

ВІДГУК

опонента доктора технічних наук, старшого наукового співробітника

ТАЛЕРКО Миколи Миколайовича

на дисертацію **Голяки Дмитрія Миколайовича** на тему:

«Просторове і темпоральне оцінювання радіоекологічних показників лісів, забруднених радіонуклідами внаслідок Чорнобильської аварії»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук за науковою спеціальністю
03.00.01 «Радіобіологія»

Ступінь актуальності обраної теми докторської дисертації. Сучасні радіоекологічні дослідження все більше залучають для вирішення теоретичних та прикладних завдань підходи інших дисциплін, оскільки вивчення процесів міграції, переносу та депонування радіонуклідів не може розглядатися відокремлено від якісних і кількісних ознак екосистем. Пошуки в цьому напрямком потребують не лише застосування способів класичних радіометричних вимірювань, дозиметрії, математичної статистики чи вже звичних для таких робіт ґрунтознавства і біогеохімії, а й вузькоспеціалізованих знань, характерних для відповідних типів біогеоценозів. Для лісових екосистем - це лісознавство, лісова таксація та багато інших. Водночас, з'являється велика кількість нових, більш ефективних інструментів моделювання, що безпосередньо пов'язано з зростанням потужності обчислювальних систем та розвитком їх алгоритмічної основи. Не залишилася осторонь цих трендів і дисертація Голяки Дмитрія Миколайовича, в якій можна відстежити всі етапи отримання та трансформації даних: від польових вишукувальних робіт до агрегації результатів моделювання радіоекологічних та інших показників лісових екосистем Чорнобильської зони відчуження на основі підходів машинного навчання і геостатистичного аналізу з можливістю надання конкретних рекомендацій для компетентних установ.

У дисертації здобувача здійснено актуалізацію сучасного радіоекологічного стану лісових екосистем Чорнобильської зони відчуження та прилеглих територій з використанням великого обсягу польового та лабораторного дослідного матеріалу, зібраного щонайменше протягом 8 останніх років. Реалізовано цілісний підхід до оцінювання забруднення лісових екосистем основними біологічно значущими радіонуклідами на сучасному етапі (^{90}Sr і ^{137}Cs) – від окремих органів дерев та структурних елементів ґрунту до загального вмісту в екосистемі й окремих потоках. Це дозволило виявити тенденції часової динаміки змін характеристик міграції радіонуклідів між компонентами лісових екосистем в період після Чорнобильської аварії та розробити підходи до прогнозування перерозподілу ^{137}Cs та менш дослідженого ізотопу ^{90}Sr в біогеоценозі у майбутньому. Варто зазначити, що подібних робіт

в таких обсягах спостережень та з подібною деталізацією для деревних угруповань одночасно для ^{90}Sr і ^{137}Cs раніше в Україні не виконувалося, а за кордоном їх кількість надзвичайно обмежена. Тому результати даної роботи мають велику значущість не лише для вітчизняної науки, але й для вчених інших держав, що працюють у цьому напрямку досліджень.

Актуальність комплексного оцінювання просторової неоднорідності та часової динаміки радіоекологічних показників чорнобильських лісів, зокрема розподілу ^{137}Cs і ^{90}Sr між компонентами лісових екосистем, а також встановлення зв'язків між радіонуклідним забрудненням, характеристиками деревостанів і ґрунтовими умовами не викликає сумніву. Отримані закономірності є базовими елементами, необхідними для удосконалення радіоекологічного моніторингу та наукового обґрунтування використання лісових ресурсів на ділянках зі значними рівнями радіонуклідного забруднення. Додаткової ваги дисертації надають результати визначення ресуспензії ^{137}Cs в аерозолях диму під час ландшафтних пожеж, які підтверджують і доповнюють результати попередніх досліджень, а також оцінки внутрішніх та зовнішніх доз іонізуючого випромінювання для учасників пожежогасіння в період природних пожеж у 2016 і 2020 рр. на найзабрудненіших ділянках зони відчуження поряд із Чорнобильською АЕС.

Теоретична значущість та практична спрямованість дисертації визначаються її зв'язком із понад десятком прикладних і фундаментальних науково-дослідних тематик, які виконувалися у Національному університеті біоресурсів і природокористування України в рамках державного фінансування, а також проєктів і грантів міжнародних організацій та урядів іноземних держав, де здобувач виступав як керівник або виконавець.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизна і загальнонаціональне або світове значення. У дисертаційному дослідженні Голяки Дмитрія Миколайовича використано низку загальних і спеціалізованих підходів, що апробовані та верифіковані в попередніх дослідженнях щодо визначених об'єктів. Також здобувачем здійснено модифікацію та апробацію низки методів з метою покращення якості оцінювання радіологічних показників лісових насаджень, зокрема способу формування усередненого зразка для встановлення питомої активності радіонуклідів у компонентах деревного стовбура або стовбура в цілому. Збір емпіричних даних під час польових робіт та лабораторні вимірювання виконувалися з дотриманням встановлених окремих стандартів/правил до способу їх здійснення. Вимірювання вмісту радіонуклідів проводилося на приладах із калібруванням відповідно до чинних вимог стандартів. Для

підтвердження чи спростування гіпотез дослідження використовувалися методи математичної статистики. У розділі, присвяченому можливостям застосування сучасних алгоритмів машинного навчання для оцінювання рівнів депонування, використовувався класичний у цій галузі метод крос-валідації з розділенням первинної вибірки на тренувальну і тестову/валідаційну. Все вищезазначене свідчить про високий науковий рівень виконаних досліджень та дотримання формальної логіки під час формування висновків і рекомендацій на основі зібраного польового та експериментального матеріалу, що забезпечує їх відтворюваність. Високий рівень проведених досліджень дозволив опублікувати отримані результати у журналах, індексованих у наукометричних базах Scopus/Web of Science з рейтингом на рівні квартилів Q1–Q2.

Дисертація містить низку положень, що вперше розглядаються на національному та міжнародному рівні. Так здобувач уперше:

- цілісно виявив відмінності поведінки ^{90}Sr та ^{137}Cs у стовбуровій деревині дерев сосни звичайної віком від 17 до 145 років із диференціацією деревини за анатомічними органами;
- охарактеризував ефективність застосування алгоритму XGBoost для моделювання рівня депонування деревиною ^{90}Sr і ^{137}Cs порівняно з типовим для лісової екології групуванням насаджень за лісотаксаційними ознаками;
- вказав на можливість оцінювання коефіцієнтів переходів біологічно мобільних радіонуклідів із використанням даних мультиспектральних знімків супутників Sentinel.

Ці та інші результати, отримані в дисертаційній роботі, мають високу цінність не лише для України, але й для інших держав, що мають розвинуту ядерну промисловість та атомну енергетику або зазнали забруднення радіонуклідами. Знання закономірностей просторового чи міжкомпонентного перерозподілу радіонуклідів в екосистемах (зокрема лісових) відіграє вирішальну роль для оцінювання радіологічних ризиків для населення на вже забруднених радіонуклідами територіях, а також на тих, що потенційно можуть бути забруднені внаслідок аварій на ядерно небезпечних об'єктах.

Оцінка основного змісту та оформлення роботи. Дисертацію підготовлено у формі наукової доповіді за сукупністю опублікованих наукових праць, що передбачено чинним Порядком присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197. Вона складається зі вступу, основної частини та висновків із пропозиціями виробництву. Основна

частина містить 8 окремих розділів, у яких викладено результати вирішення конкретних завдань дисертаційної роботи. Порядок їх представлення відповідає послідовності виконання завдань дисертаційної роботи. Кожен розділ починається з короткого узагальнення основних наукових положень отриманих у публікаціях, після чого наведено копії самих публікацій. У разі, якщо в розділі містяться кілька публікацій, вони виділені в окремі структурні одиниці (підрозділи), які відображені у змісті. Таким способом згруповано 17 публікацій: 10 статей, опублікованих у фахових наукових журналах, індексованих в Scopus/Web of Science рівня Q1–Q2, та 6 статей в інших наукових виданнях. Крім того, до дисертації включено один розділ науково-довідкових матеріалів, у якому представлено результати навчання XGBoost моделей для створення комплексного алгоритму оцінювання ознак лісових екосистем із можливістю вибору прогнозованого періоду від 2020 до 2050 рр.

Загальний висновок дисертації містить 17 пунктів, які узагальнюють результати дослідження на основі фактичного матеріалу та впливають із даних його статистичної і математичної обробки. У пропозиціях виробництву представлені окремі наукові положення, які мають прикладне значення для установ та організацій, що провадять діяльність на лісових ділянках зі значними рівнями радіонуклідного забруднення.

Загалом зміст та структура наукової доповіді узгоджуються з метою та завданнями дослідження, матеріал викладено послідовно з дотриманням формальної логіки. Оформлення дисертаційного дослідження відповідає чинним вимогам.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. Обрана форма представлення результатів досліджень, за якої наукові публікації безпосередньо й повністю відображають усі етапи виконаних робіт, отримані результати та їх узагальнення, забезпечує повну ідентичність між змістом дисертації та покладених в її основу праць.

Результати дисертаційних досліджень опубліковано в 61 науковій та науково-методичній праці, зокрема: розділ монографії, 21 стаття в періодичних виданнях, проіндексованих в наукометричних базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus (із них 14 статей опубліковано в наукових журналах із квантилями Q1 і Q2), 5 статей у журналах категорії «А» з Переліку наукових фахових видань України, 1 стаття в інших спеціалізованих наукових виданнях, 22 матеріали та тези наукових доповідей на конференціях і симпозіумах. За тематикою дисертації підготовлено 4 науково-методичні рекомендації, отримано 5 авторських свідоцтв на твори і комп'ютерні програми та опубліковано 2 колекції даних, що відповідають принципам FAIR.

Відсутність академічного плагіату, фабрикацій, фальсифікацій. Вивчення матеріалів дисертації та ґрунтовний аналіз списку наукових публікацій дають підстави стверджувати про відсутність ознак порушення академічної доброчесності, а саме: академічного плагіату, самоплагіату, компіляції, фабрикації та фальсифікації результатів досліджень. Представлена дисертація є самостійно виконаною, завершеною та оригінальною роботою, яка не містить порушень академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів супроводжується посиланнями на відповідні джерела. Оскільки кандидатська дисертація Голяки Дмитрія Миколайовича належала до іншої галузі наук (була присвячена оцінці біомаси чагарникових верб), її матеріали не могли використовуватися у структурних елементах цієї роботи. Переважна частина наукових публікацій здобувача, представлених у списку за темою дисертації, створена спільно з іншими вченими та колективами в межах виконання міжнародних та мультидисциплінарних досліджень. Для таких робіт у дисертації детально розписано функцію кожного співавтора.

Зауваження та побажання. Разом з тим, опонент вважає за необхідне зупинитися на деяких моментах, щодо яких бажано отримати роз'яснення від здобувача.

1. Є зауваження до опису моделі кругообігу ^{90}Sr у соснових насадженнях, викладеної в розділі 3 (стор. 142-144), а саме:

а) в описі моделі значення коефіцієнтів моделі k наведено як безрозмірні, насправді вони мають розмірність 1/рік;

б) застосування методу градієнтного спуску при мінімізації цільової функції з метою визначення значень цих коефіцієнтів у системі рівнянь принципово можливе. Проте відомо, що головним недоліком цього методу є застрягання в локальних мінімумах, що призводить до хибних розв'язків. За необхідності обчислення одразу 30 коефіцієнтів системи рівнянь ця проблема є суттєвою. Вирішити її можна або застосуванням інших, більш стійких методів мінімізації цільової функції, або з використанням великого масиву вхідних даних вимірювань за тривалий час спостережень. У зв'язку з цим незрозуміло, наскільки за даними, отриманими за обмежений період спостережень (2016–2018 рр.), можна отримати коректні оцінки коефіцієнтів моделі, що застосовується для опису динаміки з 1990 по 2025 рр.;

в) В моделі TRIPS, яка використана як прототип схеми кругообігу ^{90}Sr , першою коміркою, яка визначає загальний потік радіонукліда в лісову систему, є атмосферні випадіння на крону та підстилку, що відповідає реальній ситуації в початковий період формування поля випадінь. В моделі кругообігу ^{90}Sr , представлений в цій роботі, початковий період (перший рік) формування забруднення деревостану не розглядається. Бажано було б

з'ясувати, чи може дана модель бути узагальнена для оцінювання забруднення компонентів лісової екосистеми в початковий період аварійних випадів радіонуклідів., що вкрай важливо для оцінок , зокрема, для оцінювання емісії радіонуклідів в атмосферу при лісових пожежах у перші роки після аварійних випадів.

2. Розділ 5 «Просторово-темпоральний розподіл території ЧЗВ за рівнями радіоактивного забруднення» містить результати аналізу зонування територій радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії за очікуваними ефективними дозами опромінення населення та щільністю радіонуклідного забруднення земель. За своїм змістом та наведеними результатами він виглядає відірваним від основних задач, сформульованих в дисертаційній роботі.

3. У розділі 6.2 (стор. 213) проаналізовано вплив погодних факторів на швидкість радіального росту стовбура сосни за матеріалами досліджень на двох майданчиках в Зоні відчуження. Статистичний аналіз показав, що, незважаючи на загальну подібність часової динаміки, знайдені значення реперних років для них не збігаються (за винятком 1979 р.). Таким чином, за однакових кліматичних умов для обох майданчиків, результати оцінювання їхнього впливу для заданого року можуть виявитися непередбачувано різними. У зв'язку з цим виникає питання, наскільки статистично обґрунтованими є висновки щодо впливу зовнішніх факторів для кожного року, включаючи і додатковий вплив радіаційного опромінення в 1986 році.

4. В розділі 8 при розрахунках доз опромінення персоналу, що бере участь в ліквідації лісових пожеж в Зоні відчуження, використано значення АМАД (Table 2 на стор. 388), що дорівнює 5 мкм для ^{90}Sr та 1 мкм для решти дозоутворюючих нуклідів. Однак існують свідчення, що якраз відносно великі аерозольні частинки (як правило, це зола) є збагаченими стронцієм відносно цезію. Зокрема, протягом пожеж 2015 року зафіксовано спадання відношення активності $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в приземному повітрі з віддаленням від території пожежі як наслідок більшої швидкості осадження великих частинок на земну поверхню. Бажано надати більш детальне обґрунтування вибору такої параметризації властивостей аерозольних частинок – продуктів природних пожеж.

5. У розділі 8 (с. 404) та в п. 17 Загальних висновків (с. 410) на основі даних експериментів стверджується, що викид активності аерозольного ^{137}Cs в атмосферу під час згорання щойно зрізаних зелених гілочок сосни може досягати 24 % від валової активності, що значно перевищує загально прийняті значення (до 5 %) при горінні лісової підстилки. Такий висновок потребує більш детального обґрунтування за даними додаткових

експериментів з різними значеннями вологості зразків, їх маси та заданої температури горіння.

Далі, відповідно до цього результату в Анотації (стор. 7) зроблено висновок, що можна «вважати верхові пожежі у хвойних деревостанах зіставними з хвойною підстилкою щодо рівнів емісії ^{137}Cs в атмосферне повітря». Важко погодитися з цим твердженням із двох причин: 1) значення коефіцієнта емісії нуклідів при лісових пожежах в натурних умовах може суттєво відрізнятися від даних лабораторних експериментів, 2) на даний час запас активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у свіжій хвої складає лише близько 2 % від загального.

6. Крім того, в тексті дисертації зустрічаються дрібні неточності в формулюваннях та некоректні визначення, які потребують літературного редагування, зокрема:

- Формулювання «що дозволяє вважати верхові пожежі... зіставними з хвойною підстилкою» (с. 7–8) є некоректним за змістом (це різні поняття: явище та матеріал).
- В переліку умовних позначень (стор. 46) розмірність коефіцієнта переходу має бути $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \times 10^{-3}$.

Зроблені зауваження і побажання не впливають на загальну високу оцінку наукового рівня дисертації та не піддають сумніву основні наукові результати, отримані автором, їхнє значення для методології, теорії і практики лісової радіоекології, а також прикладне значення для управління лісами, що ростуть на забруднених радіонуклідами землях.

Загальна оцінка дисертації та висновок

Дисертаційна робота Голяки Дмитрія Миколайовича на тему «Просторове і темпоральне оцінювання радіоекологічних показників лісів, забруднених радіонуклідами внаслідок Чорнобильської аварії» відповідає паспорту наукової спеціальності 03.00.01 «Радіобіологія» і є завершеним та особисто виконаним науковим дослідженням, що відзначається достовірністю і обґрунтованістю викладених теоретичних та прикладних положень, а також за сукупністю результатів розв'язує важливу наукову проблему лісової радіоекології – диференціації насаджень і їх компонентів за екологічними функціями та можливостей господарського використання на основі узагальнень за закономірностями просторового, темпорального і біогеоценотичного розподілу техногенних радіонуклідів (^{90}Sr і ^{137}Cs) в лісових екосистемах. Реферат та наукові публікації повною мірою відображають результати дисертаційних досліджень та є логічно і структурно упорядкованими. Наукові положення, представлені у вигляді наукової доповіді, є достовірними і достатньо обґрунтованими.

Дисертаційна робота змістом, рівнем і глибиною опрацювання експериментального матеріалу, його опублікуванням та апробацією відповідає паспорту спеціальності 03.00.01 – Радіобіологія, вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор Голяка Дмитрій Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.01 – Радіобіологія.

Опонент:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу радіаційної екології
Інституту проблем безпеки
атомних електростанцій
Національної академії наук України



Микола ТАЛЕРКО

Підпис М. М. ТАЛЕРКА засвідчую

Учений секретар ІПБ АЕС НАН України

д.т.н.



К.В. Сімейко