

БІОТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.3.130461

УДК 628.16:579.222

О.В. Кравченко¹, О.Ю. Галкін², О.С. Панченко^{1*}

¹Державне підприємство “Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства”, Київ, Україна

²КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ВПЛИВ АЕРАЦІЇ НА СКЛАД БІОЦЕНОЗУ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДАЛЕННЯ НІТРОГЕНВІСНИХ СПОЛУК НА ШВИДКИХ ФІЛЬТРАХ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ

Проблематика. Сполуки нітрогену належать до найбільш поширених компонентів підземних вод України. Нітрати для людини не є отруйними, однак у людському організмі вони перетворюються на нітрити, що негативно впливають на стан здоров'я всього організму. Одним із можливих шляхів зниження вмісту сполук нітрогену є застосування біотехнологічних методів очищення, які поки що не мають значного поширення на водоочисних підприємствах України.

Мета дослідження. Мета роботи полягає у вивченні впливу кисню на біоценоз швидких фільтрів підготовки питної води та ефективність видалення нітрогенвісних сполук.

Методика реалізації. Для оцінки впливу аерації на біоценоз швидких фільтрів підготовки питної води вимірювали загальне мікробне число у верхній та нижній частинах фільтра за різних доз кисню, який подавався на фільтр.

Результати дослідження. Проведені експерименти показали, що залежно від різної концентрації розчиненого кисню на швидких фільтрах підготовки питної води можливе одночасне проходження нітрифікації та денітрифікації. Встановлено, що при підвищенні концентрації кисню до 7 мг/дм³ інтенсивність видалення амонію не зростає, проте зменшується значення загального мікробного числа у нижній частині фільтра (до 3000 КУО/см³). Концентрація кисню на аераторі для видалення амонію становить 7 мг/дм³ (концентрація амонію у воді після фільтрування – 0,11 мг/дм³); нітритів – 7,5 мг/дм³ (0,27 мг/дм³ нітритів у воді після фільтрування); нітратів – 5,5 мг/дм³ (2,4 мг/дм³ нітратів у воді після фільтрування).

Висновки. Визначено, що в умовах швидких фільтрів нітрифікація відбувається переважно у верхній частині фільтра, денітрифікація – у нижній. Встановлено оптимальну концентрацію кисню, що подається на фільтр, для одночасного проходження нітрифікації і денітрифікації та ефективного видалення сполук нітрогену при підготовці питної води. Концентрація має становити 5,5 мг/дм³.

Ключові слова: одночасна нітрифікація-денітрифікація; питна вода; аерація; нітрогенвісні сполуки.

Вступ

Згідно з Національною доповіддю про якість питної води та стан питного водопостачання, в Україні склалася ситуація, за якою практично всі поверхневі, а в окремих регіонах і підземні, води за рівнем забруднення не відповідають вимогам санітарного законодавства до джерел водопостачання. У той же час наявні очисні споруди, технології очищення та знезараження питної води не здатні очистити її до рівня показників безпеки [1]. У 2016 р. у Київській обл. 28,9 % проб води з підземних джерел централізованого водопостачання не відповідали нормативам за санітарно-хімічними показниками. 9 % відхилень від нормативів пов'язані з надлишковим вмістом сполук нітрогену, зокрема нітратів [2]. На разі в Україні відсутні

промислові технології видалення нітрогенвісних сполук із питної води. Сполуки нітрогену, зокрема нітрати та нітрити, є небезпечними для здоров'я людини. Нітрати частково відновлюються до нітритів в організмі людини, останні здатні зв'язуватися з гемоглобіном у крові та викликати метгемоглобінемію [3].

Найбільш перспективними на сьогодні для стічних вод вважаються біотехнологічні способи видалення сполук нітрогену. Наукова спільнота займається розробкою оптимальних матеріалів для завантаження фільтрів, вивченням умов фільтрації, зокрема впливу концентрації розчиненого кисню і температури на діяльність бактеріальних спільнот. Для питної води розробляються технології одночасного видалення декількох основних забруднювачів – марганцю, заліза та сполук нітрогену [4].

* corresponding author: panchenko@nikti.org.ua

У роботі [5] автори розглянули основні конфігурації біофільтрів для хемолітотрофного очищення питної води від сполук нітрогену: реактор зі щільним шаром (packed bed (PBR)), реактор із псевдозрідженим шаром (fluidized bed (FBR)), біоплівковий мембранний реактор (membrane biofilm (MBfR)) та біоплівковий електродний реактор (biofilm electrode (BER)).

У реакторі зі щільним шаром (PBR) біоплівка росте навколо фіксованого носія. PBRs можуть працювати у режимі як висхідного, так і низхідного потоку відповідно до питомої ваги використовуваного носія. Проста конфігурація PBR забезпечує легкість обслуговування та економічність. Проте надлишок біоплівки призводить до забруднення фільтруючого середовища та очищеної води. Це зменшує ефективність денітрифікації та спричиняє необхідність періодичного зворотного промивання.

Реактор із псевдозрідженим шаром (FBR) являє собою систему іммобілізованої біоплівки, в якій підтримуються умови псевдозрідженого шару. FBR можуть працювати у режимі як висхідного, так і низхідного потоку. Останнім часом видалення нітратів у FBR здійснюється за схемою денітрифікації для обробки забруднених важкими металами, мінеральними речовинами та полімерами стічних вод.

У біоплівкових мембранних реакторах (MBfRs) використовують газопроникні мембрани як дифузори та носії біоплівки. Газ під тиском протікає через мембрану та дифундує крізь внутрішню стінку до біоплівки, утвореної на зовнішній поверхні мембрани. Оскільки газ проникає крізь мембрану в протилежному, ніж розчинені у воді сполуки, напрямку, то встановлюється градієнт концентрацій і покращується ефективність використання газу. Ця нова технологія має низьку перевагу: висока ефективність використання газу, низьке споживання енергії та невеликі об'єми біореакторів. Недоліками є застосування в процесі водню, який є вогнебезпечним. Вартість та витрати на експлуатацію такої установки вищі, ніж ринкова ціна на такі реактори. Проте нині спостерігається тенденція до здешевлення мембранних реакторів. Тож у майбутньому використання MBfRs стане більш економічно вигідним.

У біоплівковому електродному реакторі (BER) використовуються електроди для одержання водню електролізом води. Щойно розчинений кисень споживається, водень з'являється на поверхні катода та слугує донором

електронів. Біоплівка утворюється на поверхні катода та поглинає виділений водень. Система BER була оцінена як конкурентоспроможна, ефективна та легка в експлуатації.

Низка дослідників [6–8] вивчали використання піщаних фільтрів для видалення іонів амонію з води. У роботі [6] досліджено процес видалення амонію на швидких фільтрах з піщаним завантаженням та нітрифікуючими бактеріями і археями як біологічним агентом. Автори зазначають, що основним недоліком піщаних фільтрів є те, що за умов гідравлічного навантаження підвищується вміст аміаку та нітритів у воді, і це призводить до вторинного забруднення. Тому необхідно визначити оптимальну швидкість нітрифікації та забезпечити максимальний робочий діапазон фільтра. Дослідники змінювали концентрацію амонію та регулювали гідравлічне навантаження, при цьому фіксували ефективність видалення сполук нітрогену. Зазначається, що отримана норма видалення амонію становила $3,4 \text{ г NH}_4\text{-N м}^{-3}\cdot\text{год}^{-1}$, що в 5 разів перевищувало середню швидкість видалення амонію на еталонних установках подібного типу в попередніх роботах. Автори вказують, що фільтри з піщаним завантаженням мають більшу продуктивність та можуть видаляти більшу кількість амонію, ніж вважалося раніше.

Автори [9] досліджували використання біореактора з керамзитовим завантаженням на основі автотрофної денітрифікації з воднем як донором електронів для очистки ґрунтових вод від сполук нітрогену. Автори досліджували реактор, робочий об'єм якого становив 2,3 л, заповнений керамзитом із розміром частинок 2–5 мм, висота керамзитового шару – 50 см.

За результатами дослідження зазначається, що керамзитове завантаження може забезпечити ріст і функціонування автотрофної денітрифікуючої культури. Визначено основні лімітуючі фактори, що впливають на біологічний агент: оптимальна температура процесу повинна становити 25–30 °C, співвідношення C/N – більше 0,9, pH 7–8. Концентрація розчиненого кисню в реакторі була менше 0,3 мг/л. Гранична концентрація нітратів у вхідній воді становила 130 мг NO_3^- , при збільшенні навантаження ефективність процесу знижувалась. Авторам вдалося досягти швидкості видалення нітратів за максимального навантаження фільтра – $7,41 \text{ мг NO}_3^- \text{N/дм}^3/\text{год}$.

Автори дослідження [10] вивчали процес видалення нітратів за допомогою двоступеневого мембранного біореактора, що поєднував у собі аеробну й анаеробну біоплівки. Анаеробна частина блока була заповнена носієм на основі поліуретану з номінальним розміром пор 5–10 мкм. Аеробну частину заповнювали носієм на основі поліетилену. Аеробні умови були забезпечені безперервною аерацією за умов 500 л/год. Як джерело вуглецю використовували етанол. У результаті авторам вдалося досягти видалення 99 % сполук нітрогену з води протягом 2,5 год.

Низка дослідників [11–13] займалися питаннями адаптації технології біологічного газового фільтра (BAF), що використовувалась для очистки стічних вод до видалення нітратів та марганцю з питної води.

Зокрема, автори [11] вивчили вплив аерації на одночасне видалення амонію та марганцю з питної води. Як біологічний агент використовувалась культура аеробних бактерій. За результатами досліджень визначено, що найефективніше видалення амонію (99,3 %) досягнуто за швидкості аерації 2 л/хв (вміст розчиненого кисню 5,26 мг/л). Найкращі умови для одночасного видалення амонію та марганцю досягнуто при аерації 0,1 л/хв (вміст розчиненого кисню 4,68 мг/л).

З урахуванням сказаного вище, з метою вивчення процесу видалення сполук нітрогену із підземних вод нами було вирішено визначити оптимальну дозу кисню для проходження одночасної нітрифікації-денітрифікації на швидких фільтрах підготовки питної води.

Постановка задачі

Мета роботи полягає у вивченні впливу кисню на біоценоз швидких фільтрів підготовки питної води та ефективність видалення нітрогенвмісних сполук.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження процесу видалення сполук нітрогену проводились на пілотній установці, яка складалася з аератора, закритої контактної ємності та модельних фільтрів із завантаженням BIOFILTER італійської фірми Culligan. Пілотна установка була встановлена та працювала на свердловині у Хмельницькій області.

Вода зі свердловини надходила в аератор, де вона насичувалась киснем. Потім вода над-

ходила в закриту контактну ємність, де вимірювались концентрації розчиненого кисню, амонію та нітратів. На виході з фільтра у очищеній воді контролювались концентрації розчиненого кисню, амонію, нітритів та нітратів.

У процесі досліджень регулювалась подача кисню від аератора в межах від $8,0 \pm 0,3$ до $1,0 \pm 0,3$ мг/дм³. Виділення та ідентифікація культур нітрифікаторів-денітрифікаторів проводилась за методикою, описаною в [14].

Концентрації сполук нітрогену, загальне мікробне число (ЗМЧ) визначали за стандартними методиками ДСанПіН 2.2.4–171–10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”.

При оцінці точності експериментальних даних використовували загальноприйняті математичні та статистичні методи обробки експериментальних даних (розраховували середнє арифметичне та середнє квадратичне відхилення).

Результати і їх обговорення

Концентрація розчиненого кисню впливає на процес нітрифікації та денітрифікації. При підвищенні аерації процес аеробної нітрифікації інтенсифікується. Оскільки виробником завантаження BIOFILTER було зазначено, що в завантаженні фільтра знаходяться аеробні нітрифікатори родів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*, то необхідний високий рівень аерації для того, щоб підтримувати процес очищення води. Зниження концентрації розчиненого кисню має пригнічувати процес нітрифікації та інтенсифікувати процес денітрифікації. Таким чином вдасться визначати, чи може на фільтрі проходити процес денітрифікації та чи наявні денітрифікуючі мікроорганізми у завантаженні.

Процеси нітрифікації та денітрифікації проходять за різного рівня аерації. Тому для максимального вилучення сполук нітрогену необхідно забезпечити подачу кисню так, щоб стимулювати процес нітрифікації та не пригнічувати процес денітрифікації.

У процесі досліджень регулювалась подача кисню від аератора в межах від $8,0 \pm 0,3$ до $1,0 \pm 0,3$ мг/дм³, при цьому концентрація кисню на вході у фільтр змінювалась від $7,4 \pm 0,37$ до $0,8 \pm 0,04$ мг/дм³.

На рис. 1 зображена залежність вмісту амонію в очищеній воді від концентрації кисню, що подається на фільтр.

Як видно з рис. 1, концентрація амонію в очищеній воді на виході з фільтра обернено

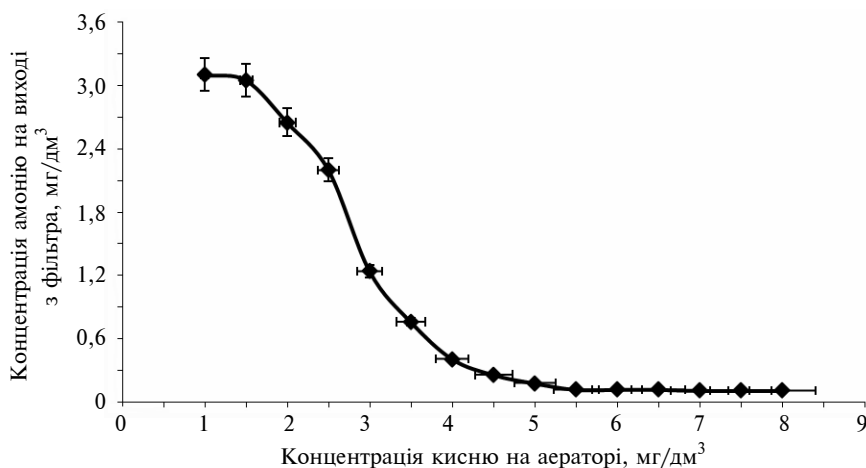


Рис. 1. Залежність вмісту амонію в очищеній воді від концентрації кисню, що подається на фільтр

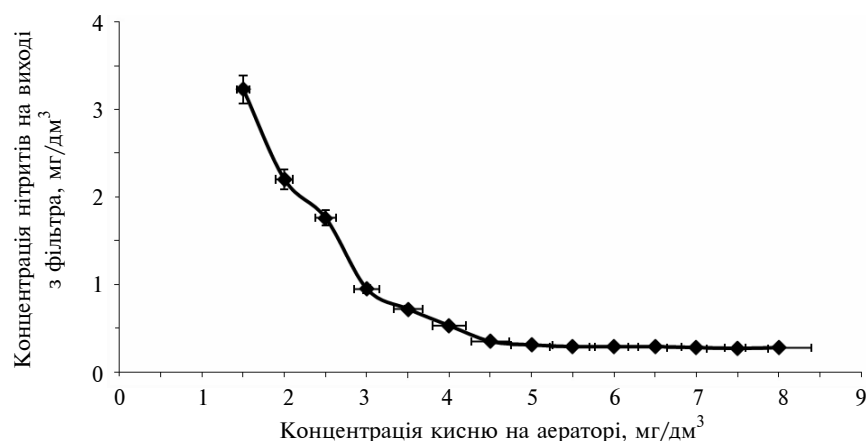


Рис. 2. Залежність вмісту нітритів в очищеній воді від концентрації кисню, що подається на фільтр

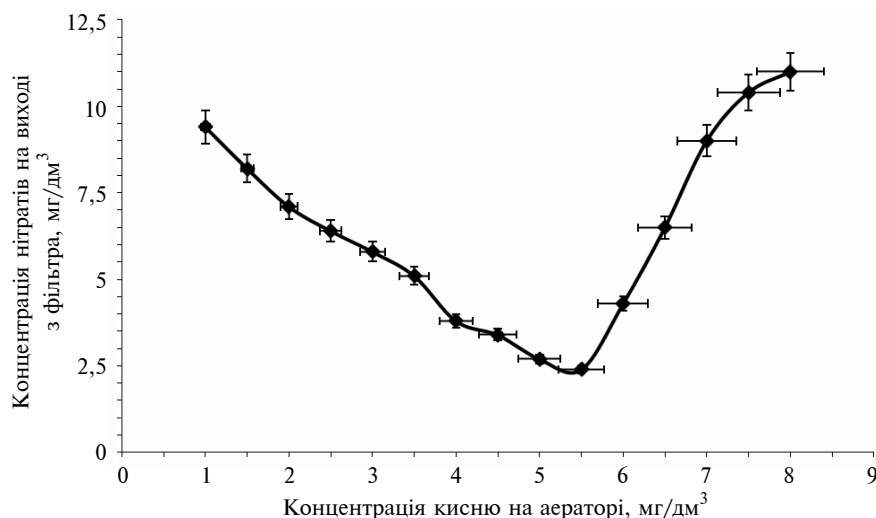


Рис. 3. Залежність вмісту нітратів в очищеній воді від концентрації кисню, що подається на фільтр

пропорційна залежності від кисню, що подається з аератора на фільтр, а отже, від розчиненого кисню на фільтрі. Найбільш ефективно видалення амонію досягається вже при подачі кисню 7 мг/дм^3 , при цьому концентрація амонію у воді становить $0,11 \text{ мг/дм}^3$.

Залежність вмісту нітритів від концентрації кисню наведено на рис. 2.

Найнижча концентрація нітритів на виході становить $0,27 \text{ мг/дм}^3$ при рівні аерації $7,5 \text{ мг/дм}^3$ (див. рис. 2).

Ця залежність показує те, що процес нітрифікації інтенсифікується при подачі кисню. Аеробні бактерії, що його здійснюють, знаходяться у верхній частині фільтра та перетворюють амоній на нітрати, які переходять у нижню частину фільтра, де відбувається денітрифікація.

На рис. 3 наведено залежність вмісту нітратів від концентрації кисню, який подається на фільтр.

Результати вимірювання вмісту нітратів на виході з фільтра показують (див. рис. 3), що до рівня аерації в $5,5 \text{ мг/дм}^3$ відбувається зменшення вмісту нітратів у воді на виході. Проте починаючи з концентрації кисню $5,5 \text{ мг/дм}^3$, вміст нітратів зростає.

Найнижчий вміст нітратів досягається при подачі кисню дозою $5,5 \text{ мг/дм}^3$, при цьому вміст нітратів становить $2,4 \text{ мг/дм}^3$. При подачі кисню більше встановленого значення відбувається різке зменшення інтенсивності видалення нітратів. Це пов'язано з тим, що надлишкова концентрація кисню пригнічує процес денітрифікації та

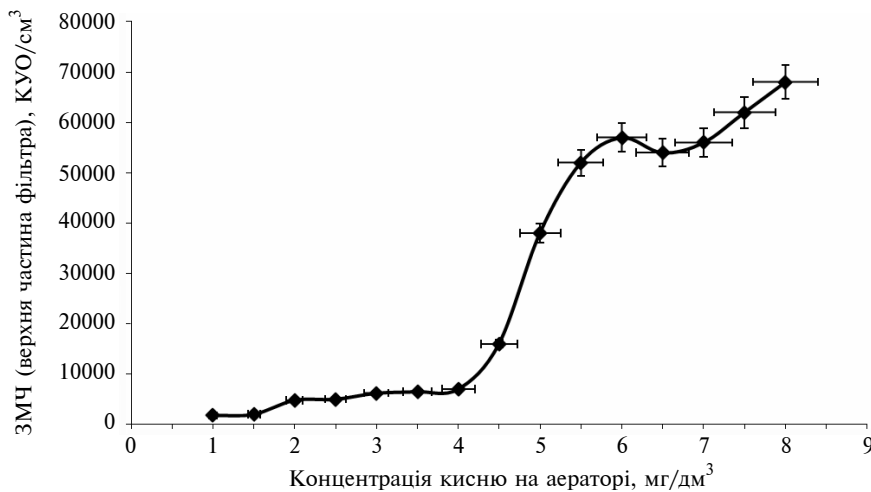


Рис. 4. Загальне мікробне число у верхній частині фільтра залежно від рівня аерації

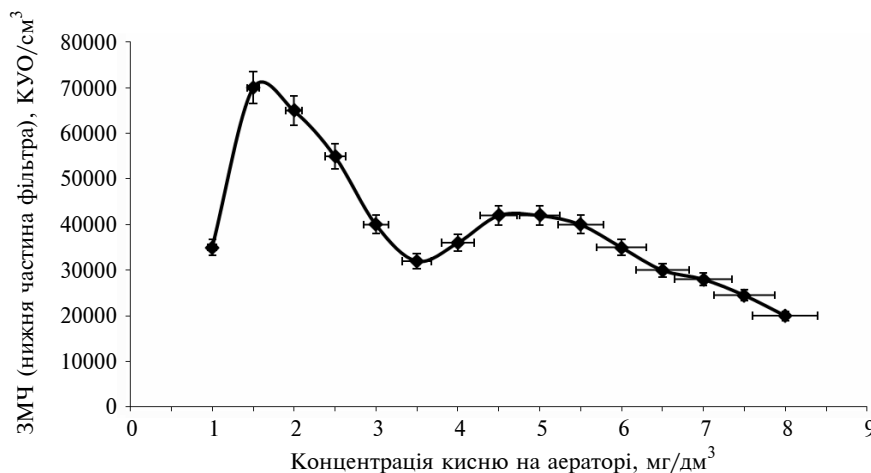


Рис. 5. Загальне мікробне число у нижній частині фільтра залежно від рівня аерації

негативно впливає на життєдіяльність денітрифікуючих бактерій.

При цьому недостатня подача кисню інгібує процес нітрифікації, а отже, зменшується кількість субстрату NO_3^- , тому процес денітрифікації проходить з меншою інтенсивністю.

Для перевірки наявності нітрифікуючих та денітрифікуючих бактерій змиви із завантаження 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 на нітрати. Бактерії родів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter* були вказані виробником як біологічні агенти на завантаженні фільтра BIOFILTER.

Крім вказаних бактерій, було виділено роди денітрифікуючих бактерій. Вони були виді-

лені у невеликій кількості та локалізувались переважно у нижній частині завантаження фільтра. Згідно з [15] бактерії було ідентифіковано як *Thiobacillus denitrificans*.

Наявність таких бактерій, а також зниження концентрації нітратів (див. рис. 3) у процесі нітрифікації свідчить про можливість перебігу процесу денітрифікації на фільтрах в умовах експерименту.

Визначення ЗМЧ проводилось у верхній та нижній частинах фільтра. Для цього аналізували зразки завантаження з відповідних частин установки.

На рис. 4 показана залежність ЗМЧ на верхній частині фільтра від кількості кисню, що подається з аератора. Максимальна кількість мікроорганізмів 68000 КУО/см³ (колонієутворювальні одиниці) у верхній частині фільтра досягається при максимальному рівні аерації 8 мг/дм³.

Проте з рис. 2 видно, що при збільшенні аерації

понад 7 мг/дм³ інтенсивність видалення амонію не зростає, а залишається на тому ж рівні, який був досягнутий за вмісту кисню 7 мг/дм³. Варто зазначити, що за рівня аерації від 1 до 4 мг/дм³ ріст кількості мікроорганізмів дуже слабкий, що зворотно корелює з вмістом амонію у воді на виході з фільтра. Точка, яка відображає вміст кисню 6,5 мг/дм³, знаходиться в межах похибки, тому статистичного значення не несе.

На рис. 5 показана обернено пропорційна залежність кількості мікроорганізмів у нижній частині фільтра від рівня аерації.

Найбільша кількість мікроорганізмів спостерігається при аерації в 1,5 мг/дм³. Але за цього показника, зважаючи на дані рис. 2 і 3, процес нітрифікації та денітрифікації відбувався незначною мірою. Ми можемо припустити, що такий показник мікробного забруднен-

Таблиця. Концентрації сполук нітрогену на виході з фільтра залежно від ступеня аерації

Концентрація O ₂ на аераторі, мг/дм ³	Амоній, мг/дм ³	Нітрити, мг/дм ³	Нітрати, мг/дм ³
7,5 ± 0,38	0,11 ± 0,001	0,27 ± 0,014	10,4 ± 0,52
7,0 ± 0,35	0,11 ± 0,001	0,28 ± 0,014	9,0 ± 0,45
5,5 ± 0,28	0,12 ± 0,006	0,29 ± 0,015	2,4 ± 0,12
5,0 ± 0,25	0,13 ± 0,007	0,30 ± 0,015	2,3 ± 0,12
4,5 ± 0,23	0,12 ± 0,006	0,30 ± 0,015	2,3 ± 0,12

ня вказує на те, що нітрифікуючі мікроорганізми почали свій розвиток, споживаючи кисень. На це вказує показник розчиненого кисню на виході з фільтра – 0,1 мг/дм³. Проте за нестачі кисню культура деградувала, від'єдналася від носія та перемістилася в нижню частину фільтра. Процес денітрифікації своєю чергою не проходив узагалі. Це питання потребує подальших досліджень.

За подальшого збільшення аерації спостерігається зменшення значення ЗМЧ у нижній частині фільтра, проте інтенсивність нітрифікації підвищується за концентрації кисню 7,5 мг/дм³. За такої концентрації спостерігається мінімальний вміст нітритів (див. рис. 2) та оптимальне мікробне число (4000 КУО/см³). При подальшому підвищенні аерації вміст мікроорганізмів та їх здатність до денітрифікації різко знижуються.

У результаті експерименту було визначено оптимальні концентрації кисню, за яких досягається найефективніше видалення нітратів, амонію та нітритів із води.

У випадку видалення амонію концентрація кисню на аераторі становить 7 мг/дм³ (0,11 мг/дм³ амонію), для оптимального видалення нітритів – 7,5 мг/дм³ (0,27 мг/дм³), нітратів – 5,5 мг/дм³ (вміст нітратів 2,4 мг/дм³). Усі концентрації сполук нітрогену у воді на виході з фільтра залежно від зазначених параметрів аерації подані в таблиці.

Як видно з таблиці, оптимальним рівнем аерації для одночасного перебігу процесів нітрифікації та денітрифікації є 5,5 мг/дм³. За цього значення концентрація нітратів найменша, а вміст амонію та нітритів знаходиться в межах норми. Концентрація нітритів як найбільш небезпечного забрудника є найнижчою при аерації 7,5 мг/дм³, проте за цього рівня аерації різко зростає вміст нітратів, які в організмі або навколишньому середовищі можуть перетворюватись на нітрити та підвищувати вміст останніх ще більше. Тому за результатами

експерименту встановлено оптимальний рівень аерації 5,5 мг/дм³.

У дослідженнях інших авторів [16], які вивчали процес нітрифікації питної води гетеротрофними нітрифікаторами *Acinetobacter* Y7 та Y16 на фільтрах за низьких температур, були досягнуті такі результати. Оптимальний вміст розчиненого кисню становив 7,41 ± 0,22 мг/л при 8 °C і 9,59 ± 0,25 мг/л при 2 °C. Ефективність видалення амонію становила 0,4 ± 0,05 та 0,25 ± 0,05 мг/л NH₄⁺–N при 8 та 2 °C відповідно. Отримані нами результати щодо впливу кисню корелюють з результатами цих дослідників. У нашому випадку при аерації 7,5 мг/дм³ вдалося досягти найбільш ефективного видалення амонію, залишкова концентрація становила 0,11 мг/дм³, що є кращим результатом, ніж у вказаній роботі. Варто зазначити, що у роботі нітрифікація проходила за низьких температур.

Висновки

У роботі було вивчено процес видалення нітрогеновмісних сполук із підземної води під час очищення на пілотній установці фільтрів зі спеціальним завантаженням та встановлено оптимальну дозу кисню для одночасного проходження нітрифікації-денітрифікації на одному фільтрі. Одночасно з виділенням бактерій-нітрифікаторів після проходження води через модельний біофільтр було виділено бактерії-денітрифікатори.

Визначено, що в умовах швидких фільтрів підготовки питної води нітрифікація відбувається переважно у верхній частині фільтра, денітрифікація – у нижній, про що свідчить значення ЗМЧ (для верхньої частини фільтра – 68000 КУО/см³, для нижньої – 4000 КУО/см³).

Перевірено вплив різних концентрацій кисню на проходження процесів нітрифікації, денітрифікації та ефективність очищення води від сполук нітрогену. Встановлено, що при під-

вищенні концентрації кисню до 7 мг/дм³ інтенсивність видалення амонію не зростає, проте зменшується значення ЗМЧ у нижній частині фільтра (до 3000 КУО/см³). Концентрація кисню на аераторі для видалення амонію становить 7 мг/дм³ (концентрація амонію у воді 0,11 мг/дм³); нітритів – 7,5 мг/дм³ (0,27 мг/дм³ нітритів); нітратів – 5,5 мг/дм³ (2,4 мг/дм³ нітратів).

Встановлено, що оптимальна доза кисню, яка подається на фільтр, для одночасного проходження процесів нітрифікації та денітрифікації, становить 5,5 мг/дм³.

Отримані результати будуть використані в подальшій роботі, зокрема спрямовані на інтенсифікацію процесів нітрифікації-денітрифікації завдяки розробці біотехнології видалення сполук нітрогену з питної води.

References

- [1] *National Report on Drinking Water, Quality and State of Water Supply in Ukraine 2016*. Kyiv, Ukraine: Ministry for Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2017.
- [2] V.O. Prokopov, "Drinking water quality and condition in centralized water supply systems of Ukraine for today (view on the problem with hygiene positions)", *Hihiena Naselenykh Mists*, no. 64, pp. 56–67, 2014.
- [3] *Guidelines for Drinking Water Quality*, 4rd ed. Geneva: World Health Organization, 2017.
- [4] 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
- [5] F. Di Capua *et al.*, "Chemolithotrophic denitrification in biofilm reactors," *Chem. Eng. J.*, vol. 280, pp. 643–657, 2015. doi: 10.1016/j.cej.2015.05.131
- [6] C.O. Lee *et al.*, "Effects of dynamic operating conditions on nitrification in biological rapid sand filters for drinking water treatment", *Water Res.*, vol. 64, pp. 226–236, 2014. doi: 10.1016/j.watres.2014.07.001
- [7] L. Lopato *et al.*, "Heterogeneous nitrification in a full-scale rapid sand filter treating groundwater", *J. Environ. Eng.*, vol. 139, no. 3, pp. 375–384, 2013. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000653
- [8] L.T.J. Van der Aa *et al.*, "Nitrification in rapid sand filter: Phosphate limitation at low temperatures", *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 2, no. 1, pp. 37–46, 2002. doi: 10.2166/ws.2002.0005
- [9] D. Chen *et al.*, "Nitrate removal from groundwater by hydrogen-fed autotrophic denitrification in a bio-ceramsite reactor", *Water Sci. Technol.*, vol. 69, no. 12, pp. 2417–2422, 2014. doi: 10.2166/wst.2014.167
- [10] M.Ž. Ravnjak *et al.*, "Denitrification of drinking water in a two-stage membrane bioreactor by using immobilized biomass", *Bioresour. Technol.*, vol. 128, pp. 804–808, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.055
- [11] H. Hasan *et al.*, "A review on the design criteria of biological aerated filter for COD, ammonia and manganese removal in drinking water treatment", *Inst. Eng.*, vol. 70, no. 4, pp. 25–33, 2009.
- [12] H. Abu Hasan *et al.*, "Simultaneous NH₄⁺-N and Mn₂⁺ removal from drinking water using a biological aerated filter system: Effects of different aeration rates", *Sep. Purif. Technol.*, vol. 118, pp. 547–556, 2013. doi: 10.1016/j.seppur.2013.07.040
- [13] M. Han *et al.*, "Study on the factors affecting simultaneous removal of ammonia and manganese by pilot-scale biological aerated filter (BAF) for drinking water pre-treatment", *Bioresour. Technol.*, vol. 145, pp. 17–24, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2013.02.101
- [14] O.V. Kravchenko and O.S. Panchenko, "Biotechnological approaches for intensification of ammonium removal during drinking water treatment", *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 3, pp. 34–40, 2017. doi: 10.20535/1810-0546.2017.3.100017
- [15] D. Bergey and J. Holt. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Moscow, Russia: Mir, 1997.
- [16] W. Qin, "Ammonium reduction kinetics in drinking water by newly isolated *Acinetobacter sp.* hitl 7 at low temperatures", *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 24, pp. 11275–11282, 2016. doi: 10.1080/19443994.2015.1043649

А.В. Кравченко, А.Ю. Галкин, Е.С. Панченко

ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИИ НА СОСТАВ БИОЦЕНОЗА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НА СКОРЫХ ФИЛЬТРАХ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Проблематика. Соединения азота относятся к наиболее распространенным компонентам подземных вод Украины. Нитраты для человека не являются ядовитыми, однако в человеческом организме они превращаются в нитриты, негативно влияют на состояние здоровья всего организма. Одним из возможных путей снижения содержания соединений азота является применение биотехнологических методов очистки, которые пока не имеют широкого распространения на водоочистных предприятиях Украины.

Цель исследования. Цель работы заключается в изучении влияния кислорода на биоценоз скорых фильтров подготовки питьевой воды и эффективность удаления азотсодержащих соединений.

Методика реализации. Для оценки влияния аэрации на биоценоз скорых фильтров подготовки питьевой воды измеряли общее микробное число в верхней и нижней частях фильтра при различных дозах кислорода, который подавался на фильтр.

Результаты исследования. Проведенные эксперименты показали, что в зависимости от различной концентрации растворенного кислорода на скорых фильтрах подготовки питьевой воды возможно одновременное прохождение нитрификации и денитрификации. Установлено, что при повышении концентрации кислорода до 7 мг/дм^3 интенсивность удаления аммония не повышается, однако уменьшается значение общего микробного числа в нижней части фильтра (до 3000 КОЕ/см^3). Концентрация кислорода на аэраторе для удаления аммония составляет 7 мг/дм^3 (концентрация аммония в воде после фильтрования – $0,11 \text{ мг/дм}^3$); нитритов – $7,5 \text{ мг/дм}^3$ ($0,27 \text{ мг/дм}^3$ нитритов в воде после фильтрования), нитратов – $5,5 \text{ мг/дм}^3$ ($2,4 \text{ мг/дм}^3$ нитратов в воде после фильтрования).

Выводы. Определено, что в условиях быстрых фильтров нитрификация происходит преимущественно в верхней части фильтра, денитрификация – в нижней. Установлена оптимальная концентрация кислорода, подаваемого на фильтр, для одновременного прохождения нитрификации и денитрификации и эффективного удаления соединений азота при подготовке питьевой воды. Концентрация должна составлять $5,5 \text{ мг/дм}^3$.

Ключевые слова: одновременная нитрификация-денитрификация; питьевая вода; аэрация; азотсодержащие соединения.

O.V. Kravchenko, A.Yu. Galkin, O.S. Panchenko

INFLUENCE OF AERATION ON THE COMPOSITION OF BIOCECENOSIS AND EFFICIENCY OF REMOVAL OF NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS ON RAPID FILTERS FOR DRINKING WATER TREATMENT

Background. Nitrogen compounds are the most common components of groundwater in Ukraine. Nitrates for humans are not poisonous, but in the human body, they turn into nitrites, affecting the health of the whole organism. One of the possible ways to reduce the content of nitrogen compounds is the use of biotechnological treatment methods, which are not yet widely used in water treatment plants in Ukraine.

Objective. The aim of the paper is to study the influence of oxygen on the biocenosis of rapid filters for the drinking water treatment and the efficiency of removing nitrogen-containing compounds.

Methods. To assess the influence of aeration on the biocenosis of rapid filters for drinking water treatment, the total microbial number in the upper and lower parts of the filter was measured at different doses of oxygen that was fed to the filter.

Results. The experiments show that depending on the different concentration of dissolved oxygen on rapid filters for drinking water treatment, the simultaneous passage of nitrification and denitrification is possible. It is established that with an increase in oxygen concentration up to 7 мг/дм^3 , the intensity of ammonium removal doesn't increase, but the value of the CFU in the lower part of the filter decreases (up to 3000 CFU/см^3). The concentration of oxygen in the aerator for ammonia removal is 7 мг/дм^3 (ammonium concentration in water after filtration is 0.11 мг/дм^3); nitrites – 7.5 мг/дм^3 (0.27 мг/дм^3 nitrites in water after filtration); nitrates – 5.5 мг/дм^3 (2.4 мг/дм^3 of nitrates in water after filtration).

Conclusions. It is determined that under conditions of rapid filters, nitrification predominantly occurs in the upper part of the filter, and denitrification in the lower part. The optimum concentration of oxygen fed to the filter was established for the simultaneous passage of nitrification and denitrification, and the effective removal of nitrogen compounds in the preparation of drinking water. The concentration should be 5.5 мг/дм^3 .

Keywords: simultaneous nitrification-denitrification; drinking water; aeration; nitrogen-containing compounds.

Рекомендована Радою
факультету біотехнології і біотехніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
7 травня 2018 року

Прийнята до публікації
31 травня 2018 року