

Відгук
офіційного опонента
доктора біологічних наук, професора
Лукаша Олександра Васильовича
на дисертаційну роботу
Чвалюк Галини Василівни
«Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних
водойм на прикладі водосховища “Тернопільський став”»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за галуззю знань 09 – Біологія та спеціальністю 091 – Біологія

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Рецензоване дисертаційне дослідження Чвалюк Галини Василівни присвячене вирішенню однієї з найгостріших екологічних та біологічних проблем сучасності – деградації та евтрофікації прісноводних екосистем під впливом масштабного антропогенного навантаження.

Аналіз сучасного стану поверхневих вод України за останні століття демонструє стійку тенденцію до погіршення їхнього гідрохімічного режиму, що проявляється у зростанні мінералізації, накопиченні органічних речовин та надмірному концентруванні біогенних елементів (азоту і фосфору). Особливо критично ці процеси протікають в умовах урбанізованих ландшафтів та інтенсивного ведення сільського господарства, де домінує дифузне надходження забруднювачів. Окрім зовнішнього навантаження, вагомим дестабілізуючим чинником є внутрішнє самозабруднення водойм – ремобілізація фосфору й азоту з донних відкладів за умов гіпоксії, що підтримує високий рівень трофності навіть за обмеження зовнішніх скидів.

У цьому контексті дослідження Чвалюк Г. В., спрямоване на екологічне відновлення штучних прісних водойм (на прикладі водосховища «Тернопільський став»), є надзвичайно своєчасним. Особливої актуальності та наукового інтересу роботі додає застосування біологічного методу регулювання гідрохімічного стану шляхом інтродукції та спрямованого введення штамів зелених мікроводоростей, зокрема *Chlorella vulgaris*. Такий підхід дозволяє біологічним шляхом стабілізувати вміст амонію та фосфатів, стримувати процеси токсичного «цвітіння» води та оптимізувати трофічну структуру екосистеми.

Таким чином, високий рівень антропогенної трансформації гідроекосистем України, необхідність пошуку дієвих, екологічно безпечних біотехнологій їхнього відновлення та потреба у вирішенні локальних екологічних проблем Тернопільського водосховища безперечно обґрунтовують актуальність і практичну значущість обраного авторкою напрямку досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Дисертаційне дослідження Чвалюк Г. В. має чітке прикладне спрямування та виконувалось у межах науково-дослідної теми

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка «Альгологізація Тернопільського ставу зеленими мікроводоростями (хлорела і сценедесмус)» (договір № 21 із КП «ОПКіВ м. Тернополя» від 10.02.2022 р.).

Вагомим підтвердженням наукової та практичної цінності отриманих авторкою результатів є їх впровадження у реальний сектор та правова охорона інтелектуальної власності. Зокрема, за участю здобувачки розроблено та отримано патент на корисну модель «Спосіб оптимізації екологічного стану води у водосховищах» (пат. 162855 Україна, опубл. 30.04.2026, Бюл. № 17), майнові права на який належать Національному університету біоресурсів і природокористування України.

Практична реалізація та висока соціально-екологічна значущість роботи підтверджується також інтеграцією її результатів у Програму Тернопільської міської ради «Міське озеро – візит до міста Тернополя» (проект «зелена кімната»), успішна презентація та реалізація елементів якої відбулася 27 квітня 2026 року. Це свідчить про високий ступінь готовності розроблених дисертанткою біотехнологічних підходів до впровадження у практику муніципального екологічного менеджменту.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна дисертаційного дослідження Чвалюк Г. В. є комплексною і полягає у розробці та теоретико-експериментальному обґрунтуванні нових біотехнологічних підходів до відновлення антропогенно трансформованих прісноводних екосистем.

До найбільш вагомих результатів, що визначають наукову новизну роботи, слід віднести наступне:

- вперше розроблено та науково обґрунтовано практичні рекомендації щодо екологічного відновлення штучних водойм, які чітко адаптовані до специфічних гідробіологічних та гідрохімічних умов Тернопільського ставу;
- удосконалено схему екологічного моніторингу та управління станом урбанізованих водойм через впровадження концепції стратегічного зонування акваторії (на прикладі виділених ділянок «Галичина», «Опілля», «Циганка»), що дозволило реалізувати принцип локальної альголізації у місцях найбільшого антропогенного та біогенного навантаження;
- дістало подальший розвиток розуміння фундаментальних механізмів міжвидової конкуренції між зеленими мікроводоростями порядку *Chlorococcales* та ціанопрокаріотами (*Cyanophyta*);
- аргументовано та експериментально підтверджено можливість і ефективність використання зелених мікроводоростей як активних біологічних агентів детоксикації.

Практичне значення.

Прикладний характер дисертаційного дослідження Чвалюк Г. В. є чітко вираженим, а отримані результати мають вагоме значення для практичної гідроекології та муніципального екологічного менеджменту.

До основних елементів, що визначають практичну цінність роботи, належать: 1) розробка технологічних та методичних рекомендацій (формульовані авторкою прикладні підходи щодо нормування, дозування та регламенту внесення біомаси зелених мікроводоростей можуть бути безпосередньо впроваджені в практику діяльності водоохоронних організацій, басейнових управлінь водних ресурсів та комунальних підприємств, які займаються оздоровленням та експлуатацією міських прісноводних об'єктів); 2) очищення стічних вод (експериментальні дані щодо високої ефективності біосорбції металів альгокультурами мають очевидну перспективу використання при проєктуванні та модернізації локальних очисних споруд, зокрема для біологічного очищення промислових і зливових стічних вод від важких металів); 3) реальне впровадження у міське середовище (надвисокий рівень практичної реалізації дослідження підтверджується тим, що його ключові положення та розробки були офіційно інтегровані в Програму Тернопільської міської ради «Міське озеро – візит до міста Тернополя».

Таким чином, результати дисертації не лише розширюють теоретичну базу, а й пропонують готові до впровадження екологічно безпечні біотехнологічні рішення для покращення якості водного середовища урбанізованих територій.

Повнота викладення основних наукових результатів в опублікованих працях.

Чвалюк Г. В. має достатній доробок друкованих робіт. За результатами досліджень опубліковано 22 праці, в тому числі 4 статті у фахових виданнях, 1 патент та 17 матеріалів тез доповідей на з'їздах та конференціях.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Для досягнення мети (теоретично обґрунтувати ефективність біотехнологічного методу реабілітації Тернопільського ставу на основі використання зелених мікроводоростей *Chlorella sp.* для зменшення наслідків багатофакторного антропогенного навантаження (аграрного та урбанізованого) та стабілізації екологічного стану водойми, що сформована на заплавах територіях) Чвалюк Г. В. визначила необхідним поставити і вирішити низку завдань, сформульованих у дисертації, що і було нею успішно зроблено.

Чвалюк Г. В. на високому науково-методичному рівні виконала і обґрунтувала результати своїх досліджень, зібрала об'ємний вихідний матеріал, проаналізувала його, сформулювала висновки. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації Чвалюк Галини Василівни мають високий ступінь обґрунтованості, що зумовлюється аналізом та узагальненням сучасних літературних джерел за темою дисертації, результатами польових, лабораторних та експериментальних досліджень, їх

глибоким аналізом з професійним використанням загальнонаукових та спеціальних підходів та методів, а також практичною цінністю.

Важливим внеском для комплексного аналізу процесів евтрофікації, розробки схем екологічного моніторингу та біотехнологічного відновлення Тернопільського водосховища є підсумки досліджень Чвалюк Галини Василівни, викладені у висновках, які становлять наукову базу для продовження цієї роботи. Висновки повною мірою відповідають поставленим завданням. Вони сформульовані досить аргументовано, логічно, чітко.

Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який нараховує 145 назв (з них 68 латиною), та 20 додатків. Обсяг основного тексту рукопису становить 136 сторінки, загальний обсяг – 206 сторінок, що включають 64 рисунки.

Аналізуючи Розділ I «Екологічні та біогеохімічні механізми трансформації прісноводних екосистем за участю фітопланктону», слід відзначити високий теоретичний рівень проведеного здобувачкою аналізу наукової літератури та фондових матеріалів. Схвальним є те, що авторка не обмежилася загальнотеоретичним описом процесів антропогенної евтрофікації та порушення біогеохімічних циклів азоту й фосфору, а глибоко спроектувала ці закономірності на специфіку екосистеми Тернопільського водосховища, зокрема через оцінку негативного впливу урбанізованих приток (р. Рудка). Науково виправданим і глибоко обґрунтованим видається вибір об'єкта дослідження – зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* Beijerinck, морфо-біологічні особливості якої (інтенсивний автоспорогенез, ефективний фотосинтез та сорбційна здатність клітинної стінки) детально розглянуті як вагомні чинники біологічної конкуренції з токсичними ціанобактеріями. Позитивно характеризує роботу також вдале поєднання історичного аспекту трансформації техногенного пресу на став із аналізом практичних результатів альголізації протягом 2021–2025 років, що підтверджено офіційними даними експлуатуючих організацій у додатках та логічно доводить необхідність подальшого вивчення механізмів адаптації мікроводоростей до мультифакторного забруднення.

Під час оцінювання Розділу II «Матеріали та методи досліджень» варто підкреслити ретельність та комплексність сформованої методологічної бази дослідження. Цілком виправданим і логічно обґрунтованим є те, що авторка застосувала збалансований підхід, поєднавши в один аналітичний блок фізико-хімічні (температура, рН, розчинений кисень, БСК₅, ХСК, концентрації важких металів) та біологічні показники, які комплексно відображають трофічний стан водойми. Доречним і науково коректним видається включення до моніторингу детального спектра сполук азоту та фосфатів, оскільки саме вони є лімітуючими чинниками евтрофікації. Позитивною характеристикою розділу є також суворе дотримання

методологічних стандартів: нормативна інтерпретація всіх отриманих експериментальних результатів здійснювалася здобувачкою з чітким урахуванням чинних гранично допустимих концентрацій для водойм відповідного призначення, що гарантує високу точність, надійність та порівнюваність накопичених даних.

Щодо змісту Розділу III «Дослідження фізико- та гідро-хімічних характеристик водного середовища» першочергово слід відзначити масштабність та високу аналітичну точність проведеного моніторингу. Схвальним є те, що здобувачка детально простежила еволюцію гідрохімічного обличчя Тернопільського ставу у період з 2020 по 2025 роки, зафіксувавши закономірності переходу системи від стану вираженої дестабілізації до поступової стабілізації на тлі специфічного гідротемпературного режиму. Доречним та науково виправданим є авторське виділення явища «лінеаризації показників» вмісту заліза, магнію та цинку, що переконливо доводить відновлення загальної цілісності екосистеми як єдиного злагодженого механізму. Окремої уваги та позитивної оцінки заслуговує глибокий аналіз ефекту літнього «просідання» концентрації цинку до мінімальних значень ($0,0026 \text{ мг/дм}^3$), який аргументовано доводить провідну роль процесів інтенсивної біосорбції мікробіодоростями у місцях керованої альголізації. Цілком обґрунтованим видається також висновок про якісну трансформацію азотного та фосфатного режимів у 2023–2025 роках: послідовний і рельєфний спад рівнів амонійних сполук, нітратів та фосфатів по створах слугує беззаперечним, прямим індикатором високої функціональної ефективності впроваджених авторкою біоремедіаційних заходів та свідчить про формування стійкого вектора до оздоровлення гідрохімічного середовища і самовідновлення водойми під впливом керованих біологічних чинників.

Аналізуючи Розділ IV «Сезонна динаміка фітопланктону та функціонування екосистеми Тернопільського ставу в сезонному аспекті» першочергово варто виділити високу наукову цінність отриманих даних про функціональні зміни у водоймі. Схвальним є те, що дисертантка узагальнила показники метаболізму водосховища через фундаментальне співвідношення продукційно-деструкційних процесів (A/R), чітко продемонструвавши домінування продукційної активності у літньо-осінні періоди при одночасному зниженні деструктивного навантаження взимку. Доречним та науково обґрунтованим видається висновок про те, що запуск біоремедіаційних заходів ініціював глибоку перебудову нутрієнтного циклу, результати якої стали статистично достовірними й остаточно закріпилися протягом 2023–2025 років. Позитивно характеризує роботу термодинамічний та системний підхід авторки, який дозволив експериментально підтвердити здатність екосистеми до відновлення біологічної стійкості за умов адекватного біотехнологічного втручання. Виявлені здобувачкою закономірності є надійною науковою основою для сталого управління якістю води в урбанізованих водоймах та подальшої розробки стратегій екологічної реабілітації подібних гідрооб'єктів.

У Розділі V «Узагальнення та інтерпретація результатів ревіталізації водосховища “Тернопільський став”» здійснений глибокий, системний аналіз та узагальнення всіх отриманих результатів. Обґрунтованим та науково виправданим є висновок здобувачки про те, що впровадження методу керованої альголізації штамом *Chlorella vulgaris* забезпечило системну трансформацію гідроекосистеми та ініціювало її перехід до стану стійкої біологічної стабілізації. Схвальним є те, що авторка детально розкрила біогеохімічні механізми цього процесу: від нормалізації газового режиму й оптимізації водневого показника (pH 7,11) до створення умов гострого трофічного дефіциту для аборигенних токсичних ціанобактерій та формування сорбційного бар'єра для важких металів. Особливої уваги та високої оцінки заслуговує включення до аналізу вищих ланок трофічної піраміди, зокрема оцінка фізіологічного та антиоксидантного статусу іхтіофауни, що переконливо доводить оздоровлення екосистеми на всіх ієрархічних рівнях. Доречним та цілком виправданим є фінальний висновок розділу про те, що запропонований біотехнологічний підхід забезпечує формування керованого гомеостазу прісноводної екосистеми та гарантує її функціональну стійкість у довгостроковій перспективі.

Необхідно відзначити виключно високу практичну та прикладну цінність під час аналізу Розділу VI «Практичні рекомендації та стратегія ревіталізації Тернопільського ставу методом керованої альголізації». Схвальним є те, що запропонована здобувачкою керована альголізація розглядається не як локальний метод очищення, а як комплексна, екологічно м'яка стратегія ревіталізації, що базується на природному потенціалі *Chlorella vulgaris*. Науково виправданим і доречним видається чітке визначення температурного порогу (прогрів води до 10–12 °C) для початку інтродукції, що дозволяє альгокультурі закріпитися в екосистемі до масового розмноження ціанобактерій. Позитивно характеризує роботу розроблений автором лабільний графік регулювання обсягів внесення біомаси залежно від погодних умов та рівнів амонійного азоту. Особливої уваги заслуговує обґрунтування технології розосередженого розпилення суспензії з плавзасобів для досягнення ефекту лінеаризації якості води по всій акваторії, що ліквідує застійні зони та активізує сорбційні бар'єри у місцях зливових стоків. Доречним та глибоко вмотивованим є фінальний підсумок розділу, згідно з яким запропонована програма дій вдало поєднує наукову обґрунтованість адаптаційних механізмів мікроводоростей із реальними потребами міської екосистеми. Впровадження цих рекомендацій дозволяє не лише покращити санітарний стан води, а й відновити життєздатність усієї водойми, створюючи умови для сталого функціонування Тернопільського ставу як стабільного природного об'єкта, здатного до самовідновлення навіть під постійним техногенним тиском.

Дисертація «Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних водойм на прикладі водосховища “Тернопільський став”» є структурованим, цілісним і завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати у напрямку з'ясування

екологічних особливостей функціонування фітопланктону та механізмів біоремедіації урбанізованих водних екосистем, що практично спрямовані на відновлення природного екологічного стану водойм, стримування процесів евтрофікації та забезпечення сталого екологічного менеджменту поверхневих вод. Кваліфікаційна наукова праця Чвалюк Галини Василівни повністю відповідає чинним вимогам щодо оформлення дисертаційних робіт, що подаються на здобуття ступеня доктора філософії.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Дисертація є самостійним дослідженням Чвалюк Г. В. Авторкою чітко визначено мету, завдання, основні цілі та концепцію досліджень, сформовано висновки і підготовлено матеріали для публікацій у фахових наукових виданнях та отримання патенту на корисну модель. Особисто проведено аналіз інформаційних джерел за тематикою дослідження, визначено план та проведено польові, лабораторні й експериментальні дослідження, узагальнено результати та проведено статистичну обробку отриманих даних. У роботі не виявлено привласнення чужих ідей, здобутків, результатів досліджень без належного цитування. Наукові результати та висновки інших авторів дисертанткою використано з посиланням на відповідні джерела. Це дає підстави вважати, що у дисертації Чвалюк Галини Василівни порушення академічної доброчесності відсутні.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

1. *Щодо структуризації та інтеграції матеріалу між розділами (узгодженість гідрохімічних та біологічних закономірностей).* У Розділі III авторка приділила надзвичайно багато уваги позонному і посезонному дослідженню фізико- та гідрохімічних показників водойми, а кисневий режим та показники органічного забруднення (БСК₅, ХСК) винесла в окремий підрозділ 3.3. Водночас у підрозділі 4.2 Розділу IV ці ж показники розглядаються знову, але вже у контексті функціонування всієї водойми через співвідношення продукційно-деструкційних процесів (A/R). Варто підкреслити, що результати Розділу IV (динаміка біомаси фітопланктону та сукцесії) пояснюються та детально пов'язуються зі змінами гідрохімічних показників (Розділ III). Проте для підсилення сприйняття матеріалу з причинно-наслідкових позицій видається більш доцільним у ширшому обсязі та чіткіше інтегрувати дані розділу III у розділ IV для пояснення сезонної динаміки фітопланктону, щоб уникнути розриву, коли хімічні зміни і біологічні сукцесії розписані окремо.

2. *Щодо адаптивності інтродукованого штаму в зимовий період.* Згідно з даними підрозділу 4.1.1, у суворий зимовий період 2024 року, коли температура води падала до мінімальних значень ($1,60 \pm 0,42$ °C, як зазначено у Розділі III), співвідношення біомас змістилося у 13,6 рази на користь введеної культури *Chlorella* sp. порівняно з аборигенними ціанобактеріями. Зважаючи на те, що зелені мікрододорості зазвичай є

теплолюбними організмами, такий значний сукцесійний зсув та інтенсивне витіснення синьо-зелених в умовах крижаної води викликає глибокий науковий інтерес. Бажано, щоб у роботі детальніше були пояснені фізіолого-біохімічні чи екологічні механізми, які дозволили інтродукованому штаму *Chlorella* sp. зберігати таку високу конкурентоспроможність.

3. *Щодо просторової неоднорідності та «аномалій» на моніторингових створах.* Матеріали дисертації (підрозділи 4.1.2–4.1.5) фіксують чітку просторову неоднорідність: в усі сезони абсолютним лідером за чисельністю та біомасою хлорели є створ Т4 (де біомаса влітку досягала пікових 2,06 мг/дм³). Разом із тим, у літній період 2025 року на створі Т8 було зафіксовано локальний спалах біомаси аборигенних ціанобактерій (до 0,62 мг/дм³). У зв'язку з цим у роботі можливо варто було б вказати якими саме гідрологічними, морфометричними чи локальними антропогенними особливостями відрізняються створи Т4 та Т8, а також з'ясувати, чи не свідчить цей сплеск синьо-зелених на Т8 про необхідність коригування обсягів або частоти локальної альголізації саме для цієї зони акваторії.

4. *Щодо довгострокової стабільності коефіцієнта A/R та ризиків вторинного забруднення.* У підрозділі 4.2 аргументовано показано, що екосистема ставу перебуває у стані сезонної рівноваги, де весняно-літня продукція компенсується осінньо-зимовою деструкцією. Проте влітку та восени фіксується стрімке зростання біомаси фітопланктону (насамперед за рахунок хлорели), що супроводжується підвищенням значень БСК₅, ХСК та накопиченням органіки, яка згодом піддається деструкції. Авторці доцільно було б окреслити: чи існують ризики того, що у довгостроковій перспективі (наприклад, через 5–10 років постійної альголізації) надмірна відмерла біомаса самої хлорели почне створювати деструкційне навантаження та викличе ризик вторинного забруднення водойми, а також доцільним було б окреслити, які превентивні екологічні заходи (наприклад, стимулювання вищих трофічних ланок чи іхтіофауни для виїдання водоростей) пропонуються для уникнення цього процесу.

Висловлені зауваження мають дискусійний зміст і не зменшують загальну високу наукову та практичну цінність дисертаційного дослідження Чвалюк Г. В., а лише підкреслюють його багатогранність та актуальність.

Загальний висновок

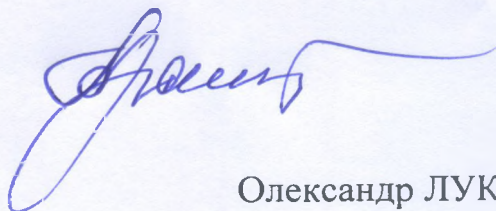
Дисертаційна робота Чвалюк Галини Василівни «Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних водойм на прикладі водосховища «Тернопільський став»», яка подана до захисту у разову спеціалізовану вчену раду, створену відповідно до рішення вченої ради Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, на здобуття ступеня доктора філософії за

спеціальністю 091 – Біологія (галузь знань 09 – Біологія), за змістом повністю відповідає спеціальності 091 – Біологія.

Кваліфікаційна наукова праця за своїми актуальністю, науково-теоретичним рівнем, обґрунтованістю основних результатів, основними положеннями і результатами, опублікованими у фахових виданнях, новизною постановки проблеми та практичним значенням повністю відповідає вимогам пп. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024, та «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019. Авторка кваліфікаційної наукової праці, Чвалюк Галина Василівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 09 – Біологія за спеціальністю 091 – Біологія.

Офіційний опонент:

Доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри екології, географії та
природокористування Національного
університету «Чернігівський колегіум»
імені Т. Г. Шевченка



Олександр ЛУКАШ

