

**АНОТАЦІЯ**  
**магістерської дисертації студента 6 курсу, групи БТ-61м**  
**спеціальності 162 – Біотехнології та біоінженерія**  
**спеціалізації Промислова біотехнологія**  
**Смілянець Євгенія Ярославівни**  
**на тему «Біотехнологія очищення питної води від сполук нітрогену на**  
**швидких фільтрах»**  
Магістерська дисертація: 78 с., 32 табл., 15 рис., 86 джерел

На сьогодні спостерігається зниження якості питної води через забруднення її сполуками нітрогену. Ці речовини небезпечні для здоров'я людини, тому актуальним є розробка ефективної технології їх видалення з питної води.

Робота виконувалась в рамках планових досліджень технологій очистки води, на базі Державного підприємства "Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства" згідно договору внутрішнього підряду ДП «НДКТУ МГ» «Розробка біотехнології видалення нітрогенвмісних сполук із підземних вод на швидких фільтрах. Етап 1. Проведення досліджень на нативній воді та виділення культур бактерій нітрифікаторів та денітрифікаторів».

Тому метою роботи було розробка біотехнології очищення питної води від сполук нітрогену на швидких фільтрах.

Основні завдання роботи:

1. Провести літературний пошук за темою дослідження.
2. Написати аналітичний огляд.
3. Охарактеризувати матеріали і методи дослідження.
4. Виконати обробку результатів експериментальної роботи
5. Встановити вплив різних концентрацій кисню, що подається на фільтр на інтенсивність видалення нітратів, нітритів та амонію з води.
6. Підібрати оптимальну концентрації кисню, що подається на швидкий фільтр для проходження процесів нітрифікації-денітрифікації.
7. Розробити стартап проект для впровадження технології біологічного видалення сполук нітрогену на водопровідних очисних спорудах України.

Об'єкт дослідження: процес біологічного видалення сполук нітрогену з підземних вод.

Предмет дослідження: закономірності впливу концентрації розчиненого кисню на проходження процесів нітрифікації-денітрифікації на швидких фільтрах.

В роботі застосовані мікробіологічні, фізико-хімічні, статистичні методи дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів: у результаті проведеної роботи вперше виявлено та вивчено процес одночасної нітрифікації – денітрифікації на швидких фільтрах при підготовці питної води. Вдалося

вперше інтенсифікувати проходження цих процесів на одній установці за допомогою застосування оптимальної концентрації розчиненого кисню.

Встановлено, що найефективніше очищення води від нітратів, нітритів та амонію проходить за концентрації кисню на аераторі  $5,50 \pm 0,27$  мг/дм<sup>3</sup>. При цьому процес нітрифікації та денітрифікації відбувається на одній установці в різних її частинах.

Отримані результати можуть використовуватись при розробці та удосконаленні технологій очищення питної води від сполук нітрогену на міських водоочисних підприємствах.

В рамках одного з завдань магістерської дисертації було розроблено стартап проект для впровадження технології біологічного видалення сполук нітрогену при підготовці питної води на водопровідних очисних спорудах України.

Основні положення за темою дисертаційного дослідження були представлені на Міжнародній науково-практичній конференції «Природа для води», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів (м.Київ, 2018).

За результатами дисертації опубліковано статтю у Віснику Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" та 1 тези доповіді у збірнику матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Природа для води», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів.

ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ВИДАЛЕННЯ СПОЛУК НІТРОГЕНУ, НІТРИФІКУЮЧІ МІКРООРГАНІЗМИ, ДЕНІТРИФІКУЮЧІ МІКРООРГАНІЗМИ, ШВИДКИЙ ФІЛЬТР, КИСЕНЬ.

## Висновки

Фізико-хімічними та мікробіологічними методами досліджено особливості біотехнології очищення підземних питних вод від сполук нітрогену на швидких фільтрах.

1. На основі виділення та ідентифікації культур мікроорганізмів, які беруть участь у видаленні сполук нітрогену, на завантаженні швидкого фільтру виявлено культури аеробних нітрифікуючих мікроорганізмів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter* та анаеробних денітрифікуючих мікроорганізмів *Thiobacillus denitrificans*.

2. Розроблена теоретична концепція використання виділених мікроорганізмів у процесах очищення води від сполук нітрогену вказує на можливість проведення нітрифікації та денітрифікації на одному швидкому фільтрі, що дозволяє за допомогою однієї установки та оптимально підібраних умов аерації видаляти з питної води амоній, нітрат та нітрити.

3. На основі вимірювань загального мікробного числа у верхній та нижній частинах фільтру в залежності від різної концентрації розчиненого кисню експериментально підтверджено можливість проходження нітрифікації та денітрифікації на одній установці.

4. Перевірка впливу різних концентрацій кисню на проходження процесів нітрифікації, денітрифікації та ефективність очищення води від сполук нітрогену виявила, що при підвищенні концентрації кисню до  $7,00 \pm 0,35$  мг/дм<sup>3</sup> спостерігається максимальне очищення води від амонію (вміст амонію  $0,11 \pm 0,005$  мг/дм<sup>3</sup>), проте недостатнє вилучення нітратів ( $9,00 \pm 0,42$  мг/дм<sup>3</sup>). При цьому кількість нітрифікуючих мікроорганізмів у верхній частині фільтру залишається високою (ЗМБ =  $56000 \pm 2800$  КУО/см<sup>3</sup>), а в нижній частині зменшується до  $2800 \pm 140$  КУО/см<sup>3</sup>. Максимальне видалення нітратів з води досягається в результаті подачі кисню в концентрації  $5,50 \pm 0,27$  мг/дм<sup>3</sup> (вміст нітратів становить  $2,40 \pm 0,12$  мг/дм<sup>3</sup>). За цих умов вміст нітритів та амонію у воді в середньому дорівнює  $0,29 \pm 0,01$  мг/дм<sup>3</sup> та  $0,12 \pm 0,005$  мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

5. Доведено, що концентрація розчиненого кисню  $5,50 \pm 0,27$  мг/дм<sup>3</sup> за даних умов є достатньою, щоб стимулювати процес нітрифікації у верхній частині фільтру та не є надлишковою для пригнічення процесів денітрифікації у нижній частині фільтру, що підкріплюється отриманими даними щодо ЗМЧ у верхній та нижній частинах установки (близько  $52000 \pm 2600$  КУО/см<sup>3</sup> та  $4000 \pm 200$  КУО/см<sup>3</sup> відповідно).

6. Встановлено існування оптимальної концентрації кисню, що подається на фільтр, для проходження нітрифікації та денітрифікації та ефективного видалення сполук нітрогену при підготовці питної води з використанням одного швидкого фільтру, яка досліджених умов концентрація становить в середньому  $5,50 \pm 0,27$  мг/дм<sup>3</sup>.

7. Проведені наукові дослідження можуть слугувати обґрунтуванням розробленого стартап проекту для впровадження біотехнологічного видалення сполук нітрогену при підготовці питної води на водопровідних очисних спорудах України.

## Список літератури

1. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10)// Міністерство охрани здоров'я (МОЗ). – 2010.
2. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality – 4th ed.] // Женева: Всемирная организация здравоохранения. – 2017.
3. Туровська Г.І. Якісна питна вода – базова складова життєдіяльності людини/ Г.І. Туровська, А.О. Туровська. -- Молодий вчений. – 2017. – № 8(48). – С. 413-416.
4. Указ Президента України № 5/2015 Про Стратегію сталого розвитку "Україна – 2020". – Офіц.вид. – К: Президент України, 2015.
5. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Офіц. вид. – К.: Офіційний вісник України, 2014. – № 75. – том 1.
6. Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций утверждена резолюцией 55/2 Генеральной Ассамблеи от 8 сентября 2000 года / Генеральная Ассамблея ООН // Женева: ООН. – 2000.
7. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations / United Nations General Assembly // New York City: UN. – 2015.
8. Національну доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» // Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – 2017. – 176 с.
9. Директиви 98/83/єс Директива Ради 98/83/ЄС "Про якість води, призначеної для споживання людиною" від 3 листопада 1998 року. – Офіц. пер. // Верховна рада України. – 1998.
10. Зоріна О.В. Імплементация в Україні Директиви 98/83/ЄС про якість води, призначеної для споживання людиною / О.В Зоріна // Гігієна населених місць. – 2014. – №63. – с. 85-93.
11. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України // Київ. – 2017. – 407 с.
12. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 14.09.2011 р. № 324 «Про затвердження Національних цільових показників до Протоколу про воду та здоров'я». – 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/pro-zatverdzhennja-nacionalnihcilovih-pokaznikov-do-protoko-doc81651.html>.
13. Шевченко О.А. Питне водопостачання індустріальних регіонів України: проблеми сьогодення та погляд у майбутнє
14. Закон України №3933-VI «Про внесення змін в Закон України» про Загальнодержавну програму «Питна вода України на 2006-2020 рр.» / Верховна Рада України // Київ. – 2011.

15. Прокопов В. О. Стан та якість питної води централізованих систем водопостачання України в сучасних умовах (погляд на проблему з позицій гігієни) / В. О. Прокопов // Гігієна населених місць. – 2014. – Вип. 64. – С. 56–67.

16. Закон України № 2047-VIII «Про внесення змін до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» / Верховна Рада України // К.: Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2017. – № 29.

17. Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 року // ООН. – 1992.

18. Dragon K. Groundwater nitrate pollution in the recharge zone of a regional quaternary flow system (Wielkopolska region, Poland) / K. Dragon // Environmental Earth Sciences. — 2013. — Vol. 68, No. 7. — P. 2099–2109.

19. Кравченко О.В. Біотехнологічні підходи для інтенсифікації видалення амонію при підготовці питної води / О.В. Кравченко, О.С.Панченко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". — 2017. — №. 3. — С. 34–40.

20. Бендерська О.В. Аналіз нітратного забруднення зразків питної води м. Києва та київської області / О.В. Бендерська, М.О. Коваль // Научний взгляд в будуще. 2017. – Т. 2, №.5. — С. 47–51.

21. Govindan K. Removal of nitrate ion from water by electrochemical approaches / K. Govindan, M. Noel, R. Mohan // Journal of Water Process Engineering. — 2015. — Vol. 6. — P. 58–63.

22. Kondaveeti S. Nitrate reduction with biotic and abiotic cathodes at various cell voltages in bioelectrochemical denitrification system / S. Kondaveeti, B. Min // Bioprocess and Biosystems Engineering. — 2013. — Vol. 36, No. 2. — P. 231–238.

23. Zhang Y. A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell (SMDDC) / Y. Zhang, I. Angelidaki // Water Research. — 2013. — Vol. 47, No. 5. — P. 1827–1836.

24. Wang H. Combined bioelectrochemical and sulfur autotrophic denitrification for drinking water treatment / H. Wang, J. Qu // Water Res. – 2003. – Т. 37. – № 15. – p. 3767–3775.

25. Palko J. W. Nitrate removal from water using electrostatic regeneration of functionalized adsorbent / J. W. Palko, D. I. Oyarzun, B. Ha[et al.] // Chemical Engineering Journal. — 2018. — Vol. 334. — P. 1289–1296.

26. Lakshmi J. Recovery of hydrogen and removal of nitrate from water by electrocoagulation process / J. Lakshmi, G. Sozhan, S. Vasudevan // Environmental Science and Pollution Research. — 2013. — Vol. 20, No. 4. — P. 2184–2192.

27. Hashim K. S. Energy efficient electrocoagulation using a new flow column reactor to remove nitrate from drinking water – experimental, statistical, and economic approach / K. S. Hashim, A. Shaw, R. Al Khaddar[et al.] // Journal of Environmental Management. — 2017. — Vol. 196. — P. 224–233.

28. Pulkka S. Electrochemical methods for the removal of anionic contaminants from water – a review / S. Pulkka, M. Martikainen, A. Bhatnagar, M. Sillanpää // *Separation and Purification Technology*. — 2014. — Vol. 132. — P. 252–271.
29. Kuokkanen V. Recent applications of electrocoagulation in treatment of water and wastewater — a review / V. Kuokkanen, T. Kuokkanen, J. Rämö, U. Lassi // *Green and Sustainable Chemistry*. — 2013. — Vol. 3, No. 2. — P. 89–121.
30. Huang W. An electrochemical process intensified by bipolar iron particles for nitrate removal from synthetic groundwater / W. Huang, B. Zhang, M. Li // *Journal of Solid State Electrochemistry*. — 2013. — Vol. 17, No. 4. — P. 1013–1020.
31. Samir A. Combination of electrocoagulation and electro-oxidation processes of textile wastewaters treatment / A. Samir, N. Corresponding // 2013. — Vol. 3, No. 13. — P. 61–74.
32. Hossini H. Optimization of nitrate reduction by electrocoagulation using response surface methodology / H. Hossini, A. Rezaee // 2014. — Vol. 3, No. 3. — P. 10–15.
33. Epsztein R. Selective nitrate removal from groundwater using a hybrid nanofiltration-reverse osmosis filtration scheme / R. Epsztein, O. Nir, O. Lahav, M. Green // *Chemical Engineering Journal*. — 2015. — Vol. 279. — P. 372–378.
34. Chon K. Quantification and characterization of dissolved organic nitrogen in wastewater effluents by electrodialysis treatment followed by size-exclusion chromatography with nitrogen detection / K. Chon, Y. Lee, J. Traber, U. Von Gunten // *Water Research*. — 2013. — Vol. 47, No. 14. — P. 5381–5391.
35. Pirsahab M. Comparing operational cost and performance evaluation of electrodialysis and reverse osmosis systems in nitrate removal from drinking water in Golshahr, Mashhad / M. Pirsahab, T. Khosravi, K. Sharafi, M. Moradi // *Desalination and Water Treatment*. — 2016. — Vol. 57, No. 12. — P. 5391–5397.
36. Осипенко В.О. Очистка воды от нитратов с глубоким их концентрированием методом электродиализа / В. О. Осипенко, М. Н. Балакина, Д. Д. Кучерук, В. В. Гончарук // *Химия и технология воды*. — 2014. — Т. 36, № 2. — С. 138-144.
37. Ensie B. Removal of nitrate from drinking water using nano SiO<sub>2</sub>-FeOOH-Fe core-shell / B. Ensie, S. Samad // *Desalination*. — 2014. — Vol. 347. — P. 1–9.
38. Li P. Enhanced nitrate removal by novel bimetallic Fe/Ni nanoparticles supported on biochar / P. Li, K. Lin, Z. Fang, K. Wang // *Journal of Cleaner Production*. — 2017. — Vol. 151. — P. 21–33.
39. Ratnayake S. Y. Chemical reduction of nitrate by zerovalent iron nanoparticles adsorbed radiation-grafted copolymer matrix / S. Y. Ratnayake, A. K. Ratnayake, D. Schild[et al.] // *Nukleonika*. — 2017. — Vol. 62, No. 4. — P. 269–275.
40. Hamouda S. Ben Donnan dialysis as membrane process for nitrate removal from drinking water: membrane structure effect / S. Ben Hamouda, K. Touati, M. Ben Amor // *Arabian Journal of Chemistry*. — 2017. — Vol. 10. — P. S287–S292.
41. Сененко Н. Б. Спосіб очистки питної води від нітрат-іонів / Н. Б. Сененко, Д. О. Стороженко, А. І. Сененко, Г. В. Степаненков, П. В.

Писаренко // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2014. – № 1. – С. 91-95.

42. Басараба Ю. Б. Перспективи застосування цеолітів Сокирницького родовища для очищення природної води / Ю. Б. Басараба, Т. М. Засадний // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2015. – № 1. – С. 46-51.

43. Sowmya A. An efficient and regenerable quaternary amine modified chitosan beads for the removal of nitrate and phosphate anions / A. Sowmya, S. Meenakshi // Journal of Environmental Chemical Engineering. — 2013. — Vol. 1, No. 4. — P. 906–915.

44. Bergquist A. M. Catalytic denitrification in a trickle bed reactor: ion exchange waste brine treatment / A. M. Bergquist, M. Bertoch, G. Gildert[et al.] // Journal – American Water Works Association. — 2017. — Vol. 109, No. 5. — P. E129–E143.

45. Sharma S. Drinking water contamination and treatment techniques / S. Sharma, A. Bhattacharya // Applied Water Science. — 2017. — Vol. 7, No. 3. — P. 1043–1067.

46. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов / Л.Ф. Долина//Монография. – Днепропетровск: Континент, 2011. – 198 с.

47. Bergquist A. M. Evaluation of a hybrid ion exchange-catalyst treatment technology for nitrate removal from drinking water / A. M. Bergquist, J. K. Choe, T. J. Strathmann, C. J. Werth // Water Research. — 2016. — Vol. 96. — P. 177–187.

48. Mautner A. Nitrate removal from water using a nanopaper ion-exchanger / A. Mautner, H. Maples, H. Sehaqui, T. Zimmermann, U. Perez de Larraya // Environmental Science: Water Research & Technology. – 2016. – Vol: 2 (1). – PP: 117-124

49. Alikhani M. Ion-exchange polyhipe type membrane for removing nitrate ions: preparation, characterization, kinetics and adsorption studies / M. Alikhani, M. R. Moghbeli // Chemical Engineering Journal. — 2014. — Vol. 239. — P. 93–104.

50. Мальований М.С. Дослідження екологічних та технологічних аспектів очищення питної води від іонів амонію природними дисперсними сорбентами / М.С. Мальований, О. В. Мартиняк, Г.В. Сакалова, Н. Чорномаз, А. В. Сибірний, О. М. Креховецький // Экология и промышленность. — 2011. — № 1. — С. 47-51.

51. Гомеля М. Д. Оцінка ефективності аніонітів в маловідходних процесах очищення води від нітратів / М. Д. Гомеля, О. В. Голтвяницька, Т. О. Шаблій // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». – 2012. – № 1. – С. 84-90.

52. Nujić M. Nitrate removal from water supplies by ion exchange / M. Nujić1, D. Milinković , M. Habuda-Stanić1 // Croat. J. Food Sci. Technol. — 2017. — №. 9(2). — P. 182–186.

53. Khanichaidecha W. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification using pure-culture bacteria for wastewater treatment / W. Khanichaidecha, A.

Nakaruk, K. Ratananikom[et al.] // Journal of Water Reuse and Desalination. — 2018. — P. jwrd2018064.

54. Технический справочник по обработке воды. Том 1 // СПб.: Новый журнал, 2007. — 920 с.

55. Karanasios K. A. Effect of C/N ratio and support material on heterotrophic denitrification of potable water in bio-filters using sugar as carbon source / K. A. Karanasios, I. A. Vasiliadou, A. G. Tekerlekopoulou[et al.] // International Biodeterioration and Biodegradation. — 2016. — Vol. 111, No. 2. — P. 62–73.

56. Capua F. Di. Chemolithotrophic denitrification in biofilm reactors / F. Di Capua, S. Papirio, P. N. L. Lens, G. Esposito // Chem. Eng. J. – 2015. – № 280ю – P. 643–657.

57. Wangand H. Combined bioelectrochemical and sulfur autotrophic denitrification for drinking water treatment / H. Wangand J. Qu // Water Res. – 2003. – №. 37. – P. 3767–3775.

58. Ratnayake S. Y. Chemical reduction of nitrate by zerovalent iron nanoparticles adsorbed radiation-grafted copolymer matrix / S. Y. Ratnayake, A. K. Ratnayake, D. Schild[et al.] // Nukleonika. — 2017. — Vol. 62, No. 4. — P. 269–275.

59. Гвоздяк, П.И., Сапура, Е.В., Демчина, В.П. Очистка питьевой воды от нитратов пробиотиками / П.И. Гвоздяк, Е.В. Сапура, В.П. Демчина // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2014. — № 5-6. — С. 50-54.

60. Takaya N. Dissimilatory nitrate reduction metabolisms and their control in fungi // J. Biosci. Bioeng. – 2002. – Т. 94. – № 6. – P. 506–510

61. Stief P. Dissimilatory nitrate reduction by *Aspergillus terreus* isolated from the seasonal oxygen minimum zone in the arabian sea / P. Stief, S. Fuchs-Ocklenburg, A. Kamp[et al.] // BMC Microbiology. — 2014. — Vol. 14, No. 1. — P. 35.

62. Rocca C. Anheterotrophic/autotrophic denitrification (HAD) approach for nitrate removal from drinking water / C. Della Rocca, V. Belgiorno, S. Meriç // ProcessBiochem. – 2006. – Т. 41. – № 5. – P.1022–1028.

63. Daims H. Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria / H. Daims, E. V. Lebedeva, P. Pjevac[et al.] // Nature. — 2015. — Vol. 528, No. 7583. — P. 504–509.

64. Nagymáté Z. Investigation of archaea land bacterial community structure of five differents mall drinking water networks with special regard to the nitrifying microorganisms / Z. Nagymáté, Z. G. Homonnay, K. Márialigeti // Microbiological Research. — 2016. — Vol. 188–189. — P. 80–89.

65. Su J. Feng. Characterization of the anaerobic denitrification bacterium *Acinetobacter sp. sz28* and its application for groundwater treatment / J. Feng Su, S. C. Zheng, T. lin. Huang // Bioresource Technology. — 2015. — Vol. 192. — P. 654–659.

66. Van Kessel M. Complete nitrification by a single microorganism / M. Van Kessel, D. Speth, M. Albertsen, P. Nielsen, Op den Camp // Nature. – 2015. – № 528 (7583). – P. 555-559.



67. Zhang S. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by *Diaphorobacter polyhydroxybutyrativorans* sl-205 using poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) as the sole carbon source / S. Zhang, X. Sun, Y. Fan[et al.] // *Bioresource Technology*. — 2017. — Vol. 241. — P. 500–507.

68. Zhao B. Characteristics of a heterotrophic nitrogen removal bacterium and its potential application on treatment of ammonium-rich wastewater / B. Zhao, M. Tian, Q. An[et al.] // *Bioresource Technology*. — 2017. — Vol. 226. — P. 46–54.

69. Qin W. Ammonium reduction kinetics in drinking water by newly isolated *Acinetobacter sp.* hitli 7 at low temperatures / W. Qin, W. Li, D. Zhang[et al.] // *Desalination and Water Treatment*. — 2016. — Vol. 57, No. 24. — P. 11275–11282.

70. Zhang S. Ammonium removal at low temperature by a newly isolated heterotrophic nitrifying and aerobic denitrifying bacterium *Pseudomonas fluorescens* wsw-1001 / S. Zhang, C. Sha, W. Jiang[et al.] // *Environmental Technology (United Kingdom)*. — 2015. — Vol. 36, No. 19. — P. 2488–2494.

71. Kurt M. Biological denitrification of drinking water using autotrophic organisms with H<sub>2</sub> in a fluidized-bed biofilm reactor / M. Kurt, I. J. Dunn, J. R. Bourne // *Biotechnology and Bioengineering*. — 1987. — Vol. 29, No. 4. — P. 493–501.

72. Водоснабжение и водоотведение : учебник для бакалавров / И. И. Павлинова, В. И. Баженов, И. Г. Губий. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 472 с. — Серия : Бакалавр. Базовый курс.

73. Lee C. O. Effects of dynamic operating conditions on nitrification in biological rapid sand filters for drinking water treatment / C. O. Lee, R. Bøe-Hansen, S. Musovic[et al.] // *Water Research*. — 2014. — Vol. 64, No. m. — P. 226–236.

74. Aa L. T. J. Van der. Nitrification in rapid sand filter: phosphate limitation at low temperatures / L. T. J. Van der Aa, L. J. Kors, P. M. Wind // *Water Science and Technology: Water Supply*. — 2002. — Vol. 2, No. 1. — P. 37–46.

75. Chen D. Nitrate removal from groundwater by hydrogen-fed autotrophic denitrification in a bio-ceramsite reactor / D. Chen, K. Yang, H. Wan // *Water Science and Technology*. — 2014. — Vol. 69, No. 12. — P. 2417–2422.

76. Ravnjak M. Ž. Denitrification of drinking water in a two-stage membrane bioreactor by using immobilized biomass / M. Ž. Ravnjak, J. Vrtovec, A. Pintar // *Bioresource Technology*. — 2013. — Vol. 128. — P. 804–808.

77. Qin W. Ammonium removal of drinking water at low temperature by activated carbon filter biologically enhanced with heterotrophic nitrifying bacteria / W. Qin, W. G. Li, D. Y. Zhang[et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2016. — Vol. 23, No. 5. — P. 4650–4659.

78. Sparis, D. Reduction of nitrate by copper-coated ZVI nanoparticles / D. Sparis, C. Mystrioti, A. Xenidis, N. Papassiopi // *Desalination and Water Treatment*. — 2013. — № 51 (13-15). — P. 2926–2933.

79. Choe J. K. Performance and life cycle environmental benefits of recycling spent ion exchange brines by catalytic treatment of nitrate / J. K. Choe, A. M. Bergquist, S. Jeong[et al.] // *Water Research*. — 2015. — Vol. 80. — P. 267–28.

80. Culligan: Water treatment systems and equipment // Режим доступа: [http://red.st/culligan/files/assets/common/downloads\\_95cf0ded/publication.pdf](http://red.st/culligan/files/assets/common/downloads_95cf0ded/publication.pdf)

81. Кузнецов С.И., Микробиологическое изучение внутренних водоёмов. Лабораторное руководство / С.И. Кузнецов, В.И. Романенко, Б.С. Кузин. – М.: Изд-во Академии наук СССР. 1963 – 129 с.

82. Омелянский, В.Л. Практическое руководство по микробиологии / В.Л. Омелянский. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — : М., 1940 .— 433 с.

83. Мінаєва В. О. Математична обробка даних хімічного експерименту / В. О. Мінаєва, В. М. Бочарнікова, Т. А. Григоренко. – Черкаси: ЧНУ. – 2003. – 208 с.

84. Черновьянц М. С. Систематические и случайные погрешности химического анализа / М. С. Черновьянц. Учебное пособие для вузов; под ред. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2004. – 145 с.

85. Ананьев, В.А. Анализ экспериментальных данных [Текст]: учеб. пособие: в 2 ч. / В.А. Ананьев. – Кемерово: ГОУ ВПО «Кемеровский госуниверситет». 2008. –Ч.1. – 92 с.

86. Ефимов В.М. Многомерный анализ биологических данных / В.М. Ефимов, В.Ю. Ковалева. – СПб.: Институт систематики и экологии животных СОРАН, Лаборатория зоологического мониторинга. Инновационный центр защиты растений (ВИЗР РАСХН). 2008 – 87 с.