

П.І. Гвоздяк, О.В. Сапура

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України,
бульв. Вернадського, 42, Київ, 03142, тел.: +38 (044) 424 35 79,
e-mail: gvozdyak@ukr.net

ДЕНІТРИФІКАЦІЯ ПИТНОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОБІОТИЧНИХ БАКТЕРІЙ

Мета. Вивчення очищення питної води від нітратів за допомогою пробіотичних бактерій *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, а також *Lactobacillus acidophilus*, *L. bifidus*, *L. bulgaricus* і *Streptococcus thermophilus*, які входять до складу відповідних медичних препаратів. **Методи.** Мікробіологічні, хімічний, фізико-хімічний, газово-хроматографічний, статистичної обробки. **Результати.** Показано, що при повільному (0,1 м/год) фільтруванні води з вмістом нітратів 300 - 500 мг/дм³ через зернисті (пісок, активоване вугілля) та волокнисту (хімічне волокно у вигляді носія ВІЯ) загрузки з попередньо іммобілізованими на них пробіотичними бактеріями концентрація нітратів зменшувалася до рівня нижче 2,5 мг/дм³. Життєдіяльність та денітрифікувальну здатність мікроорганізмів підтримували додаванням до досліджуваної води етилового спирту в кількості 0,1 см³ на кожні 100 мг КNO₃. Газ, що утворювався під час денітрифікації, складався на 95–97% з N₂, 0,1–0,3% – CO₂, іноді C₂H₄ (<1%), решта (2–3%) – H₂O і не містив H₂, CH₄, H₂S. **Висновки.** Встановлена можливість очищення питної води від нітратів у надлишкових концентраціях за допомогою пробіотичних бактерій.

Ключові слова: питна вода, нітрати, пробіотичні мікроорганізми, пробіотична денітрифікація.

Концентрація нітратів у питній воді лімітується міжнародними і вітчизняними стандартами до 45–50 мг NO₃ в 1 дм³, а в так званій «доочищеній воді» – навіть до 5 мг/дм³ [1]. Це зумовлено тою обставиною, що, як відомо, нітрати у підвищеній концентрації в питній воді згубно впливають на організм людини, а у дітей легко відновлюються до нітритів, які взаємодіють з гемоглобіном крові, спричиняючи утворення метгемоглобіну, що призводить до хвороби крові, званої як «посиніння шкірних покривів» («blue baby syndrome») [2]. У всьому світі суттєво зростає забруднення природних вод нітратами, що змушує закривати криниці та використовувати дорогі багатоступеневі методи очищення питної води [3, 4]. Україна не є винятком у цьому відношенні, і у нас також спостерігається неухильне щорічне збільшення кількості понаднормово забруднених нітратами джерел питної води, та в криницях багатьох областей України цей рівень сягає 950 мг NO₃⁻ в 1 дм³ [2, 5].

Існує ряд хімічних (відновлення залізом, алюмінієм, паладієм тощо)



фізико-хімічних (електродіаліз, йонний обмін, нанофільтрування, зворотний осмос) та біологічних (гетеротрофна і автотрофна денітрифікація, застосування мембранних біореакторів) методів звільнення води від нітратів, однак на практиці використовується лише йонний обмін, зворотний осмос, електродіаліз та гетеротрофна (біологічна) денітрифікація [1, 6].

Біологічна денітрифікація – широко розповсюджений природний процес, що у значній мірі спричиняється до життєво важливого кругообігу Нітрогену в Біосфері [6], а разом і до самоочищення поверхневих вод. Відновлення нітратів здійснюють представники різних родів архей [7], бактерій [8] та навіть деякі гриби [9]. За відсутності кисню вони використовують оксиди Нітрогену як акцептори електронів, донорами яких служать, головним чином, органічні сполуки, а також певні неорганічні речовини [10]. Біологічна денітрифікація як явище відома в науці майже півтора століття, а як свідомий технологічний процес застосовується з 1964 р. [11, 12], однак у підготовці питної води стикається з певними труднощами, пов'язаними, в основному, з гігієнічними застереженнями щодо безпеки мікроорганізмів-денітрифікаторів, а також з технологічними складнощами іммобілізації бактерій на підхожих носіях [13].

Метою даного дослідження було вивчення процесу очищення питної води від надлишку в ній нітратів за допомогою пробіотичних бактерій, які, як відомо, не тільки нешкідливі, а й вважаються корисними для здоров'я людей різних вікових груп.

Матеріали і методи

У досліджах використовували ліофілізовані маси живих мікробних клітин *Bacillus subtilis* та *Bacillus licheniformis* медичного препарату «Біоспорин-Біофарма» (Україна) та *Lactobacillus acidophilus*, *L. bifidus*, *L. bulgaricus* і *Streptococcus thermophilus* препарату «Йогурт у капсулах» фірми «Pharma science» (Канада). Культури вирощували на живильному агарі складу: пептон ферментативний, суміш амінокислот, натрій хлористий, агар мікробіологічний, натрій вуглекислий кислий, Державного підприємства «Експериментальний завод медпрепаратів» ІБОНХ НАН України та іммобілізували на попередньо простерилізованих: 1) піску, через який фільтрують питну воду на Дніпровській водогінній станції ПАТ «АК «Київводоканал»; 2) піску гранодіоритному [15] (розмір фракції 3,0..5,0 мм), за ТУ У 324584-01-80-01; 3) гранульованому активованому вугіллі мікропористому бітумному з високими адсорбційними властивостями та волокнистому носієві «ВІЯ» за ТУ 995990.

Воду з крану Святошинського району міста Києва, відстояну протягом доби, з внесеними до неї по 300–500 мг KNO_3 та по 0,5–0,7 см³ етилового спирту на 1 дм³ води, пропускали знизу вверх спочатку під гідростатичним тиском, а потім за допомогою перистальтичного насоса в режимі повільного фільтрування (зі швидкістю 0,1 м/год) через 20–25 см шар іммобілізованого пробіотиками піску, гранодіориту і активованого вугілля в колонках діаметром 30 мм, 50 мм та 80 мм, відповідно. Іммобілізований пробіотиками носій ВІЯ монтували у колонці діаметром 20 мм і висотою шару 100 см з розрахунку 10 кг носія в 1 м³ фільтра.



Досліди проводили при кімнатній температурі (12 °С – 25 °С) протягом 300 діб з перервами на 1 і 3 місяці. Хімічний аналіз води на вміст нітрат-йона проводили за методом трихвильової фотометрії в ультрафіолеті, вимірюючи оптичну густину розчину при 220, 230, і 240 нм на спектрофотометрі СФ-16 [16] та за допомогою паперового Nitrat-Test фірми «Merck» (Німеччина). Кількість мікроорганізмів в очищеній воді визначали за ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

Для визначення складу газу, що утворюється при звільненні води від нітратів за допомогою пробіотичних бактерій, в біореактори – ПЕТ-пляшки місткістю 5,5 дм³ – вносили по 1 дм³ носія (піску, активованого вугілля) з іммобілізованими на ньому бактеріальними культурами, що входять до складу фармацевтичних препаратів – пробіотиків, 3 дм³ відстояної води з водогону, 6 г KNO₃ і 12 см³ етанолу.

Пляшки закривали гумовими корками з отворами зі скляними патрубками, на які одягали гумові шланги, які після повного витіснення повітря з ПЕТ-пляшок перекривали затискачами. Біореактори інкубували в термостаті (28 °С) протягом 3-4 діб, і газ, що утворювався, спрямовували в попередньо заповнені 20%-ним водним розчином NaCl газові піпетки. Аналіз газу здійснювали на газовому хроматографі 6890 N («Agilent» США) у лабораторії при Інституті газу НАН України. Умови аналізу: детектор – катарометр; аналіз легких газів проводили на колонці MOLSIV завдовжки 15 м, вуглеводнів – на колонці PLOTQ завдовжки 15 м. Зразки газу вводили безпосередньо в дозатор хроматографа.

Досліди ставили в чотирьох повторностях.

Статистичне опрацювання результатів дослідження проводили за загальноприйнятими методами варіаційної статистики. Вірогідність різниці ($p < 0.05$) оцінювали за t-критерієм Стьюдента; використовували прикладну програму «Microsoft Excel».

Результати та їх обговорення

Запропоновані ще 1829 року англійським інженером Дж. Сімпсоном так звані «повільні» або «англійські» фільтри для підготовки питної води [17] переживають зараз певне відродження. Відомо, що на будь-яких завантаженнях таких фільтрів – піску, активованому вугіллі тощо – інтенсивно розвиваються мікроорганізми, утворюючи потужну біоплівку, яка сприяє очищенню води. Водночас дослідження останніх років свідчать про неабияку розмаїтість організмів, що створюють таку біоплівку, про присутній в ній вміст і не дуже бажаних мікробів [21].

Аби уникнути такого розвитку подій, було запропоновано не покладатися на спонтанне створення біоплівки з тих мікроорганізмів, які існують у воді, що очищається, а іммобілізувати на завантаженнях фільтрів епідемічно безпечні, корисні для здоров'я людини пробіотичні бактерії [14; 18] ².

У розвиток цієї ідеї ми іммобілізували на завантаженнях фільтрів для води саме пробіотичних бактерій, які до того ж здатні здійснювати процес денітрифікації – відновлення нітратів до молекулярного Нітрогену з використанням етилового спирту як джерела електронів, енергії та вуглецю.



Використовували ретельно перевірених штамів бактерій, які входять до складу медичних препаратів і продаються в аптечній мережі.

Завантажені носіями з іммобілізованими на них пробіотичними бактеріями лабораторні колонки-фільтри довелося спочатку промити протягом двох діб в режимі «повільного» фільтрування для остаточного їх «дозрівання» і запобігання вимиванню з них надлишкової кількості пробіотичних бактерій. Подальше пропускання води з підвищеним у декілька разів порівняно з гранично допустимою концентрацією (45 мг/дм^3) вмістом нітратів ($300 - 500 \text{ мг KNO}_3$ в 1 дм^3 води) та етанолу ($0,5 - 0,7 \text{ см}^3$ в одному дм^3 води) зі швидкістю $0,1 \text{ м/год}$ приводило до стабільного зниження концентрації нітратів до рівня менше $2,5 \text{ мг/дм}^3$ (за методом трьоххвильової фотометрії в ультрафіолеті) і до їх відсутності (за паперовим нітрат-тестом).

Мікробіологічний аналіз очищеної води показав наявність бактерій (за культуральними ознаками та мікроскопією – практично тільки використовуваних пробіотиків) у кількостях $30-70$ колонієутворювальних одиниць в 1 см^3 води.

Однак згодом з'ясувалося, що газ, який утворюється в результаті денітрифікації безпосередньо в місцях, де знаходяться іммобілізовані бактерії, тобто в тілі фільтра, своєрідно колюматує завантаження, утруднює проходження води крізь піщані та вугільні фільтри. Збільшення гідростатичного тиску води, що подавалася на фільтрування, до $2,5 \text{ м}$ не дало бажаних результатів. Перехід до колонок більшого діаметра (80 мм), періодичне обережне перемішування завантаження тонким металевим шпателем на деякий короткий час покращувало ситуацію, проте не вирішувало проблеми. Заповнення фільтра крупнозернистою (розміром $3-5 \text{ мм}$) фракцією гранодіоритного піску з іммобілізованими на ньому пробіотичними культурами продовжило нормальну безперебійну роботу фільтра до $10-12$ діб, а тоді доводилося перезаряджати фільтр. Потрібно також звернути увагу на те, що висота шару завантаження (піску, вугілля) фільтра в лабораторних умовах була у декілька разів меншою від шару класичного «англійського» фільтра (100 см). Подальші дослідження проводили з подачею води, що очищається, на фільтри знизу-вверх за допомогою перистальтичних насосів, підтримуючи швидкість фільтрування до $0,1 \text{ м/год}$. Концентрація нітратів у воді на виході з фільтра не перевищувала $2,5 \text{ мг/дм}^3$, число мікроорганізмів в 1 см^3 рідко сягало $100-110$, рН зростало на $0,2-0,5$ одиниць; ОВП знижувалося з $-15... - 21 \text{ мВ}$ до $-50... - 57 \text{ мВ}$.

Використання волокнистих носіїв ВІА з іммобілізованими на них пробіотичними культурами в колонці з висотою шару 100 см не забезпечувало надійного утримування мікроорганізмів, їх кількість у воді на виході з колонки у декілька разів і навіть на порядки перевищувала норму, затверджену ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості», і тому довелося пропускати воду після цього фільтра через додатковий фільтр з шаром піску завтовшки 5 см для відділення мікробних клітин від позбавленої нітратів води. Місячна і навіть тримісячна перерва у фільтруванні води через загрузку з пробіотичними культурами не спричинялася до втрати денітрифікувальної здатності іммобілізованих бактерій: вже через $18-24$ год. після відновлення повільного фільтрування забрудненої нітратами води концентрація нітратів знижувалася до 2 мг/дм^3 і нижче (рис. 1).



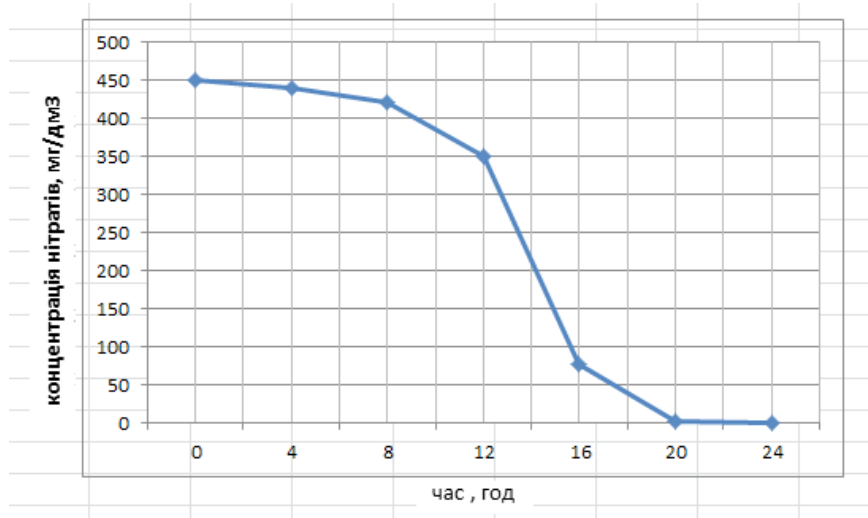


Рис. 1. Динаміка пробіотичної денітрифікації на піщаному фільтрі після тримісячної перерви

Fig. 1. Dynamics of probiotic denitrification in sand filter after a three-month break

Як показав хроматографічний аналіз, газ, що утворювався в результаті пробіотичної денітрифікації в періодичних умовах культивування мікроорганізмів в 5,5 дм³ ПЕТ-пляшках, на 95–97% складається з N₂; у ньому міститься незначна (0,1–0,3%) кількість CO₂, іноді C₂H₄ – менше 1%, решта (2–3%) – H₂O; відсутні – водень, метан, сірководень. У процесі такої періодичної (без протоку води з нітратами) денітрифікації рН води збільшується з початкових 6,2 до 8,6 і навіть 9,5 одиниць; окисно-відновний потенціал (ОВП) знижується з +50 mV до -80... -130 mV.

Таким чином, в результаті проведеної роботи показана можливість очищення питної води від небезпечного забруднення – нітратів – у надлишкових концентраціях за допомогою екологічно та гігієнічно безпечних, корисних для здоров'я людини пробіотичних бактерій.

Автори висловлюють подяку к.т.н. Б.М. Борисову за надання гранодіоритного завантаження та громадській організації «МАМА-86» за паперові нітрат-тести, В.П. Демчиній за аналіз газів.

П.І. Гвоздяк, Е.В. Сапура

Институт коллоидной химии и химии воды имени А.В. Думанского НАН Украины,
бульв. Вернадского, 42, Киев, 03142, тел.: (044) 424 35 79,
e-mail: gvozdyak@ukr.net

**ДЕНИТРИФИКАЦИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОБИОТИЧЕСКИХ
БАКТЕРИЙ**

Реферат

Цель. Изучение эффективности очистки питьевой воды от нитратов с помощью пробиотических бактерий *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, а также *Lactobacillus acidophilus*, *L. bifidus*, *L. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, которые входят в состав соответствующих медицинских препаратов. **Методы.** Микробиологические, химический, физико-химический, газово-хроматографический, статистические. **Результаты.** Показано, что при медленном (0,1 м/час) фильтровании воды, содержащей 300–500 мг/дм³ нитратов, через зернистые (песок, активированный уголь) и волокнистую (химическое волокно в виде носителя ВИЯ) загрузки с предварительно иммобилизованными на них пробиотическими бактериями концентрация нитратов уменьшается до уровня ниже 2,5 мг/дм³. Жизнедеятельность и денитрифицирующую способность микроорганизмов поддерживали добавкой к исследуемой воде этилового спирта в количестве 0,1 см³ на каждые 100 мг KNO₃. Образующийся в результате денитрификации газ состоял на 95–97% из N₂, 0,1–0,3% – CO₂, иногда C₂H₄ (<1%), остальные (2–3%) – H₂O и не содержал H₂, CH₄, H₂S. **Выводы.** Установлена возможность очистки питьевой воды от нитратов в избыточных концентрациях с помощью пробиотических бактерий.

Ключевые слова: питьевая вода, нитраты, пробиотические микроорганизмы, пробиотическая денитрификация.

P.I. Gvozdyak, O.V. Sapura

A. V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Chemistry of Water
National Academy of Sciences of Ukraine, 42, Vernadsky Boulv., Kyiv, 03142,
tel. : +38 (044) 424 35 79, e-mail: gvozdyak@ukr.net

**DENITRIFICATION OF DRINKING WATER BY USING
PROBIOTIC BACTERIA**

Summary

Aim. The study of the efficiency for the drinking water purification from nitrates with the help of probiotic bacteria *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, as well as *Lactobacillus acidophilus*, *L. bifidus*, *L. bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, being a part of the drug preparations. **Methods.** Microbiological, chemical, physicochemical, gas-chromatographic, statistical. **Results.** It is shown that the slow (0.1 m³h⁻¹) filtration of water with contents 300–500 mg*l⁻¹ of nitrate through grains of sand and activated carbon or the chemical fiber under the pretext of carrier «ВИЯ» with immobilized probiotic bacteria on them led



to the reduction of the nitrate concentration below 2,5 mg*l-1. Ethanol (0.1 ml to each 100 mg KNO₃) was added to treated water to support the microbial growth. The denitrification gas consisted of 95–97% of N₂, 0,1–0.3% – CO₂, sometimes C₂H₄ (<1%), and (2–3%) – H₂O and did not contain H₂, CH₄, H₂S.

Conclusions. The possibility of potable water purification from nitrates in excess concentration with the help of probiotic bacteria is established.

Key words: drinking water; nitrates, probiotic microorganisms, probiotic denitrification.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончарук В.В. SOS: Питьевая вода // Химия и технология воды. – 2010. – 32, № 5. – С. 463–512.
2. Bondarenko Y.G., Samotuga V.V., Papach V.V., Bilyk L.I. Medical-hygienic evolution of the impact of the nitrates of water of decentralized water delivery sources on the health status of the children of the early age. *Environment and Health*. – 2011. – № 4. – P. 23–25.
3. Archana, Sharma S.K., Sobti R.Ch. Nitrate Removal from Ground Water: A Review. *E-Journal of Chemistry*. – 2012. – 9(4) . – P. 1667–1675.
4. Burow, K.R., Nolan, B.T., Rupert, M.G., Dubrovsky, N.M. Nitrate in groundwater of the United States. *Environmental Science and Technol.* – 2010. – 44 (13).– P. 4988–4997.
5. Коваль В.В., Наталочка В.О., Ткаченко С.К., Міненко О.В. Динаміка забруднення вод сільськогосподарського призначення нітратами в умовах Полтавської області // Вісник Полтавської державної аграрної академії . – 2011 .– № 2. – С. 32–36.
6. Mike S.M.J. The microbial nitrogen cycle. *Environ. Microbiol.* – 2008. – 10(11) . – P. 2903–2909.
7. Cabello P., Roldán M. D., Moreno-Vivián C. Nitrate reduction and the nitrogen cycle in archaea. *Microbiology*. –2004. – 150 (11). – P. 3527–3546.
8. Knowles R. Denitrification. *Microbiol. Rev.* – 1982. –46 (1). – P. 43–70.
9. Shoun H., Kim, D.H., Uchiyama, H., Sugiyama J. Denitrification by fungi. *FEMS Microbiology Lett.* – 1992. – 73(3). – P. 277–281.
10. Kuenen J. G. Anammox bacteria: from discovery to application. *Nat. Rev. Microbiol.* – 2008. –6(4). – P. 320–326.
11. Хенце М., Армоз П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. – М. Мир, – 2006. – 480 с.
12. Lu H., Chandran K., Stensel D. Microbial ecology of denitrification in biological wastewater treatment. *Water Research*. – 2014. – 64. – P. 237–254.
13. Иванов В.Н., Уланов М.Н., Стабникова Е.В. Денитрификация питьевой воды клетками *Paracoccus denitrificans* в природной и искусственно сформированной биопленках // Химия и технология воды. – 2001. – 23, № 2. – С. 209–218.
14. Ширококов В.П., Янковський Д.С., Димент Г.С. Мікробна екологія людини з кольоровим атласом. [Навч. посібн.] Київ: ТОВ «Червона Рута-Турс». – 2009. – 312 с.



15. Патент № 30382 України, МПК В01 Д 24/00. Спосіб очищення води. Борисов Б.М., Гедзь В.С., Байранов В.В. Промислова власність— 2001. — Бюл. № 11.
16. Калиниченко И.Е., Демуцкая Л.Н. Определение нитратов в питьевой воде методом трехволновой фотометрии в ультрафиолете // Журнал аналитической химии. — 2004. — 59, № 3. — С. 240–244.
17. Хлопин Г.В. Курс общей гигиены. М. —Л. : Госиздат— 1930. — 556 с.
18. Патент № 98326 України, МПК С02F 3/34 (2006.01). Спосіб біологічного доочищення питної води. Гвоздяк П.І. // Промислова власність. — 2012. — Бюл. № 9.
19. Zhang Y, Angelidaki I. A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell (SMDDC) *Water Research*. — 2013. — 47, № 5. — P. 1827–1836.
20. В. В. Гончарук, Н.А. Клименко, Л.А. Савчина, Т.Л. Врубель, И.П. Козятник. Современные проблемы технологии подготовки питьевой воды // Химия и технология воды. — 2006. — 28, № 1. — С. 3–95.
21. Lautenschlager K., Hwang Ch., Ling F., Liu W.-T., Boon N., Koster O., Egli Th., Hammes F. Abundance and composition of indigenous bacterial communities in a multi-step biofiltration-based drinking water treatment plant. // *Water Res.* — 2014. — 62. — P. 40–52.

References

- Goncharuk VV. SOS: Drinking water. *Journal of Water Chemistry and Technology (Khimiya i Tekhnologiya Vody)*. 2010; 32(5): 255-281.
- Bondarenko YG, Samotuga VV, Papach VV, Bilyk LI. Medical-hygienic evolution of the impact of the nitrates of water of decentralized water delivery sources on the health status of the children of the early age. *Environment and Health*. 2011; (4): 23-25.
- Archana, Sharma SK, Sobti RCh. Nitrate Removal from Ground Water: A Review. *E-Journal of Chemistry*. 2012; 9(4): 1667-1675.
- Burow KR, Nolan BT, Rupert MG, Dubrovsky NM. Nitrate in groundwater of the United States. *Environmental Science and Technol.* 2010; 44 (13): 4988–4997.
- Koval VV, Natalochka VA, Tkachenko SK, Minenko OV. Dynamics of water pollution by nitrates agricultural land in the Poltava region conditions. *Journal of Poltava State Agrarian Academy*. 2011; (2): 32–36.
- Mike SMJ. The microbial nitrogen cycle. *Environ. Microbiol.* 2008; 10(11) : 2903–2909.
- Cabello P, Roldán MD, Moreno-Vivián C. Nitrate reduction and the nitrogen cycle in archaea. *Microbiology*. 2004; 150 (11): 3527–3546.
- Knowles R. Denitrification. *Microbiol. Rev.* 1982; 46 (1): 43–70.
- Shoun H, Kim DH, Uchiyama H, Sugiyama J. Denitrification by fungi. *FEMS Microbiology Lett.* 1992; 73(3): 277–281.
- Kuenen JG. Anammox bacteria: from discovery to application. *Nat. Rev. Microbiol.* 2008; 6(4): 320–326.



11. Henze M, Harremoës P, La Cour Jansen J, Arvin E. Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes. Moscow "Mir", 2006; 480 p.

12. Lu H, Chandran K, Stensel D. Microbial ecology of denitrification in biological wastewater treatment. *Water Research*. 2014; (64),: 237-254.

13. Ivanov VN, Ulanov MN, Stabnikova EV. Denitrification of drinking water by cells of *Paracoccus denitrificans* in natural and artificially formed biofilms. *Journal of Water Chemistry and Technology (Khimiya i Tekhnologiya Vody)*. 2001; 23(2) : 64-70.

14. Shyrobokov VP, Yankovsky DS, Dyment GS. Microbial ecology of man. Kyiv: LLC "Ruta Tours", 2009; 312p .

15. Patent of Ukraine, 30382. A method of water purification. *Borisov BM, Gedz VS, Bayranov VV*. Bull. N 11. 2001.

16. Kalynychenko IE, Demutskaya LN. Determination of nitrate in drinking water by three-wave ultraviolet photometry. *Journal of Analytical Chemistry*. 2004; 59(3): 240-244.

17. Hlopin GV. The course of general hygiene. Gosizdat, Moscow-Leningrad. 1930; 556 p.

18. Patent of Ukraine, 98326. Method of biological purification of drinking water. *Gvozdyak PI* . Bull. N.9.2012 .

19. Zhang Y, Angelidaki I. A new method for *in situ* nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell (SMDDC). *Water Research*. 2013; – 47(5): 1827 –1836.

20. Goncharuk VV, Klimenko NA, Savchina LA, Vruble TL, Kozyatnik IP. Water treatment and demineralization technology. Current issues in the technology of drinking water conditioning. *Journal of Water Chemistry and Technology (Khimiya i Tekhnologiya Vody)* .2006; 28(1): 2-94.

21. Lautenschlager K, Hwang Ch, Ling F, Liu W, Boon N, Koster O, Egli Th, Hammes F. Abundance and composition of indigenous bacterial communities in a multi-step biofiltration-based drinking water treatment plant. *Water Res*. 2014; (62): 40–52.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2017 р.

