

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кібарова Олега Ігоровича

на тему «Зниження забруднення ґрунту пестицидами на основі впровадження

біотехнологічних заходів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 18 Виробництво та технології

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

Актуальність. Сучасний розвиток аграрного сектору характеризується активним використанням інтенсивних технологій вирощування культур, що супроводжується постійним збільшенням обсягів застосування агрохімікатів і пестицидів. Одним із наслідків такої практики є посилення техногенного впливу на ґрунтові екосистеми, особливо через регулярне внесення гербіцидних препаратів широкого спектра дії, зокрема на основі гліфосату та дикамби.

Значна частина діючих речовин після внесення не досягає цільових об'єктів, а потрапляє до ґрунтового середовища, де накопичується, трансформується та зберігає токсичні властивості протягом тривалого часу. Наслідком цього є формування ефекту після дії гербіцидів, який проявляється у пригніченні росту та розвитку сільськогосподарських культур у сівозмінах, зниженні продуктивності агроценозів, порушенні біологічної активності ґрунту та деградації ґрунтового мікробіому.

Особливої актуальності проблема набуває в умовах необхідності забезпечення екологічної безпеки агроландшафтів, відновлення родючості ґрунтів та мінімізації ризиків вторинного забруднення навколишнього середовища. Традиційні фізико-хімічні методи очищення ґрунтів часто є економічно затратними та можуть супроводжуватися порушенням природних властивостей ґрунтового покриву, що зумовлює потребу у пошуку ефективних, екологічно безпечних та ресурсозберігаючих технологій ремедіації.

У цьому контексті особливий науковий і практичний інтерес становить використання біотехнологічних підходів, заснованих на застосуванні гумінових і фульвових речовин, а також мікробіологічних препаратів-деструкторів, здатних активізувати процеси біодеградації ксенобіотиків, знижувати їх фітотоксичність та сприяти відновленню біологічної активності ґрунту. Саме тому дисертаційна робота Кібарова Олега Ігоровича є своєчасною, актуальною та має вагоме теоретичне і прикладне значення для розвитку екологічної безпеки, агроєкології та сучасних технологій біоре mediaції забруднених ґрунтів.

Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями.

Тематика дисертаційної роботи відповідає актуальним напрямками наукових досліджень у галузі екологічної безпеки та охорони навколишнього природного середовища. Дослідження виконано в межах наукової діяльності кафедри екології та природоохоронних технологій за темою «Розробка заходів та технологій захисту навколишнього середовища від забруднень» (№ державної реєстрації 0120U100038), а також у рамках господарсько-договірної науково-дослідної роботи, виконаної на замовлення ТОВ НВП «КАРАТ-БІО», «Спосіб утилізації бурових шлаків методом біоре mediaції» (№ 1878). Автор дисертації безпосередньо долучався до виконання зазначених наукових досліджень та брав активну участь у реалізації окремих етапів робіт та впровадженні.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях та відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За темою дисертації автором опубліковано 13 наукових робіт, до числа яких входять 5 статей (дві з них проіндексовані в Scopus) та 8 публікацій у збірниках матеріалів конференцій, що засвідчують апробацію результатів. Публікації всебічно та повно розкривають суть наукових результатів. Ознак плагіату чи інших порушень академічної чесності не виявлено.

Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій сформульованих у дисертації.

Наукові результати, висновки та практичні рекомендації, наведені у дисертаційній роботі, є достатньо аргументованими та базуються на комплексному експериментальному дослідженні процесів трансформації та детоксикації гербіцидів у ґрунтовому середовищі. Логіка викладення матеріалу є послідовною та цілісною: від аналізу сучасного стану проблеми й обґрунтування вибору біотехнологічних підходів – до експериментальної перевірки їх ефективності та розроблення практичних схем застосування гумінових препаратів і мікробних деструкторів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням багаторівневого методичного підходу, що поєднує лабораторні фітотести, модельні вегетаційні експерименти, польові дослідження та сучасні інструментальні методи аналізу. Застосування ED-XRF-спектрометрії дозволило дослідити особливості вертикальної міграції елементів у ґрунтовому профілі під впливом гумінових і фульвових речовин, тоді як ATR-FTIR-спектроскопія забезпечила можливість встановлення молекулярних механізмів взаємодії гербіцидів із компонентами ґрунтового середовища.

Важливим методичним рішенням є проведення експериментів із використанням ґрунту зі збереженням його природної структури, що дозволило максимально наблизити умови дослідження до реальних ґрунтово-екологічних процесів. Обґрунтованим є також вибір суданської трави (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*) як тест-культури, оскільки вона характеризується високою чутливістю до гербіцидного навантаження та дозволяє ефективно оцінювати рівень фіто токсичності ґрунту й регенеративний потенціал рослин за різних схем ремедіації.

Наукова та практична цінність дисертації та наукова новизна.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному вирішенні проблеми забруднення ґрунтів пестицидами за рахунок диференційованого застосування фракцій гумінових речовин та мікробних інокулянтів. Автором було отримано такі нові наукові результати:

- Уперше встановлено фундаментальну геохімічну дихотомію в поведінці фракцій гумусових речовин: експериментально доведено, що фульвокислоти діють як агресивні агенти мобілізації елементів, тоді як гумати калію створюють надійний геохімічний бар'єр, фізично фіксуючи та іммобілізуючи токсиканти у верхньому шарі ґрунту.

- Доведено унікальне явище «відтермінованої летальності» фітоіндикатора при використанні гумату калію в умовах критичних доз гербіцидів, що здатне подовжувати життя рослин на 5 діб та надавати культурам часовий ресурс на репарацію.

- Удосконалено концепцію біоре mediaції ґрунтів, у межах якої наочно продемонстровано, що саме концентрація біопрепарату впливає на рівень детоксикації ґрунту, при цьому сам біопрепарат не є причиною токсичності.

- Дістали подальший розвиток методичні підходи до еколого-економічної оцінки ремедіаційних заходів на базі моделі Cost-Benefit Analysis з урахуванням "вартості бездіяльності".

Практична цінність дослідження підтверджується розробкою трирівневої технологічної схеми застосування гумінових препаратів. Результати дослідження успішно впроваджено у виробничу діяльність підприємства ТОВ НВП «КАРАТ-БІО» при оцінці та вдосконаленні технології виробництва рідких органічних добрив «BioFulvo». Також матеріали дисертації імplementовано в навчальний процес Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова при розробці профільних екологічних дисциплін.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності.

Дисертаційна робота Кібарова О. І. складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура роботи вибудована логічно та повністю розкриває тему дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, об'єкт, предмет та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу проблеми забруднення ґрунтів пестицидами (зокрема гліфосатом) та критичному огляду методів детоксикації. Обґрунтовано перспективність біологічних методів ремедіації із використанням різних фракцій гумусових речовин та мікроорганізмів-деструкторів.

Другий розділ містить опис комплексної методології: лабораторне моделювання, польові випробування та передовий інструментальний аналіз (XRF, ATR-FTIR). Основними об'єктами дослідження обрано чорнозем південний, суданську траву, гербіциди та препарати на основі фульвокислот, гумату калію і мікроорганізмів.

У третьому розділі досліджено фізіологічну відповідь фітоіндикатора на стрес. Встановлено, що гумат калію має найвищу протекторну дію (суттєво знижує смертність рослин і подовжує їх життя). Мікробний інокулянт забезпечує інтенсивне, але відстрочене відновлення біомаси. Натомість фульвокислоти діють як «транспортні агенти», посилюючи фітотоксичність на ранніх етапах.

Четвертий розділ розкриває геохімічні аспекти. Експериментально доведено протилежну дію препаратів: фульвокислоти провокують інтенсивне вимивання елементів (гіпермобілізація металів), тоді як гумат калію формує надійний геохімічний бар'єр, іммобілізуючи токсиканти та запобігаючи їхній міграції.

П'ятий розділ деталізує молекулярні механізми (за даними ATR-FTIR спектроскопії). Доведено, що гумати фізично інкапсулюють гербіцид, а мікроорганізми забезпечують його активну біодеградацію. За результатами комплексу досліджень розроблено та обґрунтовано тривірневу технологічну схему застосування гумінових препаратів.

Шостий розділ присвячено еколого-економічному обґрунтуванню. Аналіз «витрати-вигоди» (Cost-Benefit Analysis) довів, що завдяки збереженню врожаю та підвищенню коефіцієнта засвоєння добрив (на 10-15%), запропонована

біотехнологія повністю окупається і є фінансово безвитратною («cost-neutral») для господарств.

Висновки роботи є цілком аргументованими, впливають із результатів проведених досліджень та вирішують поставлену наукову задачу.

Дисертація характеризується внутрішньою єдністю, повнотою викладу та високим рівнем завершеності. Усі розділи взаємопов'язані, а сукупність отриманих даних дозволяє стверджувати про виконання мети дослідження у повному обсязі. Список використаних джерел та додатки належним чином підтверджують глибину опрацювання теми та достовірність впровадження результатів у виробництво.

Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях дисертанта, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Оформлення дисертації за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12.11.2017. Мова і стиль викладання дисертації точно та чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації:

1. У підрозділі 2.2.1 наведено фізико-хімічну характеристику ґрунту, однак відсутні дані щодо вмісту гумусу та ємності катіонного обміну у вихідних зразках. Не зрозуміло, чи враховував автор ці параметри при інтерпретації сорбційних процесів гербіцидів.

2. У розділі 3 (стор. 106-109) при дослідженні власної біологічної активності «Деструктора стерні» виявлено хлороз листків у концентрації 1/10. З тексту дисертації не зрозуміло, чи є цей ефект наслідком конкуренції мікроорганізмів за залізо, а не прямого фітотоксичного впливу метаболітів.

3. У підрозділі 4.2 (таблиці 4.1-4.5) наведено дані щодо валового вмісту елементів у ppm. Однак з нашої точки зору для оцінки екологічних ризиків

вимивання більш інформативним було б визначення саме рухомих (обмінних) форм металів, а не валового вмісту?

4. У п'ятому розділі присутня певна неузгодженість ідентифікації спектральних смуг ІЧ-спектроскопії (ATR-FTIR), де автор зазначає, що у зразках, оброблених гуматом калію, зафіксовано спектральні смуги, які автоматизовані метрологічні бібліотеки приладів ідентифікували як "*Saran Resin*" (саранова смола / полівініліденхлорид) та різноманітні адгезиви. Здобувач трактує це, як підтвердження інкапсуляції молекул гербіциду матрицею гумінових кислот. Проте, ми вважаємо, що використання готових органічних бібліотек для інтерпретації складних природних органо-мінеральних комплексів є недостатньо коректним. Автору варто було б детальніше розшифрувати конкретні функціональні групи (наприклад, коливання зв'язків C-Cl, C=O, N-H), що характерні для діючих речовин гербіцидів та гумусових молекул, а не покладатися на суто комерційні назви синтетичних пластмас, зокрема, із баз даних спектрометра.

5. У четвертому розділі за допомогою рентген-флуоресцентного аналізу (XRF) автор експериментально довів ефект «гіпермобілізації» заліза та вимивання цинку й заліза в нижні шари ґрунту через утворення рухомих фульватних комплексів, що додатково посилюється гліфосатом. Водночас, у шостому розділі автор пропонує технологічну схему, яка включає використання фульвокислот, як ад'ювантів. Оскільки дослідження проводилося на чорноземі південному важкосуглинистому, де процеси фільтрації обмежені структурою ґрунту, впровадження цієї рекомендації у виробництво потребує суворих застережень. Вважаємо, що було б доцільніше чіткіше окреслити екологічні обмеження використання фульвокислот, оскільки на легких за гранулометричним складом ґрунтах (наприклад, супіщаних) це може призвести до масштабного вимивання важких металів та токсикантів у ґрунтові води.

6. У роботі досить обмежений вибір фітоіндикатора для біологічної оцінки, де для проведення вегетаційних дослідів як єдиний модельний фітоіндикатор було обрано Суданську траву (*Sorghum bicolor subsp. drummondii*). Хоча автор

обґрунтовує вибір її високою чутливістю та швидким ростом (C4-фотосинтез), використання лише однієї однодольної культури звужує універсальність висновків. Оскільки гербіциди, зокрема, гліфосат та дикамба, що згадуються в роботі, мають різну селективність та механізми дії на однодольні й дводольні рослини, для повноти біоіндикації та верифікації детоксикаційного ефекту біопрепаратів варто було б включити в схему досліду також дводольну тест-культуру (наприклад, крес-салат або соняшник, який фігурує в економічних розрахунках).

7. У шостому розділі відзначаємо досить високу оптимістичність та екстраполяцію економічних розрахунків (ROI), де за результатами агроекономічного моделювання автор заявляє про надзвичайно високий рівень окупності інвестицій – ROI на рівні 1168% для гумату калію. Розрахунки виконано на базі модельного господарства для соняшнику, виходячи з базового сценарію втрати 25% врожаю через післядію гербіцидів. Проте такі високі показники рентабельності отримані в контрольованих / напівконтрольованих умовах і сумнівно, що можуть бути стабільно відтворені в реальному виробництві, де на врожайність впливає значна кількість інших випадкових чинників, зокрема, посуха, нерівномірність внесення, фітопатогени. Тому автору слід було б застосувати більш стримані варіативні коефіцієнти фінансових ризиків при розрахунках комерційного ефекту.

8. У третьому розділі при порівнянні дії гербіцидів «Ураган Форте» та «Федерал» встановлено, що останній спричинив 100% летальність у всіх варіантах. Чи досліджувався автором ефект «відстроченої летальності» для гумату калію на фоні «Федералу», адже на рис. 5.3 зазначено, що виживання було лише у групі з гуматом, але кінцева загибель до 18-ї доби досягла 100%? Якщо так, то чи є сенс стверджувати про захисну дію гумату у цьому випадку, чи, швидше за все, про тимчасове уповільнення токсичного ефекту без зміни кінцевого результату?

Однак, зазначені зауваження не знижують наукову цінність роботи та отриманих дисертантом результатів і не носять принципового характеру.

Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Загальні висновки до дисертації. Кваліфікаційна наукова праця Кібарова О.І. є цілісним і завершеним дослідженням, в якому отримано принципово нові, науково обгрунтовані положення, що в комплексі забезпечують розв'язання актуального науково-прикладного завдання — мінімізації забруднення ґрунтового покриву пестицидами за рахунок науково обгрунтованого впровадження біотехнологічних заходів. З огляду на високий рівень актуальності, беззаперечну обгрунтованість і достовірність отриманих результатів, значну наукову новизну та виражену практичну цінність, дисертація повною мірою відповідає вимогам чинного законодавства України, зокрема п. 6-9 «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. Здобувач, Кібаров Олег Ігорович, безсумнівно, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Офіційний опонент:

професор кафедри екології, хімії та технологій
захисту довкілля Вінницького національного
технічного університету
доктор технічних наук, професор

Роман ПЕТРУК

Вчений секретар
к.т.н., доц.



Ірина РІСЕТКА