

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,

Поповича Василя Васильовича

на дисертаційну роботу

Мандрик Соломії Тарасівни

**“Підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом
знешкодження техногенного забруднення біологічним методом”**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 “Природничі науки”

за спеціальністю 101 “Екологія”

Актуальність теми дисертації. Антропоєкосистеми на сьогоднішній день є осередками з підвищеним вмістом промислових забруднювачів інгредієнтного та параметричного характеру. Це забруднення в першу чергу стосується атмосфери (першого її шару – тропосфери), або іншими словами атмосферного повітря. Критичний стан атмосфери на даний час є топовою проблемою людства. Промислові газові викиди, як інгредієнтні забрудники та електромагнітне короткохвилове випромінювання як параметричне забруднення атмосфери викликають глибоке занепокоєння екологічної спільноти. Дуже важливо знайти шляхи подолання цієї проблеми. Міжнародні угоди, такі як Паризька угода (підписана 196 сторонами), яку ратифікувала Верховна Рада України та кліматична конференція ООН (Конференція сторін, COP 26) у Глазго (2021), підкреслюють значення антропогенної зміни клімату, як реальної глобальної соціальної проблеми. У вирішенні цієї проблеми все більшої популярності набирають біологічні методи очищення та знешкодження викидів парникових газів без подальшої шкоди довкіллю.

Одним із таких методів є очищення промислових газових викидів за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Основною перевагою мікроводоростей *Chlorella vulgaris* над наземними рослинами є те, що вони здатні поглинати в десятки разів більше парникових газів і краще адаптуються до несприятливих умов середовища. Після очищення промислових газових викидів, накопичену біомасу мікроводоростей можна переробити у біопаливо, що теж є дуже важливим чинником при виборі саме культури мікроводоростей. В результаті ми створюємо умови кругообігу основних біогенних елементів у штучних, напівпромислових

умовах, тим самим запобігаємо додатковому використанню викопного палива, спалювання якого є основним джерелом парникових газів. Досліджуваний в дисертаційній роботі метод поглинання парникових газів та використання отриманих продуктів, підвищує рівень екологічної безпеки антропоєкосистем.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Дисертаційна робота виконана згідно наукового напрямку кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» - «Розроблення інженерних методів захисту довкілля для забезпечення збалансованого розвитку суспільств», а також в межах науково-дослідної роботи кафедри – «Застосування одноклітинних хлорофілсинтезуючих мікроводоростей у природоохоронних технологіях», № державної реєстрації – 0123V101710

Метою роботи є розроблення методів та заходів підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем біологічними методами.

У дисертаційній роботі отримано такі наукові результати.

Вперше запропоновано математичний опис поглинання парникових газів мікроводоростями *Chlorella vulgaris* за присутності певних значень концентрацій активаторів та інгібітора поглинання вуглекислого газу та отримано його аналітичне рішення.

На основі математичної обробки результатів експериментальних досліджень встановлено коефіцієнти приросту мікроводоростей за присутності певних значень концентрацій активаторів та інгібітора поглинання вуглекислого газу.

Визначено оптимальне значення енергії мікрохвильового електромагнітного опромінення мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для максимального поглинання парникових газів.

Встановлено оптимальне співвідношення концентрацій (N_xO_y : P_2O_5 : SO_2) за яких поглинання вуглекислого газу та приріст біомаси мікроводоростей є максимальним.

Визначено значення концентрацій сірководню H_2S та аміаку NH_3 за яких значення коефіцієнту приросту мікроводоростей має оптимальне значення.

Змодельовано метод очищення промислових газових викидів із залученням МЕМ опромінення від парникових газів за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* з подальшою переробкою використаної біомаси у біопаливо.

Таким чином, наукові результати дисертації мають високий рівень обґрунтованості та достовірності, що підтверджено численними експериментами та сучасними методами аналізу. Новизна результатів забезпечує вагомий внесок у розвиток методів очищення промислових газових викидів, що є актуальним для екологічної безпеки та стійкого розвитку.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати експериментальних досліджень дозволили змодельовати метод очищення промислових газових викидів із залученням МЕМ опромінення за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* з подальшою переробкою використаної сировини мікроводоростей у біопаливо. Такий спосіб очищення можна застосовувати на підприємствах паливно-енергетичного комплексу та ТЗОВ «Компанії «Центр ЛТД», чим скоротити викид парникових газів в атмосферу і покращити стан антропоєкосистем.

Розроблено та впроваджено у навчальний процес методичні вказівки «Вплив мікрохвильового електромагнітного випромінювання на хлорофілсинтезуючі мікроводорості *Chlorella*» з дисципліни «Екологія людини» для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти 101 Екологія.

Також результати дисертації використані у програмі лекційного курсу «Технологічні процеси охорони навколишнього середовища», для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти 101 Екологія, оскільки вони стосуються очищення промислових газових викидів та зменшення забруднення атмосфери вуглекислим газом та іншими парниковими газами в межах роботи промислових підприємств.

Оцінка змісту дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота є цілісною, завершеною та самостійно виконаною науковою працею, яка містить особистий внесок здобувача, має теоретичну цінність і практичну значущість для розвитку сучасної науки у напрямку знешкодження техногенного забруднення біологічним методом.

Ознайомившись зі звітом подібності за результатами перевірки дисертації на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Мандрик С. Т. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень, що

відповідає принципам академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела, яке подано з дотриманням норм законодавства про авторське право.

Мова та стиль викладення результатів. Текст дисертаційної роботи викладено українською мовою. Стиль викладення матеріалів дослідження відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, вирізняється науковістю, системністю, обґрунтованістю, логічністю та послідовністю.

Дисертація Мандрик С. Т. складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел який включає 156 найменувань і додатків. Робота викладена на 187 сторінках основного тексту, містить 45 рисунки, 21 таблицю і додатки на 3 сторінках.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження та визначено наукову новизну і практичне значення роботи.

У *першому* розділі проведено літературний огляд загальної характеристики мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, їх застосування для поглинання парникових газів та електромагнітного випромінювання та подальше використання біомаси мікроводоростей.

У *другому* розділі приведено методики та описано використані методи експериментальних досліджень, що застосовувались для досягнення поставленої мети дисертаційного дослідження.

У *третьому* розділі вивченню вплив електромагнітного випромінювання на приріст біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris*.

У *четвертому* розділі вивченню кінетику приросту мікроводоростей при поглинанні парникових газів, а саме оксидів нітрогену N_xO_y , оксиду фосфору P_2O_5 та діоксиду сульфуру SO_2 . Також представлено математичне моделювання приросту біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* за встановлених сумарних значень концентрацій SO_2 , N_xO_y і P_2O_5 .

У *п'ятому* розділі розроблено технологію поглинання вуглекислого газу за присутності інших парникових газів із залученням мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Вивчено можливість застосування біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* як біопалива та застосування біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для очищення стічних вод.

Висновки за результатами виконання дисертації підтверджують наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано результати наукових досліджень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях. За темою дисертації опубліковано наукові праці: 3 наукові статті, які проіндексовані в наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, 10 наукових статей у фахових виданнях України, 4 розділи у монографіях; 10 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях та матеріалів конференцій.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі слід було навести результати досліджень попередніх науковців щодо іншого виду мікроводоростей, визначити переваги та недоліки між видами.
2. Потребує додаткових пояснень вибір кількості проб, які досліджувалися під час впливу різних речовин на приріст біомаси *Chlorella vulgaris* (п. 4.5.1).
3. Потребує додаткового обґрунтування доцільність математичного моделювання приросту біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* за встановлених сумарних значень концентрацій SO_2 , N_xO_y і P_2O_5 та як цей приріст залежить від геометричних параметрів біореактора та мікрокліматичних умов.
4. Слід уточнити висновок 5 до розділу 4 – «визначено найкращі показники концентрацій сірководню H_2S та аміаку NH_3 ...», які саме числові дані є основою висновку?
5. Аналіз досліджень, які наведені в розділі 5.1 слід було відобразити у розділі 1.
6. Слід додатково пояснити наведені дослідження температурних режимів горіння *Populus tremula* L. та доцільність порівняння із теплотворними параметрами *Chlorella vulgaris*.
7. У роботі слід уточнити твердження про «найбільш економічний варіант очищення стічних вод, які в свою чергу представляються перспективним субстратом для виробництва біопалива, оскільки отримання біомаси створює

можливість виробництва енергії» (п. 5.2). Про який економічний ефект йдеться та який ККД отримання електроенергії?

Проте висловлені зауваження не є принциповими і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок. Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Мандрик Соломії Тарасівни на тему «Підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом знешкодження техногенного забруднення біологічним методом» є завершеним самостійно виконаним науковим дослідженням.

Отримані наукові положення та практичні результати є значущими для галузі знань *10 Природничі науки*. Тема, зміст дисертації та отримані наукові результати відповідають предметній області спеціальності *101 Екологія*.

Враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень та рекомендацій, викладених у роботі, новизну та практичну цінність, повноту викладення матеріалів у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Про затвердження 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 січня 2022 р. № 44, а її автор Мандрик Соломія Тарасівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю *101 «Екологія»* галузі знань *10 «Природничі науки»*.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор
проректор з наукової роботи,
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності

Василь ПОПОВИЧ

