

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Катишевої Вікторії В'ячеславівни
«ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРИ
ПОГЛИНАННЯМ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛВМІСНИМИ
МІКРОВОДОРОСТЯМИ»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 101 Екологія (галузь знань 10 Природничі науки)

Актуальність теми дослідження. Дисертаційна робота Катишевої В.В. присвячена розв'язанню актуального на сьогодні завдання підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери шляхом поглинання вуглекислого газу хлоровмісними мікроводоростями.

Однією із 5-ти глобальних проблем у екологічній сфері на сьогоднішній день є проблема зміни клімату (парниковий ефект), яка обумовлена зростанням вмісту парникових газів, зокрема, оксиду Карбону, в атмосфері, що зумовлено антропогенними чинниками. Одним із найбільш ефективних і безпечних для довкілля методів зменшення концентрації вуглекислого газу є використання процесу фотосинтезу хлорофілвмісними мікроводоростями. Переваги хлорофілвмісних мікроводоростей над наземними рослинами полягають у їх здатності адаптуватися до несприятливих умов та поглинати у десятки разів більше вуглекислого газу за однаковий проміжок часу. Вони зберігають усі необхідні фотосинтетичні властивості при культивуванні в закритих системах. Завдяки таким властивостям мікроводоростей можна досягти ефективного очищення промислових газових викидів від вуглекислого газу. Тому вивчення особливостей процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями, таких як *Chlorella* є актуальним завданням, що наблизить Україну до виконання Паризької кліматичної угоди від 12.12.2015 р.

Зважаючи на зазначені вище положення, дисертаційна робота Катишевої В.В. відзначається високою актуальністю.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх новизна. Наукові положення, висновки та рекомендації, висвітлені у дисертації, базуються на законодавчих та нормативних положеннях екологічного права України, принципах та методах ферментативної кінетики, технологічних підходах до утилізації промислових відходів. Запропоновані наукові підходи підтверджуються повнотою опису та адекватністю фізичної моделі реальним процесам фотосинтезу. При розробленні заходів підвищення рівня екологічної безпеки використані апробовані методи ферментативної кінетики, хімічні, фізико-хімічні та фізичні методи, математичні методи обробки даних.

Достовірність отриманих результатів підтверджується відповідними обґрунтуваннями та розрахунками, коректністю запропонованих методик, порівняльним аналізом даних, які отримані на основі запропонованого

підходу, а також використанням апробованих методів математичного моделювання.

Усе це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації.

Наукова новизна виконаного дослідження. Аналіз змісту дисертаційного дослідження Катишевої В.В. дозволяє стверджувати, що здобувачка виконала всі поставлені завдання та досягла поставленої мети, а саме, на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливе завдання підвищення екологічної безпеки атмосфери шляхом поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями.

В роботі вперше отримано математичні моделі поглинання В вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями, рішення яких дозволяють розраховувати основні константи процесу очищення газових викидів від парникових газів; встановлено інгібітори та активатори процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями; встановлено зворотне інгібування діоксидом сульфуру процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями і визначено вид інгібування; визначено допустиме значення концентрацій інгібітора та оптимальне активатора за яких поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями є найбільш сприятливим.

В роботі набуло подальшого розвитку обґрунтування оптимальної температури процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями за умови присутності діоксиду сульфуру, оксидів нітрогену та інших супутніх оксидів; встановлення оптимальної довжини світлової хвилі для максимального поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями за умови присутності діоксиду сульфуру, оксидів нітрогену та інших супутніх оксидів.

Практичне значення виконаного дослідження. Отримані результати теоретичних і практичних напрацювань автора можуть бути використані як інструмент для прийняття раціональних управлінських рішень підприємством та органами екологічного контролю при розробленні програм підвищення екологічної безпеки.

Отримані результати досліджень дозволяють розробляти основи технології поглинання парникових газів та впроваджувати інноваційні методи очищення промислових газових викидів на підприємствах паливно-енергетичного комплексу та станціях переробки муніципальних відходів, тим самим наблизить Україну до виконання Паризької кліматичної угоди від 12.12.2015 р., ратифікованої Верховною Радою.

Аналіз експериментальних досліджень дозволив розробити та отримати спосіб очищення газових викидів за участі хлорофілвмісних мікрободоростей, на який отримано патент України на корисну модель, розроблено та впроваджено у навчальний процес методичні вказівки "Очищення газових викидів від вуглекислого газу біологічним методом за допомогою хлорофілвмісних мікрободоростей *Chlorella*". Наукові результати дисертаційної роботи використані у програмі лекційного курсу

«Основи промислової екології», оскільки отримані результати стосуються зменшення забруднення атмосфери вуглекислим газом в межах роботи промислових підприємств.

Враховуючи викладене, можна констатувати, що наукові положення, висновки і рекомендації, представлені у дисертації, мають достатню ступінь обґрунтованості та мають вагому теоретичну цінність і прикладну значимість.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій у наукових публікаціях, захищених за темою дисертації. Дисертаційна робота Катишевої В.В. є результатом наукових досліджень автора в області підвищення екологічної безпеки атмосфери для розвитку технологій раціонального природокористування. Проведений аналіз публікацій дозволяє стверджувати про те, що вони достатньою мірою відображають результати дисертаційного дослідження. Основні результати опубліковані у 7 наукових працях. З них – 3 статті у наукових фахових виданнях України, та тих, що належать до наукометричних баз даних (Scopus- 2, Index Copernicus – 1); 4 фахові; 1 патент на корисну модель та 9 – публікацій у збірниках тез міжнародних та всеукраїнських конференцій. Особистий внесок здобувача у виконання дисертаційної роботи підтверджується представленими документами.

Праці Катишевої В.В. відповідають п.11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167.

Проведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня, де доповідались основні положення та результати дослідження.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновку, списку використаних літературних джерел до кожного розділу, який налічує 148 найменування. Обсяг роботи складає 147 сторінок. Дисертація містить 40 рисунків, 2 таблиці.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Загальна характеристика роботи. У вступі детально обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, відображено наукову новизну одержаних результатів, їх практичне значення, викладено коротку загальну характеристику роботи.

У першому розділі «Аналіз літературних джерел» проведено аналіз літературних джерел та представлено загальну характеристику мікроводоростей *Chlorella*, розглянуто класифікацію та будову інших видів хлорофілвімісних мікроводоростей; на основі літературного аналізу вивчено умови культивування мікроводоростей *Chlorella* в залежності від температури суспензії, вмісту вуглекислого газу, мінералізації та лужно-кислотного балансу середовища і спектру освітлення; описано основне

обладнання, яке використовується для культивування мікроводоростей, описаний світовий досвід культивування мікроводоростей в промислових умовах.

У другому розділі «Методики та основні методи дослідження» описано фізико-хімічні методи аналізу; наведено методики культивування мікроводоростей для подальшого вивчення процесу приросту біомаси в залежності від температури, концентрації вуглекислого газу, довжини світлової хвилі, концентрації оксидів сульфуру та нітрогену; описано методику визначення концентрації вуглекислого газу (CO_2) за значенням рН з метою спостереження за змінами приросту мікроводоростей під його впливом; наведено схеми експериментальних установок культивування мікроводоростей в залежності від температури, за різного спектру світла та різної концентрації йонів HSO_3^- та NO_3^- ; описано основні прилади для визначення приросту біомаси мікроводоростей.

В третьому розділі «Експериментальне дослідження механізму поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями» розроблені теоретичні основи масообміну процесу біологічного поглинання вуглекислого газу мікроводоростями, вивчено основні умови приросту мікроводоростей та встановлено фази росту в умовах експериментальних досліджень, запропоновано механізм транспорту вуглекислого газу у внутрішній об'єм клітин мікроводоростей, розглянуто етапи механізму та кінетику процесу біологічного очищення газу від CO_2 , вивчено динаміку приросту біомаси мікроводоростей в залежності від концентрації вуглекислого газу в середовищі культивування мікроводоростей; кінетика поглинання вуглекислого газу мікроводоростями описується рівнянням Міхаеліса-Ментен, за приведеними методиками визначено час поділів клітин, час генерації, швидкість росту популяції мікроводоростей, часу подвоєння їх біомаси, вивчено вплив температури на динаміку поглинання вуглекислого газу мікроводоростями, що дозволило розрахувати коефіцієнти приросту (k), а також температурний коефіцієнт реакції фотосинтезу, досліджено вплив довжини світлової хвилі на динаміку приросту мікроводоростей з поглинанням вуглекислого газу, отримано відповідну аналітичну залежність $k=f(\lambda)$ коефіцієнту приросту мікроводоростей від довжини світлової хвилі.

В четвертому розділі «Встановлення виду інгібування процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями діоксидом сульфуру» досліджено вплив діоксиду сульфуру на динаміку поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями *Chlorella*, доведено відповідність експериментальних даних теорії Лайнуївера-Берка для випадку зворотнього неконкурентного інгібування, визначена константа нестійкості комплексу діоксиду сульфуру з ферментом у ферментсубстратному комплексі, знайдено співвідношення $\text{CO}_2:\text{SO}_2$, за якого може відбуватись процес фотосинтезу та приріст біомаси мікроводоростей, розраховано допустимі значення концентрацій діоксиду сульфуру для процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними

мікроводоростями у водному середовищі, вивчено вплив оксидів нітрогену ($NxOy$) на швидкість поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями у водному середовищі, отримано математичну модель приросту біомаси мікроводоростей за різних концентрацій оксидів нітрогену ($NxOy$), отримано аналітичну залежність розрахунку значень концентрації аніону HSO_3^- , за якої коефіцієнт приросту може набувати додатнього, від'ємного значення, або бути рівним нулю. Це дозволяє керувати процесом поглинання вуглекислого газу із залученням хлорофілвмісних мікроводоростей.

В п'ятому розділі «Промисловий спосіб поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями» розроблено технологічну схему поглинання парникових газів, зокрема вуглекислого газу, хлорофілвмісними мікроводоростями *Chlorella*, представлені сучасні способи переробки біомаси мікроводоростей, що застосовуються та такі, які знаходяться на стадії розробки, запропоновані можливі шляхи вирішення питання поводження з отриманою біомасою мікроводоростей в результаті очищення промислових газових викидів з урахуванням світового досвіду.

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації. Коло практичних застосувань результатів роботи не обмежується розглянутими в ній впровадженнями. Результати, які були одержані автором роботи, можуть бути використані при вирішенні завдань зниження концентрації вуглекислого газу в закритих ізольованих системах таких, як, наприклад, космічні тощо.

Дискусійні положення та зауваження по дисертації. Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід відмітити певні дискусійні положення та зауваження, а саме:

1. Некоректним є вираз «титриметрія – фізичний та фізико-хімічний метод», оскільки титриметрія відноситься до хімічних методів аналізу (стор.15.).
2. З літературного огляду слідує, що визначальним параметром впливу на здатність до зв'язування є парціальний тиск CO_2 (стор.26). Чому цей показник в подальшій роботі не досліджувався?
3. Чому саме 30 хвилин за температури $100-105^\circ C$ висушували фільтр при визначенні вмісту мікроводоростей (стор. 47), а не доводили його до постійної маси?
4. Як, за рахунок яких речовин додавали аніон NO_3^- в досліджуване середовище?
5. Чому субстратом вибрано CO_2 , а не вуглеводи, які утворюються та накопичуються в результаті фотосинтезу?
6. На чому ґрунтується допущення, що приріст біомаси описується рівняннями хімічної кінетики (стор. 93), а тип інгібування – рівняннями ферментативної кінетики (стор.113)?
7. Не зрозуміло, чому вплив SO_2 вивчався на прикладі HSO_3^- , адже ступінь окиснення сульфуру в цих сполуках різна?
8. Бажано було б привести не тільки апаратурну технологічну схему, але і векторну технологічну схему, де вказати режими технологічних процесів поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями.

9. В роботі є деякі невдалі вирази: «аміак» - амоніак (стор.30), «вуглець» - Карбон (стор. 57), «взірець» - зразок, оптична густина в деяких випадках позначається D, в інших – A, часто зустрічаються за текстом позначення йону HSO_3^{-2} , правильною є формула йону HSO_3^- , «вуглеводні» - вуглеводи (біополімери, які утворюються при фотосинтезі (стор. 63, 69)), «швидкість взаємодії хімічних зв'язків» (стор. 93) – швидкість хімічних перетворень, «біжуча концентрація» – поточна концентрація.

Наведені зауваження мають окремий характер, не знижують достатньо високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України до присвоєння наукових ступенів. У цілому дисертаційна робота Картишевої Вікторії В'ячеславівни «Підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери поглинанням вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями» є завершеною науковою працею, яка містить нові наукові положення. У роботі одержані нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують ефективне розв'язання важливої науково-прикладної проблеми підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери поглинанням вуглекислого газу хлорофілвмісними мікрободоростями.

Дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних наукових праць, а саме Наказу МОН України № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 (із змінами, внесеними від 31.05.2019) та «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167).

Вважаю, що дисертаційна робота задовольняє вимогам МОН України, а її автор Картишева В.В. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 Екологія галузі знань 10 Природничі науки.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри екології та
природоохоронних технологій
Одеської національної академії
харчових технологій, д-р техн. наук, професор



Крусір Г.В.



Підпис тов	Крусір Г.В.
	засвідчую
Начальник відділу кадрів	
" 13 "	03 2020