

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**кандидат біологічних наук, доцент кафедри біохімії та біотехнології,**  
**заступника директора ННІБХБ з наукової роботи Чернівецького**  
**національного університету імені Юрія Федьковича**  
**Чебан Лариси Миколаївни,**  
**на дисертаційну роботу Чвалюк Галини Василівни**  
**на тему «Використання зелених мікроводоростей для покращення стану**  
**прісних водойм на прикладі водосховища «Тернопільський став»**  
**для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія»,**  
**галузі знань 09 «Біологія»**

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний стан водних екосистем України характеризується посиленням антропогенного навантаження, що проявляється у погіршенні якості води, зростанні рівня евтрофікації, накопиченні токсичних речовин та втраті здатності водойм до природного самовідновлення. Особливо гостро ці процеси виявляються в урбанізованих водосховищах, які одночасно зазнають впливу природних особливостей формування, аграрного освоєння водозбірних територій та інтенсивної господарської діяльності міських агломерацій. У зв'язку з цим розроблення ефективних, екологічно безпечних і економічно обґрунтованих технологій відновлення водних екосистем є одним із пріоритетних напрямів сучасної гідробіології та природоохоронної практики.

Тернопільський став є урбанізованим водосховищем, що зумовлює його природну схильність до накопичення органічної речовини та розвитку евтрофікаційних процесів через постійне внутрішнє біогенне навантаження. Екологічний стан водойми додатково погіршується внаслідок надходження сполук азоту і фосфору з агроландшафтів водозбірного басейну Серету, а також впливу міських джерел забруднення, зокрема зливових стоків, мікрозабруднювачів, важких металів і залишків агрохімікатів. Сукупна дія природних, аграрних та урбанізованих чинників спричиняє інтенсивний розвиток ціанобактерій, порушення кисневого режиму, зниження рекреаційної цінності водойми та зростання екологічних ризиків.

Традиційні інженерні методи очищення водойм часто потребують значних фінансових витрат і не завжди забезпечують довготривалий екологічний ефект. У зв'язку з цим актуальним є застосування біотехнологічних підходів, заснованих на природних механізмах саморегуляції екосистем. Перспективним напрямом є використання мікроводоростей роду *Chlorella*, які здатні асимілювати біогенні елементи, покращувати кисневий режим води та брати участь у процесах біоремедіації. Водночас питання адаптації технологій альголізації до умов урбанізованих водойм із комплексним природним, аграрним та міським навантаженням залишається недостатньо вивченим.



Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного вивчення механізмів деградації Тернопільського ставу та розроблення науково обґрунтованої біотехнологічної системи його відновлення на основі використання *Chlorella* sp., що сприятиме підвищенню екологічної стійкості водойми, покращенню якості водного середовища та формуванню практичних засад реабілітації антропогенно змінених водойм України.

**Наукова новизна, теоретична та практично цінність результатів дослідження.** Наукова новизна роботи полягає у комплексному дослідженні механізмів деградації урбанізованого водосховища та науковому обґрунтуванні біотехнологічного підходу до його екологічної реабілітації із застосуванням зелених мікроводоростей *Chlorella* sp. На відміну від більшості досліджень, присвячених окремим аспектам евтрофікації або локальному покращенню якості води, у роботі вперше для Тернопільського ставу розглянуто сукупний вплив природних, аграрних та урбанізованих чинників формування екологічного стану водойми та запропоновано цілісну модель її біотехнологічного відновлення.

Уперше встановлено роль поєднання внутрішнього біогенного навантаження, пов'язаного із заплавним походженням водойми, та зовнішнього надходження біогенних речовин із водозбірною басейну річки Серет у формуванні сучасних процесів евтрофікації Тернопільського ставу. Це дозволило розширити наукові уявлення про механізми функціонування урбанізованих водосховищ, які перебувають під одночасним впливом природних і антропогенних чинників.

Уперше для умов Тернопільського ставу науково обґрунтовано параметри керованої альголізації із використанням *Chlorella* sp., визначено особливості її адаптації до місцевих гідрохімічних умов та розроблено диференційовані схеми сезонного внесення біомаси залежно від температурного режиму водойми, просторового розподілу забруднення та фаз розвитку фітопланктону. Запропоновано концепцію адресної альголізації, яка передбачає локальне застосування біотехнологічного впливу в зонах максимального надходження забруднювальних речовин.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо механізмів біологічного стримування розвитку ціанобактерій у прісноводних екосистемах. Встановлено, що формування керованої домінанти *Chlorella* sp. сприяє інтенсифікації асиміляції сполук азоту та фосфору, створює умови трофічної конкуренції з ціанобактеріями та забезпечує стабілізацію кисневого режиму водойми. Також уточнено роль мікроводоростей у процесах біосорбції та іммобілізації окремих важких металів у водному середовищі.

Теоретичне значення роботи полягає у розвитку наукових засад екологічної біотехнології та біоремедіації урбанізованих водойм. Отримані результати доповнюють сучасні уявлення про закономірності функціонування евтрофованих водних екосистем, механізми взаємодії між основними групами фітопланктону та роль мікроводоростей у процесах самоочищення водних об'єктів за умов багатofакторного антропогенного навантаження.



Практичне значення дослідження полягає у розробленні та апробації комплексу біотехнологічних заходів для оздоровлення Тернопільського ставу на основі використання *Chlorella* sp., просторового зонування акваторії та удосконалення екологічного моніторингу. Запропоновані рекомендації можуть бути використані органами місцевого самоврядування, водогосподарськими та природоохоронними установами для покращення якості води, запобігання розвитку ціанобактерій і підвищення екологічної стійкості водойм. Практична цінність результатів підтверджується їх впровадженням у природоохоронну діяльність, отриманням патенту на корисну модель та можливістю застосування розробленого підходу для відновлення інших антропогенно змінених водойм України.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, оволодіння здобувачем методологією наукового дослідження.** Наукова новизна, теоретична та практична цінність одержаних результатів не викликають сумнівів і належним чином обґрунтовані автором. Дослідження виконано на високому науково-методичному рівні із застосуванням комплексу сучасних польових, лабораторних, гідрохімічних та статистичних методів, адекватних поставлених меті та завданням роботи.

Автором враховано природні, гідрологічні та антропогенні особливості досліджуваного об'єкта, що забезпечило комплексність підходу до вирішення поставленої наукової проблеми. Достовірність отриманих результатів підтверджується значним обсягом експериментального матеріалу, тривалим періодом спостережень, репрезентативністю вибірки та залученням статистичної обробки даних. Теоретичні узагальнення ґрунтуються на результатах власних досліджень автора та узгоджуються із сучасними науковими уявленнями про функціонування водних екосистем в умовах антропогенного навантаження.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання запропонованих підходів для удосконалення заходів екологічної реабілітації та управління якістю водного середовища. Отримані результати мають важливе наукове і прикладне значення та можуть бути використані у природоохоронній діяльності, екологічному моніторингу, а також при розробленні програм відновлення урбанізованих водойм.

**Оцінка змісту дисертації.** Структура дисертаційної роботи відповідає всім необхідним вимогам стосовно об'єму, змісту та повноти викладення матеріалу. Текст дисертації викладено державною мовою з дотриманням норм наукового стилю: точність, ясність, логічність, об'єктивність. Дисертація викладена на 205 сторінках друкованого тексту (з яких 136 сторінок основної частини), наявні 20 додатків. Список літератури містить 145 джерел, у тому числі 68 зарубіжні. Робота ілюстрована 64 рисунками.

Наведені в дисертації експериментальні дані ретельно описані та узгоджується з її назвою, метою та поставленими завданнями та відповідають спеціальності 091 «Біологія».



У *Анотації* наведено стислу характеристику дисертаційної роботи, коротко представлено основні отримані результати і наведено перелік опублікованих робіт. Є переклад анотації англійською мовою.

У *Вступі* аргументовано вибір напряму дослідження та його актуальність, сформульовано мету та завдання, подано дані про публікації результатів у наукових працях та наведено інформацію про представлення результатів дослідження на наукових форумах. Описано наукову цінність та практичну важливість отриманих результатів, вказано особистий внесок авторки. Вступ завершується оглядом структури та обсягу дисертації.

У *Розділі I* детально висвітлені питання екологічних та біогеохімічних механізмів трансформації прісноводних екосистем за участю фітопланктону. Особливою перевагою є поєднання загальнотеоретичного аналізу з детальною характеристикою об'єкта дослідження, його гідрологічних, гідрохімічних та історико-екологічних особливостей. Автором належним чином обґрунтовано вибір біологічних об'єктів дослідження, висвітлено механізми взаємодії зелених мікроводоростей і ціанобактерій та показано наукові передумови використання методу альголізації для відновлення екологічного стану водойми.

*Розділ II* Матеріали та методи досліджень присвячений опису організації та методичного забезпечення дослідження якості води Тернопільського водосховища та оцінки впливу біоремедіації із застосуванням мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. У ньому висвітлено структуру мережі спостережень, характеристику пунктів відбору проб та обґрунтування їх вибору з урахуванням гідродинаміки й антропогенного навантаження. Детально описано процедури відбору, консервації та транспортування проб води, а також лабораторні методи визначення фізико-хімічних і гідробіологічних показників. Окрему увагу приділено методикам аналізу фітопланктону, розрахунку його чисельності та біомаси, а також визначенню біогенних елементів і показників органічного забруднення. Розділ також містить підхід до інтегральної оцінки трофічного стану водойми через співвідношення продукційно-деструкційних процесів і опис статистичної обробки даних.

*Розділ III* присвячений дослідженню просторово-часової динаміки фізико-та гідрохімічних характеристик водного середовища Тернопільського ставу у 2020–2025 роках. У ньому проаналізовано сезонні та міжрічні зміни температурного режиму, водневого показника, вмісту розчиненого кисню та показників органічного забруднення, а також їх просторовий розподіл у межах акваторії. Автором підсумовано, що за результатами моніторингу 2020–2025 років у Тернопільському ставі відбувся перехід гідрохімічного стану від початкової нестабільності до поступового вирівнювання та стабілізації основних екологічних показників. Встановлено зниження концентрацій біогенних речовин і низки елементів, а також зменшення просторової варіабельності, що свідчить про посилення внутрішньосистемної збалансованості та ефективність процесів самоочищення водойми. Загалом зафіксовано стійку тенденцію до оздоровлення гідрохімічного середовища та підвищення екологічної стабільності екосистеми ставу.



**Четвертий розділ** присвячений дослідженню сезонної динаміки фітопланктону Тернопільського ставу та її ролі у функціонуванні екосистеми під впливом біоре mediaційних заходів. У ньому проаналізовано зміни чисельності та біомаси *Chlorella* sp. і ціанобактерій у зимовий, весняний, літній та осінній періоди, а також їх просторовий розподіл у межах акваторії. Основним досягненням є встановлення стійкої тенденції до домінування хлорели та пригнічення ціанобактерій, що свідчить про перебудову структури альгоценозу. Доведено, що екосистема водойми функціонує як сезонно збалансована система, де продукційні процеси переважають у теплий період, а деструкційні – у холодний, забезпечуючи природну рівновагу. Загалом підтверджено ефективність біотехнологічного втручання та здатність водойми до самовідновлення і підвищення екологічної стабільності.

**Розділ V** присвячений узагальненню результатів ревіталізації водосховища «Тернопільський став» та аналізу просторово-часових змін його гідрохімічного та біологічного стану під впливом керованої альголізації. У ньому висвітлені питання зміни кисневого та нутрієнтного режимів, детоксикації водного середовища, біосорбційних процесів, а також міжвидової конкуренції фітопланктону в умовах керованої альголізації водосховища «Тернопільський став».

У **Розділі VI** висвітлені питання розробки практичних рекомендацій та стратегії ревіталізації Тернопільського ставу методом керованої альголізації. Зокрема, розглянуто методологічні засади застосування *Chlorella vulgaris* як біотехнологічного інструменту регенерації водних екосистем та обґрунтовано її роль у ініціації процесів самоочищення. Деталізовано рекомендації щодо організації біотехнологічного втручання на основі результатів багаторічного моніторингу гідрохімічних показників і динаміки фітопланктону. Окрему увагу приділено регламенту внесення мікроводоростей та оптимізації сезонних і температурних умов для підвищення ефективності альголізації. Також запропоновано підходи до стабілізації гідрохімічного профілю водойми та досягнення ефекту лінеаризації екосистемних процесів. Узагальнено доведено доцільність використання керованої альголізації як цілісної стратегії відновлення екологічної рівноваги водойми.

Потрібно відмітити, що кожен розділ роботи супроводжується висновками за розділом та списком використаної літератури або ж списком основних опублікованих робіт автора за результатами розділу.

У **Висновках** до роботи узагальнені основні результати дисертаційного дослідження, які повністю відповідають меті та поставленим завданням. Вони мають узагальнюючий характер та відображають наукову новизну отриманих результатів.

Робота завершується 20 **додатками**, в яких зокрема представлено і патент на корисну модель за авторством дисертантки.

#### **Повнота викладення матеріалів роботи у опублікованих працях**

Публікації в повному обсязі відображають зміст роботи і відповідають вимогам чинного законодавства. За матеріалами дисертаційної роботи



опубліковано 22 праці, в тому числі 4 статті у фахових виданнях, 1 патент на корисну модель та 17 тез доповідей міжнародних і національних наукових та науково-практичних конференцій.

**Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів, що виносяться на захист.** Автор самостійно проведено патентно-інформаційний пошук, здійснено регулярні польові виїзди та експерименти (2023-2025 рр.). Основний обсяг лабораторних гідрохімічних аналізів, мікроскопічний контроль та статистична обробка даних виконані автором особисто. У спільних працях внесок здобувача полягав у систематизації даних та підготовці теоретичних положень публікацій.

**Дані про відсутність текстових запозичень та порушення академічної доброчесності (академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації).** Представлені матеріали в дисертаційній роботі не порушують принципи академічної доброчесності та мають коректні посилання на відповідні літературні джерела.

#### **Зауваження до роботи**

В цілому робота справляє позитивне враження. Однак виявлено деякі неточності та некоректні твердження:

- ✓ «рослинні угруповання» мабуть доречніше використовувати термін «фітопланктонні угруповання»,
- ✓ термін «ревіталізація» нетиповий термін для гідробіології,
- ✓ надмірно оптимістичне трактування ролі *Chlorella* «роль зелених мікроводоростей стає вирішальною»,
- ✓ перебільшення ролі фотосинтетичної аерації «фотосинтетична аерація суттєво перевищує природну дифузію кисню з атмосфери», не для всіх природніх водойм це є типовим процесом,
- ✓ суперечливість щодо статусу водойми – у тексті зустрічаються різні назви «Тернопільський став», «Тернопільське водосховище», «міське озеро», таке ж зауваження і до англomовного перекладу,
- ✓ не вказано штам *Chlorella*: по тексту зустрічається і «*Chlorella* sp.», і «*Chlorella vulgaris*»,
- ✓ суперечливі фрази: «лужний зсув є маркером високої фотосинтетичної активності», «лужне середовище є несприятливим для більшості синьо-зелених водоростей» - велика кількість ціанобактерій успішно культивується при pH 8 – 10,
- ✓ амоній та фосфати - це не токсиканти в класичному розумінні, тому не дуже доречно використано термін «детоксикація»,
- ✓ у висновках до розділу 5 є твердження «позитивно позначилися на фізіологічному та антиоксидантному статусі іхтіофауни», але досліджень щодо риб не проводилося, тому таке твердження є недоречним.
- ✓ Розділ III містить великий і цінний масив польових даних та загалом демонструє позитивні зміни гідрохімічного стану Тернопільського ставу у 2023-2025 рр. Однак авторка часто ототожнює часові зміни показників із доведеним ефектом альголізації, хоча наведені дані дозволяють говорити



лише про наявність кореляції між цими явищами. Потрібно уникати надмірно категоричних формулювань і обережніше інтерпретувати причинно-наслідкові зв'язки між внесенням *Chlorella vulgaris* та змінами гідрохімічних показників водойми.

Також до авторки виникають наступні запитання:

1. Як ви відокремили ефект альголізації від природної міжрічної мінливості?
2. Чому досліджували лише кількість Mg, Fe і Zn, чим зумовлений такий вибір металів?
3. Чому обрана саме *Chlorella vulgaris* для вивчення впливу адже у додатках ми бачимо, що альголізацію проводили водоростевою пастою, яка додатково містила *Scenedesmus*?
4. Як і за якими параметрами проводилося статистичне опрацювання первинних даних, бо з тексту роботи цього незрозуміло?
5. Показник A/R у 2020-2025 роках завжди менше 1, тобто система залишається гетеротрофною, однак авторка стверджує про «біологічний гомеостаз». Чи ви пояснюєте такий висновок?

#### 10. Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи

Не зважаючи на поставлені запитання та зроблені зауваження, представлена до захисту дисертаційна робота Чвалюк Г.В. є оригінальним науковим дослідженням, при виконанні якого були вирішені всі поставлені завдання.

Вважаю, що представлена на здобуття ступеня доктора філософії дисертаційна робота Чвалюк Галини Василівни «Використання зелених мікроводоростей для покращення стану прісних водойм на прикладі водосховища «Тернопільський став»» за своєю актуальністю, методичним рівнем, науковою новизною і практичною цінністю отриманих результатів, логічністю і обґрунтованістю висновків повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та «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, а її авторка Чвалюк Г.В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія».

#### ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри біохімії та біотехнологій,  
заступник директора ІНІБХБ  
з наукової роботи  
Чернівецького національного університету  
імені Юрія Федьковича



Лариса ЧЕБАН