

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності
Національного університету біоресурсів і природокористування України,
кандидата біологічних наук, доцента **Володимира ІЛЛЕНКА**
на дисертацію **Максима ГРЕЧАНЮКА** на тему:
«Радіоекологічна характеристика природних водойм зони відчуження»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки»

Актуальність теми дослідження. Дисертацію Максима Гречанюка присвячено вдосконаленню методів радіоекологічного моніторингу водойм на основі вимірювання сучасними методами параметрів радіологічної обстановки, що склалася внаслідок радіоактивного забруднення навколишнього середовища штучними радіоактивними ізотопами (зокрема ^{137}Cs та ^{90}Sr). Наука і прогрес в цілому не стоять на місці, постійно з'являються нові методи та інструменти для отримання та обробки даних про об'єкти навколишнього середовища. Тому роботи, що дозволяють розширити інструментальну та методичну базу, адаптувати нові підходи до потреб окремих галузей знань завжди зберігають свою актуальність.

Крім того, водні об'єкти, що покривають близько 70 % поверхні Землі ввібрали в себе більшу частину глобальних випадінь штучних радіоактивних ізотопів протягом минулого століття, а також, через безпосередню близькість до підприємств ядерного паливного циклу, одні з перших приймають на себе удар при виникненні радіаційних аварій та надходженні в навколишнє середовище додаткових кількостей радіонуклідів, що відразу включаються у міграційні процеси (ЧАЕС і Фукусіма-1). Рухаючись вгору харчовими ланцюгами до організму людини, радіоактивні ізотопи спричиняють його додаткове опромінення, обмеженням якого є одним з ключових завдань сучасної радіоекології. Тому надзвичайно важливим є чітке розуміння закономірностей руху радіонуклідів, у тому числі у водних екосистемах, для отримання параметрів дозового навантаження на гідробіонтів та оцінки радіологічної обстановки на об'єкті, що напряму пов'язано з необхідністю проведення пробовідборів та вимірювань безпосередньо на місці. Застосування новітніх підходів для отримання необхідних даних з меншими затратами часу та зусиль дозволяє отримати достатньо фактичного матеріалу для правильної оцінки та прийняття науково обґрунтованого рішення. Саме такий підхід і продемонстровано здобувачем, що теж позитивно впливає на актуальність представленого дослідження.

Ще важливим є питання збереження та відновлення біорізноманіття природоохоронних територій, до якого, певною мірою, робота теж дотична. Дослідження проведено на водних об'єктах Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. Ретроспективна оцінка доз іонізуючого випромінювання на момент аварії у 1986 році показала, що іхтіофауна у водоймах Чорнобильської зони відчуження отримала значні дози опромінення, причому для багатьох видів прісноводних риб ці дози оцінюють як летальні та півлетальні, що неминуче мало негативно впливати на популяції цих видів. Проте сьогодні, здобувачу своїй роботі показує наявність значної кількості представників кількох типових для цієї місцевості популяцій риб у досліджуваних озерах. Це непрямим чином може свідчити про відновлення біорізноманіття екосистем таких «замкнених» прісноводних озер за час, що минув після аварії, а також доводить необхідність перегляду підходів до оцінки доз опромінення водних організмів з урахуванням додаткових чинників – спосіб життя виду,

особливості розвитку і розмноження, час перебування у різних частинах водойми протягом року, харчування, індивідуальна радіочутливість особин і т. д.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації, їх новизна та практичне значення. Дисертація Максима Гречанюка містить нові результати щодо просторового розподілу радіоактивних ізотопів у донних відкладах озер, оптимізації проведення пробовідборів із залученням нових підходів і обладнання та розглядає можливості скорочення кількості подальших прямих вимірювань зразків у лабораторії для отримання статистично-достовірних даних щодо радіологічної обстановки водного об'єкту.

Зокрема, здобувачем вперше запропоновано сучасні методи радіоекологічного моніторингу 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 у роботі показано удосконалену 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.

Всі результати достовірні та належним чином науково обґрунтовані. Застосовано нові сучасні методи досліджень. Значний обсяг польових досліджень у природних озерах Чорнобильської зони відчуження дозволили накопичити великий масив даних для розрахунків та відповідних статистичних тестів, якими підкріплено висновки даного дослідження. Наукова обґрунтованість та достовірність результатів підтверджується публікаціями результатів дисертації у журналі *Journal of Environmental Radioactivity*, що відноситься до квартилю Q2 (Scopus).

Загалом дисертацію Максима Гречанюка можна охарактеризувати як фундаментальну наукову роботу зі значним практичним спрямуванням. Вона виконана на високому сучасному рівні. Завдяки поєднанню даних зібраних з допомогою БПЛА та програмам для дистанційного зондування землі вдалося отримати ортофотоплани рельєфу навколо озер Бріт та Глибоке, а також картосхеми щільності забруднення їх донних відкладів, що можуть бути використані для подальшого практичного застосування під-час моніторингу міграції та перерозподілу активності радіонуклідів з часом. Також за безпосередньої участі здобувача було розроблено та створено спеціальний пробовідбірник, що дозволяє відбирати донні відклади з різних глибин водойм та одночасно оцінювати потужність амбієнтного еквівалента дози при цьому на різній глибині. Пробовідбірником такої конструкції можуть в майбутньому користуватися інші науковці чи співробітники зони відчуження ЧАЕС або, наприклад, природного заповідника «Древлянський» для досліджень інших забруднених радіонуклідами водойм.

Проведені дослідження дозволили отримати залежності між вмістом радіонуклідів у організмі риб та воді водойми, а також концентраціями хімічних аналогів радіоактивних ізотопів. Завдяки цьому можна за результатами вимірювання одних параметрів прогнозувати значення інших, що дозволяє розширити перелік даних при оцінці радіологічної обстановки водойми.

Крім того, в роботі запропоновано підхід щодо оцінки гранично допустимої концентрації радіонуклідів у воді для забезпечення неперевищення допустимого вмісту ^{90}Sr та ^{137}Cs в рибі відповідно до ДР-2006 з урахуванням різного вмісту розчиненого калію і кальцію.

Важливим з практичної точки зору також можна вважати запропоновану здобувачем схему оцінки наднизьких активностей радіонуклідів у воді за результатами вимірювання питомої активності цих радіонуклідів у організмі риб. Виявити низькі активності радіонуклідів прямими вимірюваннями води без застосування трудомістких методів концентрування часто не є можливим, так як активність нижче МДА.

Результати, отримані в рамках виконання дисертаційного дослідження доцільно також використовувати у ЗВО для підготовки екологів у навчальних курсах: «Екологічна біоіндикація», «Моніторинг довкілля», «Радіобіологія та радіоекологія» (ОС «Бакалавр»), «Радіоекологічний моніторинг» (ОС «Магістр»).

Структура дисертації, повнота викладення основних результатів у наукових публікаціях. Результати дисертації відображені у 15 наукових публікаціях, 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 науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України, 7 тез наукових доповідей.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел інформації та додатків з результатами вимірювань. Загальний обсяг дисертації становить 184 сторінки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики в контексті застосування можливостей новітніх засобів вимірювання для отримання необхідних значень параметрів радіологічної обстановки водних об'єктів після їх забруднення радіонуклідами. Наведено зв'язок із науковими проєктами та грантами, сформульовано мету та завдання дослідження, подано короткий огляд застосованих методів. Також наведено відомості щодо наукової новизни, апробації результатів дослідження та публікацій.

У *першому розділі* викладено огляд літератури, де наводиться інформація про наслідки аварійного викиду Чорнобильської АЕС, детально описано динаміку зміни та поточний стан розподілу радіонуклідів у донних відкладах «закритих» водойм Чорнобильської зони відчуження, відомості щодо питомої активності радіонуклідів у рибі, особливостей формування поглиненої дози опромінення для риб та появи радіобіологічних ефектів. Проведено аналіз існуючих програмних інструментів та методів для оцінки поглинених доз зовнішнього та внутрішнього опромінення риб.

У *другому розділі* наведено методи, які було використано під час виконання дисертаційного дослідження, надано опис озер Чорнобильської зони відчуження, де проводили польові експериментальні роботи. Представлено опис створеного за участі здобувача пробовідбірника для відбору зразків донних відкладів, процедур вимірювання питомої активності радіонуклідів у донних відкладах та рибі. Значну увагу приділено опису методик оцінки поглинених доз зовнішнього та внутрішнього опромінення риб.

У *третьому розділі* наведено детальний аналіз карт озера Бріт і території навколо нього із зазначенням даних щодо рельєфу місцевості, значень потужності амбієнтного еквівалента дози та ботометрії. Наведено аналіз отриманих результатів та оцінку ризиків перерозподілу радіоактивності за рахунок змиву. Встановлено, що рельєф навколо озера Бріт має великі перепади висот, які сприяють надходженню радіонуклідів у водойму під час опадів. Навколо озер виявлені місця зі значеннями потужності амбієнтного еквівалента дози вище $13 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}$, де автором рекомендується посилити проведення радіоекологічного моніторингу. Виконаний аналіз результатів вимірювання вертикального розподілу потужності поглиненої дози донних відкладень. Максимальна ППД – $23 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ була зафіксована на глибині 1,2 м на ділянці 1-0 в озері Бріт. Питома активність радіонуклідів

у донних відкладеннях показала високі рівні забруднення, особливо для ^{90}Sr і ^{137}Cs та значну просторову нерівномірність розподілу активності. Виявлено також наявність «гарячих частинок» у донних відкладах обох озер. Здобувачем відмічається, що тісний зв'язок між питомою активністю радіонуклідів в організмі риб і воді при різній концентрації K^+ і Ca^{2+} у воді дозволяють використовувати рибу в якості біоіндикатора радіоактивного забруднення води у водоймах. Наведено значення річних поглинених доз внутрішнього та зовнішнього опромінення для досліджуваних видів риб. Сумарна річна поглинена доза для карася сріблястого в озері Бріт становлять $79\text{--}147 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ і в озері Глибоке – $306\text{--}390 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$; для лини – $250\text{--}284 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ та $208\text{--}564 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$; для краснопірки – $286\text{--}386 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ та $109\text{--}122 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$; для щуки – $206\text{--}213 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ та $151\text{--}185 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$; для окуня річкового – $202\text{--}252 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ та $206\text{--}222 \text{ мГр}\cdot\text{рік}^{-1}$ відповідно.

У четвертому розділі узагальнено отримані результати та проведено порівняння з дослідженнями інших науковців. Зокрема зазначено, що поглинені дози рибою в озерах Бріт і Глибоке знаходяться на рівні, який може призвести до появи перших патологічних змін в особинах популяції, але здобувачем про виявлення таких у процесі експериментальних досліджень не повідомляється.

Відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. У роботі Максима Гречанюка відсутні ознаки академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації. Наукові результати інших авторів використовуються лише в порівняльному аспекті та містять посилання на відповідне джерело.

Питання для дискусійного обговорення:

1. Ви вказуєте, що основними дозоутворюючими радіоактивними ізотопами у компонентах досліджуваних водойм є ^{137}Cs і ^{90}Sr . Чи дійсно це так? Озера Глибоке та «Бріт» знаходяться досить близько до зруйнованого реактора ЧАЕС, тому наявність важких радіоактивних ізотопів америцію та плутонію, наприклад, теж можна припустити з високою вірогідністю. Перевіряли Ви це? Чи, можливо, знайомі з результатами інших наукових досліджень, що підтверджують Ваше твердження про ^{137}Cs і ^{90}Sr , як основні дозоутворюючі радіонукліди у озерах Глибоке та Бріт.

2. У результаті проведених оцінок поглинутих доз різними видами риб в досліджуваних озерах розраховано, що найбільшу поглинуту дозу в озері Бріт отримують окунь, лин і краснопірка, а найменшу карась, а в озері Глибоке найбільша поглинута доза характерна для таких видів риб як лин і карась, а найменша доза для щуки і краснопірки. Як, на Вашу думку, можна пояснити, що карась у озері Бріт отримує найменшу поглинуту дозу, а в озері Глибоке найбільшу? Краснопірка ж, навпаки, а лин в лідерах для обох озер?

3. Як, на Вашу думку, можна пояснити, що у краснопірки є перевищення внеску у сумарну поглинену дозу від джерел внутрішнього опромінення, тоді як для карася явно є вищим вклад від джерел зовнішнього опромінення в сумарну дозу?

4. Сформулюйте, чому Ви вважаєте можливим використовувати рибу як біоіндикатор рівня радіонуклідного забруднення води у водоймі, та які види риб можете рекомендувати як біоіндикаторні? Чи можливо Вашу методику для оцінки рівня питомої активності використовувати для проточних водойм, наприклад, для річок, чи тільки для відносно закритих – таких як озера та ставки?

5. Згідно з отриманими Вами результатами (розділ 3), чи рекомендуєте Ви переглянути допустимі рівні для питної води 2 Бк/л щодо ^{137}Cs і ^{90}Sr ? Чи, можливо, варто ввести додатковий параметр для оцінки придатності водойми з радіологічної точки зору, якщо в ній планується розводити рибу?

6. Ви визначили особливості формування поглиненої дози для трьох видів умовно «мирних» та двох видів «хижих» риб у озерах з різними параметрами забруднення радіонуклідами. Чи відмічали Ви якісь закономірності чи відмінності у формуванні сумарної поглиненої дози, або окремо для поглиненої дози зовнішнього і внутрішнього опромінення у «мирних» і «хижих» видів риб?

Зазначені положення та питання не знижують наукової новизни та практичного значення проведених досліджень у рамках даної роботи.

Висновок. Дисертація Максима Гречанюка на тему: «Радіоекологічна характеристика природних водойм зони відчуження» за актуальністю, ступенем новизни та практичним значенням представлених результатів, їх обґрунтованості, повноти викладення в опублікованих наукових працях відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 261 від 23 березня 2016 року, 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 заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки».

Рецензент доцент кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат біологічних наук, доцент Володимир ІЛЛЄНКО