

УДК 632.2:502:519.2
doi 10.37143/2786-7730-2024-4(82)2

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ КОНЦЕНТРАЦІЇ СВИНЦЮ ТА КАДМІЮ В АГРОБІОГЕОЦЕНОЗАХ

О. М. Маменко,¹ С. В. Портянник,² А. О. Онищенко²

¹Інститут тваринництва НААН,

вул. Тваринників, 1-А, м. Харків, Україна, 61026

²Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36013

Науковці з різних країн світу приділяють значну увагу оцінюванню екологічних ризиків, пов'язаних із забрудненням довкілля різними політантами, в тому числі важкими металами, які завдають значної шкоди агробіогеоценозам та екологічній безпеці у цілому. Екологічна ситуація в різних регіонах України залишається напруженою не лише внаслідок техногенного впливу, інтенсивного ведення аграрного виробництва, але й через бойові дії. Тому оцінювання екологічного ризику в агробіогеоценозах з використанням отриманих в науково-господарських дослідках результатів лабораторного хімічного аналізу кормів для дійних корів і їх органічних відходів за концентрацією кадмію та плюмбуму значуще з погляду науки й практики. Кореляційний аналіз отриманих результатів досліджень є одним з важливих методів статистичної обробки даних. Він дає змогу швидко встановити силу взаємозв'язку між змінною Y (вміст важких металів в органічних відходах) та векторною змінною X (вміст важких металів в кормах раціону), статистичну значущість кореляції між цими показниками. Кореляційний аналіз як метод прогнозування навантаження ґрунту важкими металами, встановлення вірогідних джерел забруднення, динаміки розсіювання політантів у довкіллі в практиці екологічного моніторингу застосовується вченими зі Сполучених Штатів Америки, країн Європейського Союзу, Китаю інших країн. **Метою** досліджень була оцінка екологічного ризику забруднення ґрунту агробіогеоценозів після застосування органічних добрив на основі аналізу сили кореляції між вмістом кадмію і плюмбуму в кормах раціону тварин і їх органічних відходах. **Методи.** Експерименти проведено на продуктивних молочних коровах з різними типами годівлі. До раціону входили корми, що містили політанти. Екотоксичність кадмію та плюмбуму спричинила перехід їх з кормів раціону в організм тварин й органічні відходи тваринництва. Хімічний аналіз зразків рослинного й тваринного походження на вміст важких металів, проводили

Маменко Олексій Михайлович, д. с.-г. н., проф., г. н. с. лаб. годівлі, фізіології живлення с.-г. тварин та кормовиробництва,

e-mail: z-t_e-y2015@meta.ua

<https://orcid.org/0000-0003-3638-2525>

Портянник Сергій Васильович, к. с.-г. н., доц., с. н. с. лаб. екологічної безпеки в тваринництві,

e-mail: portynnyk@i.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5716-7352>

Онищенко Андрій Олексійович, к. с.-г. н., с. н. с., в. о. заст. директора з наукової роботи

e-mail: geroi76@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-0684-1201>

методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Статистичну обробку даних проводили з використанням пакета прикладних програм STATISTICA версії 10.0. Для розрахунку вибрано надійний за невеликих вибірок непараметричний ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена. **Результати.** Аналіз статистичних даних показав вірогідну високу ($r=0,66-0,75$ за кадмієм та $r=0,66-0,77$ за свинцем), дуже високу ($r=0,83$ за кадмієм та $r=0,83$ за свинцем) кореляційну залежність між вмістом екотоксикантів у кормах раціону та органічних відходах. **Висновки.** Статистична обробка даних з функцією аналізу непараметричної рангової кореляції Спірмена встановила високу та дуже високу кореляційну залежність між досліджуваними показниками кадмію та плумбуму у кормах раціону дійних корів і органічних відходах тваринництва, що дає змогу оцінювати й прогнозувати екологічний ризик забруднення ґрунту полютантами під час внесення великої кількості органічних добрив на поля під сільськогосподарські культури.

Ключові слова: корм, раціон, свинець, кадмій, екологічна безпека, дійні корови, важкі метали.

Посилатися на статтю так:

БІБЛІОГРАФІЯ за ДСТУ: Маменко О. М., Портянник С. В., Онищенко А. О. Оцінка екологічного ризику за допомогою кореляційного аналізу концентрації свинцю та кадмію в агробіогеоценозах. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2024. Вип. 4(82). С. 21–37. doi: 10.37143/2786-7730-2024-4(82)2

REFERENCES за APA style: Mamenko, O. M., Portiyanik, S. V., & Onyschenko, A. O. (2024). Otsinka ekolohichnoho ryzyku za dopomohoiu koreliatsiinoho analizu kontsentratsii svyntsiu ta kadmiuu v ahrobieheotsenozakh [Assessment of environmental risk using correlation analysis of plumbum and cadmium concentrations in agrobiogeocenoses]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 4(82), 21–37 [in Ukrainian]. doi: 10.37143/2786-7730-2024-4(82)2

Вступ. Війна росії проти України спричинила значні руйнування інфраструктури, забруднення ґрунтів і навколишнього природного середовища у цілому. Масштаби цього процесу просто величезні, що має загрозливий характер для ведення аграрного виробництва сьогодні й у післявоєнний період.

Дослідження вітчизняних і закордонних вчених вказують на посилення техногенного навантаження на агробіогеоценози та забруднення значних територій важкими металами в зоні діяльності сільськогосподарських підприємств, де утримуються тварини [1–6].

Техногенний вплив на довкілля спричиняє забруднення води, ґрунту, рослинного світу. Підвищення концентрації важких металів у ґрунті часто є наслідком інтенсивного застосування агрохімікатів у традиційному землеробстві. Шкідливий вплив на агробіогеоценози навколо розвинених промислових центрів посилюється в різних країнах світу. Фосфатні мінеральні добрива, котрі вносяться у ґрунт для підвищення урожайності рослин, містять мікроелементи серед яких є й важкі метали. Вони потенційно небезпечні для людини й компонентів біосфери [7]. Підвищення вмісту важких металів у ґрунті є наслідком порушення допустимих норм внесення органічних добрив з відходів тваринництва. Така небезпека посилюється, коли тваринам згодовують корми з підвищеним вмістом екотоксикантів, особливо плумбуму та кадмію. Важкі метали є значною загрозою для агроєкосистем, а також виробництва екологічно безпечного молока, м'яса, іншої продукції тваринництва, котра споживається людиною. Акумуляція у ґрунті таких важких металів як свинець та кадмій має потенційний екологічний ризик.

Міграція важких металів з ґрунту в рослини (корм для тварин) може спричинити ризик як для продуктивних тварин, так і для людини, яка споживає вироблену продукцію (молоко, м'ясо і т. д.) [1], викликаючи виникнення небезпечних онкозахворювань [8]. Забруднення доквілля, сільськогосподарських угідь важкими металами – це гостра проблема для багатьох країн світу, особливо Китаю [9]. Кадмій, плюмбум, ртуть, миш'як, хром є найбільш небезпечними серед важких металів: їх вплив на доквілля непрогнозований, а екологічні ризики забруднення високі.

Такі поллютанти як свинець та кадмій можуть з кормами потрапляти в організм тварин, в тому числі й продуктивних корів, за короткий час легко переносяться в органах травлення у кров, переходить у молоко та виводиться з екскрементами [2]. Оцінити екологічний ризик шкідливого впливу на агробіогеоценози, прогнозувати екологічну ситуацію та стан екологічної безпеки часто дуже важко. Тому необхідно за результатами наукових досліджень розробляти більш сучасні, простіші, ефективніші методи для оцінювання екологічних ризиків в агробіогеоценозах.

Вчені з Англії [3] вважають ґрунт довготривалим поглиначем, накопичувачем важких металів. У ньому токсиканти можуть знаходитися сотні, або навіть й тисячі років. Тож науковці приділяють увагу переважно кількісному визначенню важких металів у ґрунті з оцінкою найбільшої вразливості забруднення. Тільки тоді можна прогнозувати й управляти потенційним екологічним ризиком, щоб зменшити негативний вплив на стан агробіогеоценозів [3]. Нами теж були проведені такі дослідження [10].

Досліди з вивчення переміщення важких металів у трофічному ланцюзі й отримання великої кількості цифрових даних хімічних аналізів потребують вивчення закономірності змін. Науковці давно використовують методи кореляційного аналізу показників, отриманих в процесі науково-господарського дослідження. Сьогодні використовуються різні комп'ютерні програми, алгоритми. Проте важливе значення має не лише сам аналіз сили кореляції між показниками, яка може бути дуже слабкою – від 0 до 0,3, слабкою – від 0,3 до 0,5, середньою – від 0,5 до 0,7, сильною (високою) — від 0,7 до 0,9, дуже сильною (дуже високою) – від 0,9 до 1,0, а й правильний вибір самих показників для аналізу.

Вчені з Китаю використали кореляційний аналіз для встановлення співвідношення між поллютантами (важкими металами) у морських осадах Гонконгу (1991–2011 рр.). Спочатку науковці застосували рангову кореляцію Спірмена, а потім Пірсона. Затока і гавань (Victoria) були забруднені такими важкими металами як свинець і мідь, що корелювало з забрудненням хромом, нікелем і цинком [11]. На їх думку, саме вони вперше застосували подібний аналіз для дослідження забруднення доквілля.

Кореляційний аналіз можна застосовувати не тільки для морських відкладень водних екосистем, а й в інших екологічних, біологічних та медичних дослідженнях. Вченими з Польщі [12] аналізувалася кореляційна залежність між біоаккумуляцією важких металів у різних тканинах та органах овець та віком тварин. Визначено, що свинець і кадмій виявляються в усіх тканинах, а їх концентрація у м'ясі й печінці овець залежить від віку тварин. За рівнем забруднення досліджуваними важкими металами між наймолодшими та найстарішими тваринами встановлена різниця у кілька разів [12]. Дія свинцю, фактично так само, як і кадмію, залежить від виду

тварин, їх віку, породи та способу і форми в котрій ці елементи потрапляють в організм. Жуйні є найбільш чутливими свійськими тваринами, які частіше зазнають впливу підвищених концентрацій свинцю. М'язи, печінка і нирки сільськогосподарських тварин, а також молоко, яйця, мед демонструють велику варіабельність за вмістом кадмію, ртуті, свинцю та інших важких металів – від слідових кількостей до таких, котрі в кілька разів перевищують фізіологічне значення, залежно від виду тварин, фази їхнього життя, системи розведення та локалізації тваринницьких ферм [12].

У роботі [1] був проведений аналіз кореляційної залежності вмісту важких металів у ґрунті та рослинах, які вирощуються для оцінки екологічного ризику забруднення агрокультур, прогнозування небезпеки шкідливого впливу токсикантів, особливо ртуті та кадмію, на організм людини. Дослідники звертали увагу переважно на забруднення ґрунту й рослин ксенобіотиками й значно менше на зв'язок між ними. Доведено, що важкі метали у ґрунті мали найбільший вплив на рівень цинку в рослинах. Плюмбум і хром чинили синергічний вплив на поглинання цинку рослинами. Результати досліджень вчених доводять важливість оцінки кореляційного зв'язку для контролю ризику забруднення, що до цього не враховувалося.

Оцінка екологічного ризику є ключовим процесом ефективного управління станом довкілля та процесом відновлення безпечного стану ґрунту [13]. Берилій, кадмій, нікель, кобальт вважаються полютантами, що акумулюються у ґрунті та обумовлюють серйозну екологічну проблему, що має потенційний ризик для здоров'я не лише тварин, а й людини.

Прикладів застосування кореляційного аналізу можна навести дуже багато як у сільському господарстві, так і в інших сферах пов'язаних з забрудненням навколишнього середовища в різних країнах світу, але дослідження кореляційного зв'язку між вмістом важких металів у кормах для дійних корів та їх органічних відходах зроблено нами вперше. Тому дослідження є актуальним.

Спеціалісти сільськогосподарських підприємств регулярно проводять аналіз кормів для тварин на вміст вітамінів, макро- і мікроелементів, в тому числі важких металів, оскільки це впливає на якість і безпеку виробленої продукції, стан здоров'я тварин, їх продуктивність. Хімічний аналіз органічних відходів тваринництва проводиться значно рідше. Часто взагалі такий аналіз не робиться. Відходи знезаражуються певний час у гноєсховищах біологічним способом, після цього вносяться на поля як органічні добрива під агрокультури. Встановлення кореляційного зв'язку між вмістом екотоксикантів важких металів у кормах та органічних відходах тварин є зручним і досить надійним методом прогнозу екологічної безпеки ґрунтів та оцінки екологічного ризику.

Мета досліджень. Оцінка екологічного ризику забруднення ґрунту агробіогеоценозів внаслідок застосування органічних добрив на основі аналізу кореляційного взаємозв'язку між концентрацією кадмію та плюмбуму в кормах раціону корів і їх органічних відходах.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проведено на дійних коровах чорно-рябої та червоно-рябої молочних порід чотирьох господарств лісостепової зони України. В науково-господарському досліді зроблено оцінку екологічних ризиків шкідливого впливу на агробіогеоценози в процесі виробництва екологічно безпечного молока. Тваринам згодовували раціони за різних типів годівлі: силосно-коренеплідного, силосно-сінажного, силосно-

сінного, силосно-сінажно-концентратного. До раціонів входили корми з надлишковим вмістом плумбуму та кадмію. Утримання тварин – прив'язне, з доїнням у молокопровід.

В усіх чотирьох господарствах вміст важких металів у зразках рослинного та тваринного походження визначали методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії за допомогою приладу AAS-30.

Для кожного типу годівлі було відібрано і проаналізовано по 6 зразків підстилкового гною з періодичністю раз у квартал. Відібрані з гноесховищ зразки висушували до абсолютно сухої речовини за температури 105°C й спалювали у муфельній печі за температури 450°C. Зола розчиняли підігріванням у розчині соляної кислоти, розбавляли біодистильованою водою й фільтрували. У фільтраті визначали вміст кадмію та свинцю.

Моніторинг агробіогеоценозів здійснювався постійно, починаючи з 2000 р. і по сьогодні, згідно з етапами виконання НДДКР (державний реєстраційний номер 0121U113933 від 18.11.2021 року).

Кореляційний аналіз проводили за непараметричним ранговим коефіцієнтом кореляції Спірмена (Correlations Spearman) з урахуванням тесту Шапіро – Уїлка (Shapiro-Wilk's W test).

Непараметричний коефіцієнт кореляції Спірмена застосовується за наступних умов:

- ◆ не потребує дослідження розподілу кількісних даних на нормальність. Може застосовуватися для вибірок, дані котрих частково або повністю не підпорядковуються закону нормального розподілу;
- ◆ дані однієї з вибірок можуть бути представлені у порядковій шкалі, але дані другої вибірки повинні бути кількісними;
- ◆ об'єм вибірки повинен перевищувати 5 показників;
- ◆ якщо є велика кількість однакових рангів за одним або обома порівнюваними змінними, то коефіцієнт кореляції Спірмена дає грубе значення. Дуже добре (ідеально) коли обидва кореляційні ряди становлять дві послідовності значень, що не збігаються.

Кореляційна залежність вважалася статистично вірогідною за $p < 0.05$. Обробку статистичних даних проводили в пакеті програм STATISTICA версії 10.0.

Результати дослідження та їх обговорення. Раціони дійних корів, що містять у собі корми з важкими металами, особливо такими як плумбум та кадмій, спричиняють їх міграцію з травного тракту не лише в кров та молоко, але і в органічні відходи, котрі згодом як цінне органічне добриво вносяться у ґрунт під сільськогосподарські культури.

Застосований у наших дослідженнях тест Шапіро – Уїлка, найпотужніший щодо встановлення відповідності отриманих даних нормальному розподілу, показав, що концентрація плумбуму і кадмію в кормах раціону та органічних відходах не підпорядковується такому розподілу. Тому використання коефіцієнта Пірсона в аналізі даних може призвести до хибних висновків.

Коефіцієнт кореляції Пірсона є найбільш вживаним при кореляційному аналізі й часто висвітлюється в наукових публікаціях, однак він має низку обмежень. Умови застосування параметричного коефіцієнта кореляції Пірсона є наступними:

1. Змінні X та Y є неперервними кількісними даними.

2. Змінні X та Y мають нормальний розподіл. Тому дослідження розподілу кількісних даних на відповідність закону «нормального» розподілу є обов'язковим перед проведенням кореляційного аналізу. Якщо розподіл хоча б однієї вибірки відрізняється від нормального, то застосовувати параметричний коефіцієнт кореляції Пірсона не можна.

3. Характер зв'язку між змінними X та Y повинен бути лінійним.

4. Повинна виконуватися умова, що полягає в постійності дисперсії випадкових величин вздовж прямої регресії. В іншому випадку інтерпретація даних може бути ускладненою.

5. Спостереження повинні бути парними.

6. Об'єм вибірки повинен перевищувати 25.

Тож приймаючи рішення щодо використання коефіцієнта кореляції Пірсона, необхідно переконатися, що кількісні дані всіх досліджуваних вибірок підпорядковуються нормальному розподілу, побудувати діаграми розсіювання, щоб довести лінійність зв'язку між показниками. Недоліком застосування коефіцієнта кореляції Пірсона є його сильна чутливість до розкидів дисперсії. За наявності у вибірці лише одного розкиду величина коефіцієнта кореляції Пірсона може значно знижуватися. Якщо всі проаналізовані вище умови не виконуються, то краще для аналізу використати коефіцієнт кореляції Спірмена, що і було зроблено нами.

Зазначимо, що до складу раціонів дійних корів із різними типами годівлі входили корми з підвищеним вмістом важких металів. При силосно-коренеплідному типі годівлі перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) по кадмію становило: у сінні злаково-бобовому – у 5,7 разів, соломі пшеничній, силосі кукурудзяному – у 2,7 разів, сінажі люцерновому – у 3,4 разів, буряку кормовому – у 2,4 разів, дерті кукурудзяній – у 4,1 разів, по свинцю відповідно у 3,2; 2,4; 2,3; 2,5; 2,1 та 3,2 разів. За силосно-сінного типу годівлі перевищення норми по кадмію в соломі пшеничній становило 2,5 разів, силосі кукурудзяному – 1,8 разів, сінажі люцерновому – 1,9 разів, буряку кормовому – 3,4 разів, сінні люцерновому – 2,2 разів, дерті ячмінній – 2,3 разів; по свинцю відповідно у 1,7; 1,3; 1,5; 2,5; 1,9 та 1,8 разів. За силосно-сінажно-концентратного типу годівлі перевищення ГДК по кадмію становило у сінні злаково-бобовому – у 3,7 разів, силосі кукурудзяному – 2,5 разів, сінажі люцерновому – 3,1 разів, сінні люцерновому – 3,3 разів, дерті гороховій – 4,7 разів, дерті вівсяній – у 4,6 разів; по свинцю відповідно у 2,2; 1,6; 1,8; 2,1; 2,6 та 2,5 разів. За силосно-сінажно-концентратного типу годівлі перевищення норми по кадмію становило: у сінні злаково-бобовому – у 7,3 разів, силосі кукурудзяному – у 2,1 разів, сінажі люцерновому – у 2,8 разів, дерті кукурудзяній – у 3,7 разів, сінні люцерновому – у 3,3 разів, дерті гороховій – у 4,1 разів; по свинцю відповідно у 2,5; 1,4; 1,6; 1,8; 2,3 та 2,1 разів.

Використовуючи пакет програм STATISTICA нами були розраховані коефіцієнти кореляції Спірмена між вмістом кадмію та свинцю в кормах раціону й органічних відходах за чотирьох різних типів годівлі (табл. 1, 2).

Таблиця 1. Показники концентрації кадмію у кормах раціону й органічних відходах та коефіцієнт кореляції Спірмена між вмістом елемента в кормах раціону й органічних відходах за різних типів годівлі

Досліджувані зразки, n	Тип годівлі	Концентрація свинцю, мг/кг		Ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена (p<0,05)
		корми	органічні відходи	
1	силосно-коренеплідний	28,59	0,12	0,657143
2		13,62	0,02	
3		13,51	0,01	
4		16,78	0,05	
5		12,22	0,07	
6		20,51	0,08	
1	силосно-сінний	12,5	0,19	0,828571
2		9,13	0,06	
3		9,54	0,15	
4		17,21	0,22	
5		11,22	0,08	
6		11,6	0,09	
1	силосно-сінажний	18,5	0,14	0,657143
2		12,5	0,07	
3		15,5	0,03	
4		16,51	0,06	
5		23,51	0,11	
6		23,12	0,09	
1	силосно-сінажно-концентратний	36,51	0,17	0,753702
2		10,54	0,05	
3		14,23	0,04	
4		18,51	0,09	
5		16,52	0,16	
6		20,53	0,09	

Визначено, що кореляційна залежність між вмістом плюмбуму та кадмію в кормах і органічних відходах корів в усіх проаналізованих випадках була високою та позитивною.

В окремих випадках кореляційний зв'язок був дуже високим. Найменшим із визначених був кореляційний зв'язок між досліджуваними показниками у корів з раціонами силосно-сінажного типу годівлі за вмістом обох поллютантів, а у корів з силосно-коренеплідним типом годівлі – тільки за вмістом кадмію. Найвищий коефіцієнт кореляції за вмістом як плюмбуму, так і кадмію було встановлено для корів з силосно-сінним типом годівлі.

За вмістом кадмію найслабший кореляційний зв'язок ($r=0,66$; $p<0,05$) був встановлений при застосуванні силосно-коренеплідного та силосно-сінажного типів годівлі. Сильнішою кореляційна залежність була при силосно-сінажно-концентратному типі годівлі ($r=0,75$; $p<0,05$). Дуже високою кореляція була за силосно-сінного типу годівлі корів ($r=0,83$; $p<0,05$).

Таблиця 2. Показники концентрації плумбуму у кормах раціону й органічних відходах та коефіцієнт кореляції Спірмена між вмістом елемента в кормах раціону й органічних відходах за різних типів годівлі

Досліджувані зразки, п	Тип годівлі	Концентрація свинцю, мг/кг		Ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена ($p < 0,05$)
		корми	органічні відходи	
1	силосно-коренеплідний	0,96	9,91	0,705882
2		0,71	4,39	
3		0,69	6,52	
4		0,75	8,24	
5		0,64	6,52	
6		0,96	7,71	
1	силосно-сінний	0,51	7,32	0,828571
2		0,39	7,86	
3		0,45	4,01	
4		0,75	9,16	
5		0,57	8,09	
6		0,54	7,92	
1	силосно-сінажний	0,66	5,85	0,657143
2		0,48	6,78	
3		0,54	7,97	
4		0,63	8,76	
5		0,78	9,91	
6		0,75	8,94	
1	силосно-сінажно-концентратний	0,75	7,32	0,771429
2		0,42	5,27	
3		0,48	5,64	
4		0,54	4,69	
5		0,69	6,61	
6		0,63	7,11	

Найслабший кореляційний зв'язок за свинцем встановлений при силосно-сінажному типі годівлі корів ($r=0,66$; $p < 0,05$). Сильнішою кореляційна залежність була при силосно-коренеплідному ($r=0,71$; $p < 0,05$) та силосно-сінажно-концентратному ($r=0,77$; $p < 0,05$) типах годівлі тварин. Дуже високою кореляція була між вибірками показників у корів з силосно-сінним типом годівлі ($r=0,83$; $p < 0,05$).

Таким чином, використання рангового коефіцієнта кореляції Спірмена дало змогу розрахувати та достовірно встановити високу силу кореляційного зв'язку між важливими для проведеного дослідження й оцінки екологічних ризиків показниками концентрації плумбуму та кадмію у кормах раціону дійних корів та їх органічних відходах за різних типів годівлі.

Вітчизняні та закордонні вчені працюють над розв'язанням проблеми забруднення навколишнього середовища важкими металами, особливо такими екотоксикантами як плумбум та кадмій. Дані полютанти швидко мігрують з ґрунту в рослини, а потім з кормом переходять в організм сільськогосподарських тварин,

продукцію тваринництва – молоко, м'ясо тощо. З продуктами харчування вони потрапляють в організм людини, погіршуючи стан здоров'я.

Надмірне техногенне навантаження, застосування великої кількості агрохімікатів, наслідки бойових дій роблять забруднення агроєкосистем важкими металами непрогнозованим. Важкі метали в процесі екскреції виводяться з організму сільськогосподарських тварин з калом і сечею. Екскременти (органічні відходи) знезаражуються в гноєсховищах певний час і вносяться в ґрунт на полях як органічні добрива під сільськогосподарські культури, підвищуючи як валову, так і фонову концентрацію поллютантів.

Одним з найпоширеніших видів органічних добрив є підстилковий гній великої рогатої худоби, котрий містить мало вологи. Такий вид органічного добрива відіграє значну роль в утворенні гумусу, рівень котрого, на жаль, має тенденцію до постійного зниження. Він є енергетичною основою для біопроектів, що відбуваються у ґрунті, джерелом мікро- і макроелементів для рослин, фізіологічно активних речовин, сорбентом забруднювальних речовин токсичних важких металів, пестицидів тощо. Вчені [14] зазначають, що такі важкі метали як Cd, Pb, Hg можуть накопичуватися у ґрунті внаслідок промислової діяльності, використання забрудненої води для зрошення, деяких добрив. Вони завдають шкоди росту і врожайності рослин через різні механізми, а також становлять ризик для здоров'я живих організмів після потрапляння в харчовий ланцюг.

Порушення екологічно безпечних норм застосування органічних добрив може стати причиною негативних змін в агробіогеоценозах сільськогосподарських підприємств розташованих навколо розвинених промислових центрів. Обстріли російським агресором інфраструктурних об'єктів, мінування територій підвищують екологічну небезпеку агробіогеоценозів забрудненням хімічними речовинами, в тому числі важкими металами.

Досліджуючи забруднення ґрунту, закордонні вчені виявили 54 небезпечні екотоксиканти [15]. Науковці відібрали сорок зразків ґрунту поблизу п'яти печей з виробництва цегли. Для аналізу даних застосовували багатофакторну статистику. Результати показали, що забруднення ґрунту спричиняє як спалювання вугілля в печах, так і ведення аграрного виробництва [15]. Українські вчені також вказують на важливість дослідження забруднення навколишнього природного середовища важкими металами. Токсичні важкі метали спричиняють шкідливий вплив на різні види тварин [4]. Науковці наголошують, що концентрація важких металів є ключовим фактором негативного токсичного впливу поллютантів. Пріоритетними щодо хіміко-токсикологічного аналізу забрудненням екосистем дослідники зазначають Pb, Cd, Hg, Cu, Ni, Co, Zn, котрі володіють високою токсичністю й міграційною здатністю [4, 5]. Це узгоджується й з результатами наших попередніх досліджень [6].

Властивості тих чи інших екотоксикантів значною мірою обумовлюють їх шкідливість та поведінку в компонентах біосфери. Основні з них це токсичність, міграційна здатність, акумуляція та комплексоутворення. Науковці, дослідивши кореляцію між концентрацією важких металів у ґрунтах довкілля при розв'язанні задач математичного моделювання в екологічному моніторингу, дійшли висновку, що існує тісний зв'язок між акумуляцією токсикантів у ґрунтах за їх малої міграційної здатності через наявність нерозчинних сполук, до складу яких вони входять [5]. Обумовлюється це комплексними забрудненнями біосфери

техногенними речовинами хімічної природи. Через встановлення кореляційного зв'язку та побудови рівняння регресії за допомогою математичної моделі науковці можуть здійснювати прогноз екологічних змін, оцінювати екологічні ризики. Дослідження вчених з цих питань мають схожу методологію.

Проведений нами аналіз органічних відходів корів виявив певну концентрацію у них плумбуму та кадмію. Отримані з них органічні добрива, котрі вносяться у ґрунт, підвищують його родючість, але також збільшують акумуляцію важких металів у вигляді валових і рухомих форм. За кислого рН ґрунту й низки інших факторів, важкі метали можуть переходити в рослини, які як корм входять до раціонів сільськогосподарських тварин. При цьому тип землеробства – традиційний чи органічно-біологічний, не впливає на перехід важких металів у продукти харчування як рослинного, так і тваринного походження. Потрапивши в організм людини важкі метали можуть спричинити порушення обміну речовин, розвиток онкозахворювань тощо [4].

Складність процесів, що відбуваються в біогеоценозах, ефективний екомоніторинг потребують застосування перевірених в наукових дослідженнях сучасних методів моделювання екоситуації із застосуванням відповідних комп'ютерних програм. Перевага моделювання в тому, що воно дає змогу простими, недорогими способами аналізувати стан біогеоценозів, екосистем, передбачити характер екологічних змін в результаті дії відповідних чинників. Як приклад, прогнозувати ступінь забруднення важкими металами після внесення у ґрунт органічних добрив, отриманих з відходів тваринництва. Головна вимога до таких екомоделей – точність і достатня узагальненість. Висока точність моделей залежить від кількості елементів, що вибрані для її побудови, параметрів самої системи. Включення до моделі великої кількості компонентів ускладнює аналіз. Те саме відбувається і якщо кількість елементів звести до мінімуму: модель буде далекою від реальності. Існують математичні, вербальні та графічні моделі. Ми побудували математичну модель, як це зроблено й в низці інших досліджень [1, 16, 17]. В основі моделі лежить розрахунок кореляції між показниками, котрі отримали в ході досліджу.

Часто в ході досліджень виникає потреба у встановленні взаємозв'язку між різними групами показників. Ми зробили аналіз взаємозв'язку концентрації важких металів кадмію і плумбуму у кормах дійних корів з різними раціонами та їх органічними відходами. Для вирішення подібних завдань використовують різні види кореляційного аналізу. Таким методом можна оцінити напрямок взаємозв'язку між двома показниками – прямий або зворотній, виразити його кількісно за допомогою коефіцієнта кореляції, встановити силу зв'язку. Чим ближче коефіцієнт кореляції за модулем до одиниці, тим сильніше зв'язок між досліджуваними показниками. Встановлена нами в ході досліджу кореляційна залежність між кадмієм і свинцем у кормах та органічних відходах корів важлива в першу чергу для оцінки екологічних ризиків забруднення ґрунту агробіогеоценозів, а також проведення якісного екомоніторингу стану екологічної безпеки сільськогосподарських угідь. Цим ми доповнили чинний інструментарій фахівців-екологів, технологів аграрного виробництва, технологів із захисту довкілля інших спеціалістів для збереження компонентів біосфери, позаяк моніторинговий відбір проб ґрунту, їх лабораторний аналіз є працездатним і складним процесом.

При проведенні екологічного моніторингу забруднення ґрунтів поллютантами доцільно застосовувати комплексний підхід. Відбір зразків ґрунту, їх лабораторний аналіз дає змогу з високою точністю встановити вміст валових та рухомих форм важких металів. Кореляційний аналіз за отриманими результатами лабораторного хімічного аналізу кормів, що регулярно здійснюється в багатьох сільськогосподарських підприємствах через значний вплив мінерального складу кормів на фізіологічний стан, здоров'я, молочну продуктивність корів, тобто аграрії в цьому більше зацікавлені, дасть змогу з високою точністю прогнозувати концентрацію найбільш токсичних важких металів кадмію та свинцю в органічних відходах, котрі в результаті потрапляють у ґрунт як органічне добриво під сільськогосподарські культури. Можна прогнозувати накопичення важких металів у ґрунті, оцінюючи екологічні ризики забруднення агробіогеоценозів з урахуванням відповідної норми внесення органічного добрива, а також оцінювати ризики при вирощуванні екологічно безпечних кормів для годівлі тварин, а можливо і при виробництві безпечних харчових продуктів.

Для фахівців аграрного виробництва, фахівців-екологів головним в роботі є прогноз розвитку будь-якої ситуації, а особливо екологічної, оскільки порушення екологічної рівноваги в агробіогеоценозах може призвести до незворотних наслідків, економічних збитків. В проведеному нами дослідженні встановлена висока та дуже висока кореляція між концентрацією таких важких металів як кадмій та свинець у кормах раціону корів і органічних відходах, що дає змогу фахівцям ефективно діяти в умовах аграрного виробництва, оцінювати екологічний ризик забруднення в екосистемі, впевнено застосовувати інструмент екологічного моніторингу для прогнозування розвитку екоситуації.

Методика оцінки екологічного ризику, вибір оптимальних способів зниження ризику у конкретній виробничій ситуації складається з трьох взаємопов'язаних елементів: оцінки ризику, управління ризиком, інформування про ризик. Сукупність вказаних елементів дає змогу не лише виявити проблеми, розробити способи вирішення, але й створити умови практичної реалізації відповідних рішень. Висока і дуже висока кореляційна залежність між досліджуваними показниками вказує на те, що екологічний ризик забруднення ґрунту кадмієм та свинцем є так само високим при внесенні великої кількості органічних добрив. Існує висока ймовірність погіршення якості ґрунту, деградації фауни та флори ґрунтових екосистем зі зменшенням видового біорізноманіття, порушенням біолого-геохімічних циклів, процесів саморегуляції, екологічної рівноваги. Внаслідок ненормованого внесення органічних добрив, що містять токсичні важкі метали, адаптаційні можливості агробіогеоценозів знижуються. Вчені з Португалії [18] звертають увагу на концентрацію важких металів як обмежувальний фактор при застосуванні органічних добрив на ґрунтах агроекосистем. Результати наших досліджень повністю з цим узгоджуються.

Застосування органічних відходів є важливим фактором дотримання Директиви Ради 1999/31/ЄС про захоронення відходів (Landfill Directive) та політики зменшення утворення відходів в країнах Європи, й одночасно стратегічним завданням збільшення вмісту органо-мінеральних речовин у ґрунті [18]. Свинець та кадмій належать до ксенобіотиків, як і багато інших важких металів. Тому вони не розкладаються під час зберігання та знезаражування гною у гноєсховищах, чи при утворенні компостів [19]. Вченими доведено, що внесення

органічних відходів тваринництва у вигляді компостів з високим вмістом токсичних важких металів призводить до надмірного накопичення їх у ґрунті [20]. Як приклад, 18-кратне збільшення вмісту кадмію у ґрунті фіксувалося, коли гній від свиней вносили в ґрунт протягом 17 років на північному сході та півдні Китаю в порівнянні з контрольними ґрунтами. При цьому на контрольних ґрунтах зовсім не вносилися добрива або вносилися лише мінеральні добрива [21]. У Китаї забруднення ґрунту важкими металами є критичною проблемою. Загальнонаціональні дослідження показують, що 19 % сільськогосподарських ґрунтів мають перевищення розроблених в країні екологічних стандартів щодо даних полютантів. Дослідники вказують, що концентрації важких металів, особливо таких як кадмій, у ґрунті значно зросли за останні три десятиліття. Вчені підкреслюють нагальну потребу якісного екологічного моніторингу та мінімізацію надходження важких металів у ґрунти, де вирощуються сільськогосподарські культури. Висновок цього очевидний – приклад Китаю з негативними еконаслідками інтенсивного розвитку тваринництва потрібно враховувати в Україні у період, коли закінчиться війна й країна вийде на нормальний шлях економічного розвитку, в тому числі й галузі тваринництва, на що й були спрямовані наші дослідження.

Висновки. Статистична обробка даних з функцією аналізу непараметричної рангової кореляції Спірмена встановила високу та дуже високу кореляційну залежність між досліджуваними показниками кадмію та плумбуму у кормах раціону дійних корів і органічних відходах тваринництва, що дає змогу оцінювати й прогнозувати екологічний ризик забруднення ґрунту полютантами під час внесення великої кількості органічних добрив на поля під сільськогосподарські культури. Фахівці-екологи, зооінженери, технологи виробництва можуть використовувати даний інструмент для екологічного моніторингу агробіогеоценозів та екологічно безпечного ведення як традиційного, так і органічно-біологічного типу землеробства.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть спрямовані на кореляційний аналіз за іншими показниками результатів досліджень, що є важливими у практиці ведення екологічно безпечного виробництва продукції тваринництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Xiang M., Li Y., Yang J., Lei K., Li Y., Li F., Zheng D., Fang X., Cao Y. Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops, *Environmental Pollution*, 2021. Vol. 278. 116911. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116911
2. Mamenko O., Portiannyk S. Rank non-parametric correlation analysis of indicators of heavy metal transition from blood to cow's milk to assess its environmental safety. *Scientific Horizons*, 2021. Vol. 24(5). P. 35–45. doi: 10.48077/scihor.24(5).2021.35-45
3. Nicholson F. A., Chambers B. J., Williams J. R., Unwin R. J. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales, *Bioresource Technology*. 1999. Vol. 70. Is. 1. P. 23–31. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00017-6
4. Савченко Ю. І., Савчук І. М., Ковальова С. П. Концентрація ¹³⁷Cs та важких металів у м'ясі качок, вирощених у різних зонах радіоактивного

забруднення. *Вісник сільськогосподарської науки*. 2017. № 3. С. 31–38. URL: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_03_05.pdf (дата звернення: 20.10.2024).

5. Козуля Т. В., Глушкова Л. В., Штігельман З.В. Визначення кореляцій між вмістом важких металів у ґрунтах різних екосистем при вирішенні задач математичного моделювання в екологічному моніторингу. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2004. Vol. 4(29). С. 159–164.

6. Mamenko O. M., Portiannik S. V. Features of heavy metal excretion in dairy cows in agroecosystems around an industrial city and the production of environmentally safe milk. *Ukrainian J. of Ecology*. 2021. № 11. P. 29–43. doi: 10.15421/2021_207

7. Kratz S., Schick J., Schnug E. Trace elements in rock phosphates and P containing mineral and organo-mineral fertilizers sold in Germany, *Science of The Total Environment*. 2016. Vol. 542. Part B. P. 1013–1019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.046

8. Batoryova G., Kononets V., Amanzholkyzy A., Tlegenova Zh., Umarova G. Chromium as a Risk Factor for Breast Cancer: A Meta-Analysis. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2022. Vol. 23. Is. 12. P. 3993–4003. doi: 10.31557/APJCP.2022.23.12.3993

9. Wang Y., Duan X., Wang L. Spatial distribution and source analysis of heavy metals in soils influenced by industrial enterprise distribution: Case study in Jiangsu Province. *Science of The Total Environment*, 2020. Vol. 710. 134953. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134953

10. Маменко О. М., Портянник С. В., Хруцький С.С. Якість молока як непрямий показник екологічного стану біогеохімічної провінції регіону. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини* / Харків. держ. зоовет. акад. Харків, 2011. Вип. 22. Ч. 1. Т. 1. С. 267–281.

11. Liu L., Wang Zh., Ju F., Zhang T. Co-occurrence correlations of heavy metals in sediments revealed using network analysis, *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1305–1313. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.01.068

12. Rudy M. The analysis of correlations between the age and the level of bioaccumulation of heavy metals in tissues and the chemical composition of sheep meat from the region in SE Poland, *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47. Is. 6. P. 1117–1122. doi: 10.1016/j.fct.2009.01.035

13. Zhang H., Du P., Yuan B., Chen J., Zhang Yu., Cai L., Yang Y., Wei Yu., Ma S., Zhao B. Multifaceted environmental risk assessment of beryllium, cadmium, nickel, and cobalt for soil contamination through PM10 on the city scale. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 159. 111756. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.111756

14. Портянник С. В. Забезпечення екологічної безпеки агроєкосистем в умовах підвищеного вмісту важких металів у кормах та гнойовій масі корів. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва* / Білоцерк. нац. аграр. ун-т. Біла Церква: БНАУ, 2023. № 1(178). С. 132–144. doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-132-144

15. Kumar S., Zhao M., Zhang H., Rahman Md A., Luo Ch., Rahman M. M. Distribution, contamination status and source of trace elements in the soil around brick kilns, *Chemosphere*, 2021. Vol. 263, 127882. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127882

16. Zongshuang Wang, Jungang Lv, Yufei Tan, Min Guo, Yanyue Gu, Shu Xu, Yuhua Zhou. Temporospatial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matters and carbon monoxide in ambient air, China, *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 10. Is. 4. P. 1203–1210. doi: 10.1016/j.apr.2019.02.003

17. Zhang J., Chen T., Li H., Tu Sh., Zhang L., Hao T., Yan B. Mineral phase transition characteristics and its effects on the stabilization of heavy metals in industrial hazardous wastes incineration (IHWI) fly ash via microwave-assisted hydrothermal treatment. *Sci. of The Total Environment*. 2023. Vol. 877. 162842. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162842
18. Alvarenga P., Mourinha C., Farto M., Santos T., Palma P., Sengo J., Morais M.-Ch., Cunha-Queda C. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors, *Waste Management*. 2015. Vol. 40. P. 44–52. doi: 10.1016/j.wasman.2015.01.027
19. Yang X., Li Q., Tang Zh., Zhang W., Yu G., Shen Q., Zhao F.-J. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China. *Waste Management*. 2017. Vol. 64. P. 333–339. doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.015
20. Hang X., Wang H., Zhou J., Ma Ch., Du Ch., Chen X. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta. *Environmental Pollution*. 2009. Vol. 157. Is. 8–9. P. 2542–2549. doi: 10.1016/j.envpol.2009.03.002
21. Wu L., Tan Ch., Liu L., Zhu P., Peng Ch., Luo Y., Christie P. Cadmium bioavailability in surface soils receiving long-term applications of inorganic fertilizers and pig manure. *Geoderma*. 2012. Vol. 173–174. P. 224–230. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.12.003

REFERENCES

1. Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X., & Cao Y. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops, *Environmental Pollution*, 278, 116911. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116911
2. Mamenko, O., & Portiannyk, S. (2021). Rank non-parametric correlation analysis of indicators of heavy metal transition from blood to cow's milk to assess its environmental safety. *Scientific Horizons*, 24(5), 35–45. doi: 10.48077/scihor.24(5).2021.35-45
3. Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R., & Unwin, R. J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales, *Bioresource Technology*, 70(1), 23–31. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00017-6
4. Savchenko, Yu. I., Savchuk, I. M., & Kovalova, S. P. (2017). Kонтсentratsiia ¹³⁷Cs ta vazhkykh metaliv u miasi kachok, vyroshchennykh u riznykh zonakh radioaktyvnoho zabrudnennia [Concentration of ¹³⁷Cs and heavy metals in meat of ducks raised in different zones of radioactive contamination]. *Visnyk silskohospodarskoi nauky*, 3, 31–38. URL: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_03_05.pdf [in Ukrainian] (date of access: 20.10.2024).
5. Kozulia, T. V., Hlushkova, L. V., & Shtitelman, Z. V. (2004). Vyznachennia koreliatsii mizh vmistom vazhkykh metaliv u gruntakh riznykh ekosystem pry vyrishenni zadach matematychnoho modeliuвання v eko-lohichnomu monitorynhu [Determination of correlations between the content of heavy metals in soils of different ecosystems in solving problems of mathematical modelling in environmental monitoring]. *Radioelektronika ta informatyka*, 4(29), 159–164 [in Ukrainian].
6. Mamenko, O. M., & Portiannik, S. V. (2021). Features of heavy metal excretion in dairy cows in agroecosystems around an industrial city and the production of environmentally safe milk. *Ukrainian J. of Ecology*, 11, 29–43. doi: 10.15421/2021_207

7. Kratz, S., Schick, J., & Schnug, E. (2016). Trace elements in rock phosphates and P containing mineral and organo-mineral fertilizers sold in Germany. *Science of The Total Environment*, 542(B), 1013–1019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.046
8. Batyrova, G., Kononets, V., Amanzholkyzy, A., Tlegenova, Zh., & Umarova, G. (2022). Chromium as a Risk Factor for Breast Cancer: A Meta-Analysis. *Asian Pac J Cancer Prev.*, 23(12), 3993–4003. doi: 10.31557/APJCP.2022.23.12.3993
9. Wang, Y., Duan, X., & Wang, L. (2020). Spatial distribution and source analysis of heavy metals in soils influenced by industrial enterprise distribution: Case study in Jiangsu Province. *Science of The Total Environment*, 710, 134953. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134953
10. Mamenko, O. M., Portiannyk, S. V., & Khrutskyi, S. S. (2011). Yakist moloka yak nepriamyi pokaz-nyk ekolohichnoho stanu bioheokhimichnoi provintsii rehionu [Milk quality as an indirect indicator of the ecological state of the region's biogeochemical province]. *Problemy zoonzhenerii ta vetery-narnoi medytsyny* [Problems of animal engineering and veterinary medicine] / Kharkiv State Zootech. Acad. Kharkiv, 22(1)(1). C. 267–281 [in Ukrainian].
11. Liu, L., Wang, Zh., Ju, F., & Zhang, T. (2015). Co-occurrence correlations of heavy metals in sediments revealed using network analysis, *Chemosphere*, 119, 1305–1313. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.01.068
12. Rudy, M. (2009). The analysis of correlations between the age and the level of bioaccumulation of heavy metals in tissues and the chemical composition of sheep meat from the region in SE Poland, *Food and Chemical Toxicology*, 47(6), 1117–1122. doi: 10.1016/j.fct.2009.01.035
13. Zhang, H., Du, P., Yuan, B., Chen, J., Zhang, Yu., Cai, L., Yang, Y., Wei, Yu., Ma, S., & Zhao, B. (2024). Multifaceted environmental risk assessment of beryllium, cadmium, nickel, and cobalt for soil contamination through PM10 on the city scale. *Ecological Indicators*, 159, 111756. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.111756
14. Portyannik, S.V. (2023). Ensuring the ecological safety of agroecosystems in conditions of increased content of heavy metals in feed and manure of cows. *Technology of production and processing of livestock products* / Bila Tserkva National Agrarian University. Bila Tserkva: BNAU, 1(178), 132–144. doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-132-144
15. Kumar, S., Zhao, M., Zhang, H., Rahman, Md A., Luo, Ch., & Rahman, M. M. (2021). Distribution, contamination status and source of trace elements in the soil around brick kilns, *Chemosphere*, 263, 127882. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127882
16. Wang Z., Lv J., Tan Y., Guo M., Gu Y., Xu Sh., Zhou Yu. (2019). Temporospacial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matters and carbon monoxide in ambient air, China, *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1203–1210. doi: 10.1016/j.apr.2019.02.003
17. Zhang, J., Chen, T., Li, H., Tu, Sh., Zhang, L., Hao, T., & Yan, B. (2023). Mineral phase transition characteristics and its effects on the stabilization of heavy metals in industrial hazardous wastes incineration (IHWI) fly ash via microwave-assisted hydrothermal treatment. *Sci. of The Total Environment*, 877, 162842. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162842
18. Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Morais, M.-Ch., & Cunha-Queda, C. (2015). Sewage sludge, compost and other

representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors, *Waste Management*, 40, 44–52. doi: 10.1016/j.wasman.2015.01.027

19. Yang, X., Li, Q., Tang, Zh., Zhang, W., Yu, G., Shen, Q., & Zhao, F.-J. (2017). Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China. *Waste Management*, 64, 333–339. doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.015

20. Hang, X., Wang, H., Zhou, J., Ma, Ch., Du, Ch., & Chen, X. (2009). Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta. *Environmental Pollution*, 157(8–9), 2542–2549. doi: 10.1016/j.envpol.2009.03.002

21. Wu, L., Tan, Ch., Liu, L., Zhu, P., Peng, Ch., Luo, Y., & Christie, P. (2012). Cadmium bioavailability in surface soils receiving long-term applications of inorganic fertilizers and pig manure. *Geoderma*, 173–174, 224–230. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.12.003

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISK USING CORRELATION ANALYSIS OF PLUMBUM AND CADMIUM CONCENTRATIONS IN AGROBIOGEOCENOSES

O. M. Mamenko,¹ S. V. Portianyk,² A. O. Onyshchenko²

¹Livestock farming institute of NAAS of Ukraine

1-A Tvarynnykiv Str., Kharkiv, Ukraine, 61026

²Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS

1 Shvedska Mohyla Str., Poltava, Ukraine, 36013

Scientists from various countries around the world are paying significant attention to assessing environmental risks associated with pollution by various contaminants, including heavy metals, which cause considerable harm to agrobiogeocenoses and overall environmental safety. The environmental situation in different regions of Ukraine remains tense not only due to technogenic factors and intensive agricultural production, but also as a result of ongoing military actions. Therefore, the assessment of environmental risk in agrobiogeocenoses using the results of laboratory chemical analysis of dairy cow feed and its organic waste for cadmium and plumbum concentration obtained in scientific and economic experiments is significant from the point of view of science and practice. Correlation analysis of the obtained research results is one of the most important methods of statistical data processing. It makes it possible to quickly establish the strength of the relationship between the variable *Y* (content of heavy metals in organic waste) and the vector variable *X* (content of heavy metals in dietary feed), and the statistical significance of the correlation between these indicators. Correlation analysis as a method of predicting soil load with heavy metals, identifying likely sources of pollution, and the dynamics of pollutant dispersion in the environment is used in environmental monitoring by scientists from the United States, the European Union, China, and other countries. **Objective** of the study was to assess the environmental risk of soil contamination of agrobiogeocenoses after the use of organic fertilizers based on the analysis of the strength of correlation between the content of cadmium and plumbum in animal feed and their organic waste. **Methods.** The experiments were conducted on productive dairy cows with different types of feeding. The diet included feed containing pollutants. The ecotoxicity of cadmium and plumbum caused their transfer from the dietary feed to the animal body and organic livestock waste. Chemical analysis of samples

*of plant and animal origin for the content of heavy metals was performed by atomic absorption spectrophotometry. Statistical data processing was performed using the STATISTICA software package version 10.0. The nonparametric Spearman's rank correlation coefficient, which is reliable for small samples, was chosen for calculation. **Results.** The analysis of statistical data showed a probable high ($r=0.66-0.75$ for cadmium and $r=0.66-0.77$ for plumbum), very high ($r=0.83$ for cadmium and $r=0.83$ for plumbum) correlation between the content of ecotoxicants in dietary feed and organic waste. **Conclusions.** Statistical data processing with the function of non-parametric Spearman's rank correlation analysis established a high and very high correlation between the studied indicators of cadmium and plumbum in dairy cow feed and organic livestock waste, which makes it possible to assess and predict the environmental risk of soil pollution by pollutants when applying large amounts of organic fertilizers to fields for agricultural crops.*

Keywords: *feed, diet, plumbum, cadmium, environmental safety, dairy cows, heavy metals.*

Отримано 31.10.24

Отримано після доопрацювання 15.11.24

Затверджено до видання 11.12.24