

67-72-71/1  
в.р. 23.04.2021р.

До спеціалізованої вченої ради

ДФ 35.052.056

Національного університету «Львівська політехніка»

79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

## **ВІДГУК**

офіційного опонента д-ра тех. наук, професора

**Трохименко Ганни Григорівни**

на дисертаційну роботу

**Цитлішвілі Катерини Олександрівни**

**«Екологія іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу в  
системах очистки стічних вод»**,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 101– Екологія, 10 – Природничі науки

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

В Україні на даний час однією з нагальних екологічних проблем є забруднення природних об'єктів гідросфери компонентами недостатньо очищених стічних вод, яке спричиняє негативні незворотні процеси в розвитку гідроекосистем, що супроводжуються екологічними та економічними збитками. Так, забруднення сполуками азоту зумовлює евтрофікацію водойм, яка призводить до пригнічення розвитку певних гідробіонтів і понадрозвиту інших, зміни органолептичних властивостей води, її хімічного складу (аж до неможливості її використання для питного водопостачання) та ін.

Для підвищення ефективності існуючих і створення нових систем біологічного очищення стічних вод важливі комплексні фундаментальні дослідження процесу видалення сполук азоту з водного середовища (деазотації), в тому числі для визначення кількісних показники впливу екологічних чинників на перетворення сполук азоту в стічних водах азоттрансформуючим мікробіоценозом. Одним з перспективних напрямів інтенсифікації ефективності біотехнологій очищення стічних вод є іммобілізація мікробної біоплівки на інертному носії. Азоттрансформуючі бактерії (в тому числі й нещодавно відкриті апаттох і сомтатох-бактерії) мають яскраво виражену тенденцію до прикріпленого росту і формуванню

біоплівки. Проте вплив іммобілізації на особливості деамонізації та деазотації стічних вод іммобілізованими азоттрансформуючими мікробіоценозами, до того ж на тлі високих концентрацій органічних забруднень, залишається мало вивченим. Недостатньо дослідженими також залишаються такі аспекти, як мікробний склад, особливості розвитку, трофічні та просторові відносини між азоттрансформуючими популяціями та вплив екологічних чинників на іммобілізований мікробіоценоз. Вивчення їх представляє як фундаментальний, так і практичний інтерес, оскільки на використанні іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів засновані ефективні методи біологічного очищення стічних вод від сполук азоту.

Отже, обрана автором дисертації тематика – використання екологічних властивостей іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів для глибокого вилучення сполук азоту зі стічних вод для захисту об'єктів гідросфери від евтрофікації, є дуже актуальною.

Актуальність теми дисертаційного дослідження Цитлішвілі К. О. підтверджується також й тим, що робота виконувалась у рамках виконання плану науково-дослідних робіт в лабораторії міських і виробничих стічних вод науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» за тематикою «Розроблення інноваційної технології очищення стічних вод від сполук азоту для підвищення екологічної безпеки водних об'єктів» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (№ ДР 0118U000507). «Розроблення рекомендацій щодо попередження забруднення водних екосистем концентрованими стічними водами харчової промисловості» (№ ДР 0119U102779), в якій здобувач була виконавцем окремих етапів.

До основних наукових результатів дисертаційного дослідження слід віднести наступне:

- встановлення складу іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу біодискової установки та трофічних відносини між різними азоттрансформуючими групами;
- експериментальне визначення на пілотній установці кількісних показників впливу екологічних чинників (температури, розчиненого кисню, рН середовища, органічних речовин за ХСК) на деамонізацію та деазотацію стічних вод іммобілізованим азоттрансформуючим мікробіоценозом та його окремими еколого-трофічними групами;
- удосконалення методології дослідження екології азоттрансформуючих мікробіоценозів шляхом використання мікробіологічних, фізіологічних та біохімічних показників.

## **Значимість отриманих результатів для практичного використання**

Автором на основі проведеного науково-теоретичного аналізу та експериментальних випробувань розроблено спосіб дослідження якості біологічного очищення стічних вод іммобілізованим мікробіоценозом на інертному носії з використанням комплексного лабораторного устаткування та отримано деклараційний патент України на корисну модель (Патент № 142646).

Крім того, автором розроблено екологічно безпечний спосіб очищення стічних вод від сполук азоту та розчинених органічних речовин в дисковому біореакторі до нормативних вимог для скиду у водний об'єкт та впроваджено результати дисертаційної роботи на території ГО «ФЕЛЬДМАН ЕКО-ПАРК» при модернізації системи очищення та відведення стічних вод, які утворюються на даному об'єкті при експлуатації.

## **Структура та зміст дисертації**

Робота Цитлішвілі Катерини Олександрівни виконана у Науково-дослідній установі «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП). За структурою дисертація має анотацію, вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг дисертації становить 183 сторінки, у тому числі 129 сторінок основного тексту. Дисертація містить 35 рисунків, 30 таблиць (5 таблиць займають повністю площу 5 сторінок). Перелік використаних джерел включає 200 найменувань на 22 сторінках і 3 додатки на 6 сторінках.

## **Аналіз основного змісту роботи**

Анотація є узагальненим коротким викладом основного змісту дисертації та висвітлює її основні наукові положення, висновки і рекомендації. Анотацію подано державною та англійською мовами.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення роботи, а також особистий внесок автора дисертації.

У **першому розділі**, присвяченому вирішенню наукового завдання, спрямованого на використанні екологічних властивостей іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів з вилучення сполук азоту зі стічних

вод для захисту об'єктів гідросфери від евтрофікації, автор за даними науково-технічної літератури виявив, що на основі екологічних властивостей азоттрансформуючих мікробіоценозів базуються технології біологічної очистки стічних вод від азотвмісних сполук (деамонізації та деазотації).

Досліджено та доведено, що однією із сучасних проблем України є погіршення стану водних об'єктів, викликане скидом біогенних елементів з недостатньо очищеною стічною водою. Попередження надходження сполук азоту за допомогою управління мікробіологічною деамонізацією та деазотацією стічних вод, є важливим завданням. Наразі бракує відомостей про вплив екологічних чинників на іммобілізований азоттрансформуючий мікробіоценоз у біодисковій установці. Таким чином, для вирішення нагальної проблеми є використання екологічних властивостей іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів для глибокого, екологічно безпечного, енергоощадного видалення сполук азоту зі стічних вод для захисту об'єктів гідросфери від евтрофікації.

**У другому розділі** описані об'єкти і методи експериментальних досліджень. Для досягнення поставлених завдань автором розроблено конструкцію та виготовлено лабораторну біодискову установку, яка працює в контактному та проточному режимах для обробки стічних вод різного складу іммобілізованим азоттрансформуючим мікробіоценозом, що складається з двох паралельно встановлених біореакторів. Нарощено і сформовано іммобілізовану біомасу та розроблено методологію визначення складу іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу.

Об'єктом досліджень були екологічні характеристики азоттрансформуючого мікробіоценозу, іммобілізованого на плоскому інертному носії (склад еколого-трофічних груп та їхні реакції на вплив екологічних чинників, просторові та трофічні взаємовідносини в мікробіоценозі). Автором було проведено лабораторні експерименти та натурні дослідження із застосуванням широкого діапазону методів: мікробіологічних, фізіологічних, біохімічних (інгібіторні експерименти) та гідрохімічних. Статистична обробка даних була виконана в програмі Microsoft Excel з визначенням стандартних відхилень за кожним рядом спостережень.

**Третій розділ** присвячено експериментальним дослідженням екології іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу й він включає три напрямки: визначення основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, що входять до азоттрансформуючого мікробіоценозу; визначення трофічних та просторових відношень між цими групами; визначення кількісних показників

впливу екологічних чинників на активність деамонізації та деазотації стічних вод іммобілізованим мікробіоценозом.

У ході досліджень автором виявлено, що основними трофічними взаємовідносинами еколого-трофічних груп мікроорганізмів в азоттрансформуючому іммобілізованому мікробіоценозі є мутуалізм та конкуренція. Автором проведено аналіз просторових відносин, який показав, що в поверхневому шарі біоплівки в аеробних умовах розвиваються облігатні аероби – АОБ, АОА, НОБ, та аеробні гетеротрофні деструктори, а в нижньому шарі біоплівки розвиваються аноксидні та анаеробні мікроорганізми – апатмох- та денітрифікуючі бактерії. Доведено, що органічні сполуки частково інгібували деамонізацію інкубаційного середовища нітрифікацією та практично повністю інгібували апатмох-процес.

У четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень впливу екологічних чинників (температури, концентрації кисню, рН) на перетворення азотвмісних сполук іммобілізованим мікробіоценозом при обробці стічних вод у лабораторному біореакторі в контактних умовах. Автором встановлено, що найвагомим фактором деамонізації та деазотації стічних вод цим мікробіоценозом є концентрація органічної речовини. Відмічено, що динаміка концентрації розчиненого кисню при обробці стічних вод іммобілізованим мікробіоценозом негативно корелювала з динамікою концентрації органічних сполук у системі, а концентрація  $N-NH_4$ , у першу годину обробки стічних вод практично не змінювалась через врівноваження процесів деамонізації та амоніфікації. При подальшій обробці стічних вод після видалення органічної речовини деамонізація відбувалась з постійною швидкістю.

Автором детально досліджено динаміку концентрацій неорганічних сполук азоту при обробці стічних вод у контактних умовах і встановлено, що на початку обробки іммобілізованим мікробіоценозом вона в 3 – 3,5 рази перевищувала концентрацію органічних сполук азоту. Виявлено, що активність видалення усіх органічних азотвмісних сполук (загального органічного азоту, в цілому, та білків й амінокислот, зокрема) загалом позитивно корелювала з видаленням органічних сполук. Показано, що деамонізація здебільше відбувається шляхом нітрифікації, а апатмох-процес при цьому неактивний. Розрахована питома швидкість видалення  $N-NH_4$  та  $N-NH_4 + N_{орг}$  в установці. Відмічено видалення  $N-NH_4 + N_{орг}$  при високих навантаженнях розчинених органічних сполук.

У п'ятому розділі представлено результати експериментальних досліджень впливу екологічних чинників на перетворення азотвмісних сполук

імобілізованим мікробіоценозом при обробці стічних вод у лабораторному біореакторі в проточних умовах. Автором визначено кількісний вплив екологічних чинників (розчинений кисень, рН середовища, температура, наявність органічної речовини) на деамонізацію та деазотацію середовища та оптимальні умови обробки імобілізованим мікробіоценозом у проточних умовах культивування. Встановлено, що проточні умови культивування є вагомим екологічним чинником формування імобілізованого мікробіоценоза та його метаболізму. Отже, за рахунок будови та структури сформованої та адаптованої біоплівки, просторових та трофічних відносин між еколого-трофічними групами імобілізованого мікробіоценоза, який формувався в присутності надзвичайно високих концентрацій, склалися такі умови, що дозволяють активно метаболізувати як гетеротрофним, так і автотрофним мікроорганізмам й окиснювати як органічні сполуки, так і неорганічні сполуки.

Автором досліджено та визначено ефективність видалення сполук азоту імобілізованим мікробіоценозом зі стічних вод різного складу в трьох режимах обробки в залежності від концентрації азотвмісних та органічних сполук і встановлено, що зі зменшенням концентрації органічних забруднень стало збільшуватися показники питомої швидкості видалення  $N-NH_4$  і окисної потужності біодискової установки за  $N-NH_4$ .

Висновки дисертаційної роботи повністю відповідають поставленим завданням дослідження та сформульованій науково-практичній задачі. У висновках представлені результати дослідження, його наукові положення та рекомендації.

**Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.** За темою дисертації з викладенням її основного змісту опубліковано 16 наукових праць, серед них: 5 публікацій у фахових виданнях України, 1 стаття у виданні іншої держави з напряму дисертації (zareєстровано в міжнародній базі даних InspecDirect), 1 стаття у виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, 9 тез доповідей у всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях, 1 патент на корисну модель.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Цитлішвілі К. О.** достатня. Вона базується на кваліфікованому аналізі широкого кола науково-технічних джерел, чіткому визначенні досліджуваної проблеми й постановки мети і задач дослідження, залученні великої кількості експериментальних

даних, статистичній обробці отриманих даних, зівставленні власних матеріалів із даними наукової літератури.

**Результати досліджень автора пройшли широку апробацію** на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних і науково-практичних конференціях в Україні та закордоном, неодноразово обговорювались на наукових семінарах фахівців екологів.

### **Достовірність отриманих результатів**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок дослідницьких задач, статистичною обробкою експериментальних даних. Здобувачка проводила дослідження, використовуючи сучасне обладнання і нормативні методики, які застосовують для контролю гідрохімічних показників рідких середовищ у лабораторії, що акредитована на даний вид діяльності, та оперувала сучасними методами мікробіологічних, біохімічних та фізіологічних досліджень. Достовірність запропонованих методів розрахунку перевірена шляхом зіставлення розрахункових і дослідних значень. Задовільна їх збіжність свідчить про достовірність і надійність отриманих результатів.

**Методичний рівень проведених досліджень.** Достатній ступінь достовірності та обґрунтованості наукових висновків та рекомендацій, що отримані автором, підтверджується застосуванням сучасних методів проведення вимірювань й випробувань.

### **По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. У вступі автор вказує, що удосконалила методологію дослідження екології азоттрансформуючих мікробіоценозів і застосувала при цьому, як видно з підрозділу 1.5 (**Вибір напрямку дисертаційного дослідження**) прості, недорогі та доступні методи. Проте в огляді наукової літератури вона не вказала, які ще методи (дорогі та малодоступні) наразі застосовують для вирішення цієї задачі.

2. З матеріалів другого розділу незрозуміло, який режим роботи планували при конструюванні лабораторної установки: повного витіснення (і тоді - просторову сукцесію біоценозу), або повного змішування.

3. З матеріалів другого та третього розділів незрозуміло, якими методами ідентифікували просторові відносини між еколого-трофічними групами мікроорганізмів в іммобілізованому азоттрансформуючому мікробіоценозі.

4. Чому, як видно з даних в табл. 3.10, у присутності органічних сполук швидкість деамонізації дещо вища, ніж швидкість видалення азоту усіх азотвмісних сполук?

5. Незрозуміло для чого наведені порівняльні седиментаційні характеристики активного мулу з відстійника міських очисних споруд та біомаси, винесеної з біодискової установки (табл. 4.1), адже аналіз цих властивостей не входив до завдань дисертаційного дослідження й не проводився в попередніх та в подальших розділах.

5. Як видно з даних рис. 4.6, до видалення органічної речовини за ХСК (3 год) швидкість деамонізації складала 1,2 - 2,3 мг N/(дм<sup>3</sup> год), а після деамонізації відбувається з постійною швидкістю 0,9 мг/(дм<sup>3</sup> год), що протирічить висновку автора про інгібування нітрифікації та Anammox процесу присутністю органічних речовин.

7. За логікою процесу доцільніше було б перенести пункт **4.3.2 Динаміка екологічних чинників деамонізації та деазотації стічних вод іммобілізованим мікробіоценозом при обробці в контактному режимі** в кінець розділу 4 після пункту **4.3.3 Динаміка концентрацій органічних сполук азоту при обробці стічних вод в лабораторному біореакторі іммобілізованим азоттрансформуючим мікробіоценозом в контактних умовах.**

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертація є завершеною науково-дослідною працею, в якій наведено нові наукові результати щодо екологічних властивостей азоттрансформуючих мікробіоценозів, які приймають участь у біогеохімічному кругообігу азоту, і на життєдіяльності яких базуються технології біологічної очистки стічних вод від сполук азоту. Висновки за дисертацією повною мірою охоплюють результати дослідження, повністю представлені у наукових публікаціях та є коректними. Результати проведених здобувачем досліджень мають істотне значення для галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія», зокрема, для дослідження якості біологічного очищення стічних вод за допомогою комплексного лабораторного устаткування з використанням екологічних властивостей іммобілізованих азоттрансформуючих мікробіоценозів.

Наведені недоліки не змінюють загального позитивного враження від дисертаційної роботи і можуть розглядатися як побажання для подальшої науково-дослідної роботи.

Анотацію дослідження розміщено на офіційному сайті Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних



проблем» (УКРНДІЕП) у терміни, передбачені Постановою КМУ №167 від 06.03.2019 р. «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії».

Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій».

Дисертаційна робота на тему «Екологія іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу в системах очистки стічних вод» відповідає вимогам пунктів 9-12 Постанови КМУ №167 від 06.03.2019 р. «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Цитлішвілі Катерина Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія».

#### **Офіційний опонент:**

завідувачка кафедри екології  
та природоохоронних технологій  
Національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова,  
д-р техн. наук, професор

Г. Г. Трохименко

Підпис Г. Г. Трохименко  
засвідчую

Вчений секретар Національного  
університету кораблебудування імені адмірала  
Макарова



С. А. Уткіна