

Відгук офіційного опонента
кандидата біологічних наук, старшого наукового
співробітника відділу екології водяних рослин та токсикології
Інституту гідробіології НАН України
Незбрицької Інни Миколаївни
на дисертаційну роботу Чвалюк Галина Василівна
«Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних
водойм на прикладі водосховища «Тернопільський став»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 09
«Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія»

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Дисертаційне дослідження Чвалюк Г.Є. присвячене вирішенню важливої науково-практичної проблеми – теоретичному обґрунтуванню та експериментальному підтвердженню ефективності біотехнологічного методу відновлення Тернопільського ставу на основі використання зелених мікроводоростей (зокрема видів *Chlorella* sp.) для нівелювання наслідків багатофакторного антропогенного навантаження. Відомо, що міські водойми зазнають значного антропогенного впливу, наслідком чого є погіршення якості води, накопичення органічних забруднювальних речовин, надлишковий вміст неорганічних сполук азоту та фосфору й посилення процесів евтрофікації. Унаслідок цього знижується біорізноманіття, порушується екологічна рівновага водних екосистем, погіршується їхнє рекреаційне та господарське значення. Традиційні фізико-хімічні методи очищення води часто потребують значних матеріальних витрат і можуть спричиняти додатковий негативний вплив на навколишнє середовище. Тому особливий інтерес викликає застосування екологічно безпечних біологічних методів відновлення водних об'єктів. Одним із перспективних напрямів є альголізація – використання штамів певних видів мікроводоростей для покращення стану водойм. Завдяки здатності мікроводоростей поглинати надлишок біогенних речовин, насичувати воду киснем та інтенсифікувати природні процеси самоочищення, цей метод розглядається як ефективний інструмент оздоровлення водних об'єктів. Водночас питання оцінки ефективності альголізації в різних екологічних умовах та оптимізації її застосування залишаються недостатньо дослідженими. Враховуючи вищевикладене, актуальність дисертаційної роботи Чвалюк Г.Є. не викликає сумнівів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в межах науково-дослідної теми «Альгологізація Тернопільського ставу зеленими мікроводоростями (хлорела і сценедесмус)» (договір № 21 ТНПУ ім. В. Гнатюка з КП «ОПКіВ м. Тернополя» від 10.02.2022 р.). Дисертаційне дослідження виконувалося також в рамках реалізації Програми Тернопільської міської ради «Міське 9 озеро - візит до міста Тернополя».

Аналіз структури та змісту дисертації. Дисертаційна робота Чвалюк Г. В. складається з анотацій українською та англійською мовами, списку опублікованих праць за темою дисертації, переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та 20 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 205 сторінок. Список використаних джерел налічує 145 найменувань, з яких 68 – латиницею.

У *вступі* дисертанткою обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Чітко сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувачки. Наведено інформацію про публікації, у яких відображено основні результати дисертаційної роботи, а також відомості щодо апробації її основних положень на науково-практичних конференціях та з'їздах.

У *першому розділі* «Екологічні та біогеохімічні механізми трансформації прісноводних екосистем за участю фітопланктону» розглянуто питання взаємозумовленості фізіолого-біохімічних адаптацій фітопланктону та фізико-хімічного режиму водного середовища в умовах евтрофікації; роль мікроводоростей у регулюванні кисневого режиму та деструкції органічних речовин у прісних водоймах; біогеохімічну трансформацію і метаболічну роль магнію, феруму та цинку в прісноводних екосистемах, а також наведено характеристику району досліджень і біологічних об'єктів дослідження.

У *другому розділі* «Матеріали та методи досліджень» наведено характеристику пунктів відбору проб, описано особливості відбирання, консервування та транспортування проб води для подальшого гідрохімічного аналізу. Детально представлено методики визначення гідрофізичних показників (температури, рН, концентрації розчиненого кисню), гідрохімічних параметрів води (концентрацій амонійного, нітритного та нітратного азоту, фосфору фосфатів, вмісту розчинних у воді форм металів), а також

гідробіологічних показників (чисельності та біомаси фітопланктону, співвідношення продукційно-деструкційних процесів).

У *третьому розділі* «Дослідження фізико- та гідро-хімічних характеристик водного середовища» дисертантка висвітлила результати власних досліджень щодо просторово-часових змін температури води та водневого показника (pH). Також вона проаналізувала динаміку есенціальних і важких металів та просторово-часові зміни концентрацій біогенних речовин. Аналіз вмісту важких металів дозволив авторці виявити важливу закономірність: початкова неоднорідність і значна амплітуда коливань між трансформованими зонами (такими як гирло р. Рудка чи район Опілля) та чистими плесами до кінця дослідження практично нівелювалися. Аналіз динаміки біогенних речовин у Тернопільському ставі протягом 2023–2025 рр. вказує на трансформацію азотного та фосфатного режимів, що відображає перехід екосистеми до стадії функціонального відновлення.

У *четвертому розділі* «Сезонна динаміка фітопланктону та функціонування екосистеми Тернопільського ставу в сезонному аспекті» дисертантка детально характеризує динаміку чисельності й біомаси *Chlorella* sp. та *Cyanobacteria*. Авторкою простежено закономірності розвитку цих таксонів у сезонному розрізі та в локальному масштабі – за обраними точками моніторингу, що дозволило комплексно оцінити просторово-часові зміни альгоценозу. Важливою складовою розділу є аналіз продукційно-деструкційних процесів, які слугують базовим індикатором стану водойми. Отримані нею результати підтверджують здатність екосистеми до відновлення біологічної стійкості за умов адекватного біотехнологічного втручання.

У *п'ятому розділі* «Узагальнення та інтерпретація результатів ревіталізації водосховища «Тернопільський став» показано, що впровадження методу керованої альголізації штамом *Chlorella* sp. забезпечило системну трансформацію екосистеми досліджуваної водойми. Основним вектором цих змін стало відновлення природних механізмів самоочищення шляхом спрямованого регулювання структури фотоавтотрофної ланки. Завдяки інтенсивній вегетації зеленої мікродорості вдалося нормалізувати газовий режим. Це дозволило змінити домінуючі біогеохімічні процеси в товщі води. Суттєве зниження концентрації амонійного азоту та розчинених фосфатів не лише покращило загальну якість води, а й створило умови їх дефіциту для токсичних ціанобактерій.

У шостому розділі «Практичні рекомендації та стратегія ревіталізації Тернопільського ставу методом керованої альголізації» наведено методологічне обґрунтування стратегії керованої альголізації як інструменту регенерації, а також описується комплекс біотехнологічних заходів для практичної реалізації механізмів стабілізації гідрохімічного профілю та досягнення ефекту лінеаризації екосистеми. Дисертанткою доведено, що ефективність практичних кроків безпосередньо залежить від їхньої синхронізації з природними циклами водойми. Особливу увагу приділено досягненню ефекту лінеаризації – стану, за якого якість води стає рівномірною на всій площі дзеркала ставу. Для цього рекомендовано відмовитися від точкового внесення суспензії на користь її розосередженого розпилення з плавзасобів. Такий підхід усуває проблему локальних застійних зон, де зазвичай накопичуються біогени та метали.

Робота завершується *висновками*, у яких узагальнено результати дослідження відповідно до поставленої мети та завдань. Висновки відображають основні наукові положення, отримані в ході роботи, та підкреслюють їх значення для подальшого розвитку досліджень у даній галузі.

Наукова новизна отримання результатів: авторкою вперше запропоновано та науково обґрунтовано комплекс рекомендацій щодо відновлення Тернопільського ставу з урахуванням його екологічних особливостей, визначено оптимальні дози та періодичність внесення біомаси. Удосконалено систему екологічного моніторингу водойми на основі функціонального зонування її акваторії для здійснення «адресних» альгологічних заходів. Поглиблено наукові уявлення про роль міжвидової конкуренції *Chlorococcales* та *Cyanophyta* у стримуванні розвитку токсичних форм фітопланктону; аргументовано можливість використання мікрowodоростей як активних агентів детоксикації металевого навантаження в урбанізованих водоймах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені дисертанткою технологічні та методичні рекомендації можуть бути впроваджені в практику діяльності водоохоронних організацій і комунальних підприємств з метою оздоровлення міських водойм. Результати дослідження процесів біосорбції металів мають практичну цінність для вдосконалення систем очищення стічних вод. Крім того, одержані авторкою результати використано під час реалізації Програми Тернопільської міської ради «Міське озеро – візитівка міста Тернополя» (проект «Зелена кімната»).

Прикладну цінність й новизну наукових рішень підтверджено патентом України на корисну модель «Спосіб оптимізації екологічного стану води у водосховища» (пат. 162855 Україна; МПК C02F 3/34 (2023.01), A61K 36/05 (2006.01)).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень. Наукові положення, висновки та узагальнення, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та достовірними. Їх надійність підтверджується результатами комплексних досліджень, виконаних із застосуванням сучасних і загальноновизнаних методів гідрохімічного, альгологічного та статистичного аналізу. Достовірність отриманих результатів забезпечується значним обсягом фактичного матеріалу та тривалим періодом спостережень.

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, у тому числі 2 статті у фахових наукових виданнях України, віднесених до категорії А, та 2 статті у фахових наукових виданнях України, що належать до категорії Б. Практичну цінність отриманих результатів підтверджено патентом на корисну модель. Основні результати дослідження пройшли апробацію на всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференціях та з'їздах, за матеріалами яких опубліковано 17 тез доповідей. Це свідчить про достатній рівень апробації та повноту висвітлення основних положень дисертаційного дослідження в наукових працях.

Відсутність порушення академічної доброчесності. Дисертаційна робота Чвалюк Г. В. виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Використання ідей та результатів інших авторів супроводжується належними посиланнями на відповідні джерела.

Питання для дискусійного обговорення та зауваження щодо роботи:

У процесі ознайомлення з рукописом дисертаційної роботи виникли окремі запитання та зауваження:

- 1) Аналіз переліку публікацій за темою дисертаційного дослідження (ст. 16) свідчить про наявність наукових статей, опублікованих у співавторстві. Водночас у роботі не міститься вичерпної інформації щодо особистого внеску здобувачки у підготовку кожної з цих публікацій. Наведення таких відомостей

сприяло б більш повному висвітленню її внеску в отримання та оприлюднення результатів дослідження.

- 2) З метою більш чіткого структурування дисертаційної роботи характеристику району досліджень доцільно було б подати в окремому розділі, а не включати її до розділу, присвяченого огляду літератури з сучасного стану проблеми.
- 3) На ст. 8 авторка зазначає, що досягнуто «...вирівнювання якості води по всій акваторії до рівня, що відповідає нормативним вимогам ГДК_{рибг} та можна трактувати як «добрий екологічний стан» згідно з Директивою 2000/60/ЕС. Проте, таке твердження є не зовсім коректним, оскільки наведені в роботі результати відображають переважно гідрохімічний стан водного середовища і не можуть слугувати достатньою підставою для визначення «доброго екологічного стану» відповідно до вимог Водної рамкової директиви. Аналогічні зауваження стосуються формулювання висновків № 2 та 6 до дисертаційної роботи.
- 4) На мій погляд, висновок до розділу 5, у якому зазначено, що «...Глибокі зміни гідрохімічного профілю позитивно позначилися на вищих ланках трофічної піраміди, зокрема на фізіологічному та антиоксидантному статусі іхтіофауни. Стабілізація середовища сприяла нормалізації метаболічних процесів у тканинах риб, що є прямим індикатором оздоровлення екосистеми на всіх ієрархічних рівнях її організації...» (ст. 169) є зайвим, оскільки питання фізіологічного та антиоксидантного статусу іхтіофауни не були предметом дослідження дисертантки.
- 5) У роботі наведено дані щодо зниження чисельності токсичних ціанобактерій у 2,5–3 рази. Чи не могло таке зниження показників кількісного розвитку ціанобактерій бути зумовлене комплексним впливом різних чинників? Зокрема, чи можна розглядати виявлений ефект як результат сукупної дії внесення культури *Chlorella* sp. та особливостей, наприклад, гідрологічного режиму в досліджуваний період?
- 6) Оцінюючи якість оформлення дисертаційної роботи, слід звернути увагу на певні редакційні, технічні та стилістичні огріхи. Наприклад, на ст. 81, 86 у поєднанні з висновком про відсутність статистично значущих відхилень використано « $p < 0,05$ », замість $p > 0,05$. На окремих графіках (рис. 3.18, 3.35, 3.47) не повністю відображені підписи до осі абсцис. У тексті трапляються некоректні/стилістично невдалі вислови, наприклад: «гідрохімічне обличчя водойми», «початкова хаотичність», ««просідання» показників», «критичні

літні місяці», «водойма «трофічного хаосу»» та ін. Також звертає на себе увагу недостатньо ретельне оформлення списку використаних джерел.

Проте висловлені зауваження та побажання не мають принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертація містить особисто отримані здобувачкою науково обґрунтовані результати, є цілісним, завершеним і самостійним науковим дослідженням.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Чвалюк Галина Василівна на тему «Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних водойм на прикладі водосховища «Тернопільський став» за актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам «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 № 44 від 12 січня 2022 року (зі змінами), та наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами). На підставі викладеного вище вважаю, що Чвалюк Галина Василівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія».

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник

відділу екології водяних рослин та токсикології

Інституту гідробіології НАН України,

кандидат біологічних наук

Інна НЕЗБРИЦЬКА

