

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 504.06:591.5:502.3/.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.40>

БІОМОНІТОРИНГ МИСЛИВСЬКИХ ТВАРИН ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Бусленко Л.В., Теплюк В.С.

Волинський національний університет імені Лесі Українки
пр. Волі, 13, 43025, м. Луцьк
lesybuslenko@gmail.com, tepluk.vadym@vnu.edu.ua

Стаття присвячена ролі мисливських тварин як індикаторів стану природних екосистем у контексті антропогенного навантаження. Метою роботи було оцінити біоіндикаційний потенціал мисливських тварин як індикаторів антропогенного забруднення природних екосистем на основі результатів польових екоотоксикологічних досліджень. Дослідження проведено у мисливських угіддях Волинської області з включенням різних типів екосистем (лісові, агроландшафти, прибережні зони). Проаналізовано зразки тканин (печінка, нирки, м'язова тканина) відстріляних тварин із визначенням концентрацій Pb, Cd, Zn та Cu методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Статистичну обробку результатів здійснено з використанням параметричних критеріїв з оцінкою вірогідності відмінностей ($p < 0,05$). Встановлено статистично значуще підвищення концентрацій Pb і Cd у тканинах тварин, що мешкають в агроландшафтах, порівняно з лісовими екосистемами ($p < 0,05$). Найвищі рівні накопичення характерні для печінки та нирок, що перевищують відповідні показники м'язової тканини на 35–60%. Водночас концентрації Zn і Cu демонстрували відносну стабільність між групами, що свідчить про їхню фізіологічну регуляцію. Виявлено залежність рівня акумуляції металів від типу середовища існування та трофічних особливостей тварин. Вперше проведено комплексну порівняльну оцінку накопичення важких металів у тканинах диких копитних у різних типах екосистем із кількісним визначенням міжгрупових відмінностей та встановленням їх індикаторного значення. Отримані результати можуть бути використані для екологічного моніторингу мисливських угідь, оцінки безпеки мисливської продукції та обґрунтування заходів щодо зниження техногенного навантаження на природні екосистеми. *Ключові слова:* важкі метали, біоіндикація, дики копитні, екосистеми, екологічний моніторинг.

Biomonitoring of game animals as an indicator of the state of natural ecosystems in the context of anthropogenic pressure.
Buslenko L., Tepluk V.

This article examines the role of game animals as indicators of the state of natural ecosystems in the context of anthropogenic pressure. The aim of the study was to assess the bioindicator potential of game animals as indicators of anthropogenic pollution in natural ecosystems based on the results of field ecotoxicological studies. The study was conducted in hunting grounds in the Volyn region, encompassing various types of ecosystems (forests, agricultural landscapes, and riparian zones). Tissue samples (liver, kidneys, muscle tissue) from hunted animals were analyzed to determine the concentrations of Pb, Cd, Zn, and Cu using atomic absorption spectrophotometry. Statistical analysis of the results was performed using parametric tests with a significance level of $p < 0.05$. A statistically significant increase in Pb and Cd concentrations was found in animals inhabiting agricultural landscapes compared to forest ecosystems ($p < 0.05$). The highest accumulation levels were observed in the liver and kidneys, exceeding those in muscle tissue by 35–60%. In contrast, Zn and Cu concentrations showed relative stability between groups, indicating physiological regulation. A clear relationship between metal accumulation levels, habitat type, and trophic characteristics of animals was established. For the first time, a comprehensive comparative assessment of heavy metal accumulation in tissues of wild ungulates across different ecosystem types was conducted, with quantitative evaluation of intergroup differences and determination of their bioindicator significance. The obtained results can be used for environmental monitoring of hunting areas, assessment of game meat safety, and development of measures to reduce technogenic pressure on natural ecosystems. *Key words:* heavy metals, bioindication, wild ungulates, ecosystems, environmental monitoring.

Постановка проблеми. Сучасні екосистеми зазнають інтенсивного антропогенного впливу, що супроводжується накопиченням токсичних елементів у компонентах довкілля. Особливу небезпеку становлять важкі метали, які здатні акумулюватися у трофічних ланцюгах і впливати на біологічні системи різних рівнів організації. У зв'язку з цим виникає

потреба у розробці ефективних підходів до оцінки рівня забруднення природних екосистем [1–3].

Сучасні дослідження переконливо доводять можливість використання мисливських видів як біомоніторів хімічного забруднення. Показано, що концентрації кадмію, свинцю та інших важких металів у тканинах дикого кабана, зайця-русака та бла-



© Бусленко Л.В., Теплюк В.С., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

городного оленя відображають рівень техногенного навантаження і дозволяють чітко диференціювати природні, аграрні та урбанізовані ландшафти [4; 5].

Разом із тим антропогенний тиск на екосистеми не обмежується хімічним забрудненням. Інтенсивність мисливської діяльності, фрагментація середовищ існування, аграрна експансія та урбанізація призводять до змін просторової структури популяцій, вікового й статевого складу, а також поведінкових патернів диких тварин. Довготривалі спостереження свідчать, що навіть за відсутності вираженого токсикологічного навантаження мисливський пресинг і господарська трансформація ландшафтів здатні істотно змінювати угруповання ссавців, що має бути враховано у системі екологічної індикації [6; 7].

Незважаючи на зростання кількості публікацій, присвячених біомоніторингу мисливських тварин, залишається низка невирішених проблем. Більшість досліджень зосереджені на окремих індикаторах (переважно вмісті важких металів) без інтеграції їх з популяційними та просторовими показниками, що обмежує екосистемну інтерпретацію отриманих результатів [1–5]. Відсутня уніфікована система відбору біоматеріалу та оцінки індикаторних параметрів, що ускладнює порівняння даних між регіонами та різними типами угідь [5]. В Україні біомоніторинг мисливських тварин переважно використовується у межах мисливськогосподарських обліків і рідко розглядається як інструмент оцінки стану природних екосистем у контексті загального антропогенного навантаження [8–10].

Актуальність дослідження. Біомоніторинг мисливських тварин у сучасній літературі дедалі частіше використовується як спосіб оцінити не «наявність забруднювача», а фактичний біологічний наслідок антропогенного тиску на екосистему. Встановлено, що тканини мисливських видів акумулюють інтегровану інформацію про якість середовища, оскільки тварини контактують із ґрунтом, водою та кормами впродовж тривалого часу, а відтак відображають кумулятивну дію факторів [1; 2; 4]. З цієї точки зору сформувався домінуючий напрям останніх років – оцінювання важких металів і металоїдів як маркерів техногенного навантаження, що дозволяє порівнювати території з різним типом трансформації.

Показано, що *Sus scrofa* є одним із найінформативніших мисливських біомоніторів у зонах змішаного впливу агроландшафтів, урбанізації та локальних промислових джерел. Встановлено, що концентрації кадмію та свинцю в біоматеріалі кабана відображають територіальні відмінності рівнів забруднення і можуть слугувати індикатором екологічної якості середовища на регіональному рівні [1]. Уточнено, що індикаторна чутливість цього виду посилюється за рахунок omnivornого типу живлення та активної взаємодії з ґрунтом, що підвищує ймовірність надходження металів через трофічний ланцюг. Окремо встановлено, що порівняння популяцій із урбанізо-

ваних і відносно «диких» територій дає можливість не лише фіксувати факт накопичення елементів, а й виділяти «профілі антропогенного впливу», які різняться за набором елементів і рівнем їх концентрацій [2] (рис. 1).

Індикаторна інформативність мисливських тварин має виражений видоспецифічний характер і змінюється залежно від типу антропогенного навантаження. *Sus scrofa* характеризується високою індикаторною чутливістю в урбанізованих та аграрно трансформованих ландшафтах, що зумовлено його omnivornим типом живлення та активною взаємодією з ґрунтом [1; 2; 6]. *Cervus elaphus* відображає інтегральний стан лісових екосистем та чутливий до мисливського пресингу, що підтверджує доцільність мультивидового підходу до біомоніторингу [3; 4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано в межах екологічного моніторингу та оцінки екологічного стану мисливських угідь. Отримані результати спрямовані на вдосконалення підходів до біоіндикації техногенного забруднення та можуть бути використані у практиці природоохоронного управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що *Cervus elaphus* у дослідженнях останніх років розглядається не лише як біоіндикатор, а як елемент ширшої рамки One Health, де накопичення токсичних елементів у дикій фауні пов'язують із потенційним ризиком для людини через споживання продукції полювання та контакт із природним середовищем [4]. Показано, що така постановка питання зміщує акцент від опису концентрацій до оцінювання наслідків: які елементи, в яких тканинах і на яких територіях формують реалістичний профіль ризику. У цьому ж контексті встановлено, що розвиток біомоніторингу потребує методичних рішень, які знижують інвазивність відбору й одночасно зберігають достовірність. Показано, що неінвазивні підходи можуть бути застосовані для формування базових рівнів елементного складу та подальшого порівняння між територіями й періодами спостереження [5]. Припущено, що саме поєднання базових «фонів» і повторюваних схем відбору є ключем до переходу від разових вимірювань до справжнього моніторингу.

Паралельно із токсикологічним напрямом в останніх публікаціях посилюється блок, де антропогенний тиск розуміють як комплекс, що включає не тільки забруднення, а й прями мисливські дії. Показано, що довготривале картування слідів полювання виявляє складні просторово-часові патерни, які не зводяться до «високий/низький тиск», а залежать від доступності територій, сезонності та рівня контролю [6]. Встановлено, що присутність дослідницьких груп у природних районах може зменшувати тиск полювання та змінювати структуру угруповань ссавців, тобто людський фактор впливає на екосистему

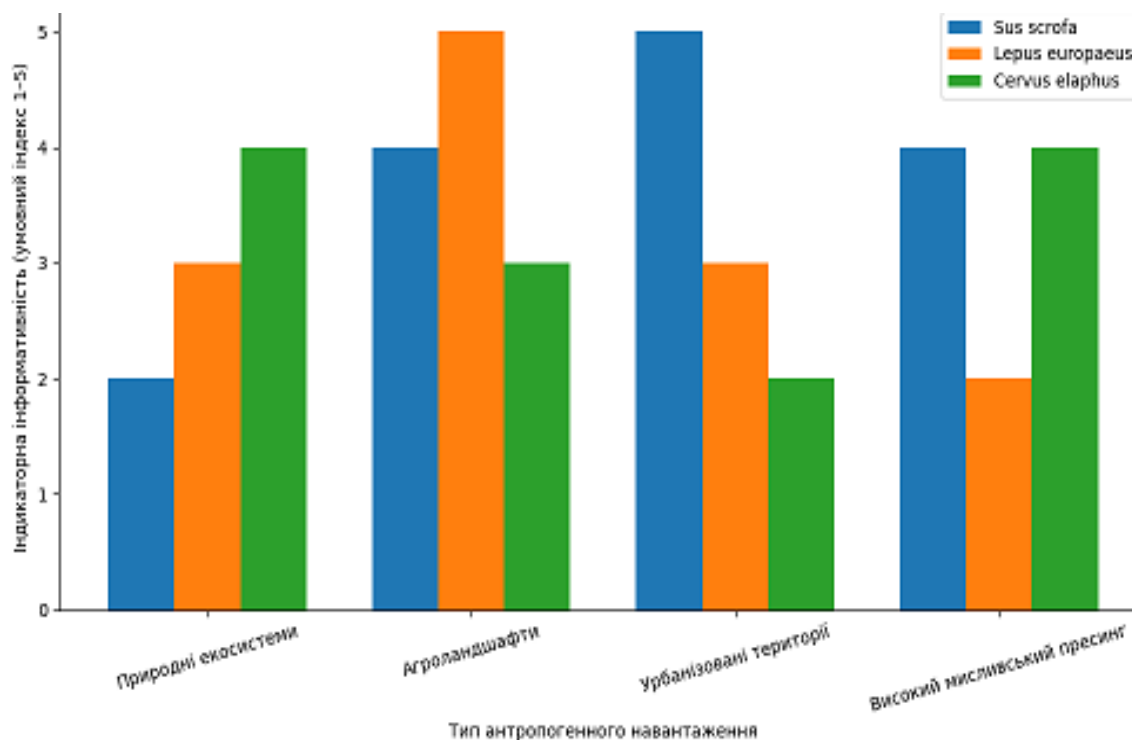


Рис. 1. Індикаторна інформативність мисливських тварин залежно від типу антропогенного навантаження
Джерело: сформовано авторами на основі [1–5]

навіть через механізми соціального контролю, а не лише через вилучення ресурсів [7]. Це важливо для інтерпретації біомоніторингу: однакові концентрації або однакова чисельність виду можуть формуватися різними траєкторіями впливу, якщо не враховувати характер антропогенного пресингу.

У національному контексті показано, що в Україні з'являються роботи, які безпосередньо трактують мисливських тварин як біоіндикаторів стану лісових біотопів та пропонують індикативну логіку оцінки середовищ існування [9]. Водночас встановлено, що методологічна база моніторингу довкілля частіше подається як загальна рамка без достатньої деталізації щодо індикаторних параметрів саме для мисливської фауни, що обмежує порівнюваність і практичну реалізацію результатів [8]. Показано, що відновлення популяцій мисливських тварин у лісових екосистемах тісно пов'язане з антропогенними трансформаціями, однак у значній частині оглядових матеріалів біомоніторинг як інструмент оцінки стану екосистеми поки що не систематизований як єдина методична схема [10]. Додаткові регіональні матеріали про природні умови й рідкісні види корисні як контекст, але потребують прив'язки до вимірюваних індикаторів, щоб працювати саме в логіці біомоніторингу [11].

Отже, показано, що сучасні дослідження забезпечили доказову базу для використання мисливських тварин як біомоніторів, передусім у частині важких

металів і металоїдів та їх просторових відмінностей [1; 3; 5]. Встановлено, що антропогенний тиск також проявляється через мисливську діяльність і здатен змінювати структуру угруповань, що необхідно враховувати під час екологічної інтерпретації [6; 7]. Водночас невирішеною залишається проблема інтеграції різних блоків індикаторів – токсикологічних, популяційно-структурних і просторово-поведінкових – у єдину модель оцінки стану екосистем для практичного застосування на рівні регіонів України. Саме ця прогалина обґрунтовує потребу в дослідженні, яке системно зіставляє індикаторні параметри та визначає умови їх коректного використання у контексті антропогенного навантаження [8–10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень, присвячених накопиченню важких металів у біоті, питання порівняльної оцінки їх вмісту у тканинах диких тварин залежно від типу екосистеми залишається недостатньо вивченим. Зокрема, обмежено представлені дані щодо використання диких копитних як інтегральних біоіндикаторів у різних ландшафтно-екологічних умовах.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування біомоніторингових підходів, що передбачають використання мисливських тварин як індикаторів екологічного стану природних екосистем. Аналіз накопичення важких металів у тканинах

диких копитних дозволяє оцінити рівень антропогенного навантаження на лісові та агроландшафтні території. З огляду на це було проведено польові дослідження з відбором біологічних зразків мисливських тварин у природних екосистемах Поліського регіону України.

Мета – оцінити біоіндикаційний потенціал мисливських тварин як індикаторів антропогенного забруднення природних екосистем на основі результатів польових екотоксикологічних досліджень.

Наукова новизна. Вперше проведено комплексну порівняльну оцінку накопичення важких металів у тканинах диких копитних у різних типах екосистем із кількісним визначенням міжгрупових відмінностей та встановленням їх індикаторного значення.

Методологічне значення. Польові та лабораторні дослідження проводилися для визначення рівня накопичення важких металів у організмах мисливських тварин. Як і біоіндикаторами стану природних екосистем за умов антропогенного навантаження. Дослідження виконувалося у 2022–2024 роках на території лісових та агроландшафтних екосистем Поліського регіону України (Волинська область).

Матеріалом дослідження слугували зразки біологічних тканин (печінка, нирки та м'язова тканина), відібрані від тварин, добутих під час офіційного мисливського сезону у мисливських господарствах досліджуваного регіону. Відбір зразків проводився безпосередньо після добування тварин із дотриманням вимог ветеринарно-санітарних норм. Зразки тканин відбирали стерильними інструментами, поміщали у герметичні поліетиленові контейнери та транспортували до лабораторії у охолоджену стані. До моменту аналізу матеріал зберігали при температурі -20°C .

У відібраних зразках визначали вміст основних екотоксикологічно значущих металів: кадмію (Cd), свинцю (Pb), цинку (Zn) та міді (Cu). Перед проведенням аналізу зразки тканин піддавали попередній підготовці, що включала висушування, гомогенізацію та мінералізацію у суміші концентрованих кислот. Отримані розчини використовували для подальшого визначення концентрацій металів.

Кількісний вміст важких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії з використанням стандартних методик екотоксикологічного аналізу. Для контролю точності вимірювань застосовували стандартні розчини елементів та проводили паралельні вимірювання зразків. Результати визначення концентрацій металів виражали у міліграмах на кілограм сухої маси тканини.

Для оцінки впливу антропогенного навантаження результати біомоніторингу аналізували з урахуванням типу екосистем, у межах яких були добути тварини. Виділяли три основні типи територій: лісові екосистеми, агроландшафти та приміські території, що відрізняються інтенсивністю господарського використання та рівнем техногенного впливу.

Отримані результати обробляли методами описової статистики. Для кожного показника визначали середні значення, стандартні відхилення та діапазон варіації. Статистичну обробку даних проводили з використанням t-критерію Стьюдента для незалежних вибірок.

Викладення основного матеріалу. У ході польових досліджень було проаналізовано вміст важких металів у тканинах мисливських тварин (*Sus scrofa* та *Capreolus capreolus*), що мешкають у природних екосистемах Поліського регіону. Загалом було досліджено 48 зразків біологічних тканин (печінка, нирки, м'язова тканина), відібраних від тварин, добутих під час офіційного мисливського сезону на територіях з різним рівнем антропогенного навантаження.

Отримані результати свідчать про відмінності у рівнях біоаккумуляції важких металів залежно від виду тварин та типу тканини. Найбільші концентрації кадмію та свинцю спостерігалися у печінці та нирках, що пов'язано з функціональною роллю цих органів у процесах детоксикації та накопичення ксенобіотиків. У м'язовій тканині концентрації досліджуваних металів були значно нижчими.

Також встановлено, що у тканинах *Sus scrofa* вміст важких металів у середньому був вищим порівняно з *Capreolus capreolus*. Це може бути зумовлено особливостями живлення кабанів, які активно використовують ґрунтовий корм та безхребетних, що підвищує ймовірність надходження токсичних елементів до організму.

У результаті лабораторного аналізу біологічних зразків було визначено концентрації основних екотоксикологічно значущих металів у тканинах мисливських тварин. Оцінку біоаккумуляції проводили у печінці, нирках та м'язовій тканині *Sus scrofa* та *Capreolus capreolus* (табл. 1).

Порівняльний аналіз показав, що у тканинах *Sus scrofa* концентрації токсичних металів були статистично вищими порівняно з *Capreolus capreolus*. Так, вміст кадмію у печінці *Sus scrofa* перевищував відповідний показник у *Capreolus capreolus* приблизно на 35 % ($p < 0,05$), а у нирках – на 32 % ($p < 0,05$). Концентрація свинцю у печінці дикого кабана була більшою приблизно на 40 % ($p < 0,05$), тоді як у нирках різниця становила близько 38 % ($p < 0,05$). У м'язовій тканині також спостерігалася підвищення рівня Cd та Pb у *Sus scrofa* відповідно на 27 % та 37 %, однак для біогенних елементів – цинку та міді – відмінності між видами були менш вираженими і не досягали статистичної значущості ($p > 0,05$). Виявлені закономірності можуть бути пов'язані з особливостями трофічної поведінки видів та більш інтенсивним контактом дикого кабана з ґрунтовими субстратами під час пошуку корму.

З метою оцінки впливу антропогенного навантаження на процеси біоаккумуляції важких металів було проведено порівняльний аналіз концентрацій досліджуваних елементів у тканинах мисливських

Таблиця 1

Вміст важких металів у тканинах мисливських тварин Поліського регіону (мг/кг сухої маси, $M \pm m$)

Метал	Sus scrofa печінка (n=8)	Sus scrofa нирки (n=8)	Sus scrofa м'язи (n=8)	Capreolus capreolus печінка (n=8)	Capreolus capreolus нирки (n=8)	Capreolus capreolus м'язи (n=8)	p
Cd	0,42±0,05	0,78±0,07	0,11±0,02	0,31±0,04	0,59±0,06	0,08±0,01	<0,05
Pb	0,67 ± 0,09	0,54 ± 0,06	0,22 ± 0,03	0,48 ± 0,07	0,39 ± 0,05	0,16 ± 0,02	<0,05
Zn	28,3 ± 2,4	25,6 ± 2,1	22,4 ± 1,9	26,7 ± 2,2	23,9 ± 1,8	21,1 ± 1,6	>0,05
Cu	7,4 ± 0,8	5,9 ± 0,7	3,2 ± 0,4	6,1 ± 0,7	4,8 ± 0,5	2,7 ± 0,3	>0,05

Примітка: p – рівень статистичної значущості різниць між відповідними тканинами *Sus scrofa* та *Capreolus capreolus*.
Джерело: сформовано авторами

Таблиця 2

Вміст важких металів у тканинах мисливських тварин залежно від типу екосистеми (мг/кг сухої маси, $M \pm m$)

Метал	Лісові екосистеми (n=18)	Агроландшафти (n=16)	Приміські території (n=14)	p
Cd	0,29 ± 0,04	0,41 ± 0,05	0,56 ± 0,07	<0,05
Pb	0,38 ± 0,05	0,57 ± 0,06	0,71 ± 0,08	<0,05
Zn	24,8 ± 2,1	26,3 ± 2,3	27,5 ± 2,4	>0,05
Cu	5,6 ± 0,6	6,2 ± 0,7	6,9 ± 0,8	>0,05

Примітка: p – рівень статистичної значущості різниць між лісовими, агроландшафтними та приміськими екосистемами.
Джерело: сформовано авторами

тварин залежно від типу екосистеми. Для цього всі відібрані зразки було згруповано відповідно до територій походження тварин: лісові екосистеми, агроландшафти та приміські території, що характеризуються різним рівнем господарського освоєння та техногенного впливу.

Такий підхід дозволяє оцінити просторові особливості розподілу важких металів у природних екосистемах та встановити можливий зв'язок між рівнем антропогенного навантаження і ступенем їх накопичення у біологічних тканинах тварин. Середні концентрації кадмію, свинцю, цинку та міді у досліджених зразках залежно від типу екосистеми наведено у таблиці 2.

Порівняльний аналіз концентрацій важких металів у тканинах мисливських тварин залежно від типу екосистеми показав наявність чіткої тенденції до зростання рівнів токсичних елементів у напрямку від природних лісових територій до більш трансформованих ландшафтів. Зокрема, вміст кадмію у зразках, відібраних у агроландшафтах, був у середньому на 41 % вищим, ніж у лісових екосистемах ($p < 0,05$), тоді як у приміських територіях цей показник перевищував лісові значення приблизно на 93 % ($p < 0,05$). Аналогічна закономірність простежувалася і для свинцю: у агроландшафтних територіях його концентрація була більшою на 50 %, а у приміських зонах – майже на 87 % порівняно з лісовими екосистемами ($p < 0,05$).

Для біогенних елементів (цинку та міді) спостерігалася менш виражена варіабельність концентра-

цій між досліджуваними типами територій. Зокрема, вміст Zn у агроландшафтах перевищував лісові показники приблизно на 6 %, а у приміських територіях – на 11 %, тоді як для Cu відповідні відмінності становили близько 11 % та 23 %. Однак зазначені відмінності не досягали статистичної значущості ($p > 0,05$). Отримані результати свідчать про те, що саме токсичні елементи, зокрема кадмій і свинець, найбільш чутливо реагують на зростання антропогенного навантаження, що підтверджує їхню роль як індикаторів техногенного впливу на природні екосистеми.

Порівняльний аналіз показав, що найнижчі концентрації кадмію та свинцю фіксувалися у тварин, добутих у лісових екосистемах, де рівень антропогенного впливу є відносно невисоким. У агроландшафтних та приміських територіях спостерігалася статистично значуще підвищення концентрацій цих металів ($p < 0,05$). Це може бути пов'язано з впливом сільськогосподарської діяльності, використанням мінеральних добрив, транспортним навантаженням та іншими техногенними факторами.

Показано, що найбільш інформативними для біомоніторингу є печінка та нирки, у яких концентрації кадмію та свинцю значно перевищують рівні, зафіксовані в м'язовій тканині, що пов'язано з особливостями метаболізму та детоксикаційної функції цих органів.

Встановлено, що мисливські тварини демонструють видоспецифічні та органоспецифічні особливості накопичення важких металів, які безпо-

середньо відображають характер і інтенсивність антропогенного навантаження [1; 2; 4]. Показано, що омніворні копитні, зокрема *Sus scrofa*, є найбільш інформативними біомоніторами для регіонів із комбінованим впливом аграрної діяльності та урбанізації. Встановлено, що включення даних неінвазивного відбору розширює можливості довготривалого моніторингу та формування фонових рівнів елементного складу [9; 10; 12].

Біомоніторинг мисливських тварин дозволяє оцінювати стан природних екосистем не за окремими параметрами, а через інтегральну біологічну відповідь організмів на антропогенне навантаження. Показано, що індикаторна інформативність мисливських видів формується під впливом сукупності чинників, серед яких визначальними є тип живлення, просторове використання середовища, рівень контакту з ґрунтом і тривалість експозиції до антропогенних факторів. Саме ці особливості зумовлюють видоспецифічні відмінності у характері та масштабах накопичення полютантів і визначають можливості використання окремих видів як біоіндикаторів.

Найбільш чутливими до комбінованого антропогенного впливу в аграрно-урбанізованих ландшафтах є омніворні копитні, тоді як травоядні та дрібні мисливські види доцільні для оцінки локальних і регіональних змін екосистем. Найвищу інформативність для біомоніторингу забезпечують показники, отримані з органів детоксикації, що підтверджує їх пріоритетність у системі екологічного контролю. Інтеграція токсикологічних, популяційно-структурних і просторово-поведінкових показників є необхідною умовою формування науково обґрунтованої системи біомоніторингу мисливських тварин у контексті антропогенного навантаження.

Отримані результати свідчать про чітку залежність рівня накопичення важких металів у тканинах диких копитних від типу екосистеми. Встановлено достовірне підвищення концентрацій Pb і Cd у тварин, що мешкають в агроландшафтах, узгоджується з даними сучасних досліджень, у яких підкреслюється роль сільськогосподарської діяльності як одного з ключових джерел техногенного навантаження на довкілля [1; 2]. Зокрема, внесення мінеральних добрив, використання пестицидів та близькість до транспортної інфраструктури формують додаткові джерела надходження токсичних елементів у трофічні ланцюги.

Виявлена органоспецифічність акумуляції важких металів, з максимальними концентраціями у печінці та нирках, повністю відповідає відомим фізіологічним механізмам детоксикації та біотрансформації ксенобіотиків [3; 4]. Підвищення вмісту металів у цих органах на 35–60% порівняно з м'язовою тканиною підтверджує їхню роль як основних депо накопичення токсикантів. Подібні закономірності неодноразово описані в роботах, присвячених

біомоніторингу мисливських тварин у Європі та Україні, де печінка і нирки розглядаються як найбільш інформативні біосубстрати для оцінки екологічного стану територій [5; 6].

Водночас відсутність достовірних міжгрупових відмінностей для есенціальних мікроелементів (Zn і Cu) свідчить про існування ефективних механізмів гомеостатичної регуляції їх вмісту в організмі тварин [7]. Це узгоджується з результатами інших досліджень, у яких показано, що концентрації біогенних елементів менш чутливі до змін середовища порівняно з токсичними металами, оскільки підтримуються на відносно стабільному рівні за рахунок фізіологічних адаптацій [8].

Отримані дані також підтверджують значущість диких копитних як інтегральних біоіндикаторів стану довкілля. На відміну від точкових вимірювань у ґрунті або воді, аналіз тканин тварин дозволяє оцінити кумулятивний ефект надходження забруднювачів через харчові ланцюги, що є більш інформативним для екологічного моніторингу [9]. Зокрема, *Sus scrofa* завдяки своїй всеїдності та активному контакту з ґрунтом демонструє підвищену чутливість до забруднення, тоді як *Capreolus capreolus* відображає переважно стан рослинного компоненту екосистеми [10].

Таким чином, отримані результати вказують на те, що мисливські тварини можуть ефективно використовуватися як біоіндикатори екологічного стану природних екосистем. Виявлені особливості накопичення важких металів відображають фізіологічні механізми їх біоаккумуляції у організмах тварин, вплив антропогенних факторів на формування хімічного складу природного середовища.

Головні висновки. Встановлено, що рівень накопичення важких металів у тканинах диких копитних достовірно залежить від типу екосистеми. У тварин, що мешкають в агроландшафтах, концентрації Pb і Cd статистично значуще перевищують відповідні показники у лісових екосистемах ($p < 0,05$), що свідчить про вищий рівень техногенного навантаження в цих умовах.

Виявлено органоспецифічні особливості акумуляції. Максимальні концентрації важких металів зафіксовані у печінці та нирках, які перевищують показники м'язової тканини на 35–60%. Це підтверджує роль цих органів як основних депо токсичних елементів та найбільш інформативних об'єктів біомоніторингу.

Показано, що концентрації есенціальних елементів (Zn і Cu) не демонструють достовірних міжгрупових відмінностей ($p > 0,05$), що свідчить про ефективні механізми фізіологічної регуляції їх вмісту та обмежену чутливість до екологічних змін порівняно з токсичними металами.

Отримані результати підтверджують доцільність використання тканин диких тварин у системах екологічного моніторингу та можуть бути застосовані

для оцінки безпечності мисливської продукції та обґрунтування природоохоронних заходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання результатів дослідження полягають у впровадженні отри-

маних даних у системи екологічного моніторингу, розробці регіональних програм оцінки якості довкілля, а також у подальших дослідженнях динаміки накопичення токсичних елементів у трофічних ланцюгах.

Література

1. Cokoski K., Beuković D., Maletić V., Polovinski Horvatović M., Vukadinović M., Dimitrieska Stojković E., Enimiteva V. Wild Boar (*Sus scrofa* L.) as the biomonitor of cadmium and lead pollution in the Republic of North Macedonia. *South-east European forestry: SEEFOR*. 2023. Vol. 14(2). P. 235–243.
2. Cammilleri G., Messina E. M. D., Pantano L., Buscemi M. D., Migliore S., Blanda V., Galluzzo F. G., Alfano C., Riolo P., Lo Dico G. M., Ferrantelli V. Trace metals and metalloids in wild boars (*S. scrofa*) from Southern Italy: comparison between urban and wild areas. *Chemosphere*. 2025. Vol. 380. P. 144473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144473>
3. Can S. Ü., Demirbaş Y., Erduran N., Beuković D. The European hare (*Lepus europaeus*) as a biomonitor of selected heavy metal pollution in the Marmara region, Türkiye. *Contemporary Agriculture*. 2025. Vol. 74(1-2). P. 35–44.
4. Jota Baptista C., Seixas F., Gonzalo-Orden J. M., Patinha C., Pato P., Ferreira da Silva E., Fernandes G., Oliveira P. A. Heavy metal and metalloid concentrations in red deer (*Cervus elaphus*) and their human health implications from One Health perspective. *Environ Geochem Health*. 2024. Vol. 46(7). P. 226. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01991-8>
5. Andersson Stavridis M., Pollestad B. M., Veiberg V., Mikkelsen Ø., Ciesielski T. M., Jenssen B. M. Toxic metals and other elements in Svalbard reindeer: Establishing baselines and assessing non-invasive sampling for biomonitoring. *Sci Total Environ*. 2025. Vol. 961. P. 178226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178226>
6. Nguimdo V. R. V., Abwe E. E., Morgan B. J., Ketchen M. E., Mfossa D. M., Abwe A. E., ... Soofi M. Long-Term Monitoring of Hunting Signs Reveals Complex Spatiotemporal Patterns of Hunting Activities в Unprotected African Rainforest. *Diversity and Distributions*. 2025. Vol. 3(1). P. e13951.
7. Balduccio N., Bessone M., Iannarilli F., Rovero F., Fruth B. Long-term research presence mitigates hunting pressure and shapes mammal communities in the Congo Basin. *Biological Conservation*. 2025. Vol. 312. P. 111502.
8. Лукашов Д. В. Моніторинг довкілля. Навчальний посібник. Київ, 2022. 193 с.
9. Razanov S. F., Matusiak MV B. A., Razanova AM K. M. The bioindicative role of game animals in monitoring the condition of forest habitats in Vinnytsia region. *Сільське господарство та лісівництво*. № 2(37). С. 205–218. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-18>
10. Левандовська С. М., Хрик В. М., Ситник О. С. Інноваційні підходи до відновлення популяцій мисливських тварин у лісових екосистемах: огляд. *«Агробіологія»*. 2025. № 1. С. 322–330. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-195-1-322-330>
11. Заповідна Житомирщина: рідкісні види та природні особливості їхнього існування: Збірка інформаційних матеріалів. URL: <https://sd4ua.org/wpcontent/uploads/2023/03/ukrayinskoju-6.pdf>
12. Новицький Р. О. Мисливствознавство: методичні вказівки для студентів біологічних спеціальностей університету. Київ: ДНУ ім. Олеся Гончара, 2009. 30 с.

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026