

АНОТАЦІЯ

Радіонов М.П. Нітрифікація як екологічний чинник взаємовпливу водних об'єктів та пов'язаних з ними споруд водокористування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія». Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків, 2021.

Актуальність роботи визначається необхідністю забезпечення рівня екологічної безпеки питної води в умовах впливу нітрифікуючої мікрофлори із сполучених з спорудами водопідготовки природних водних об'єктів – джерел водопостачання, та необхідністю забезпечення рівня екологічної безпеки природних водних об'єктів, що є приймачами скиду стічних вод з споруд біологічної очистки.

В природних водних об'єктах нітрифікація визначає процес самоочищення від сполук азоту. Від нітрифікації та її активності в спорудах водопідготовки залежить безпека питної води за вмістом нітритів, а в спорудах біологічної очистки – ефективність глибокої очистки стічних вод. Активність нітрифікації, яка зумовлена життєдіяльністю нітрифікуючих бактерій, в природних і техногенних об'єктах залежить від екологічних чинників. В техногенних об'єктах з'являються додаткові чинники нітрифікації, створювані особливостями схем обробки, технологій та обладнання, іммобілізацією мікробіоценозів. В пов'язаних між собою природних і технічних водних об'єктах з рухом води відбувається істотний перенос нітрифікуючої мікрофлори як з природних водних об'єктів в технічні об'єкти водокористування, так і навпаки. Така контамінація здатна змінити концентрацію нітрифікуючих бактерій і кінетику цього процесу в водному об'єкті (приймачі стічної води). Отже, в системі «природний водний об'єкт↔споруди водокористування» нітрифікація в водному об'єкті – донорі

води, є вагомим екологічним чинником нітрифікації в водному об'єкті – приймачі води.

Місто Харків забезпечується питною водою з двох водних джерел: природного – р. Сіверський Донець, та штучного – Краснопавлівського водосховища. Визначення активності нітрифікації в цих водних об'єктах виконували за трьома напрямками: аналіз та розрахунок активності нітрифікації в водоймах за даними багаторічних спостережень, експериментальне визначення активності нітрифікації в водній товщі, експериментальне визначення активності нітрифікації в донних відкладеннях.

Визначені в експериментальному дослідженні хімічні константи нітрифікації у р. Сів. Донець і Краснопавлівському водосховищі показали, що в обох водоймах константи швидкості другої фази нітрифікації вдвічі більші, ніж константи швидкості першої фази, що свідчить про те, що ризик накопичення нітритів у воді як річки, так і водосховища – мінімальний. А біокінетичні константи (константа Міхаеліса та максимальна швидкість реакції нітрифікації першої фази) показали, що наявна швидкість нітрифікації дещо вища у Краснопавлівському водосховищі ніж у р. Сів. Донець. Активність I фази нітрифікації в донних відкладеннях досліджуваних водойм за даними вимірювання активності ферменту гідроксил амін оксидоредуктази показали, що в донних відкладеннях у Краснопавлівському водосховищі ця активність дещо вища ніж у р. Сіверський Донець.

На очисних спорудах водопідготовки «Донець» та «Дніпро» проводиться очищення та знезараження води. За 5 років спостережень в воді з р. Сів. Донець й Краснопавлівського водосховища по етапах «водозабір – водопідготовка–водопровідна розподільча мережа» середньорічна динаміка концентрації амонійного азоту демонструє стале зменшення, середньорічна динаміка концентрації азоту нітратів – стале підвищення, динаміка рН – стале зниження (підкислення). Це переконливо свідчить про наявність нітрифікації

у зазначених об'єктах. Контроль концентрації нітритів показав, що умови водопідготовки забезпечують таку швидкість другої фази нітрифікації, яка зводить концентрацію нітритів до екологічно безпечних концентрацій.

У порівнянні з засипками з кварцового піску та антрациту, цеолітова засипка є найсприятливішою для іммобілізації на ній нітрифікуючих бактерій, що дає змогу припустити, що на КВ «Донець» є ризик накопичення нітритів після проходження очистки у швидких фільтрів.

За даними 8-ми річних спостережень встановлено, що між ступенем нітрифікації в природній водоймі, з якої виконується водозабір, та ступенем нітрифікації в спорудах водопідготовки існують висока позитивна кореляція.

Як показали біохімічні дослідження, при проведенні преамонізації надходження в фільтри води з підвищеним вмістом $N-NH_4$ активізує розвиток в них амонійокислюючих бактерій, що спричиняє зростання концентрації $N-NO_2$ до неприпустимих значень. При постамонізації концентрація нітрифікуючих бактерій I фази нітрифікації в засипці фільтру зменшується приблизно в 150 разів.

Аналіз даних щодо індексу нітрифікації на КВ «Донець» переконливо доводить, що нітрифікація в природній водоймі служить вагомим екологічним чинником впливу на мікробіологічні процеси, що відбуваються в спорудах водопідготовки, а отже і на екологічну безпеку питної води для населення. Дані щодо індексу нітрифікації на КВ «Дніпро» відображають таку позитивну кореляцію, але не так однозначно. І це зумовлено проведенням на КВ «Дніпро» хлорамонізації. Біологічне очищення стічних вод на Міських очисних спорудах № 2 відбувається в 3 та 4-коридорних аеротенках-витіснювачах з регенерацією активного мулу, зосередженою подачею активного мулу та зосередженою подачею стічних вод в першу половину другого коридору. Концентрація амонійного азоту в оброблюваних стічних водах після проходження біологічної очистки суттєво падає (на 92 %). При цьому концентрація нітритів та нітратів зростає, що є явною ознакою проходження повного процесу нітрифікації (I та II фази).

Питома швидкість окислення N–NH₄ мікробіоценозом активного мулу в досліджуваних біологічних очисних спорудах порівняно з донними відкладеннями на порядок вища. Нітрифікуючу здатність активного мулу аеротенків очисних споруд визначали біохімічним методом за активністю ферменту гідроксил амін оксидоредуктази та мікробіологічним методом – концентрацією нітрифікуючих бактерій I фази. Нітрифікуюча здатність активного мулу аеротенків більш ніж в 10 разів перевищувала нітрифікуючу здатність донних відкладень в р. Сів. Донець та Краснопавлівського водосховища.

З урахуванням концентрації завислих речовин, щоденна емісія нітрифікуючих бактерій з очисних споруд в р. Уди може досягати $2,7 \cdot 10^{17}$ кл/добу.

Очищені на Міських очисних спорудах № 2 м. Харкова стічні води направляються в скидний канал і по щитовому колектору скидаються в р. Уди – праву притоку р. Сів. Донець. Визначення активності процесів нітрифікації в воді р. Уди на ділянках 500 м до та 500 м після скиду очищених стічних вод з МОСВ №2 виконували за трьома напрямками: аналіз та розрахунок активності нітрифікації на досліджуваних ділянках р. Уди за даними багаторічних спостережень, експериментальне визначення активності нітрифікації в водній товщі, експериментальне визначення активності нітрифікації в донних відкладеннях.

В воді р. Уди на ділянці 500 м до та 500 м після скиду очищених стічних вод з МОСВ №2 концентрація амонійного азоту у динаміці 5 річного періоду в основному зменшується, а концентрація азоту нітритів та нітратів – стало зростає, що свідчить про збільшення активності нітрифікації в р. Уди після скиду очищених стічних вод. Цей висновок підтвердив і розрахунок індексу нітрифікації за період спостережень.

За даними експериментальних досліджень в пробах води з р. Уди як до, так і після скиду очищених стічних вод хімічна константа швидкості другої фази нітрифікації значно перевищувала константу швидкості першої фази

нітрифікації. Це дає змогу припустити мінімальну вірогідність накопичення нітритів у річці, що підтверджує аналіз цього показника за даними багаторічних досліджень.

Розрахунки біокінетичних показників за даними експериментальних досліджень показали, що швидкість нітрифікації в воді р. Уди на ділянці після скиду стічних вод більш ніж вдвічі перевищує цей показник до скиду. За даними експериментальних досліджень можна припустити, що після скиду очищених стічних вод в р. Уди змінюється мікробний склад нітрифікуючого мікробіоценозу в результаті збагачення привнесеної з очисних споруд мікрофлорою.

Експериментальне дослідження нітрифікуючої здатності мікрофлори донних відкладень в р. Уди до та після скиду очищених стічних вод показали, що активність фермента гідроксиламін оксидоредуктази в донних відкладеннях до та після скиду має один і той же порядок значень.

Таким чином, підвищення активності нітрифікації в р. Уди, яке було встановлено за даними багаторічного контролю концентрації азотвмісних сполук, рН, індекса нітрифікації на ділянках до та після скиду стічних вод, зумовлено інтенсифікуючим впливом скиду очищених стічних вод на ці показники в водній товщі.

Одержані результати дозволяють стверджувати, що нітрифікація в біологічних очисних спорудах є вагомим екологічним чинником нітрифікації в природній водоймі. Ця винесена з очисних споруд мікрофлора змінює нітрифікацію і концентрацію нітрифікуючих бактерій в природній водоймі після скиду, змінює кінетику нітрифікації, динаміку азотвмісних сполук в водному об'єкті та активність його самоочищення від сполук азоту.

Ключові слова: нітрифікація, природні водойми, водопідготовка, хлорамонізація, скид очищених стічних вод, хімічні кінетичні константи, біокінетичні константи, концентрація нітрифікуючих бактерій, донні відкладення, активний мул.

Abstract

Radionov M. P. Nitrification as an ecological factor of interaction of water reservoirs and related to them water use facilities. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of philosophy in the specialty 101 – «Ecology». – Research Institute "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", Kharkiv, 2021.

The relevance of work is determined by providing the level of ecological safety of potable water in time of nitrification microflora influence from natural water reservoirs connected with water preparation stations (sources of water supply) and necessity of providing the ecological safety for natural water reservoirs which accept the waste water discharge from waste water treatment plants.

Nitrification in natural water reservoirs defines self-purification process from nitrogen compounds. From the activity of nitrification process in stations of water preparation depends potable water safety from the contamination of nitrogen compounds. In biological waste water treatment plants activity of nitrification affects on the efficiency of deep water treatment. Nitrification activity is the result of activity of nitrification bacteria in natural and technical objects and it depends on ecological factors. In technical objects appear additional factors of nitrification due to treatment schemes, technologies, facilities and microbiocenoses immobilization. In connected natural and technical water reservoirs during water transportation appears sufficient nitrification microflora transposition between them. Such situation could change nitrification bacteria concentration and nitrification kinetics in the water reservoir (waste waters acceptor). Though, in system «natural water reservoir↔water use facilities» nitrification in water reservoir – water donator, is an essential ecological factor of nitrification in water reservoir – water acceptor.

Kharkiv city is provided by potable water from two sources: natural source – riv. Siversiy Donets, and artificial – Kraspopavliske water reservoir. Nitrification activity determination in these reservoirs was made using three directions: analysis

and calculation of nitrification activity in water reservoirs from the multiyear data, experimental determination of nitrification activity in water, experimental determination on nitrification activity in bottom sediments.

Chemical nitrification constants in riv. Sev. Donets and Krasnopavlivske reservoir, which were determined in experiment, had shown that in both basins the rate constant of 1st nitrification stage was higher than the 2nd stage constant, which shows that nitrite accumulation possibility is minimal. Biochemical constants of nitrification have shown that real rate of nitrification is slightly higher in Krasnopavlivske reservoir than in riv. Siv. Donets. 1st nitrification stage activity in bottom sediments in investigating water basins, according to data from the nitrification activity measurements of hydroxylamine oxidoreductase enzyme had shown that in Krasnopavlivske reservoir that activity slightly higher than in riv. Siv. Donets.

In water preparation systems «Donets» and «Dnipro» is carried out water treatment and disinfection. During the 5 year observation in the water of riv. Siv. Donets and Krasnopavlivske reservoir within the scheme «water intake – water preparation–water distribution system» average annual ammonium nitrogen concentration dynamics shows constant decrease, average annual nitrate nitrogen concentration shows constant increase, pH dynamics shows constant decrease. This convincing evidence about the nitrification presence in investigated objects. Nitrite concentration control had shown that water preparation conditions provide such rate of the 2nd nitrification stage, which reduces nitrite concentration to ecologically safe concentrations.

Zeolite filter backfill is the most favorable for immobilization of nitrification bacteria on it compared with anthracite and quartz sand backfills. This issue gives us an opportunity to assume that on the «Donets» water preparation station there is a danger of nitrite accumulation.

According to observation of the data of 8 year period was established that there is a positive correlation between the nitrification index in natural water reservoir and in water preparation stations.

As biochemical investigations had shown, water with high concentration of $N-NH_4$ (during preammination process) activates the development of ammonia oxidation bacteria, which causes raising of $N-NO_2$ concentration to invalid values. During the method of postammination the concentration of nitrifying bacteria of the 1st stage of nitrification in filter backfill decreases a 150 times.

The analysis of nitrification index data in water preparation station «Donets» strongly prove that nitrification in natural water reservoir is significant ecological factor of influence on microbiological processes, which occurring in water preparation stations, and consequently on an ecological safety of potable water for population. Nitrification index data from water preparation station «Dnipro» shows a positive correlation but not so obviously. It happens due to conducting of chlorination on this station. Biological waste waters treatment takes place on 3 and 4-corridor aeration tanks with activate sludge regeneration and concentrated activated sludge and waste waters income into the first half of the second corridor. Ammonia nitrogen concentration in treated waste waters after the biological treatment significantly decreases (up to 92%). While nitrite and nitrate concentrations increasing, which is an obviously indication of passing both stages of nitrification (I and II phase).

Specific rate of $N-NH_4$ oxidation by activate sludge microbiocenoses is much higher, compared with bottom sediments. Activate sludge nitrifying ability of waste water treatment plants aeration tanks was determined by biochemical method according to hydroxylamine oxidoreductase enzyme activity and by microbiological method – concentration of nitrifying bacteria of the 1st stage. Nitrifying ability of activate sludge from the aeration tanks is 10 times higher then nitrifying ability of bottom sediments of riv. Siv. Donets and Krasnopavlivske reservoir.

Considering the concentration of suspended matter shows that everyday emission of nitrifying bacteria from waste water treatment plant into the riv. Udy can reach $2,7 * 10^{17}$ cell/day.

Waste waters which was treated on waste water treatment plant №2 of Kharkiv city directed into the discharge canal and then through the collector discharging into the riv. Udy, which is a tributary of riv. Siv. Donets. Determination of nitrification processes activity in riv. Udy in the area 500 meters before and 500 meters after the treated waste waters discharge was made by using three directions: investigation and calculation of nitrification activity in riv. Udy based on multiyear data, experimental determination of nitrifying activity in water, experimental determination of nitrifying activity in bottom sediments.

Analyses of water from riv. Udy in the area 500 meters before and 500 meters after the treated waste waters discharge had shown that concentration of ammonium nitrogen during 5 year study basically decreases, while concentration of nitrites and nitrates constantly increase, which is an evidence that nitrifying activity in riv. Udy enhances in the area after the discharge. This conclusion is proved by the calculation of nitrification index for the investigation period.

According to experiment data for areas before and after the discharge, chemical constant of the 2nd stage of nitrification was higher then the constant of 1st stage. That gives an opportunity to assume that danger of nitrite accumulation is minimal, which proves multiyear analyses results.

Calculations of biokinetic indicators had shown that nitrification rate in the area after the waste waters discharge almost two times higher then this indicator before the discharge. According to experimental results we can assume that after the discharge microbial contents of nitrifying microbiocenoses changes due to incoming microflora from the waste water treatment plant.

Experimental investigation of nitrifying ability of bottom sediments from riv. Udy before and after the discharge had shown that hydroxylamine oxidoreductase activity in bottom sediments before and after the discharge has the same order of values.

As follows, nitrifying activity in riv. Udy increasing, which was revealed according to multiyear data of control of nitrogen compounds, pH, nitrification

index in the area of 500 meters before and 500 meters after the treated waste waters discharge is due to intensification influence of the waste waters discharge.

Obtained results show that nitrification in biological waste water treatment plants is an essential ecological factor in natural water reservoir. Microflora from the waste water treatment plant changes the nitrification and concentration of nitrifying bacteria in natural water reservoir after the waste waters discharge, changes nitrification kinetics, nitrogen compounds dynamics in water reservoir and activity of its self-purification from nitrogen compounds.

Статті, що опубліковані у наукових виданнях, що включені до наукометричних баз даних:

1. Influence of deep-treated wastewater discharge on nitrification activity in a natural reservoirs / V. Iurchenko, M. Radionov, P. Ivanin, O. Melnikova. Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21, iss. 8. P. 146–155. (Scopus, Web of science).

2. Influence on environmental safety of the drinking water of nitrification in water reservoir being a source of water supply and filter filling materials in water treatment facilities / V.Iurchenko, M.Radionov, O.Melnikova, O.Rachkovskiy, L.Mykhailova. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006 : International scientific applied conference on problems of emergency situations. P. 187–193. (Scopus).

Статті, що опубліковані у наукових фахових виданнях України

3. Юрченко В.О., Радіонов М.П., Мельнікова О.Г. Кінетичні характеристики нітрифікації у водоймі–джерелі питного водопостачання. Екологічні науки. 2019. №1(24), т. 1. С. 121–125. (Особистий внесок здобувача: постановка експерименту та обробка даних).

4. Юрченко В.О., Волков В.М., Радіонов М.П. Вплив нітрифікації у водоймах-джерелах питного водопостачання на розвиток цього процесу в спорудах водопідготовки. Науковий вісник будівництва.

2017. Т. 90, № 4 С. 193–196. (Особистий внесок здобувача: аналіз результатів дослідження).

5. Iurchenko V., Ivanin P., Radionov M., Melnikova O. Influence of waste water from wastepaper processing utilities on the oxygen mode of natural and technical water objects / V. Iurchenko, P. Ivanin, M. Radionov, O. Melnikova. *Environmental problems = Екологічні проблеми*. 2019. Vol. 4, № 3. P. 130–134. (Особистий внесок здобувача: аналіз, розрахунки та статистична обробка даних щодо концентрації азотовмісних сполук у природних водоймах та пов'язаних з ними технічних спорудах водокористування).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Юрченко В.А., Корінько І.В., Радіонов М.П. Екологічна безпека сучасних способів глибокого біологічного видалення азоту зі стічних вод. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства*: матеріали III міжнар. Наук. – практ. конф. (Тернопіль, 24-25 березня 2016) Тернопіль, 2016. С. 93–95.

7. Юченко В.А., Радіонов М.П., Кugno Т.В. Экологическая безопасность вод питьевого назначения по содержанию соединений азота. *Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування*: зб. Матеріалів 4-го студентського конгресу (Львів, Національний університет «Львівська політехніка» 26–27 квітня 2017). Львів, 2017. С. 87–89.

8. Юрченко В.О., Іванін П.С., Радіонов М. П., Антонов О.В. Підвищення екологічної безпеки споживання водних ресурсів на промислових підприємствах. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : зб. матеріалів VIII Міжнародної наукової конференції (Харків, ХНУБА, 18-19 жовтня 2017). Харків, 2017. С. 41–43.

9. Юрченко В.О., Радіонов М. П. Проблеми раціонального використання водних ресурсів на питні потреби, які створює мікробіологічна нітрифікація. *Проблеми екологічної безпеки* : зб. Мат. XVI міжнар. наук-технічної конф. (Кременчук, 04–06 жовтня 2018). Кременчук, 2018. С. 97.

10. Юрченко В.О., Радіонов М. П. Екологічна небезпека нітрифікації в системах питного водопостачання. *Регіональні проблеми охорони довкілля* : матеріали Міжнар. наук. конф. молодих вчених (Одеса, ОДЕКУ, 30 травня – 1 червня 2018). Одеса, 2018. С. 192–196.

11. Юрченко В.О., Радіонов М. П. Оцінка ризиків для населення, створюваних розвитком нітрифікації в спорудах підготовки питної води. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : зб. матеріалів 5

Міжнар. конгресу (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 26–29 вересня 2018). Львів, 2018. С. 125с.

12. Юрченко В.О., Радіонов М. П. Нітрифікація в фільтруючому завантаженому споруд водопідготовки та її екологічні наслідки. *Тези доповідей 74-ої науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури* (Харків, ХНУБА, 5–6 березня 2019). Харків, 2019. С. 155–156.(Google Scholar, Crossref, ІІІІ).

13. Юрченко В.О., Радіонов М.П., Мельнікова О.Г. Нітрифікація в системах питного водопостачання. *ЕТЕВК-2019: Міжнародний конгрес та технічна виставка* (Україна, м. Чорноморськ 10–14 червня 2019). Чорноморськ, 2019. С. 146–148.

14. Юрченко В.О., Радіонов М.П., Цитлішвілі К.О. Глибока нітрифікація стічних вод як чинник активності нітрифікації в природній воді. *Збірник наукових праць : VII-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю*(Вінниця, ВНТУ, 25–27 вересня 2019). Вінниця, 2019. С.72.

15. Iurchenko V., Ivanin P., Radionov M., Melnikova O. Influence of deep treated effluent on the activity of nitrification in natural water. Water supply and waste water disposal: designing, construction, operation and monitoring. III International scientific-practical conference. (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 23–25 жовтня 2019). Львів, 2019. С. 113–114.

16. Юрченко В.О., Христенко А.М., Радіонов М.П., Цитлішвілі К.О. Мікробіоценози біологічних очисних споруд, що перетворюють азотвмісні сполуки, та їх вплив на процеси в природних водоймах. *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти*: матер. VI Міжнар. наук.–практ. конф.(м. Київ, 14–15 листопада 2019) Київ, 2019. С. 206-209.

17. Юрченко В., Радіонов М., Мельнікова О., Рачковський О. Вплив нітрифікації у водоймі – джерелі питного водопостачання на екологічну безпеку питної води для населення. *Problems of emergency situations*. Міжнародна науково-практична конференція (Харків, 20 травня 2020). Харків, 2020. С. 443–445.