

АНОТАЦІЯ

***Цитлішвілі К.О.* Екологія іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу в системах очистки стічних вод.**

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

Дисертацію присвячено вирішенню наукового завдання, яке спрямоване на використанні екологічних властивостей іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів з вилучення сполук азоту зі стічних вод для захисту об'єктів гідросфери від евтрофікації.

Захист природних водойм від евтрофікації, викликаної скидом біогенних елементів у складі недостатньо очищених стічних вод – нагальна науково-практична екологічна проблема. Традиційно глибоке видалення сполук азоту з стічних вод біологічним методом засновано на використанні мікробіологічної нітрифікації (деамонізації середовища) та в сучасних схемах – мікробіологічної нітрифікації-денітрифікації (деазотації середовища). Останні відкриття в області мікробіологічного окиснення амонію (анаттох і сомтатох процесів, амонійокиснюючих архей) привели до ревізії схем глобального циклу азоту, а особливо його окиснювальної частини – деамонізації середовища. Саме з анаттох процесом – аноксидним окисненням амонію до газоподібного азоту анаттох-планктоміцетами, провідні фахівці в галузі охорони навколишнього середовища пов'язують можливість кардинального поліпшення якості очищення води від сполук азоту через екологічні та економічні переваги цього методу. Проте мікробіологічна деамонізація та деазотація стічних вод, яка зумовлена життєдіяльністю автотрофних мікроорганізмів, ускладнюється присутністю в міських та в абсолютній більшості промислових стічних вод високих та надвисоких концентрацій органічних сполук, які кардинально інгібують автотрофні процеси. Інша проблема деамонізуючих та деазотуючих мікробіоценозів – необхідність

поєднання в одному мікробіоценозі високоактивних мікробіологічних процесів, що потребують діаметрально протилежних кисневих режимів. Одним з перспективних напрямків вирішення цих проблем є іммобілізація мікробіоценозів. Відомо, що в процесах біологічної очистки стічних вод іммобілізовані мікробіоценози мають багато переваг порівняно з вільно плаваючими. Проте екологія та особливості розвитку саме азоттрансформуючих іммобілізованих мікробіоценозів в умовах обробки висококонцентрованих за органічними забрудненнями стічних вод залишаються ще малодослідженими.

У роботі проведено аналіз та узагальнення відомостей щодо складу та властивості іммобілізованих мікробіоценозів в умовах обробки висококонцентрованих за органічними забрудненнями стічних вод.

Екологічні чинники розвитку азоттрансформуючих мікробіоценозів (в тому числі іммобілізацію) можливо використати в якості керуючих впливів на процеси очистки стічних вод. До того ж структура іммобілізованих мікробіоценозів, що складаються з різних видів, які знаходяться в симбіотичних відношеннях, дає підстави сподіватись на їх стратифікацію і за кисневими режимами, а, отже високу активність як мікроаерофільних, так і аноксидних та анаеробних азоттрансформуючих мікроорганізмів.

Дослідження екології азоттрансформуючого мікробіоценозу включало наступні напрями: дослідження складу мікробіоценозу (мікробіологічними, фізіологічними та біохімічними методами), дослідження відносин між еколого-трофічними групами в мікробіоценозі, дослідження впливу екологічних умов (концентрації амонійного азоту та органічних речовин) на метаболізм окремих азоттрансформуючих груп мікроорганізмів. Ідентифікацію газоподібних метаболітів, що утворюються мікробіоценозом, виконали газохроматографічно. В інгібіторних експериментах використали чотири інгібітори, які пригнічують ключові ферменти окремих еколого-трофічних груп мікробіоценозу: АОБ, АОА, апаттох-бактерій, денітрифікуючих бактерій.

Результати проведених експериментальних досліджень свідчать, що основними трофічними взаємовідносинами еколого-трофічних груп мікроорганізмів в азоттрансформуючому іммобілізованому мікробіоценозі є мутуалізм та конкуренція.

Розроблено конструкцію та виготовлено лабораторну біодискову установку для дослідження впливу екологічних чинників на процеси деазотації та деамонізації стічних вод різного складу азоттрансформуючим мікробіоценозом, яка працювала у контактному та проточному режимах.

Визначено, що азоттрансформуючий мікробіоценоз сформованої біоплівки на інертному носії дискової установки представлений амоніфікаторами, АОБ (амонійокиснюючими бактеріями), АОА (амонійокиснюючими археями), НОБ (нітритоокиснюючими бактеріями), апаттох-бактеріями та денітрифікуючими мікроорганізмами. Розроблено методологію визначення складу іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу очисної установки в присутності, так і за відсутності органічних речовин в стічній воді: фізіологічними, мікробіологічними і біохімічними тестами.

Встановлено керуючий вплив екологічних чинників на життєдіяльність іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу у контактному та проточному режимах обробки стічних вод, до яких відносяться: температура, концентрація розчиненого кисню, концентрація амонійного азоту, реакції середовища рН та найвагоміший екологічний чинник – присутність органічної речовини та її концентрація.

В процесі автоселекції просторовий розподіл еколого-трофічних груп мікроорганізмів в іммобілізованому мікробіоценозі відбувався таким чином, що у поверхневому шарі біоплівки в аеробних умовах розвиваються облигатні аероби – АОБ, АОА, НОБ та аеробні гетеротрофні мікроорганізми, а в нижньому шарі біоплівки розвиваються мікроаерофільні та анаеробні мікроорганізми, в тому числі – апаттох-бактерії та денітрифікуючі.

Дослідження впливу екологічних чинників: концентрації розчиненого кисню, рН середовища, температури та концентрації органічної речовини, на перетворення азотвмісних сполук іммобілізованим мікробіоценозом при обробці стічних вод в контактних умовах показало, що найвагомим фактором деамонізації та деазотації стічних вод цим мікробіоценозом є концентрація органічної речовини (ХСК).

Результати експериментальних досліджень в контактних умовах обробки показали, що ефект видалення $N-NH_4 + N_{орг}$ склав 57,6% при високих навантаженнях розчинених органічних сполук. Питома швидкість видалення $N-NH_4$ становить 1,6, $N-NH_4 + N_{орг}$ – 1,8 мг/(Г_{без. реч.} год).

Результати експериментальних досліджень показали, що іммобілізований мікробіоценоз протягом 6,6 год перебування стічної води в біореакторі активно та глибоко (до 99,5 %) окиснює органічні сполуки та активно (до 99,9 %) деамонізує середовище. Отже, за рахунок будови та структури біоплівки, просторових та трофічних відносин між еколого-трофічними групами іммобілізованого мікробіоценоза, який формувався в присутності надзвичайно високих концентрацій органічних речовин та високих концентрацій $N-NH_4$ в середовищі, в біоплівці склалися такі умови, які дозволяють активно метаболізувати як гетеротрофним, так і автотрофним мікроорганізмам й окиснювати як органічні сполуки, так і неорганічні сполуки.

При обробці висококонцентрованих, за органічними забрудненнями, стічних вод в проточних умовах культивування іммобілізований мікробіоценоз адаптувався до деамонізації середовища в екстремальних для автотрофної мікрофлори умовах: $ХСК \geq 823$ мгО/дм³. Оптимальним для процесів деазотації був мезофільний температурний режим, концентрація кисню в середовищі ≥ 4 мг/дм³. Питома швидкість видалення $N-NH_4$ в присутності органічних речовин досягала 1,6, за відсутності – 4,3 мг/(Г_{без.реч.} · ГОД).

Розроблено екологічно безпечний спосіб очищення стічних вод від сполук азоту та розчинених органічних речовин в дисковому біореакторі до нормативних вимог для скиду в водний об'єкт.

В виробничих умовах проведено апробацію ефективності видалення сполук азоту (деазотації) іммобілізованим мікробіоценозом при обробці в біодисковій установці та отримано Акт впровадження результатів дисертаційних досліджень на стайні ГО “ФЕЛЬДМАН ЕКО-ПАРК”.

Ключові слова: азоттрансформуючі мікробіоценози, екологія мікробіоценозів, екологічні чинники, іммобілізований мікробіоценоз, деазотація та деамонізація водного середовища, сполуки азоту, біодискова установка, стічні води.

ABSTRACT

***Tsytlishvili K.O.* Ecology of immobilized nitrotransforming microbiocenosis in the wastewater treatment systems.**

Dissertation for the degree Doctor of Philosophy (Ph.D.) on a specialty 101 – Ecology – Scientific-research institution “Ukrainian scientific-research institute of ecological problems”, Kharkiv, 2021.

The dissertation is dedicated to solving of the scientific problem which shows the ecology properties of immobilized nitrotransforming microbiocenosis use for the destruction of nitrogen compounds from wastewater and water objects protection from eutrophication.

Protection from eutrophication, formed by from dump of biogenic elements which are the part of pollutants of wastewater – is one of the crucial, scientific-practical, ecologic problems. Usually a comprehensive removal of nitrogen compounds from wastewater by biological treatment based on microbiological nitrification (deamonisation of the environment) use and in a nowadays systems – microbiological nitrification-denitrification (denitrogenation-deasotation of the environment). The last discoveries in the area

of microbiological oxidation of ammonia (anammox and commamox processes, ammonium oxidation archeys) have led to the revision of global schemes of the nitrogen cycle, and especially of its oxidation part – deammonisation of the environment. And because of the anammox process – anoxide ammonium oxidation to the gaseous form of nitrogen by anammox planctomycetes, the lead scientists from an environmental safety area explain the possibility of a drastically quality improvement treatment of wastewater from nitrogen compounds due to ecological and economic benefits of this method. Therefore, microbiological deammonisation and deasotation of wastewater, which forms due to the autotrophic microorganisms lifecycle, complains by the presence, in the local and industrial wastewater (mostly in absolutely bigger amount) high and critical concentrations of organic compounds, which radically inhibiting autotrophic processes. Another problem of deammonisation and deasotation processes is – a necessity of a combination of high actively microbiological processes in one microbiocenosis, that requires completely different oxidation regimes. One of the promising ways for solving this issue is the an immobilization of microbiocenosis. It is known, that in processes of wastewater treatment the immobilized microbiocenosis have a lot of advantages in comparison with those that are freely floating. Nonetheless, the an ecology and specificities of growing of nitrotransforming immobilized microbiocenosis in conditions of highly-concentrated by organic compounds wastewater still have not been studied well.

The analysis of general knowledge of the composition and properties of immobilized microbiocenosis in the condition of highly-concentrated organic compounds of wastewater has been done.

The ecological factors of grow process of nitrotransforming microbiocenosis (including an immobilization) could be used as general influences on processes of wastewater treatment. Moreover, the structure of immobilized biocenosis, which contains from different species, and which are in the symbiotic relationship with, that all give the opportunity on their stratification by the oxidation regimes and

because of that the high activity as microaerophilic as anoxide and anaerobic nitrotransforming microorganisms.

Ecological studies of nitrigen-transforming microbiocenosis included the following directions: the study of the compound of microbiocenosis (microbiological, physiological, and biochemical methods), the study of conditions between eco-trophic groups in the microbiocenosis, the study of the influence of ecological conditions (concentration of ammonia nitrogen and organic compounds) on metabolism of separate nitrotransforming groups of microorganisms. The identification of gaseous metabolites that are forming by the microbiocenosis has been done by gas chromatography. In the inhibitory experiments the four inhibitors which decrease the basic enzymes of separate eco-trophic groups of microbiocenosis: AOB, AOA, anammox-bacteria, denitrification bacteria have been used.

Results from experimental studies that have been done, show that the general trophic relationships of eco-trophic microorganisms groups in a nitrotransforming immobilized microbiocenosis are mutualism and competition.

The scheme and laboratory biodisk device for the study of the ecological factors on processes of deasotation and deammonisation of a different wastewater quality by nitrotransforming microbiocenosis which worked in contact and flow regimes have been developed and built.

It has been studied, that the nitrotransforming microbiocenosis of formed biofilm on the inert surface of disk apparatus is presented by ammonificators, AOB (ammonium oxidation bacterias), AOA (ammonium oxidation archeas), NOB (nitrooxidation bacterias), anammox bacteria and denitrification microorganisms. The methodology of determination of the immobilized nitrotransforming microbiocenosis composition of the treatment device with the presence and absence of organic matter in wastewater by physiological, microbiological and biochemical tests have been developed.

The leading influence of ecological factors on the immobilized nitrotransforming microbiocenosis lifecycle in a contact and flow mode of

wastewater treatment have been studied, some of them are temperature, the concentration of dissolved oxygen, the concentration of dissolved ammonia, pH and the most crucial ecological factor – the organic matter presence and a concentration of it.

In a process of autoselection, the spatial distribution of eco-trophic groups of microorganisms in the immobilized microbiocenosis happens the way that in the upper layer of the biofilm in an anaerobic condition the obligation aerobics are evolved – AOB, AOA, NOB and aerobic heteromorph microorganisms and in the lower level of the biofilm the microaerophiles and anaerobic microorganisms including – anammox and denitrification bacteria.

The studies of the influence of ecological factors: dissolved oxygen concentrations, pH, temperature and concentration of the organic substance on a transformation of nitrogen-containing compounds by immobilized microbiocenosis during wastewater treatment in the contact mode showed that crucial factor of deammonisation and deasotation of wastewater by this microbiocenosis is the concentration of organic matter (by COD).

The results of experimental studies showed that in the contact mode the treatment efficiency from $N-NH_4 + N_{org}$ is 57,6% (with a high concentration of organic matter presence). The specific velocity of treatment $N-NH_4$ is 1,6, $N-NH_4 + N_{org}$ – 1,8 mg/(g_{ash. subst.}·h).

The results of experimental studies showed that presence of the immobilized biocenosis during 6,6 hours in the bioreactor with wastewater actively and comprehensively (up to 99,5%) oxidizes organic compounds and actively (up to 99,9%) deammonisation the environment. In this connection, due to the structure and form of the biofilm, a dimensional and trophic connection between ecotrophic groups of immobilized microbiocenosis which formed with a presence of a critically high concentration of organic substances and $N-NH_4$, the special condition in the biofilm is formed that allows actively to metabolize as heterotrophic and autotrophic microorganisms and oxidizes like organic and inorganic components.

With a highly concentrated wastewater treatment by organic pollution in the flow mode of cultivation, the immobilized microbiocenosis was adapting to the deammonisation of the environment in the extreme conditions for the autotrophic microflora: $COD \geq 823 \text{ mgO/dm}^3$. The optimum mesophilic temperature regime, for the process of deasotation, was with oxygen concentration in the area $\geq 4 \text{ mg/dm}^3$. The specific velocity of $N-NH_4$ removal with the presence of organic compounds reached 1.6 with absence – $4,3 \text{ mg}/(\text{g}_{\text{ash. subst.}} \cdot \text{h})$.

The ecofriendly method of wastewater treatment from nitrogen substances and dissolved organic compounds (that reach the limits for water body dump) in the disk bioreactor have been developed.

In a working condition the approbation of removal effectiveness of nitrogen compounds deasotation by immobilized microbiocenosis with processing in the biodisk apparatus have been approved, and the Act of implementation about results of dissertation studies on the stabling of PO "FELDMAN ECO-PARK" has been obtained.

Key words: nitrotransfoming microbiocenosis, the ecology of microbiocenosis, ecology factors, immobilized microbiocenosis, deasotation and deammonisation of water environment, nitrogen compounds, biodisk reactor, wastewaters.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Matsak A., Tsytlishvili K., Rybalova O. Method of agricultural sewage water purification at troughsand a biosorption bioreactor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 5(10), Issue 95. P. 16–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144138. (Scopus).

Статті, що опубліковані у наукових фахових виданнях України

1. Цитлишвили Е.А., Проскурнин О.А. Обеспечение экологической безопасности сброса сточных вод предприятий пищевой промышленности. Науковий вісник будівництва. ХНУБА. 2019. № 2(96), Т. 2. С. 335–341. DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-335-341.

2. Васенко А.Г., Цитлишвили Е.А., Свиридов Ю.В., Брук В.В. Оценка влияния точечных источников загрязнения на качество воды украинской части дельты Дуная. Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки. 2020. № 1 (281). С. 57–62. DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-57-62.

3. Юрченко В. О., Цитлішвілі К. О. Склад і міжвидові відносини в іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозах очисних споруд. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. Сільськогосподарські та технічні науки. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 355–368. DOI 10.31395/2415-8240-2020-96-1-355-368.

4. Цитлишвили Е.А. Удаление соединений азота и фосфора из сточных вод предприятий пищевой промышленности. ГП «УкрНТЦ «Енергосталь» Екологія и промышленность, 2018. № 3-4, Т. 56-57. С. 51–56. (Входить до переліку ВАК України).

Патент на корисну модель

1. Спосіб дослідження якості біологічного очищення стічних вод з використанням комплексного лабораторного устаткування : пат. 142646 Україна : МПК (2006.01) C02F 3/02. № и 2019 10647 ; заявл. 28.10.2019 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Цитлішвілі К.О., Горбань Н.С. Експериментальні дослідження зниження концентрації сполук азоту в лабораторних умовах з використанням біологічних процесів. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові

аспекти: матер. V Міжнар. наук.- практ. конф. (Київ, НТУ «КПІ ім. І. Сікорського», 26–27 жовтня 2017). Київ, 2017. С. 222–224.

2. Юрченко В.О., Радіонов М.П., Цитлішвілі К.О. Глибока нітрифікація стічних вод як чинник активності нітрифікації в природній водоймі. VII-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю Екологія/Ecology–2019: збірник наукових праць. (Вінниця, ВНТУ, 25–27 вересня, 2019). Вінниця, 2019 С. 72.

3. Рибалова О., Бригада О., Сарапіна М., Мацак А., Цитлішвілі К. Заходи щодо зменшення впливу лісових пожеж на стан поверхневих вод. Збірник наукових праць: III міжнародна науково-технічна конференція Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг. (Львів, НУ «Львівська Політехніка», 23–25 жовтня 2019). Львів, 2019. С. 237–238.

4. Христенко А.М., Цитлішвілі К.О., Радіонов М.П., Юрченко В.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. (Київ, НТУ «КПІ ім. І. Сікорського», 14–15 листопада 2019). Київ, 2019. С. 206–209.

5. Цитлішвілі К.О. Очищення стічних вод тютюнового виробництва на дисковому біореакторі. Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика: Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, НУЦЗУ, 21–22 листопада 2019). Харків, 2019 .С. 159–161.

6. Горбань Н.С., Саввова О.В., Бабіч О.В., Зінченко І.В., Цитлішвілі К.О., Шостенко О.Ю., Аскретков М.М. Дослідження процесів очищення стічних вод нафтопереробної галузі від нафтопродуктів та сполук азоту. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XIII

Міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, УКРНДІЕП, 11–15 вересня 2017). Харків, 2017. С. 105–110.

7. Зінченко І.В., Бабіч О.В., Савцова О.В., Цитлішвілі К.О., Шостенко О.Ю. Очищення стічних вод тютюнового виробництва. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XIV Міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, УКРНДІЕП, 10—14 вересня 2018). Харків, 2018. Вип.40. С. 148–156.

8. Зінченко І.В., Цитлішвілі К.О., Бикасов В.М. Дослідження способу інактивації антибіотиків шляхом його деструкції озono-повітряною сумішшю з метою захисту довкілля і здоров'я людини. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XV Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, УКРНДІЕП, 9–13 вересня 2019). Харків, 2019. С. 172–174.

9. Цитлішвілі К.О. Глибоке очищення стічних вод від сполук азоту іммобілізованим мікробіоценозом. Тези доповідей 74-ої науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. (Харків, ХНУБА, 5 – 6 березня 2019). Харків, 2019. С. 157–158.

Стаття, що опублікована у іншому виданні

1. Мацак А.А., Цитлишвили Е.А. Очистка дождевых сточных вод с применением фильтрующих насадок. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. № 20, vol. 1. P. 19–22.