

ВІДГУК

офіційного рецензента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника кафедри екології та збалансованого природокористування

Бордуна Ігора Михайловича

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”

1. Актуальність теми дисертації

Антропоєкосистеми на сьогоднішній день є осередками з підвищеним вмістом промислових забруднювачів інгредієнтного та параметричного характеру. Це забруднення в першу чергу стосується атмосферного повітря. Критичний стан атмосфери на даний час є глобальною проблемою людства. Промислові газові викиди як інгредієнтні забрудники, та електромагнітне короткохвильове 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 14 липня 2016 року, та кліматична конференція ООН, відома як 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.

2. Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі, їх наукова новизна

Дисертаційна робота Мандрик С.Т. містить нові наукові теоретично і практично обґрунтовані положення та висновки. Достовірність результатів підтверджується використанням сучасного обладнання, апробованих методик і об'єктивним аналізом результатів проведених експериментів та розрахунків.

Нижче наведено основні наукові результати досліджень дисертантки:

нею 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.

отримало подальший розвиток:

- вчення про інгібування та активування процесів поглинання парникових газів мікроводоростями *Chlorella vulgaris*;
- знання про залучення вуглекислого газу та інших біогенних елементів у штучні кругообіги в антропоєкосистемах, тим самим скорочення використання викопного палива;
- застосування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для очищення стічних вод.

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри “Екологія та збалансоване природокористування” Національного університету “Львівська політехніка”: «Розроблення інженерних методів захисту довкілля для забезпечення збалансованого розвитку суспільств», а також науково-дослідній роботі кафедри «Застосування одноклітинних хлорофілсинтезуючих мікроводоростей у природоохоронних технологіях», № державної реєстрації – 0123V101710.

Отже, поставлене наукове завдання, яке стосується підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом знешкодження техногенних забруднень біологічними методами, виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

3. Структура і зміст дисертації

Дисертація написана українською мовою, таблиці, рисунки і формули подано у належному вигляді. Зміст роботи викладено академічним науковим стилем з використанням сучасної термінології.

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, містить 45 рисунків, 21 таблицю і додатки на 4 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* вивчено вплив електромагнітного випромінювання на приріст біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris*.

У *четвертому розділі* вивчено 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 дисертанткою було проаналізовано результати сучасних наукових досліджень, які відповідають тематиці дисертації.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у розвиток спеціальності

101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки», а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

4. Практичне значення наукових результатів

Отримані результати експериментальних досліджень дозволили змодельовати метод очищення промислових газових викидів за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* з подальшою переробкою використаної сировини мікроводоростей у біопаливо. Такий спосіб очищення можна застосовувати на підприємствах паливно-енергетичного комплексу для скорочення викидів парникових газів в атмосферу і покращення стану антропоєкосистем. Зокрема, матеріали дисертаційної роботи Мандрик С.Т. передано у ТзОВ «Компанія «Центр ЛТД», що підтверджено відповідним актом.

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, розроблено спосіб очищення промислових газових викидів за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, на який подано патент України на корисну модель, заявка № u202404039.

Спосіб очищення промислових газових викидів від парникових газів за участі мікроводоростей із залученням МЕМ опромінення в літературі не описано, що дозволяє стверджувати, що аналогів такої системи очищення в Україні немає.

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 Е2 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.

5. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертацій працях

За матеріалами дисертації опубліковано 27 друкованих наукових праць, з яких 10 наукових статей у фахових виданнях України, 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 4 розділи у колективних монографіях та 10 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях та конгресах. Отже, наукові результати, які описано у дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувачки.

6. Відомості про дотримання академічної доброчесності.

Проаналізувавши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Мандрик Соломії Тарасівни є результатом власних досліджень і не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне першоджерело.

7. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Формула (2.2.) містить помилку – стала інтегрування має одразу позначатися як $\ln C_0$. Тому справа від знаку «=» має бути це позначення. Тоді не потрібно вводити формулу (2.3), а залишити пояснення для початкової концентрації C_0 для моменту часу $t = 0$.

2. У дисертації некоректно сформульовано висновок 3 до розділу 2 (стор. 76): «Представлено методологію визначення вмісту мікробіодоростей в одиниці об'єму середовища культивування за допомогою побудови калібрувального графіка.» Коректнішим буде формулювання: «Представлено методологію визначення вмісту мікробіодоростей в одиниці об'єму середовища

культивування за допомогою спектрофотометричної методики», бо побудова калібрувального графіка є лише частиною цієї методики.

3. Результати, які наведено на рис. 3.2 (стор. 86), рис. 4.6 (стор. 106) змодельовано лінійною залежністю для сталого коефіцієнту приросту. Проте, отримані експериментальні дані вказують на інший тип залежності. Лінійна апроксимація може бути лише оцінкою цього коефіцієнту, а більш глибокі висновки потрібно робити після апроксимації отриманих результатів функцією, яка дає кращий коефіцієнт кореляції (R^2 не менше, як 0,95).

4. Висновки, як наведено у параграфі 5.1, потребують додаткового підтвердження. Теплотворна здатність палива може бути визначена калориметричною методикою. Диференціальний термічний аналіз дає лише різницю температур відносно інертного зразка. Тому порівнювати теплотворну здатність біомаси і різних видів деревини на основі даних диференціального термічного аналізу є лише приблизною оцінкою.

5. У параграфі 5.2. описано дослідження застосування мікробіодоростей для очищення стічних вод. Проте авторкою не наведено даних по швидкості зміни концентрації забрудників у воді, лише констатовано факт зменшення їх вмісту у процесі очищення. Чисельні дані і кінетичні характеристики лише би підсилили позитивні висновки щодо застосування мікробіодоростей у процесах очистки стічних вод.

Приведені вище зауваження не впливають на обґрунтованість наукових положень та висновків дисертації і не принижують наукової новизни одержаних результатів.

8. Загальний висновок

Вважаю, що дисертація Мандрик Соломії Тарасівни «Підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом знешкодження техногенного забруднення біологічним методом» є завершеною науковою працею, яка містить значну кількість нових, актуальних та достовірних результатів, що мають важливе значення для захисту довкілля. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження

Вимог до оформлення дисертації” (з наступними змінами) 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 №44 від 12 січня 2022 р., а її авторка Мандрик С.Т. заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 “Екологія”.

Рецензент

доктор технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник
кафедри екології та збалансованого
природокористування
Національного університету
“Львівська політехніка”

Ігор БОРДУН

Підпис д.т.н., доцента
Ігоря БОРДУНА
"ЗАСВІДЧУЮ"

Вчений секретар
Національного університету
“Львівська політехніка”
к.т.н., доц.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ