

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ЗООПЕРИФІТОНУ ЗА БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

К.О. Домбровський¹, О.Ф. Рильський¹, О.В. Тертична²

¹ Запорізький національний університет (м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: donbrov1717@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6965-6989

e-mail: rylsky@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9631-1828

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

Підприємства машинобудівної галузі є найпоширенішими та найнебезпечнішими антропогенними забруднювачами навколишнього середовища. Наразі залишається невирішеним питання очищення промислових стічних вод машинобудівних підприємств, зокрема моторобудівного заводу АТ «Мотор Січ» м. Запоріжжя. За даними комплексної санітарно-технічної лабораторії моторобудівного заводу середньомісячний обсяг стічних вод за 2017 р. коливався у діапазоні від 47,86 тис. м³/міс. до 62,42 тис. м³/міс. Промислові стічні води виробництва містять солі важких металів, кислоти, луги, мастильно-охолоджувальні рідини, нафтопродукти, поверхнево-активні речовини та ін. Тому, розробка та вдосконалення сучасних біологічних методів очищення стічної води є актуальним науковим завданням сьогодення. У статті розглядається актуальне науково-практичне завдання — підвищити ефективність очищення стічної води моторобудівного заводу шляхом застосування сучасної біотехнології із використанням іммобілізованих мікроорганізмів та організмів зооперифітону. Дослідження угруповань зооперифітону проводили за стандартними методиками гідробіологічних досліджень. У роботі представлені результати дослідження структурної організації угруповань зооперифітону волокнистого полімерного носія за біологічного очищення стічних вод моторобудівного заводу від нафтопродуктів за біоконвеєрною технологією. В угрупованнях зооперифітону волокнистого носія локальних очисних споруд заводу постійно були наявні найпростіші та багатоклітинні водні безхребетні. Зооперифітон волокнистого носія складався з 14 таксономічних груп (рослинних і тваринних джгутикових, голих і черепашкових амеб, сонцевиків, інфузорій, коловерток, веслоногих і гіллястовуєчих ракоподібних, турбеларій, нематод, олігохет, гастротрих та червоногих моллюсків). За біологічного очищення стічних вод заводу щільність угруповань зооперифітону коливалась від 0,61 тис. екз./м² до 4465,1 тис. екз./м², а біомаса була у межах 0,21–11,37 г/м². Проведений аналіз подібності угруповань зооперифітону показав, що 90% угруповань були подібними між собою за таксономічним складом, а індекс Соренсена був у межах 0,48–0,80. Застосування сучасної біотехнології на локальних очисних спорудах заводу забезпечує високу ефективність очищення стічних вод від нафтопродуктів на рівні 31–73%.

Ключові слова: водна екосистема, угруповання гідробіонтів, екологічна структура, видове різноманіття, антропогенний вплив.

ВСТУП

Питання якості водного середовища давно є однією з найважливіших проблем людства, що цілком зрозуміло, якщо врахувати характер і масштаби забруднення різноманітних водних екосистем. На сьогодні зростає надходження стічних вод до поверхневих водних об'єктів набуває характеру глобальної екологічної загрози [1].

Ефективність технології очищення промислових стічних вод перед скидом їх у природні водні екосистеми — один із основних чинників, що визначає рівень антропогенного навантаження на стан водного середовища [2].

За біологічного очищення стічних вод в умовах очисних споруд дуже важливими є розробка та застосування нових методів, які істотно підвищують ефективність використання мікроорганізмів-деструкторів.

У цьому питанні вкрай важливим є не лише пошук (селекціонування) нових штамів мікроорганізмів, але й застосування біотехнологічних рішень, які дають можливість збільшити щільність біомаси, видове різноманіття не тільки бактеріальних популяцій, а також угруповань зооперифітону. Тому використання волокнистих полімерних носіїв для іммобілізації (прикріплення) мікроорганізмів-деструкторів та організмів зооперифітону, привертає дедалі більшу увагу в Україні та інших країнах протягом останніх десятиліть.

За іммобілізації мікроорганізмів та угруповань зооперифітону на волокнистий полімерний носій створюють такі умови існування організмів, які знижують стресове навантаження як на бактеріальну клітину, так і на організми зооперифітону внаслідок негативного впливу важких металів, токсичних хімічних речовин (вуглеводнів), і в такий спосіб покращують (інтенсифікують) процес біологічного очищення промислових і господарчо-побутових стічних вод.

До останнього часу недостатньо уваги приділялося питанню щодо вивчення структурної організації, практичного значення іммобілізованих угруповань зооперифітону волокнистого полімерного носія за біологічного доочищення стічних вод. Дослідження даного питання у подальшому дасть змогу більш ефективно використовувати біологічний потенціал певних організмів зооперифітону під час очищення промислових стічних вод моторобудівного заводу.

Тому **метою досліджень** є з'ясувати структурну організацію угруповань зооперифітону волокнистого полімерного носія за біологічного очищення стічних вод заводу АТ «Мотор Січ» за біоконвеєрною технологією.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Технології біологічного очищення стічних вод є одними з перспективних та сучасних методів відновлення якості води до її питного стану. Як засвідчує практика їх застосування, однією з основних перешкод

для їх широкого впровадження є низька концентрація біомаси у споруді та значні витрати на рециркуляцію активного мулу [3]. Цю проблему допомагає вирішити використання різноманітних носіїв для іммобілізації мікроорганізмів за рахунок їх природної здатності закріплюватися на твердій поверхні носія [4].

Відомими українськими вченими П.І. Гвоздяком та Л.І. Глобою [5; 6] теоретично обґрунтовано ефективність застосування в біотехнологіях очищення промислових і господарсько-фекальних стічних вод іммобілізованих мікроорганізмів, що підтверджено результатами досліджень і роботою очисних споруд, реконструйованих або заново побудованих за розробленими біотехнологіями. Враховуючи важливість нового підходу до проблеми біологічного очищення води, дослідженнями в цій галузі займалися такі вчені: П.І. Гвоздяк, Л.І. Глоба, Г.М. Дмитренко, Н.Ф. Могилович, Н.І. Подорван, Л.А. Саблій, В.С. Жукова, М.В. Бляшина, Мальований, Ю.Г. Масікевич, А.Ю. Масікевич, М.П. Колотило, С.В. Кононцев. Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіамінвмісних промислових стічних вод за принципом біоконвеєра викладено у наукових працях [4–11].

Організми зооперифітону — одне з основних біотичних угруповань, що характеризується високим видовим і таксономічним багатством та різноманіттям, і має важливе екосистемне та індикаторне значення. Продовжуючи думку провідних вчених [12], воно є цілісним структурним елементом, бере активну участь у внутрішньоводійних процесах та має тісні взаємозв'язки з іншими біотичними та абіотичними складовими, є тим біологічним об'єктом, який надає можливість вивчення закономірностей, механізмів, сутностей природних процесів та явищ.

До одного з сучасних напрямів в екології водних екосистем відносяться дослідження перифітону, як екологічного угруповання, що відіграє важливу роль у функціонуванні угруповань [13; 14]. Специфіка біотопу на розділі фаз «твердий субстрат —

вода» визначає складну просторову і таксономічну структуру угруповань прикріплених організмів, їх біорізноманіття з широким спектром біотичних відносин, обумовлених топичною конкуренцією.

Залежність прикріплених форм від субстрату, що є основним елементом біотопу для перифітону, зумовлює необхідність вивчення його особливостей [15]. До того ж формування структури угруповань залежить від характеру субстрату і пов'язано з його архітектонікою. Складність формування прикріплених угруповань — одна з основних причин недостатньої вивченості тонких процесів, що відбуваються на розділі твердої і рідкої фаз.

Практична значимість вивчення прикріплених угруповань зростає у зв'язку з прогресивною антропогенною трансформацією водних екосистем. Так, виявлені процеси евтрофікації, особливо виражені у різноманітних мілководних водних екосистемах, супроводжуються інтенсивним заростанням, що створює для перифітонних організмів великі та різноманітні субстрати. На особливу увагу заслуговує проблема появи у водних об'єктах нових за якістю субстратів і значного зростання їх площі за рахунок господарської діяльності та зараршення [13].

Угруповання зооперифітону є одним із найрізноманітніших компонентів гідроекосистем, і саме вони, завдяки надзвичайному різноманіттю форм, утворюють складні трофічні ланцюги під час утилізації органіки в процесах самоочищення водних екосистем. Інформація про структурну організацію, функціонування, різноманіття угруповань зооперифітону волокнистого полімерного носія в умовах очисних споруд за біологічного очищення стічних вод на території України у штучних гідробіоценозах залишається вкрай обмеженою. Недостатньо інформації навіть про їх кількісну та якісну структуру, про їх роль і значення у внутрішньоводоймних процесах штучних екосистем за біологічного очищення різноманітних стічних вод.

Існує невелика кількість публікацій, у яких перелічені найпростіші та інші гідро-

біонти забруднених природних вод та очисних споруд, де для їх іммобілізації використовували волокнистий полімерний носій. Перші дослідження щодо біоценозу перифітонних обростань волокнистого носія типу «ВІЯ» були опубліковані у роботах Л.І. Глоби та ін. [6].

За даними Л.А. Саблій [8], за біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод (молокозаводів, солодового заводу та шкіряних заводів) був встановлений видовий склад іммобілізованого біоценозу мікроорганізмів вільноплаваючого активного мулу і біообростань волокнистого носія «ВІЯ» аноксидних і аеробних біореакторів технології анаеробно-аеробного очищення стічних вод. У біоценозі обростань волокнистого носія виявили найпростіших та інших безхребетних, а саме: безбарвних джгутикових, раковинних амеб, інфузорій, коловерток, олігохет, нематод, личинок двокрилих.

Вченими М. Blyashyna, V. Zhukova, L. Sabliy [9] в іммобілізованому біоценозі вільноплаваючого активного мулу волокнистого носія було зафіксовано інфузорій, черепашкових амеб, коловерток та олігохет за біологічного очищення міських стічних вод від сполук нітрогену та фосфору в анаеробних, аноксидних та аеробних умовах.

Згідно з дослідженнями М.В. Бляшиної [10], під час видалення із господарчопобутових міських стічних вод органічних забруднень, сполук азоту і фосфору за технологією проточного типу (послідовно розташованими 4 зонами з анаеробними, аноксидними, анаеробними та аеробними умовами) був встановлений видовий склад біоценозу іммобілізованого активного мулу. В складі біоценозу активного мулу ідентифіковано коловерток, круговійчастих інфузорій, черепашкових амеб та тваринних джгутиконосців роду *Vodo*. В аеробних умовах кількість видів перевищувала 10, тоді як в аноксидних умовах — до 5.

За даними М. Malovanu, A. Masikevych et al. [11], за очищення поверхневих вод річкової мережі Покутсько-Буковинських Карпат за допомогою волокнистого носія

«ВІЯ» у водотоці Солонець р. Сірет було виявлено видовий склад та кількісні характеристики угруповання перифітону. Ідентифіковано 12 видів та підвидів гідробіонтів, більшість з яких належать до амфібіотичних комах (одноденки, веснянки, волохокрильці, двокрилі) — 6 таксонів, коловертки і інфузорії представлені 2 таксонами відповідно. Інші систематичні групи (турбеларії, нематоди) були подані по одному виду відповідно.

Тому, попри численні дослідження, питання щодо існування структурної організації угруповань зооперифітону волокнистого носія типу «ВІЯ» за біологічного очищення стічних вод є важливим як для вирішення суто практичних завдань, так і для розвитку теоретичної екології, насамперед, на рівні організації екологічних систем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Технологічний процес очищення промислових стічних вод заводу АТ «Мотор Січ» спочатку передбачає роздільну нейтралізацію кислотно-лужних і хромвмісних забруднених оборотних вод гальванічного виробництва на центральних очисних спорудах. Стічні води, що містять кислоти, луки, солі важких металів, нафтопродукти, відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини збираються самостійною каналізаційною мережею і подаються на очисні споруди. Після знешкодження та нейтралізації очищені стічні води надходять на доочистку на локальні очисні споруди механічної очистки (ЛОС-53, ЛОС-54 та ЛОС-57). Усі локальні очисні споруди заводу представлені типовими залізобетонними горизонтальними відстійниками (резервуарами), кожен із яких містить чотири секції розміром 20×50 м і завглибшки 3,45 м. У кінці кожної секції відстійників розташовані ємності з керамзитним завантаженням для біологічного доочищення стічних вод. Після локальних очисних споруд очищені води відводяться до малої річки Мокра Московка в межах м. Запоріжжя.

Дослідження проводили за стандартними методиками гідробіологічних досліджень [16]. Відбір проб здійснювали шляхом змиву зооперифітону з поверхні волокнистого полімерного носія за загальноприйнятими методиками з доповненнями та уточненнями, які були опубліковані нами раніше [17]. Одночасно виконували вимірювання площі поверхні волокнистого носія, з яких було змито зооперифітон. Проби відбирали в експериментальній секції локальних очисних спорудах (ЛОС-54) заводу АТ «Мотор Січ» на двох ділянках секції — на початку встановлених 76 плотиків із волокнистим полімерним носієм та в кінці секції (після встановлених плотиків). Плотики розміром $1,50 \times 0,54$ м були устатковані в такий спосіб, щоб вони перекривали всю площу поверхні води експериментальної секції відстійника очисної споруди (рис. 1). До дна кожного плотика було прикріплено волокнистий носій. Носій прикріплювали до плотика так, щоб під час розміщення його у воді він був занурений у водну товщу. Встановлення плотиків із волокнистим носієм здійснювали для того, щоб провести іммобілізацію гідробіонтів в умовах очисної споруди.

Первинну іммобілізацію мікроорганізмів та організмів зооперифітону на волокнистий носій проводили в аеротенку центральних каналізаційних очисних споруд Лівого берега (ЦОС-1) підприємства «Водоканал» м. Запоріжжя впродовж 24 діб (рис. 2). Потім волокнистий носій із іммобілізованими організмами вилучали із аеротенку ЦОС-1 та транспортували до очисної споруди заводу АТ «Мотор Січ», де і розміщували його в експериментальній секції відстійника очисної споруди на початку стоку промислових стічних вод.

Відбір проб зооперифітону здійснювали з березня по листопад 2017 р. Кількісний підрахунок організмів зооперифітону виконували на живому матеріалі методом прямого підрахунку із урахуванням площі поверхні волокнистого носія. Для вимірювання лінійних розмірів організмів використовували окуляр-мікромір. Визначення біомаси організмів — розрахун-



Рис. 1. Встановлені плотики із полімерним волокнистим носієм в експериментальній секції ЛОС-54



Рис. 2. Волокнистий полімерний носій, який встановлювали в аеротенку ЦОС-1 м. Запоріжжя

ковим методом за лінійними розмірами. Дані щодо індивідуальних мас окремих видів інфузорій отримали з публікації [18]. Щільність і біомасу організмів було пере-рахувано на 1 м² поверхні субстрату.

Ідентифікацію організмів зооперифітону проводили за допомогою відповідних визначників водних безхребетних [19–22]. За визначення використовували біокуляр МБС-10 та мікроскопи Micromed XS-5510, Біолам Р-14. Для оцінки подібності таксономічного складу угруповань зооперифітону застосовували коефіцієнт подібності Соренсена [23].

Хімічний аналіз стічних вод ЛОС-54 у пробах, відібраних із березня по листопад 2017 р., було здійснено в акредитованій на технічну компетентність комплексній санітарно-технічній лабораторії (КСТЛ) заводу АТ «Мотор Січ».

Для обробки результатів використовували стандартні статистичні методики: середні величини обчислювали як середні арифметичні, варіабельність оцінювали за стандартним відхиленням. Розрахунки виконували у середовищі програми MS Excel 2021.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

До локальної очисної споруди ЛОС-54 заводу потрапляли виробничо-зливові стічні води в обсязі від 47,86 тис. м³/міс. до 62,42 тис. м³/міс.

Хімічні показники стічної води очисної споруди ЛОС-54 за даними КСТЛ моторобудівного заводу коливались у широкому діапазоні. Концентрації забруднювальних речовин за досліджений період були у межах, мг/дм³: залізо загальне – 0,18–0,20; амоній-іони – 0,10–2,10; нітрит-іони – 0,29–1,20; нітрат-іони – 1,91–8,20; хлориди – 356,6–365,2; сульфати – 63,50–65,65; фосфат-іони – 1,03–1,13; фториди – 0,31–0,32; мінералізація – 960,0–967,0; завислі речовини – 9,80–9,85; іони міді – 0,007–0,0089; іони алюмінію – 0,0457–0,050; іони нікелю – 0,0089–0,0119; іони хрому (III) – 0,0041–0,0053; іони хрому (VI) – 0,001; іони свинцю – 0,0450–

0,0558; іони цинку – 0,009–0,01; іони натрію – 161,9–169,5; нафтопродукти – 0,132–9,704; аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) – 0,025–0,061; розчинений кисень – 4,22–6,47; ступінь забруднення стічних вод нестійкими органічними речовинами визначали за біохімічним споживанням кисню за 5 діб (БСК₅) – 3,80–3,85 і за хімічним споживанням кисню (ХСК) – 23,5–25,0.

Проаналізувавши дані щодо середньої концентрації хімічних речовин стічних вод моторобудівного заводу, що надходять до експериментальної секції відстійника ЛОС-54 за досліджений період 2017 р. виявлено перевищення нормативів гранично допустимих скидів (ГДС) за середніми показниками за такими компонентами (нафтопродукти, іони нікелю, азот амонійний, азот нітритний). Середні концентрації іонів нікелю та нафтопродуктів перевищували нормовані значення ГДС у 1,1 і 5,6 раза, відповідно. Перевищення концентрацій азоту амонійного та азоту нітритного від ГДС у стічних водах за середніми показниками було на рівні 1,6 та 1,2 раза, відповідно. За досліджений період максимальне перевищення концентрацій хімічних речовин від ГДС у стічній воді було зафіксовано для нафтопродуктів, азоту амонійного, азоту нітритного та іонів нікелю у межах 49,8; 3,8; 2,9 та 1,3 раза, відповідно. За біологічного очищення виробничо-зливових стічних вод із використанням волокнистого носія майже постійно реєструвалось перевищення концентрації нафтопродуктів від показника ГДС в 26 пробах із 27 (96% проб).

За результатами досліджень у зооперифітоні волокнистого полімерного носія очисних споруд ЛОС-54 заводу АТ «Мотор Січ» було зареєстровано 135 видів, які відносяться до трьох екологічних груп – протистоперифітону, мікрозооперифітону та макрозооперифітону. З них 99 таксонів належить до підцарства *Protozoa* та 36 – до *Metazoa*.

Максимальною кількістю видів було представлено угруповання протистоперифітону (99 таксонів), які належать до

6 таксономічних груп — рослинних джгутикових, тваринних джгутикових, голих амєб, черепашкових амєб, сонцевиків та інфузорій. В угрупованні протистоперифітону за кількістю видів істотно домінували інфузорії, які становили 84% (83 таксони) від загальної кількості видів найпростіших. Мікрозооперифітон був представлений коловертками (17 видів), копеподами (2 види), кладоцерами (2 види), гастротрихами (1 вид), турбелляріями (1 вид) та нематодами (1 вид). Угруповання макрозооперифітону складалось із 10 таксонів. Олігохети були подані 9 видами, червоногі молоски — 1 таксоном (табл. 1).

Порівнюючи угруповання зооперифітону різних ділянок експериментальної секції відстійника очисної споруди, зазначимо, що найбільшим видовим багатством характеризувалась кінцева ділянка секції,

після плотиків із волокнистим носієм. Тут у літній період було зафіксовано 58 видів зооперифітону за біологічного очищення стічних вод.

Кількісні показники організмів зооперифітону волокнистого носія на початку експериментальної секції відстійника варіювали у певних межах. Щільність угруповань змінювалась від 0,61 тис. екз./м² до 4465,1 тис. екз./м², а біомаса була у межах 0,21–11,37 г/м². У кінці експериментальної секції відстійника щільність угруповань зооперифітону була у діапазоні 893,92–6815,0 тис. екз./м², а біомаса варіювалась від 0,38 г/м² до 16,04 г/м². Максимальні показники щільності зооперифітону (4404,40±1542,02 тис. екз./м²) були зареєстровані в угрупованнях у весняний період на початку експериментальної секції відстійника, де домінували організ-

Таблиця 1. Таксономічний склад зооперифітону волокнистого полімерного носія в 2017 р.

Таксони	Період		
	весна	літо	осінь
Таксономічна структура (кількість видів)			
Протистоперифітон			
<i>Phytomastigophorea</i>	—	5,0% (3)	3,0% (2)
<i>Zoomastigophorea</i>	—	1,75% (1)	1,5% (1)
<i>Heliozoa</i>	2,0% (1)	3,0% (2)	3,0% (2)
<i>Gymnamoebia</i>	2,0% (1)	8,0% (5)	6,0% (4)
<i>Testacealobosia</i>	2,0% (1)	—	—
<i>Testaceafilosea</i>	—	—	3,0% (2)
<i>Ciliophora</i>	54,0% (28)	46,0% (29)	53,0% (35)
Мікрозооперифітон			
<i>Rotatoria</i>	21,0% (11)	14,0% (9)	14,0% (9)
<i>Gastrotricha</i>	—	1,75% (1)	1,5% (1)
<i>Turbellaria</i>	—	1,75% (1)	1,5% (1)
<i>Cladocera</i>	2,0% (1)	3,0% (2)	—
<i>Copepoda</i>	4,0% (2)	3,0% (2)	1,5% (1)
<i>Nematoda</i>	5,5% (3)	3,0% (2)	3,0% (2)
Макрозооперифітон			
<i>Oligochaeta</i>	7,5% (4)	8,0% (5)	7,5% (5)
<i>Gastropoda</i>	—	1,75% (1)	1,5% (1)
Загальна кількість видів	52	63	66

ми протистоперифітону. Вони становили 80% щільності угруповання зооперифітону за середніми показниками переважно за рахунок значного розвитку популяцій інфузорій. Показники біомаси угруповань зооперифітону залежали від розвитку макрозооперифітону (як олігохет, так і червононогих моллюсків) й навпаки були вищими в кінці експериментальної секції в середньому в 1,8 раза (табл. 2).

В експериментальній секції відстійника ЛОС-54 за біологічного очищення промислових стічних вод проби зооперифітону відбирали на початку встановлених плотиків із волокнистим носієм і в кінці (після встановлених плаваючих несучих елементів). Тому, нами досліджувались загалом п'ять угруповань зооперифітону в умовах очисної споруди: на початку експериментальної секції відстійника (у весняно-осінній період) та в кінці секції (у літньо-осінній період).

Аналіз схожості зооперифітонних угруповань за індексом Соренсена показав (табл. 3), що відносно значні зв'язки були зареєстровані майже між всіма досліджуваними угрупованнями експериментальної секції відстійника очисної споруди, тобто ці угруповання гідробіонтів були подібними між собою за таксономічним складом. Тільки угруповання зооперифітону на початку секції у весняний період відрізнялось від угруповання даного біотопу в осінній період за видовим складом гідробіонтів.

На основі аналізу подібності угруповань зооперифітону волокнистого носія була виділена група видів, які постійно траплялись в угрупованнях гідробіонтів. У протистоперифітоні переважали за зустрічальністю виключно представники найпростіших, інфузорії-бактеріофаги — *Aspidisca cicada* (Müller), *Stentor roeseli* Ehrenberg, *Vorticella microstoma* Ehrenberg, *Carchesium polypinum* (Linnaeus) та не-

Таблиця 2. Кількісні показники та домінантні групи зооперифітону волокнистого носія на різних ділянках експериментальної секції в 2017 р.

Період	Ділянки експериментальної секції відстійника			
	на початку секції		в кінці секції	
	щільність, тис. екз./м ²	біомаса, г/м ²	щільність, тис. екз./м ²	біомаса, г/м ²
Весна	2847,60 ± 1,31*	1,63 ± 0,51*	—	—
Літо	4404,40 ± 1542,02*	2,94 ± 1,76*	3449,46 ± 1039,20*	3,68 ± 2,52*
Осінь	3055,43 ± 25,31*	2,06 ± 1,97*	3316,24 ± 1083,61*	4,45 ± 3,38*
Домінанти	<i>Ciliophora</i> 1 + <i>Gastropoda</i> 2		<i>Rotatoria</i> 1 + <i>Gastropoda</i> 2	

Примітки: (—) — ділянки, з яких не здійснювався відбір проб; 1 — домінанти за щільністю; 2 — домінанти за біомасою; * — дані достовірні за $p=0,05$.

Таблиця 3. Схожість угруповань зооперифітону волокнистого носія за коефіцієнтом подібності Соренсена

№	1	2	3	4	5
1	1	0,60	0,48	0,53	0,58
2		1	0,71	0,80	0,78
3			1	0,65	0,72
4				1	0,72
5					1

Примітки: 1 — початок секції весна; 2 — початок секції літо; 3 — початок секції осінь; 4 — кінець секції літо; 5 — кінець секції осінь.

вибіркова всеїдна інфузорія *Coleps hirtus* Nutzch. В угрупованні мікрозооперифітону серед «масових» видів постійно траплялась бделоїдна коловертка-мікрофаг (бактеріо-альго-детритофаг) — *Rotaria rotatoria* (Pallas) та веслоногий ракоподібний (альгофаг) — *Diacyclops bisetosus* (Rehberg). Отже, за біологічного очищення промислових стічних вод заводу в угрупованнях зооперифітону волокнистого носія «ВІА» очисної споруди переважають гідробіонти, які витримують помірне антропогенне навантаження у вигляді забруднених стоків.

Загалом, за використання волокнистого полімерного носія для біологічного очищення промислових стічних вод заводу АТ «Мотор Січ» від нафтопродуктів було встановлено, що в експериментальній секції відстійника, на вході максимальна концентрація нафтопродуктів 9,704 мг/дм³ у стічній воді була у другій декаді червня, а мінімальна — 0,571 мг/дм³ у третій декаді липня. Вміст нафтопродуктів у стічній воді очисної споруди після 40 плотиків знизився та коливався у межах 0,186–1,404 мг/дм³, в кінці секції — (0,329–4,072 мг/дм³). Тому, концентрація нафтопродуктів в експериментальній секції за очищення стічної води знизилась (за середніми показниками) після 76 плотиків від 1,835±0,810 мг/дм³ до 0,619±0,353 мг/дм³. Ефективність очищення промислових стічних вод заводу від нафтопродуктів за запропонованою біотехнологією після 40 плотиків та в кінці експериментальної секції відстійника була на рівні 53–86% і 31–73%, відповідно.

Отримані результати підтверджують ефективність очищення промислових стічних вод моторобудівного заводу від нафтопродуктів за впровадженою біоконвеєрною технологією, де для іммобілізації мікроорганізмів-деструкторів та організмів зооперифітону використовували плотики із волокнистим полімерним носієм. Отже,

ці дані мають практичну значущість для впровадження сучасних ефективних методів біологічного очищення стічних вод моторобудівного заводу та аналогічних машинобудівних підприємств, які дадуть можливість зменшити рівень антропогенного навантаження і сприятимуть покращанню стану поверхневих водних об'єктів у межах урбанізованої території.

ВИСНОВКИ

Зооперифітон волокнистого полімерного носія складався із 135 видів гідробіонтів, які належать до трьох екологічних груп — протистоперифітону (99 види), мікрозооперифітону (17 видів) та макрозооперифітону (10 видів). В угрупованні зареєстровано 14 систематичних груп — рослинні джгутикові, тваринні джгутикові, голі амеби, черепашкові амеби, сонцевики, інфузорії, коловертки, копеподи, кладоцери, черевовійчасті, війчасті черви, нематоди, олігохети та черевоні молюски.

На початку експериментальної секції відстійника щільність угруповань зооперифітону змінювалась від 0,61 тис. екз./м² до 4465,1 тис. екз./м², а біомаса була у межах 0,21–11,37 г/м². У кінці секції щільність угруповань була у діапазоні 893,92–6815,0 тис. екз./м², а біомаса змінювалась від 0,38 г/м² до 16,04 г/м².

Під час дослідження видової подібності угруповань зооперифітону за індексом Соренсена було встановлено відносно значні зв'язки майже між всіма угрупованнями експериментальної секції відстійника ЛОС-54, тобто ці угруповання зооперифітону були подібними між собою за таксономічним складом.

Ефективність очищення зливових стічних вод від нафтопродуктів (за середніми показниками) у кінці експериментальної секції відстійника ЛОС-54 була на рівні 62%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ісаєнко, В. М., Маджд, С. М., Панченко, А. О., & Бондар, А. М. (2018). Водоохоронні заходи з підвищення екологічної безпеки виробничих стічних вод промислових підприємств. *Науковий журнал «Екологія та технології»*, 4(40), 437–442. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.40.13269>.
2. Kulikova, D. V., & Pavlychenko, A. V. (2016). Estimation of ecological state of surface water bodies in coal

- mining regions as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 62–70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_4_10.
3. Iurchenko, V., & Tkachenko, S. (2024). Implementation of the sludge biotic index for control and optimization of the biological treatment process. *Environmental problems*, 9(3), 164–171. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2024.03.164>.
 4. Жукова, В. С. (2018). Застосування носіїв іммобілізованих мікроорганізмів для ефективного біологічного очищення стічних вод. У К. О. Шурська, Д. С. Колтишева (Ред.), *Екологічні біотехнології та біоенергетика: матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського* (с. 31–34). Київ: Видавництво Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/97e16a46-b6d9-4219-aebd-0ebf24951d9a/content>.
 5. Гвоздяк, П. І., Сапура, О. В., & Чехівська, Т. П. (2015). Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіамінмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопичувачі. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки: зб. наук. пр.*, 1(69), 102–110. URL: <https://ep3.nuwmm.edu.ua/4635/>
 6. Глоба, Л. І., & Подорван, Н. І. (2001). Біотехнологія очищення забрудненої природної води. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Біологія*, 6(4), 65–66.
 7. Іванова, І. М., Шатохіна, Ю. В., Сапура, О. В., & Тичина, Д. О. (2015). Вплив стічних вод, що містять гексаметилендіамін, на життєдіяльність гідробіонтів активного мулу. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10), 21–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.48881>.
 8. Саблій, Л. А. (2013). *Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: моногр.* Рівне: НУВГП.
 9. Blyashyna, M., Zhukova, V., & Sablyi, L. (2018). Processes of biological wastewater treatment for nitrogen, phosphorus removal by immobilized microorganisms. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2(10), 30–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127058>.
 10. Бляшина, М. В. (2015). *Анаеробно-аеробне очищення міських стічних вод з використанням волокнистого носія*. [Автореф. дис. канд. техн. наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»].
 11. Malovanyu, M., Masikevych, A., Masikevych, Y., Blyzniuk, M., Tymchuk, I., Zhuk, V.,... Vlasyk, L. (2022). Use of Microbiocenosis Immobilized on Carrer in Technologies of Biological Treatment of Surface and Wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, 23(9), 34–43. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/151146>.
 12. Романенко, В. Д. (2001). *Основи гідроекології*. Київ: Обереги.
 13. Protasov, A. A. (2010). Periphyton as ecological group of gydrobionts. *Journal of Siberian Federal University Biology*, 3(1), 40–56. URL: https://www.researchgate.net/publication/329917610_Periphyton_as_ecological_group_of_gydrobionts.
 14. Rylskiy, O. F., Dombrovskiy, K., Masikevych, Y., Masikevych, A., & Malovanyu, M. (2023). Evaluation of Water Quality of the Siret River by Zooperiphyton Organisms. *Journal of Ecological Engineering*, 24(6), 294–302. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/163166>.
 15. Wu, Y. (2016). *Periphyton: Functions and application in environmental remediation*. Amsterdam: Elsevier.
 16. Романенко, В. Д. (Ред.). (2006). *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод*. Київ: Логос.
 17. Dombrovskiy, K. O., & Gvozdyak, P. I. (2018). Biological afterpurification of industrial Sewage from hexamethylene diamine using Periphyton communities on the «VIYa» fibrous carrier and on the root system of *Eichhornia crassipes*. *Hydrobiological Journal*, 54(4), 63–71. URL: <https://www.dl.begellhouse.com/journals/38cb2223012b73f2,5fbfc3df179c8b53,57570fea2407afd6.html>.
 18. Nesterenko, G. V., & Kovalchuk, A. A. (1991). Determination of the ciliates individual mass by the improved «volumes ratio» method. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 19(1), 23–28. DOI: <https://doi.org/10.1002/ahch.19910190104>.
 19. Ricci, C., & Melone, G. (2000). Key to the identification of the genera of bdelloid rotifers. *Hydrobiologia*, 418, 73–80. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1003840216827>.
 20. Kriska, G. (2022). *Freshwater invertebrates in Central Europe — a field guide*. Switzerland: Springer.
 21. Foissner, W. & Berger, H. (1996). A user friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biol.*, 35, 375–482.
 22. Foissner, W., & Fritz, W. (2004). Life and legacy of an outstanding ciliate taxonomist, Alfred Kachl (1877–1946), including a facsimile of his forgotten monograph from 1943. *Acta Protozoologica, (Suppl.)*, 43, 3–69.
 23. Sorensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. Kongelige Danske Videnskabsbernes, Selskab. *Biologiske Krifter*, 5(4), 1–34.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 09.01.2026
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.02.2026
 Дата публікації: 10.04.2026