

ВІДГУК

офіційного опонента

завідувачки відділу радіоекології і дистанційного зондування ландшафтів

Інституту агроекології і природокористування НААН

кандидата сільськогосподарських наук, старшого дослідника

РАЙЧУК Людмили Анатоліївни

на дисертацію **ГРЕЧАНЮКА Максима Олександровича**

на тему «**Радіоекологічна характеристика природних водойм зони відчуження**»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

зі спеціальності 101 «Екологія»

галузі знань 10 «Природничі науки»

Актуальність обраної теми дослідження

Дисертація М. О. Гречанюка присвячена визначенню радіоекологічних характеристик водних об'єктів зони відчуження у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС на основі сучасних методів визначення радіоекологічних критеріїв, що характеризують радіологічну ситуацію об'єктів довкілля внаслідок їх радіоактивного забруднення радіоактивними ізотопами. Актуальність дисертації зумовлено необхідністю поглибленого розуміння радіоекологічних характеристик водних екосистем, які зазнали впливу радіоактивного забруднення. Дослідження радіологічного стану водойм у зоні відчуження є критично важливим, оскільки у водних екосистемах радіонукліди активно включаються в біогеохімічні цикли, а їх накопичення у вищих трофічних рівнях, зокрема в рибі, становить суттєву потенційну небезпеку для довкілля та здатне формувати додаткову дозу опромінення іонізуючою радіацією населення. Риба, як біоіндикатор радіоекологічного стану водойм, дозволяє оцінити рівень радіоактивного забруднення води із вищою точністю, оскільки радіонукліди, зокрема такі як ^{90}Sr та ^{137}Cs , мають здатність активно накопичуватися в її тканинах.

Використання риб як індикаторів є важливим інструментом моніторингу, адже дозволяє оперативно виявляти навіть низькі рівні забруднення води, що суттєво підвищує ефективність контролю радіоекологічного стану водойм. Сучасні ядерні загрози, пов'язані з можливістю аварій на ядерних об'єктах та ймовірністю використання ядерної зброї, актуалізують необхідність дослідження та прогнозування впливу радіації на водні екосистеми. В умовах підвищеного ризику техногенних катастроф, таких як аварії на АЕС або застосування зброї масового ураження, сучасні методи визначення рівня радіоактивного забруднення є вкрай важливими для покращення ефективності алгоритмів реагування, і відповідно захисту екосистем і безпеки населення.

Застосування сучасних технологій для оцінки доз опромінення гідробіонтів сприяє підвищенню точності радіоекологічного моніторингу і допомагає врахувати всі фактори, що впливають на формування доз опромінення водних організмів. Це дослідження сприятиме зниженню екологічних та соціальних ризиків, пов'язаних із потенційними

радіологічними загрозами, забезпечуючи науково обґрунтовані заходи для мінімізації шкідливого впливу на водні екосистеми та здоров'я населення. Загалом, тема дисертації є актуальною, що підтверджується її відповідністю перспективним напрямкам розвитку науки та техніки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження виконано в рамках низки науково-дослідних робіт: № 110/1-пр-2019 «Встановлення гранично допустимих концентрацій радіонуклідів в водоймах на основі метаболізму цезію та стронцію» (номер державної реєстрації 0119U100844); № 110/1-пр-2022 «Наукове обґрунтування та розробка нових заходів по зменшенню радіоактивного забруднення риби ^{90}Sr та ^{137}Cs » (номер державної реєстрації 0122U001794); № 110/6-пр-2024 «Наукове обґрунтування використання гексаціанофератів в кормах для зменшення радіоактивного забруднення риби після застосування ядерної зброї» (номер державної реєстрації 0124U001260); гранту СРЕА-2015/10108 Норвезького центру міжнародного співробітництва в галузі освіти The Norwegian Centre for International Cooperation in Education (SiU) «Joint Ukrainian-Norwegian education programme in Environmental Radioactivity». Також дослідження було частково підтримано у 2020–2021 рр. у рамках проєкту НФДУ № 93/02.2020 «Закономірності впливу хронічного іонізуючого випромінювання на референтні організми рослин і тварин в екосистемах Чорнобильської зони відчуження». Зв'язок з такою низкою наукових тематик і проєктів лише підтверджує актуальність теми дисертації.

Оформлення дисертації та дотримання академічної доброчесності

Дисертація М. О. Гречанюка написана українською мовою і оформлена відповідно до чинних вимог Міністерства освіти і науки України, є завершеною науковою працею, містить результати власних наукових досліджень, виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України (м. Київ). Рукопис має класичну структуру і складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Дисертація має логічно підпорядковану структуру, рукопис написано з використанням загальноприйнятої фахової термінології. Аналіз дисертації та наукових публікацій М. О. Гречанюка не дає підстав для сумнівів щодо академічної доброчесності здобувача. Використання ідей, результатів, текстів і рисунків інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Наукова новизна положень, результатів та висновків дисертації

У дисертації представлено науково новаторські результати, отримані в процесі дослідження, що засвідчують належну наукову компетентність М. О. Гречанюка, а також дають підстави оцінювати виконану роботу як самостійний науковий доробок. До основних результатів належить встановлення розподілу потужності поглиненої дози іонізуючого

випромінювання у вертикальному профілі донних відкладень озера Бріт, зокрема, з урахуванням вмісту радіонуклідів ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am і ^{154}Eu . Отримані дані демонструють існування суттєвих невизначеностей у розрахунках зовнішніх доз опромінення, що була оцінена за допомогою відповідних спеціалізованих інструментів, зокрема інструменту «ERICA Assessment Tool» на основі середньої питомої активності радіонуклідів. Також уперше визначено сумарні поглинуті дози опромінення риб в озері Бріт, що досягали високих значень, а також уточнено аналогічні показники для озера Глибоке. Доведено, що відсутність кореляції між питомою активністю радіонуклідів і глибиною залягання донних відкладень в озері Бріт зумовлена його відносно малими розмірами та підвищеним впливом змиву радіонуклідів з водозбору порівняно з первинним розподілом радіоактивних випадінь на поверхню водойми. Враховуючи високі коефіцієнти накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб, запропоновано використовувати показники радіоактивного забруднення організму риб як біоіндикатор радіоактивного забруднення водних екосистем. Наведено, що при мінімально детектованій активності приладів для визначення ^{90}Sr і ^{137}Cs у воді можна використовувати 1 кг проби риби або відбирати від 35 до 17000 л води для оцінки рівня радіоактивного забруднення води у водоймі, що особливо важливо з практичної точки зору.

Важливим аспектом новизни дисертаційного дослідження М. О. Гречанюка слід вважати те, що вперше було запропоновано комплексний підхід до визначення радіоекологічних характеристик водойм для зменшення невизначеності оцінок рівнів їх радіонуклідного забруднення та реалізовано багатокomпонентний підхід для уточнення поглинених доз зовнішнього і внутрішнього опромінення риби у прісноводних екосистемах з метою радіаційного захисту навколишнього середовища. Також було удосконалено методологію проведення оцінки радіоактивного забруднення прісноводних водойм, донних відкладень і риб на прикладі водойм Чорнобильської зони відчуження з метою підвищення точності результатів радіоекологічного моніторингу водних екосистем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації

Наукові положення та висновки, що сформульовані у дисертації М. О. Гречанюка та виносяться на захист, дають підстави стверджувати, що підхід дисертанта до дослідження радіоекологічних характеристик водних об'єктів зони відчуження у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС на основі сучасних методів визначення радіоекологічних критеріїв відзначається фундаментальністю та ґрунтовністю дослідження. Слід підкреслити, що здобувач продемонстрував відповідний науковий рівень в представлених результатах свого дисертаційного дослідження, що було досягнуто внаслідок проведення аналізу літературних джерел за досліджуваною проблематикою. Здійснений дисертантом аналіз і систематизація літературних даних щодо імовірного впливу іонізуючого випромінювання

у водних екосистемах у випадку техногенних катастроф, зокрема після аварій на Чорнобильській та Фукусімській АЕС, заслуговує на позитивну оцінку. Це дало змогу дисертанту ефективно розв'язати визначені завдання дослідження й розкрити фактори, пов'язанні із аспектами формування поглинутих доз зовнішнього і внутрішнього опромінення різних видів риб та збереженням популяції риб у післяаварійний період внаслідок нерівномірного розподілу радіаційного забруднення природних водойм зони відчуження. Представлений ґрунтовний за змістом і напрямками розкриття наукових проблем перелік посилань є безперечним доказом поінформованості здобувача і дає підстави для висновку про його ерудованість, а відтак, ґрунтовність теоретико-методичних засад виконаного дослідження.

Здобувач чітко обґрунтував підстави для застосування обраних методичних підходів і методів. Позитивним є використання не лише загальнонавчального, але й спеціально сконструйованого обладнання, яке дало змогу досягнути поставленої мети і вирішити поставлені завдання.

Наукові положення, викладені в роботі, були належним чином представлені на конференціях різного рівня, що лише посилює ступінь обґрунтованості дослідження і доводить їх практичну значущість для розвитку сучасної радіоекології і підходів щодо ліквідації наслідків радіаційних і ядерних аварій.

Загалом викладене вище дає підстави стверджувати, що наукові положення, висновки і результати дисертаційного дослідження М. О. Гречанюка на тему: «Радіоекологічна характеристика природних водойм зони відчуження» є обґрунтованими й достовірними та цілком відповідають спеціальності, за якою виконано дисертаційне дослідження.

Наукове та практичне значення отриманих результатів дослідження

Здобувач у своїй дисертації представив результати дослідження, які сприяють поглибленню розуміння щодо вдосконалення методів радіоекологічного моніторингу та оцінки довготривалих наслідків радіоактивного забруднення водних екосистем та потенційної небезпеки для людини. Дисертаційне дослідження М. О. Гречанюка містить нові, раніше не досліджені і до сьогодні не захищені наукові положення, а досягнуті ним результати у сукупності розв'язують актуальну радіоекологічну проблему, сутність якої полягає у науковому осмисленні досвіду ліквідації радіаційних аварій і вдосконаленні існуючої системи радіаційного захисту населення та довкілля.

Використання сучасних моделей і методів для визначення радіоекологічних критеріїв оцінки стану об'єктів навколишнього середовища дає змогу об'єктивно оцінити рівні радіонуклідного забруднення води, донних відкладень та організму риб, а також просторовий розподіл радіонуклідів у компонентах водних екосистем. Це дослідження вносить нові дані щодо формування доз опромінення іонізуючою радіацією представників

іхтіофауни, що є актуальними для збереження біорізноманіття та розроблення радіоекологічних критеріїв актуальних у забезпеченні оцінки безпеки водних екосистем.

Практичне значення дисертації витікає із теоретичних узагальнень, зроблених автором. Воно зосереджене на застосуванні результатів дослідження для визначення гранично допустимих концентрацій радіонуклідів у водних об'єктах з метою забезпечення екологічної безпеки представників водного середовища і людини, що використовує гідробіонти у якості продуктів харчування. Одержані дані можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо відновлення та безпечного використання радіоактивно забруднених водойм, у т.ч. у господарській діяльності. Результати дослідження удосконалюють методи прогнозування рівнів радіоактивного забруднення рибної продукції, що важливо для екологічного нагляду та контролю за дотриманням вимог норм радіаційної безпеки у зоні відчуження й інших територіях, прилеглих до об'єктів ядерної енергетики.

Характеристика основних положень роботи

У дисертації чітко обґрунтовано і оформлено наукові підходи щодо виконання запланованого дослідження, витримано вимоги до структурних компонентів оформлення дисертації (мета, завдання, об'єкт, предмет, основні дефініції), що дозволило автору логічно розгорнути науковий пошук на всіх етапах роботи. Дисертація написана українською мовою і оформлена відповідно до чинних вимог Міністерства освіти і науки України, є завершеною науковою працею. Структура дисертації виправдана логікою дослідження. Рукопис складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 185 сторінок, дисертація містить 21 таблицю, 48 рисунків та додатки. Список використаних джерел налічує 134 найменування, зустрічаються дублювання одних й тих самих джерел. Дисертація М. О. Гречанюка містить авторські висновки, наукові положення і рекомендації. Такий поділ роботи, на нашу думку, дав змогу логічно відобразити цілісний процес наукового пошуку автора.

Слід відзначити широкий спектр сучасних методів дослідження, зокрема не лише комплексне застосування ГІС-технологій, авторадіографії, творчий підхід до застосування радіологічного інструментарію, широкий спектр математико-статистичних методів тощо, що дало змогу здобувачу успішно досягти поставленої мети та реалізувати дослідницькі завдання.

В **анотації** висвітлено узагальнений короткий виклад основного змісту дисертації, зокрема: стисло представлено загальні відомості про дисертацію, мету та поставлені наукові завдання, основні отримані наукові результати дослідження із зазначенням наукової новизни та практичного значення. Анотацію написано державною та англійською мовами. Структура анотації відповідають п. 2 Вимог до оформлення дисертацій, затверджених наказом

Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. (зі змінами). Подано список опублікованих наукових праць автора за темою дисертації.

У **вступі** автором розширено висвітлено актуальність обраної тематики, обґрунтовано використаний науковий апарат. Наведено зв'язок із поточними проектами в галузі, сформульовано мету та завдання дослідження. Завдання підпорядковані досягненню мети логічно і послідовно. Подано короткий огляд застосованих методів. Також описано відомості щодо наукової новизни, ступеню апробації результатів дослідження та публікацій.

Перший розділ розкриває основні радіоекологічні проблеми, що пов'язані із масштабним радіоактивним забрудненням об'єктів навколишнього середовища та його наслідками, зосереджуючись на формуванні радіоекологічної ситуації у природних водоймах зони відчуження. Спочатку розглянуто масштаб радіоактивного забруднення територій, які постраждали від катастрофи, а також зміни, що відбулися у водоймах, включаючи поверхневі та донні відкладення. Окремо проаналізовано забруднення риби в зоні відчуження, оскільки риба виступає біоіндикатором для оцінки радіаційного стану довкілля. Розглянуто дози опромінення, які риба отримує в умовах ЧЗВ, та радіобіологічні ефекти, що виникають у результаті такого опромінення. Представлено методи оцінки зовнішнього та внутрішнього опромінення риби, зокрема підходи до визначення доз опромінення від води та донних відкладень, а також переходу радіонуклідів в організм риб у залежності від хімічного складу води. Окремо розглядаються специфічні радіоекологічні методи моніторингу, що дозволяють здійснювати об'єктивну оцінку радіоактивного забруднення риби з урахуванням величини невизначеності, яка супроводжує ці вимірювання.

У **другому розділі** детально описуються матеріали та методи досліджень, які застосовуються для вивчення радіоекологічного стану в зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Спочатку наведено місця проведення досліджень, зокрема вибрано водойми, та надано опис методів радіоекологічного моніторингу, що використовуються в польових умовах. Увага приділяється дослідженню різних компонентів екосистеми водойм, зокрема особливостям дослідження водних об'єктів та риби як основного об'єкта спостереження. Окремо описуються методи вимірювання активності радіонуклідів у рибі, воді та донних відкладеннях, включаючи методи авторадіографії. Представлено методи оцінки поглинених доз опромінення організму риб як біоіндикаторів та методи оцінки внутрішнього опромінення. Завершує розділ математичний аналіз і статистична обробка результатів, що дозволяє отримати об'єктивну оцінку радіоекологічного стану та впливу радіоактивного забруднення на екосистему водойм у ЧЗВ.

У **третьому розділі** викладено результати досліджень, що стосуються радіоекологічного стану водойм у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Представлено картограми, що відображають особливості структур придонних ділянок водойм.

Аналізуються рівні радіоактивного забруднення в організмах риб різних видів, з урахуванням вмісту калію та кальцію, що впливає на накопичення радіонуклідів у організмі риб. Надано детальні результати радіологічного дослідження компонентів донних відкладень, які є важливими для розуміння процесів переміщення радіонуклідів у водному середовищі. Окремо розглядається радіоактивне забруднення компонентів водних екосистем та закономірності формування поглинених доз внутрішнього та зовнішнього опромінення організмів риб різних видів у природних водоймах зони відчуження.

Заключна частина розділу містить аналіз кореляційних зв'язків між потужністю поглинутої дози опромінення та показниками крові риб, що дозволяє оцінити вплив радіаційного опромінення на фізіологічний стан риб у забруднених водоймах.

Четвертий розділ присвячено виключно аналізу та узагальненню результатів досліджень, представлених у третьому розділі.

У **висновках** розкрито основні результати автора, що відповідають завданням дисертаційного дослідження. Обґрунтованість висновків не викликає сумнівів, оскільки вони підтверджені статистичним аналізом отриманих даних.

Список літератури містить 134 найменування за темою дисертації (більшість із яких латиницею), що цілком достатньо для теоретичного і практичного обґрунтування результатів досліджень, які виконував здобувач.

У **додатках** містяться результати вимірювання амбієнтної еквівалентної дози у профілі донних відкладень озер Бріт і Глибоке, а також перелік публікацій автора за тематикою дослідження.

Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях

Основні положення та висновки дисертації знайшли відображення у 15 наукових працях, з яких 5 статей 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, 3 статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 7 тез наукових доповідей. Отже, результати дисертаційного дослідження достатньою мірою оприлюднено на українських та зарубіжних фахових наукових конференціях та з'їздах.

Таким чином, повнота викладення в опублікованих працях наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, відповідає вимогам МОН України.

Питання для дискусійного обговорення та зауваження щодо роботи

Як будь-яка наукова праця, присвячена дослідженню недостатньо вивчених міждисциплінарних наукових феноменів, дисертація М. О. Гречанюка містить певні неточності та дискусійні положення. Тому, оцінюючи загалом позитивно дисертацію здобувача, вважаю за доцільне вказати на певні недоліки та висловити побажання:

1. У тексті необхідно вживати науково коректну («*питома активність*» замість «*вміст радіонукліду(ів)*») та уніфіковану термінологію («*радіонуклідне забруднення*» і «*радіоактивне забруднення*», «*донні відклади*» і «*донні відкладення*», написання радіонуклідів прописом і спеціальними позначеннями тощо).

2. В оформленні рукопису присутні технічні недоліки: «Перелік умовних позначень, символів і скорочень» варто подавати в алфавітному порядку; в переліку літературних посилань зустрічаються повтори; у змісті роботи (Розділ 2) порушена нумерація підрозділів; в Розділі 3 порушена нумерація таблиць (відсутня табл. 3.3); деякі рисунки «розірвані» між сторінками (рис. 2.8, рис. 3.4), зміст деяких не є узгодженим (рис. 3.4а і рис. 3.4б) або ж частково дублюється (рис. 2.4. і рис. 2.8), а посилання на деякі (рис. 3.4) відсутні в тексті; кількість сторінок комп'ютерного тексту становить 185, а не 184; кількість таблиць становить 21, а не 20.

3. У структурі основного тексту роботи розділ огляду літератури становить аж 26 %, тоді як третього і четвертого розділу – 45 % і 3 % відповідно. Тому доцільно було б розподілити матеріал роботи більш рівномірно, тим більше, що обсяг результатів досліджень це дозволяє.

4. Практичне значення отриманих результатів у Вступі подане скоріше як перелік проробленої роботи, аніж власне практичне значення результатів, хоча останнє не викликає сумніву і логічно впливає з тексту роботи.

5. Слово «*дослідити*» в другому завданні варто було б замінити на «*оцінити*», «*встановити*», «*проаналізувати*» тощо, оскільки «*дослідження*» позначає процес, а не результат.

6. У науковій новизні вказано, що «*вперше запропоновано сучасні методи радіоекологічного моніторингу водойм для зменшення невизначеності оцінок рівнів їх радіонуклідного забруднення...*», що бажано було б уточнити.

7. У висновках до Розділу 1 вказується на актуальність роботи з огляду на «*ядерну і радіаційну небезпека, що створюється терористичними організаціями і країнами...*» (с. 65), цей важливий момент варто було б вказати також і в загальній актуальності роботи.

8. Назва підрозділу 3.2. «*Рівні забруднення організму риби різних видів у досліджуваних водоймах за різного вмісту K і Са*», на мою думку, не зовсім відповідає його змісту, оскільки в підрозділі зроблено акцент на забрудненні води. Можливими назвами могли б бути: «*Оцінка гранично допустимих концентрацій радіонуклідів у воді водойм та їх біоіндикація за допомогою риб*», «*Нормування вмісту радіонуклідів у воді водойм та використання риб як біоіндикаторів радіоактивного забруднення*» або «*Гранично допустимі концентрації радіонуклідів у воді водойм та їх біоіндикація в системі вода-риба*».

9. Не зовсім зрозуміло, для вирішення якого із завдань роботи висвітлено дані підрозділу *3.6. Кореляційні зв'язки між потужністю поглинутої дози опромінення і показниками крові риб*, оскільки здобувач навидить лише результати, але не надає пояснення.

10. Додаток А доцільно було б розділити на дві окремі частини – А1 і А2 – для озер Бріт і Глибоке відповідно, оскільки інформація для цих озер оформлена в додатку по-різному.

Проте висловлені зауваження не мають принципового характеру, стосуються переважно оформлення, а не змісту роботи, і не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дослідження, що мають достатній рівень новизни.

Загальний висновок

Зазначені вище зауваження, недоліки, упущення та пропозиції жодним чином не зменшують позитивної оцінки роботи, а є лише настановами, рекомендаціями у подальших наукових дослідженнях, практичному впровадженні та запрошенням до конструктивної дискусії. Керуючись високою принциповістю, вимогливістю і критичним підходом надаю висновок, що дисертація є завершеною науковою працею, виконана на високому теоретико-методичному рівні, має практичне значення і відповідає чинним вимогам оформлення МОН України. Висновки цілком розкривають завдання дослідження, а поставлена мета досягнута. Біоетичні норми порушено не було. Авторських прав дотримано, посилання на співавторів праць коректне, плагіату (запозичень) не виявлено. Дисертація Гречанюка Максима Олександровича на тему: «Радіоекологічна характеристика природних водойм зони відчуження» присвячена актуальній темі, основні наукові положення та висновки є обґрунтованими, достатньо висвітлені у наукових працях, а отримані результати свідчать про складність, систематичність та важливе значення завершеної наукової праці для науки та практики. Дисертація відповідає вимогам 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, Гречанюк Максим Олександрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки».

Офіційний опонент завідувач відділу радіоекології і дистанційного зондування ландшафтів Інституту агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник Людмила РАЙЧУК