кількості. Знайдені бактерії було попередньо ідентифіковано як *Thiobacillus denitrificans*. Наявність таких бактерій, а також зниження концентрації нітритів у процесі нітрифікації (див. рис. 2) свідчить про можливість перебігу процесу денітрифікації на фільтрах із завантаженням BIOFILTER в умовах застосування води зі свердловини. Показано, що під час видалення амонію може відбуватися видалення нітратів, у т.ч. тих, що утворюються в процесі нітрифікації амонійних сполук.

## Висновки

У роботі було вивчено процес видалення амонію, нітритів та нітратів із підземної води під час очищення на пілотній установці фільтрів зі спеціальним завантаженням та показано, що поряд із процесом нітрифікації, який потребує аерації, на тому ж самому фільтрі відбувається процес денітрифікації.

Експериментально підтверджено, що при зменшенні концентрації розчиненого кисню порушується теоретичне співвідношення вмісту нітратів у воді. Фактичний вміст нітратів у очищеній воді був меншим за теоретичний, що свідчить про проходження процесу денітрифікації одночасно із нітрифікацією. Денітрифікація проходила тим глибше, чим меншою була концентрація розчиненого кисню у воді на виході з фільтра. Отримані дані корелюють із теоретичними відомостями щодо мікроаерофільного характеру бактерій-денітрифікаторів.

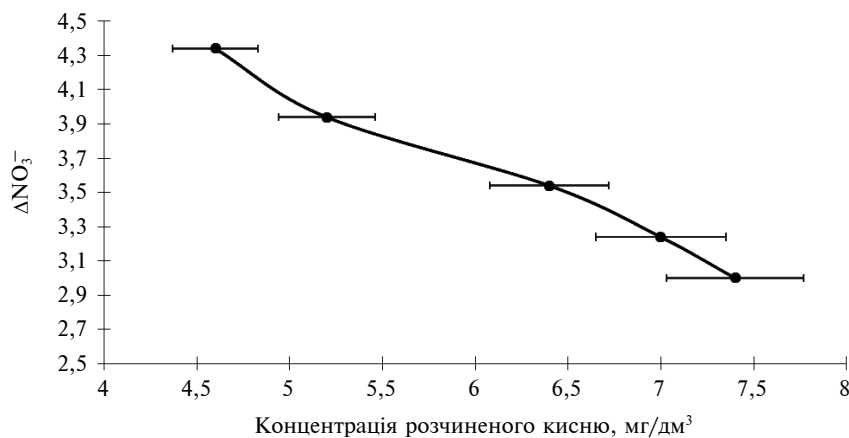


Рис. 1. Зміна концентрації нітратів при обробці води киснем

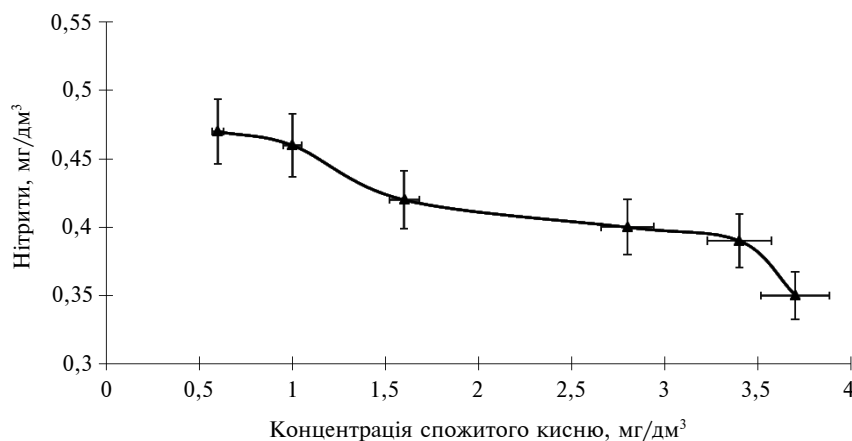


Рис. 2. Зміна концентрації нітритів при обробці води киснем

Одночасно із виділенням бактерій-нітрифікаторів після проходження води через модельний біофільтр було виділено бактерії-денітрифікатори, що свідчить про можливість застосування одночасної нітрифікації-денітрифікації на одному біофільтрі.

Отримані дані дають змогу також допустити, що концентрацію нітратів у воді, яка регулює за принципом зворотного зв'язку процес нітрифікації, можна коригувати через підтримання опти-

мальних (зокрема, мікроаерофільних) умов для перебігу процесів денітрифікації.

Отримані результати будуть використані в подальшій роботі, зокрема спрямовані на дослідження інтенсифікації процесів нітрифікації-денітрифікації застосуванням чистих і змішаних культур, мутантних штамів мікроорганізмів та інших прийомів сучасної біотехнології у процесі очищення питної води.

### Список літератури

1. Прокопов В.О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти: Монографія. – К.: ВСВ “Медицина”, 2016. – 400 с.
2. Simultaneous removal of nitrate and natural organic matter from drinking water using a hybrid heterotrophic/autotrophic/biological activated carbon bioreactor / R. Saeedi, K. Naddafi, A. Mesdaghinia et al. // *Environ. Eng. Sci.* – 2012. – **29**, № 2. – P. 93–100.
3. Mohseni-Bandpi A., Elliott D.J., Zazouli M.A. Biological nitrate removal processes from drinking water supply-a review // *J. Environ. Heal. Sci. Eng.* – 2013. – **11**, no. 1. – P. 35–45.
4. Autotrophic nitrogen removal process in a potable water treatment biofilter that simultaneously removes Mn and NH<sub>4</sub>(+)-N / Y. Cai, D. Li, Y. Liang et al. // *Bioresour. Technol.* – 2014. – **172**. – P. 226–231.
5. Shi S., Tao W. Numerical modeling of nitrogen removal processes in biofilters with simultaneous nitrification and anammox // *Water Sci. Technol.* – 2013. – **67**, № 3. – P. 549–556.
6. Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: The anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling / D. Xing, L. Guangyang, Q. Fangshu et al. // *Desalination*. – 2017. – **403**. – P. 97–106.
7. Tekerlekopoulou A.G., Pavlou S., Vayenas D.V. Removal of ammonium, iron and manganese from potable water in biofiltration units: A review // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* – 2013. – **88**, № 5. – P. 751–773.
8. Søborg D.A., Breda I.L., Ramsay L. Effect of oxygen deprivation on treatment processes in a full-scale drinking water biofilter // *Water Sci. Technol. Water Supply*. – 2015. – **15**, № 4. – P. 825–833.
9. Jun Y., Wenfeng X. Ammonia biofiltration and community analysis of ammonia-oxidizing bacteria in biofilters // *Bioresour. Technol.* – 2009. – **100**, № 17. – P. 3869–3876.
10. Konrád L. Ammonium removal by nitrification in drinking water treatment // *Kvalitet Voda*. – 2012. – **10**. – P. 47–53.
11. White C.P., DeBry R.W., Lytle D.A. Microbial survey of a full-scale, biologically active filter for treatment of drinking water // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2012. – **78**, № 17. – P. 6390–6394.
12. Упрощенная модель обезжелезивания и деманганации воды на клинцитилитовой загрузке фильтров / Ю.И. Тарасевич, А.Е. Кулишенко, В.Е. Поляков и др. // *Химия и технология воды*. – 2013. – № 5. – P. 98–109.
13. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 380 с.

### References

- [1] V.O. Prokopov, *Drinking Water in Ukraine: Medico-Ecological and Sanitary-Hygienic Aspects*. Kyiv, Ukraine: VSV “Medicina”, 2016 (in Ukrainian).
- [2] Saeedi et al., “Simultaneous removal of nitrate and natural organic matter from drinking water using a hybrid heterotrophic/autotrophic/biological activated carbon bioreactor”, *Environ. Eng. Sci.*, vol. 29, no. 2, pp. 93–100, 2012. doi: 10.1089/ees.2011.0077
- [3] A. Mohseni-Bandpi et al., “Biological nitrate removal processes from drinking water supply-a review”, *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 1, p. 35, 2013. doi: 10.1186/2052-336X-11-35
- [4] Y. Cai et al., “Autotrophic nitrogen removal process in a potable water treatment biofilter that simultaneously removes Mn and NH<sub>4</sub>(+)-N”, *Bioresour. Technol.*, vol. 172, pp. 226–231, 2014. doi: 10.1016/j.biortech.2014.09.027

- [5] S. Shi and W. Tao, "Numerical modeling of nitrogen removal processes in biofilters with simultaneous nitrification and anammox", *Water Sci. Technol.*, vol. 67, no. 3, pp. 549–556, 2013. doi: 10.2166/wst.2012.594
- [6] X. Du *et al.*, "Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: The anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling", *Desalination*, vol. 403, pp. 97–106, 2017. doi: 10.1016/j.desal.2016.03.002
- [7] A.G. Tekerlekopoulou *et al.*, "Removal of ammonium, iron and manganese from potable water in biofiltration units: A review", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 88, no. 5, pp. 751–773, 2013. doi: 10.1002/jctb.4031
- [8] D.A. Søborg *et al.*, "Effect of oxygen deprivation on treatment processes in a full-scale drinking water biofilter", *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 15, no. 4, pp. 825–833, 2015. doi: 10.2166/ws.2015.040
- [9] Y. Jun and X. Wenfeng, "Ammonia biofiltration and community analysis of ammonia-oxidizing bacteria in biofilters", *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 17, pp. 3869–3876, 2009. doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.021
- [10] L. Konrád, "Ammonium removal by nitrification in drinking water treatment", *Kvalitet Voda*, vol. 10, pp. 47–53, 2012.
- [11] C.P. White *et al.*, "Microbial survey of a full-scale, biologically active filter for treatment of drinking water", *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 78, no. 17, pp. 6390–6394, 2012. doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.021
- [12] Yu.I. Tarasevich *et al.*, "Simplified model of deferrization and demanganation of water on clinoptilolite filter loading", *Himija i Tehnologija Vody*, vol. 78, no. 17, pp. 98–109, 2013 (in Russian).
- [13] Y.P. Adler *et al.*, *Experiment Planning in the Search for Optimal Conditions*. Moscow, SU: Nauka, 1976 (in Russian).

О.В. Кравченко, О.С. Панченко

#### БИОТЕХНОЛОГИЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДАЛЕННЯ АМОНІЮ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ

**Проблематика.** Азотвмісні речовини належать до найбільш поширених компонентів підземних вод України. Встановлено можливий вплив амонію на процес знезараження води, на появу нітритів у системах розподілення та виникнення проблеми зі смаком і запахом води. Високі концентрації нітритів та нітратів у питній воді можуть викликати метгемоглобінемію у дітей, яка призводить до ціанозу та асфіксії. Тому нагальним є питання розробки підходів для інтенсифікації видалення амонію з питної води.

**Мета дослідження.** Вивчення біотехнологічних особливостей процесів видалення сполук азоту з питної води при очищенні її на завантаженні BIOFILTER.

**Методика реалізації.** Об'єктом дослідження була підземна вода зі свердловини, розміщеної у Хмельницькій обл. Початкова концентрація амонію у воді становила 2,16 мг/дм<sup>3</sup>, нітритів – 0,48 мг/дм<sup>3</sup>, нітратів – 4,5 мг/дм<sup>3</sup>. Дослідження процесу видалення азотвмісних речовин проводились на пілотній установці, яка складалася з аератора, закритої контактної ємності та модельних фільтрів із завантаженням BIOFILTER. В аераторі вода насичувалась киснем, потім поступала в закриту контактну ємність, де вимірювались концентрації розчиненого кисню, амонію, нітритів та нітратів. На виході з фільтра у воді контролювались концентрації розчиненого кисню, амонію, нітритів та нітратів. Пілотна установка була встановлена та працювала на свердловині.

**Результати дослідження.** При зменшенні концентрації кисню з 8,0 до 6,4 мг/дм<sup>3</sup> спостерігалось різке зменшення концентрації нітратів з 4,5 до 3,9 мг/дм<sup>3</sup>. При видаленні нітритів спостерігалось поступове зменшення їх концентрації зі збільшенням дози спожитого кисню. Припустили, що одночасно з процесом нітрифікації також відбувався процес денітрифікації, про що свідчить різке зниження концентрації нітратів при зменшенні вмісту розчиненого у воді кисню.

**Висновки.** Експериментально підтверджено, що при зменшенні концентрації розчиненого кисню порушується теоретичне співвідношення вмісту нітратів у воді. Фактичний вміст нітратів у очищеній воді був меншим за теоретичний, що свідчить про одночасний перебіг процесів денітрифікації та нітрифікації. Денітрифікація проходила тим глибше, чим меншою була концентрація розчиненого у воді кисню на виході з фільтра.

**Ключові слова:** амоній; нітрати; нітрити; денітрифікація; нітрифікація.

А.В. Кравченко, Е.С. Панченко

#### БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ УДАЛЕНИЯ АММОНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

**Проблематика.** Азотсодержащие вещества относятся к наиболее распространенным компонентам подземных вод Украины. Было установлено возможное влияние аммония на процесс обеззараживания воды, на появление нитритов в системах распределения и возникновение проблем со вкусом и запахом воды. Высокие концентрации нитритов и нитратов в питьевой воде могут вызвать метгемоглобинемия у детей, которая приводит к цианозу и асфиксии. Поэтому актуальным является вопрос разработки подходов для интенсификации удаления аммония из питьевой воды.

**Цель исследования.** Изучение биотехнологических особенностей процессов удаления соединений азота из питьевой воды при очистке ее на загрузке BIOFILTER.

**Методика реализации.** Объектом исследования была подземная вода из скважины, расположенной в Хмельницкой обл. Начальная концентрация аммония в воде составляла 2,16 мг/дм<sup>3</sup>, нитритов – 0,48 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов – 4,5 мг/дм<sup>3</sup>. Исследование процесса удаления азотсодержащих веществ проводились на пилотной установке, которая состояла из аератора, закрытой контактной емкости и модельных фильтров с загрузкой BIOFILTER. В аэраторе вода насыщалась кислородом, затем поступала в закрытую контактную емкость, где измерялись концентрации растворенного кислорода, аммония, нитритов и нитратов. На

выходе из фильтра в воде контролировались концентрации растворенного кислорода, аммония, нитритов и нитратов. Пилотная установка была установлена и работала на скважине.

**Результаты исследования.** Показано, что при уменьшении концентрации кислорода с 8,0 до 6,4 мг/дм<sup>3</sup> наблюдалось резкое уменьшение концентрации нитратов с 4,5 до 3,9 мг/дм<sup>3</sup>. При удалении нитритов наблюдалось постепенное уменьшение их концентрации с увеличением дозы потребляемого кислорода. Предположили, что одновременно с процессом нитрификации также происходил процесс денитрификации, о чем свидетельствует резкое снижение концентрации нитратов при уменьшении содержания растворенного в воде кислорода.

**Выводы.** Экспериментально подтверждено, что при уменьшении концентрации растворенного кислорода нарушается теоретическое соотношение содержания нитратов в воде. Фактическое содержание нитратов в очищенной воде было меньше теоретического, что свидетельствует об одновременном прохождении процессов денитрификации и нитрификации. Денитрификация проходила тем глубже, чем меньше была концентрация растворенного в воде кислорода на выходе из фильтра.

**Ключевые слова:** аммоний; нитраты; нитриты; денитрификация; нитрификация.

Рекомендована Радою  
факультету біотехнології і біотехніки  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції  
11 квітня 2017 року