

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри аналітичної і біоорганічної хімії та якості води
Національного університету біоресурсів і природокористування України,
кандидата хімічних наук, доцента **Руслана ЛАВРИКА**
на дисертацію **В'ячеслава ЧОБОТАРЯ** на тему:
**«Розробка наноагрохімікатів Cu, Zn, Fe
та оцінка якості води для застосування в агротехнологіях»,**
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 102 «Хімія» галузі знань 10 «Природничі науки»

Актуальність теми роботи. Перша декада ХХІ ст. ознаменувалося загостренням суперечності «суспільство – природа». Антропічний вплив на навколишнє середовище досяг критичного значення до його самовідновлення – межу екологічної ємності планети. У цьому контексті особливе значення набувають наукові дослідження, що спрямовані на раціональне використання природних ресурсів, зниження техногенного навантаження на екосистеми та впровадження безпечних технологій, зокрема в агропромисловому секторі.

Концепція сталого розвитку для України в цілому спрямована на економічне екобезпечне зростання без нарощування техногенного пресингу на біосферу. Серед таких пріоритетних напрямів є суспільно-природний, який має бути спрямований на створення програм і проєктів наукового обґрунтування заходів та механізмів щодо вдосконалення виробничого природокористування, зокрема у аграрно-орієнтованих регіонах.

Позакоренеve внесення наночастинок є новим та перспективним способом вирішення важливих проблем агротехнологій. Використання наночастинок в сільському господарстві включає нанодобрива з поступовим вивільненням поживних речовин і нанофунгіциди. Наночастинки також можуть використовуватися як нанокапсули для транспортування та вивільнення гербіцидів та добрив у конкретні цільові ділянки рослин для досягнення бажаних ефектів. Отже, актуальність дисертаційного дослідження полягає у розробленні наноаквакомплексів d-металів (Cu, Zn, Fe) стабілізованих карбамідом, які можуть бути інноваційним та екологічно безпечним інструментом сталого агровиробництва. Одночасно актуалізовано комплексні дослідження якості джерел природної води для приготування розчинів нанодобрив, позакореневого живлення рослин, іригації, риборозведення, напування тварин та питних потреб.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення. Дисертація характеризується системним підходом до предмету дослідження. Робота складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 190 сторінок, дисертація містить 25 таблиць, 43 рисунки та додаток. Список використаних джерел налічує 196 найменувань.

У *вступі* висвітлено актуальність наряду досліджень та описано мету досліджень, сформульовано основні завдання, наукову новизну роботи, практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію результатів дослідження на наукових конференціях, семінарах та фахових заходах, а також про публікаційну активність, що включає статті у наукових журналах, матеріали конференцій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні агрохімікатів на основі водних золей наночастинок Cu, Zn, Fe для позакореневого живлення рослин наночастинок перехідних металів та вивченні їх фізико-хімічних характеристик. Встановлено їх здатність до комплексоутворення з органічними лігандами для стабілізації в розчині. Оцінено водні джерела Могилів-Подільського району Вінницької області за інтегральним показником

Харрінгтона для різних видів водокористування, у тому числі на придатність для приготування розчинів нанопрепаратів. Встановлено дію стабілізованих наночастинок на різних стадіях росту та розвитку рослин, що є ключовим напрямом для впровадження нанотехнологій в аграрну сферу. Визначено концентрації наноматеріалів для позакореневого нанесення з метою стимулювання фотосинтезу, росту урожайності, боротьби з фітопатогенами яблуні.

Практичне значення роботи полягає у розробленні та застосуванні стабілізованих карбамідом наночастинок Cu, Zn, Fe у вигляді карбамідаквананометалів для позакореневого живлення рослин, що продемонструвало високу ефективність у підвищенні врожайності, якості продукції та стійкості до фітопатогенів. Досліди на яблуні показали приріст урожайності, покращення біохімічних показників, зменшення ураження патогенами та підвищення вмісту цукрів і сухих речовин у плодах. Показано значення якості водних джерел для застосування нанопестицидів. Застосування нанопрепаратів на основі Cu, Zn, Fe у малих концентраціях (1:1000) підтвердило їхню безпечність для отриманої продукції, людей та навколишнього середовища, що робить ці технології перспективними для широкого впровадження у сталому сільському господарстві, зокрема в умовах екологічно безпечних (органічних) технологій.

У *першому розділі* викладено огляд літератури, де наводиться інформація щодо хіміко-аналітичних досліджень для створення екологічно безпечних агротехнологій, у тому числі показано актуальність таких питань як розроблення рецептур ефективних нанодобрив (наноагрохімікатів) для позакореневого живлення рослин; вивчення хімічних процесів, що забезпечують оптимальне дозування та стабільність нанопрепаратів у водних середовищах; інтегральна оцінка природних вод для використання наноагрохімікатів; вивчення хімічних індикаторів придатності природних вод в районі агрохімічних досліджень для зрошуваних та фертигаційних технологій, а також питних потреб та риборозведення, що й обумовлює актуальність вказаної дисертації.

У *другому розділі* наведено методи і методики досліджень, які були представлені у роботі. Також значна увага була представлена детальному опису та схематичному відображенню характеристик приладів, які були використані в дисертації. Слід також відзначити розгорнуту агроекологічну характеристику території, де проводилися польові дослідження, з акцентом на кліматичні, едафічні (грунтові) та гідрологічні умови досліджуваного району. Такий підхід забезпечує належне розуміння природно-кліматичних особливостей, які могли впливати на результати експериментів.

Третій розділ дисертації присвячено синтезу наноконкомплексних сполук та дослідженню їхніх фізико-хімічних параметрів. Зокрема, показано що стабілізовані наночастинок характеризуються малими розмірами (<50 нм), що забезпечує їх потенційну велику поверхневу активність і ефективність для рослин як біологічно активних речовин, фунгіцидів, бактерицидів та антистресантів. Комплексоутворення наночастинок із карбамідом забезпечує підвищену колоїдну стабільність суспензій у межах рН 6–7, що критично важливо для агрономічного застосування. Результати ІЧ та ЕПР-спектроскопії вказують на слабкі взаємодії між наночастинками і відсутність сильної агрегації, що підвищує біодоступність металів у розчині. За допомогою рентгенофазового аналізу підтверджено формування в основі нанодобрива металічного ядра з мінімальним поверхневим окисленням, що зберігає функціональні властивості наночастинок та дозволяє розкрити всі позитивні сторони таких сполук. Також слід зазначити, що забезпечується повільне і контрольоване вивільнення металів у доступній формі, що підвищує коефіцієнт використання елементів живлення.

У четвертому розділі наведено результати аналізу якості місцевих водних джерел, що використовуються для зрошення та фертигації, з урахуванням хімічних показників та інтегральних методик оцінювання. Результати аналізу відібраних проб води засвідчили суттєву варіабельність у концентраціях головних катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) та аніонів (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^-), а також фізико-хімічних характеристик середовища, таких як pH, температура, мінералізація, перманганатна окиснюваність. Окрему увагу приділено вмісту важких металів (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}), які є критично важливими для оцінки екологічної безпеки та визначення придатності води до сільськогосподарського використання.

П'ятий розділ присвячено питанням екологічної безпеки та практичного застосування синтезованих наноагрохімікатів в агроєкосистемах. За результатами досліджень найбільш економічно ефективним та екологічно безпечним є застосування карбамідаквананометалів (КАМ) в концентрації 200 мл/га в технології вирощування яблук.

Висновки, наведені у дисертації, є логічно структурованими та належним чином відображають основні положення дослідження. Вони чітко узагальнюють результати, отримані упродовж експериментальної та аналітичної частин роботи, і повністю відповідають поставленій меті та завданням дисертації.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень, він налічує 196 найменувань, з них латиницею – 139. Більшість використаних джерел опубліковані в період 2010–2024 рр.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація В. В. Чоботаря є складовою таких ініціативних тематик: «Моніторинг якості води різного господарського використання і утилізація осадів забруднених водних об'єктів» (номер державної реєстрації 0121U111595); «Оцінка токсичності наночасток металів методами біотестування» (номер державної реєстрації 0115U003403). Дослідження щодо екологічної безпечності наноматеріалів в агроєкосистемах було проведено в рамках проєкту Horizon ECOTWINS (номер договору 101079308-ECOTWINS-HORIZON-WIDERA-2021-ACCES-03).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею, у якій викладено авторський підхід до оцінки фізико-хімічних показників нанодобрих на основі аквакомплексів наночастинок міді, цинку та заліза, оцінки їх господарської ефективності, якості води для застосування та їх впливу на якість продукції. Наукові результати, представлені в дисертації, розроблено автором особисто. З наукових публікацій, виданих у співавторстві, у роботі використано лише ті положення, які становлять особистий внесок автора, про що зазначено в переліку публікацій.

Достовірність отриманих результатів забезпечується: результатами виконаних автором дисертаційного дослідження низки експериментів; публікацією статей в провідних фахових виданнях України; апробацією отриманих наукових результатів на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Основні положення дисертаційного дослідження викладено у 13 наукових працях, з яких 2 статті у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, 5 статей у наукових виданнях, включених до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України та 6 тез наукових доповідей.

Ступінь наукової обґрунтованості одержаних результатів, сформульованих у роботі, їх наукова новизна не викликає сумніву і підтверджується комплексом експериментальних досліджень із використанням сучасного обладнання та інструментальних

методів дослідження, зокрема електрохімічного аналізу (ІХП), РФА, ІЧ- та ЕПР-спектроскопії. Всі отримані автором результати є новими, достовірними та належно обґрунтованими.

Відсутність (або наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертації та публікацій автора порушення академічної доброчесності чи будь-якого конфлікту інтересів не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в дисертації також відсутні.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації. Водночас з позитивною характеристикою дисертація В.В. Чоботаря, як і будь-яка творча наукова праця, не позбавлена недоліків, які можуть слугувати підґрунтям для наукової дискусії та вдосконалення:

1. Дані, наведені на рис. 4.2, 4.10, 4.11, 4.12, а також у табл. 4.3, 4.4, 4.6, 5.7 слід подавати з точністю до десятих або сотих після коми.

2. На рис. 4.8 слід відділити легенду від показників графіка для кращого сприйняття.

3. На с. 113 в підрозділі 4.3 зазначено «показники рН, загальної мінералізації, температури, що наведені в 4.2 та 4.3» слід уточнити це рисунки чи таблиці.

4. На с. 115 присутні невідлі мовні конструкції: «В іригаційній практиці США та інших країн оцінку якості зрошувальної води оцінюють якість проб за показником натрієво-адсорбційного співвідношення».

5. Поняття «іони» та «йони» слід було уніфікувати.

6. Оскільки дисертація має виразну практичну спрямованість, доцільно розширити розділ «Висновки», додавши чітко сформульовані рекомендації для виробництва.

7. У тексті дисертації місцями наявні граматичні, орфографічні, стилістичні помилки.

Вказані зауваження та недоліки суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації. Отримані здобувачем результати досліджень та висновки є обґрунтованими, мають високий рівень наукової новизни і практичну цінність. Опубліковані роботи з належною повнотою передають зміст дисертації.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам. Вважаю, що дисертація на тему: «Розробка наноагрохімікатів Cu, Zn, Fe та оцінка якості води для застосування в агротехнологіях» за актуальністю, ступенем новизни та практичним значенням представлених результатів, їх обґрунтованості, повноти викладення в опублікованих наукових працях відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» і 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 року, а її автор Чоботар В'ячеслав Васильович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 102 «Хімія» галузі знань 10 «Природничі науки».

Рецензент доцент кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат хімічних наук, доцент Руслан ЛАВРИК