

УДК 63:632.2:502:519.2

Оцінювання ризику забруднення важкими металами кормів та органічних відходів тваринництва

Портянник С. В. 

Державний біотехнологічний університет

 Портянник С. В. E-mail: Portynnyk@i.ua



Портянник С. В. Оцінювання ризику забруднення важкими металами кормів та органічних відходів тваринництва. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 1. С. 6–17.

Portiannyk S. Assessment of the risk of contamination by heavy metals and correlation analysis of the content of toxicants in animal feed and organic waste. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2024. № 1. PP. 6–17.

Рукопис отримано: 24.11.2023 р.

Прийнято: 07.12.2023 р.

Затверджено до друку: 24.05.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2024-186-1-6-17

Забруднення агроєкосистем важкими металами становить значну загрозу для сільськогосподарського виробництва в різних країнах світу, зокрема, і для України. У післявоєнний період екологічна ситуація буде ще складнішою. Важливе значення має вчасне оцінювання екологічного ризику за допомогою отриманих у наукових експериментах результатів лабораторного аналізу кормів раціону дійних корів та їх органічних відходів на вміст екотоксикантів, таких як кадмій та свинець. Кореляційний аналіз – один із методів статистичної обробки даних, котрий з використанням сучасних комп'ютерних програм дає змогу швидко встановити силу зв'язку між показниками і його статистичну значущість. Такі методи дослідження застосовуються вченими з країн Європейського Союзу, США, Китаю, інших країн. Попередні дослідження зосереджувалися безпосередньо на концентраціях забруднення важкими металами Cd, Pb й інших кормів для тварин та органічних відходів, але не стосувалися зв'язку між ними. Науково-господарські досліді проведено на дійних коровах з різними типами годівлі. Тварин відібрано методом аналогів за живою масою та продуктивністю. До складу раціону входили корми з надлишком кадмію та свинцю. Висока біологічна активність полютантів вплинула на їх перехід з кормів раціону в продукцію та органічні відходи. Метою досліджень був аналіз кореляційної залежності між вмістом Cd і Pb в кормах для корів та їх органічними відходами з оцінюванням ризику забруднення ґрунту небезпечними токсикантами в зоні діяльності агропідприємств з виробництва молока після внесення органічних відходів як органічного добрива. За допомогою комп'ютерної програми STATISTICA версії 10.0., тесту Шапіро-Уїлка (Shapiro-Wilk's W-test) було перевірено відповідність отриманих даних лабораторних аналізів кормів та органічних відходів на концентрацію важких металів, за законом «нормального» розподілу (Гауса), а потім вибрано для розрахунку необхідний непараметричний ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена. Встановлено високу $r=0,66-0,75$ (Cd) ($p<0,05$), $r=0,66-0,77$ (Pb) ($p<0,05$) та дуже високу $r=0,83$ (Cd) ($p<0,05$), $r=0,83$ (Pb) ($p<0,05$) кореляційну залежність між умістом токсикантів у кормах та органічних відходах, що дає змогу спеціалістам швидко і ефективно діяти в умовах виробництва, впевнено використовувати метод екологічного моніторингу, прогнозувати екологічну ситуацію, оцінювати екологічні ризики, зокрема, щодо ведення органічно-біологічного землеробства та уникати порушення екологічної рівноваги агроєкосистем.

Ключові слова: корм, органічні відходи, органічні добрива, важкі метали, кадмій, свинець, кореляція, екологічний ризик, дійні корови.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Екологічний моніторинг агроєкосистем фіксує великі техногенні навантаження поллютантів на території багатьох господарств, де утримується поголів'я великої рогатої худоби. З початку війни ця ситуація не покращилася, а навпаки, значно погіршилася, і в перспективі буде ще складнішою. Великі техногенні навантаження поллютантів на території господарств призводять до змін природного стану ґрунту, водойм, рослинного світу. Підвищення концентрації важких металів у ґрунті відбувається також внаслідок порушення норм внесення як органічного добрива відходів тваринництва, отриманих від згодовування тваринам кормів з важкими металами, особливо тих, що містять такі небезпечні екотоксиканти як кадмій та свинець. Забруднення важкими металами є значною загрозою для сільськогосподарського виробництва. Забруднення ґрунту важкими металами може спричинити потенційний екологічний ризик, а забруднення врожаю важкими металами може спричинити ризик для здоров'я людини [1].

Кадмій та свинець, потрапивши в організм корів з кормами раціону, безперешкодно всмоктується у шлунково-кишковому тракті у кров, розноситься по всьому організму і виводиться з молоком, екскрементами (кал та сеча). Оцінити ризик забруднення ґрунту та спрогнозувати екологічний стан сільськогосподарських екосистем у таких ситуаціях – досить складне завдання. Враховуючи, що ґрунт є довготривалим поглиначем та утримувачем важких металів, де поллютанти перебувають впродовж сотень, а то і тисяч років, вчені з Великої Британії [2] значну увагу приділяють кількісному визначенню надходження токсичних металів у сільськогосподарські ґрунти з можливістю оцінити, які ґрунти є найбільш уразливими до забруднення поллютантами. Тільки тоді можна буде прогнозувати і управляти потенційними ризиками для зменшення негативного впливу на агроєкосистеми [2].

Проведення науково-господарських дослідів з дослідження міграції токсичних металів у трофічному ланцюгу й отримання відповідного масиву цифрових даних не завжди може вказати на закономірність певних змін. Вченими широко застосовуються різні методи кореляційного аналізу отриманих результатів досліджень. При цьому використовуються різні комп'ютерні програми та алгоритми аналізу. Важливе значення має не лише аналіз сили кореляційного зв'язку між показниками, а й правильний вибір цих показників.

Вчені [3] використовували кореляційне дослідження для виявлення співвідношення між важкими металами в морських осадах Гонконгу протягом тривалого проміжку часу – з 1991 до 2011 року. На першому етапі застосовували рангову кореляцію Спірмена, а потім – Пірсона. Затока і гавань (Victoria) були забруднені важкими металами Pb і Cu, що корелювало із забрудненням Cr, Ni та Zn. Подібні методи широко застосовувалися в біології, соціології та інформатиці. Важливим є те, що досліджений кореляційний аналіз можна застосовувати не лише для морських відкладень, а й в інших екологічних системах. Вчені [1] проводили кореляційний аналіз вмісту важких металів у ґрунті та рослинах, які вирощуються для оцінювання ризику забруднення сільськогосподарських культур та прогнозування небезпеки шкідливого впливу токсичних металів, особливо ртуті і кадмію, на організм людини. Дослідники здебільшого звертали увагу на забруднення ґрунту та рослин важкими металами і не зважали на зв'язок між ними. Результати показали – досліджувані токсичні метали у ґрунті мали найбільший вплив на рівень цинку в рослинах, а свинець та хром – синергійний вплив на поглинання цинку рослинами. Експерименти доводять важливість кореляційного оцінювання для контролю ризику забруднення, котре до цього не враховувалося. Польські вчені досліджували кореляційний аналіз біоаккумуляції важких металів у тканинах та органах (печінка) овець, зокрема, м'язовій тканині з віком. Вівці утримувалися у Східній Польщі. Результати експерименту показали, що з віком овець вміст води у м'язовій тканині зменшується, проте зростає вміст білка, жиру та золи. Забруднення м'яса і печінки кадмієм та свинцем залежить від віку тварин. Між наймолодшими тваринами і найстарішими було зафіксовано різницю в декілька разів за рівнем забруднення [4].

Прикладів застосування кореляційного аналізу у сільському господарстві та інших сферах, пов'язаних із забрудненням довкілля, можна навести багато, однак дослідження кореляційного зв'язку між вмістом токсичних металів у раціонах дійних корів та органічних відходах тваринництва раніше не проводилися.

Аналіз кормів раціону дійних корів у агропідприємствах здійснюється фахівцями майже регулярно, зокрема, на вміст важких металів, на відміну від хімічного аналізу органічних відходів. Дослідження кореляції між вмістом токсичних металів у кормах та орга-

нічних відходах тварин є зручним і досить надійним індикатором прогнозування екологічної безпеки ґрунтів (оцінки ризику) в господарстві.

Метою досліджень є аналіз кореляційної залежності між вмістом токсичних важких металів Cd і Pb у кормах раціону корів та їх органічних відходах, а також оцінювання ризику забруднення ґрунту небезпечними політантами в зоні діяльності агропідприємств з виробництва молока після внесення органічних відходів тварин як органічного добрива.

Матеріал і методи дослідження. У господарствах, розташованих навколо промислового міста лісостепової зони України, було проведено науково-господарські досліді на дійних коровах української чорно- та червоно-рябої молочних порід з виробництва екологічно безпечного молока. Для проведення дослідів відібрали 126 голів корів з силосно-сінажно-концентратним типом годівлі, 63 – з силосно-сінажним, 36 – силосно-коренеплодним та 195 – з силосно-сінним типом годівлі, відповідно. Коровам усіх груп згодували корми з умістом важких металів Cd та Pb вище встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК). Середня жива маса корів – 500–545 кг. Тривалість порівняльного періоду становила 42 дні. Корови, відібрані методом аналогів за живою масою та продуктивністю, перебували в однакових умовах годівлі та утримання. Дослідний період тривав 120 днів. Біохімічний аналіз зразків рослинного і тваринного походження на вміст макро-, мікроелементів, токсичних металів та іншого проведено методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії (спектроскопометр AAS-30) [5].

Усі маніпуляції з тваринами проводили відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, яких використовують з експериментальною та науковою метою (Страсбург, 1986).

Аналіз даних проводився з урахуванням особливостей, отриманих у дослідженні результатів: розміру вибірки та типу розподілу даних, характеру дисперсій. Кореляційну залежність вважали статистично значущою за $p < 0,05$. Кореляційний аналіз – за непараметричним ранговим коефіцієнтом кореляції Спірмена (Correlations Spearman) з урахуванням тесту Шапіро-Уїлка (Shapiro-Wilk's W-test). Розрахунок проводився в пакеті програми STATISTICA версії 10.0 для операційної системи Windows 7.

Результати дослідження та обговорення. Раціон дійних корів з підвищеним вмі-

стом у кормах токсичних металів кадмію та свинцю вплинув не лише на перехід їх зі шлунково-кишкового тракту в кров, молоко, й органічні відходи тваринництва. Для встановлення сили кореляційної залежності між вмістом токсичних металів у кормах раціону та органічних відходах тваринництва, за відповідних умов проведення наукового експерименту застосовано один з непараметричних коефіцієнтів кореляції – ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена (Correlations Spearman), оскільки тест Шапіро-Уїлка (Shapiro-Wilk's W-test), що вважається найпотужнішим для встановлення відповідності отриманих даних закону «нормального» розподілу (Гауса), особливо за невеликих вибірок ($n < 50$) незалежних груп, показав, що вміст кадмію та свинцю в кормах раціону і органічних відходах корів з різними типами годівлі не підпорядковується закону «нормального» розподілу (рис. 1–4).

Застосування коефіцієнту Пірсона в такій ситуації може призвести до висновків, котрі не відповідають дійсності. Коефіцієнт кореляції Пірсона доцільніше застосовувати, коли досліджувані показники відповідають закону «нормального» розподілу (Гауса).

З меню Statistics / Nonparametrics програми STATISTICA версії 10.0 запускаємо модуль Correlations (Spearman, Kendall tau, gamma). Далі у Variables обираємо стовбці, що містять необхідні дані, і натискаємо піктограму Spearman R. З'явиться таблиця з результатами аналізу (рис. 5–6).

Коефіцієнт кореляції між вмістом важких металів кадмію та свинцю в кормах раціону і органічних відходах дійних корів в усіх проаналізованих випадках був позитивним, переважно високим, а в окремих випадках навіть дуже високим (від $r = 0,66$ до $r = 0,83$), що вказує на прямий високий ступінь взаємозв'язку. Найменшим (на рівні $r = 0,66$) був кореляційний зв'язок між показниками у корів з силосно-сінажним типом годівлі як за концентрацією кадмію, так і свинцю, а також у тварин з силосно-коренеплодним типом годівлі, однак лише за вмістом кадмію ($p < 0,05$). Найвищий коефіцієнт кореляції було встановлено за вмістом кадмію і свинцю у корів з силосно-сінним типом годівлі ($r = 0,83$, $p < 0,05$). Дуже високий кореляційний зв'язок програма виділяє червоним кольором (рис. 5–6). Крім того, програма одночасно встановлює статистичну значущість, котра в усіх досліджених випадках становила $p < 0,05$.

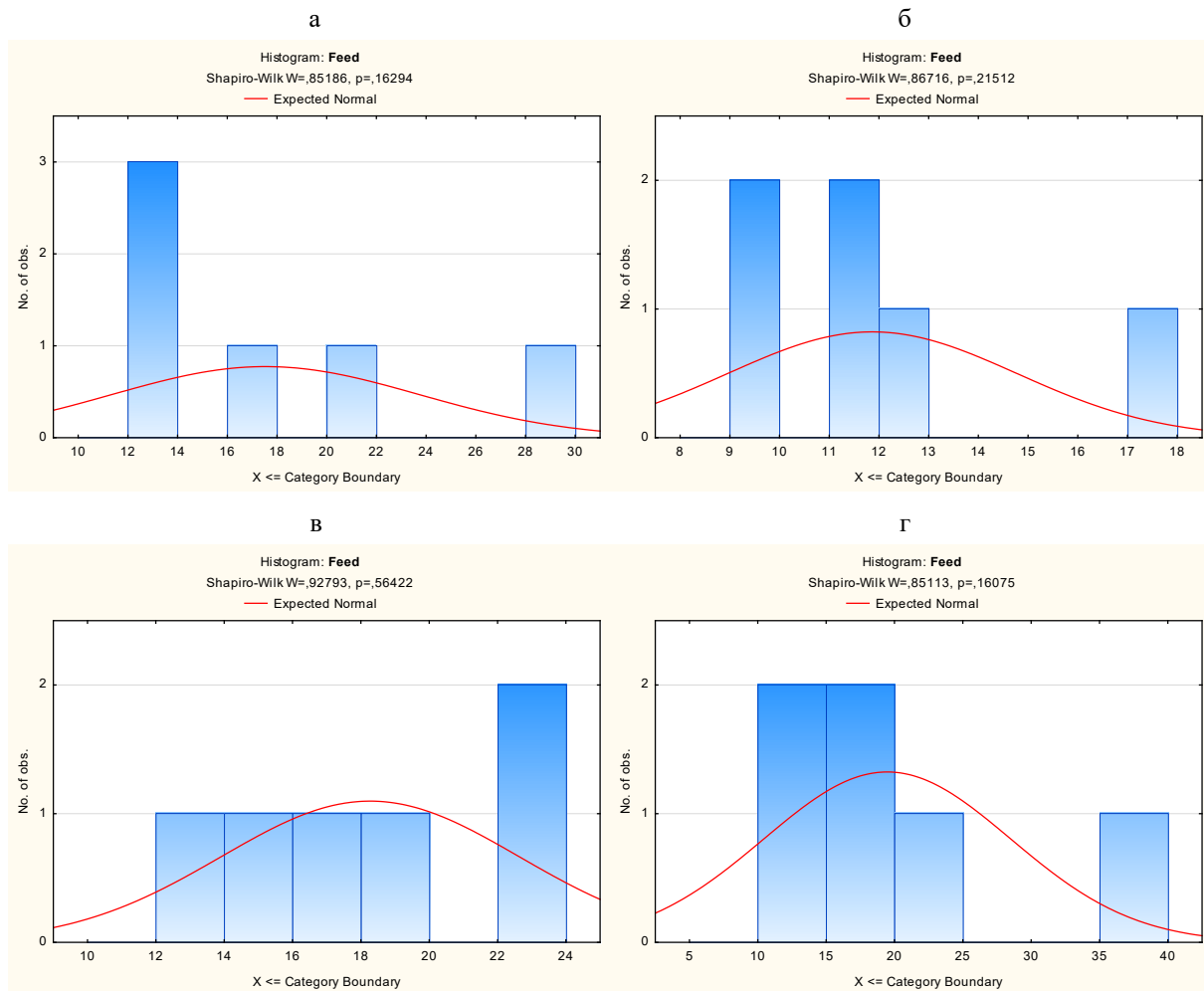


Рис. 1. Аналіз розподілу досліджуваних показників вмісту Cd в кормах раціону корів (мг/кг) за тестом Шапіро-Уїлка. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

За вмістом Cd найслабший кореляційний зв'язок було встановлено у тварин з силосно-коренеплодним та силосно-сінажним типом годівлі ($r=0,66$, $p<0,05$), сильнішим він був у корів з силосно-сінажно-концентратним ($r=0,75$, $p<0,05$), дуже високою кореляційна залежність була у тварин з силосно-сінним типом годівлі ($r=0,83$, $p<0,05$) (рис. 5–6). За вмістом Pb найслабший кореляційний зв'язок було встановлено у тварин з силосно-сінажним типом годівлі ($r=0,66$, $p<0,05$), більш сильним він був у корів з силосно-коренеплодним ($r=0,71$, $p<0,05$) та силосно-сінажно-концентратним типами годівлі ($r=0,77$, $p<0,05$), дуже високою кореляційна залежність була у тварин з силосно-сінним типом годівлі ($r=0,83$, $p<0,05$) (рис. 5–6).

Корми, що входили до складу різних раціонів, мали підвищений рівень концентрації даних небезпечних елементів-полутантів: у

корів з силосно-коренеплодним типом годівлі перевищення гранично допустимої концентрації Cd становило: у сінні злаково-бобовому – у 5,7 раза, соломі пшеничній та силосі кукурудзяному – у 2,7 раза, сінажі люцерновому – 3,4, буряку кормовому – 2,4 та дерті кукурудзяній – у 4,1 раза, відповідно, і по Pb – у 3,2, 2,4, 2,3, 2,5, 2,1, 3,2 раза, відповідно; у корів з силосно-сінним типом годівлі перевищення ГДК Cd становило: в соломі пшеничній – у 2,5 раза, силосі кукурудзяному – 1,8, сінажі люцерновому – 1,9, буряку кормовому – 3,4, сінні люцерновому – 2,2 та дерті ячмінній – у 2,3 раза, відповідно, і по Pb – у 1,7, 1,3, 1,5, 2,5, 1,9, 1,8 раза, відповідно; у корів з силосно-сінажним типом годівлі перевищення ГДК Cd становило: в сінні злаково-бобовому – у 3,7 раза, силосі кукурудзяному – 2,5, сінажі люцерновому – 3,1, сінні люцерновому – 3,3, дерті гороховій – 4,7 та

дерті вівсяній – у 4,6 раза, відповідно, і по Pb – у 2,2, 1,6, 1,8, 2,1, 2,6, 2,5 раза, відповідно; у корів з силосно-сінажно-концентратним типом годівлі перевищення ГДК Cd становило: у сінні злаково-бобовому – у 7,3 раза, силосі кукурудзяному – 2,1, сінажі люцерновому – 2,8, дерті кукурудзяній – 3,7, сінні люцерновому – 3,3 та дерті гороховій – у 4,1 раза, відповідно, і по Pb – у 2,5, 1,4, 1,6, 1,8, 2,3, 2,1 раза, відповідно.

Застосування рангового коефіцієнту кореляції Спірмена за допомогою програми STATISTICA версії 10.0 дало змогу розрахувати, і тим самим достовірно встановити високу силу кореляційного зв'язку між важливими для експерименту показниками – вмістом токсичних металів Cd і Pb у кормах раціону дійних корів та їх органічних відходах за різних типів годівлі.

Вирішенням проблеми забруднення навколишнього природного середовища токсич-

ними металами, особливо такими як кадмій та свинець, котрі швидко мігрують у системі «грунт → рослина → організм тварини (продукція тваринництва) → організм людини» займаються як вітчизняні, так і закордонні вчені. Дія деяких екологічних факторів, зокрема, техногенне навантаження важкими металами, часто непрогнозована. Важкі метали виводяться з організму тварин з екскрементами (калом та сечею), котрі знезаражуються певний час у гноєсховищах. Органічні відходи вносяться в ґрунт як органічне добриво, посилюючи як валову, так і фонову концентрацію поллютантів. Порушення науково-обґрунтованих норм внесення в ґрунт органічних відходів дійних корів як органічного добрива великих агропідприємств, особливо тих, котрі розташовані поблизу промислових центрів, може стати тригером негативних змін в агроєкосистемах, що вже зазнали воєнного екоциду з боку агресора.

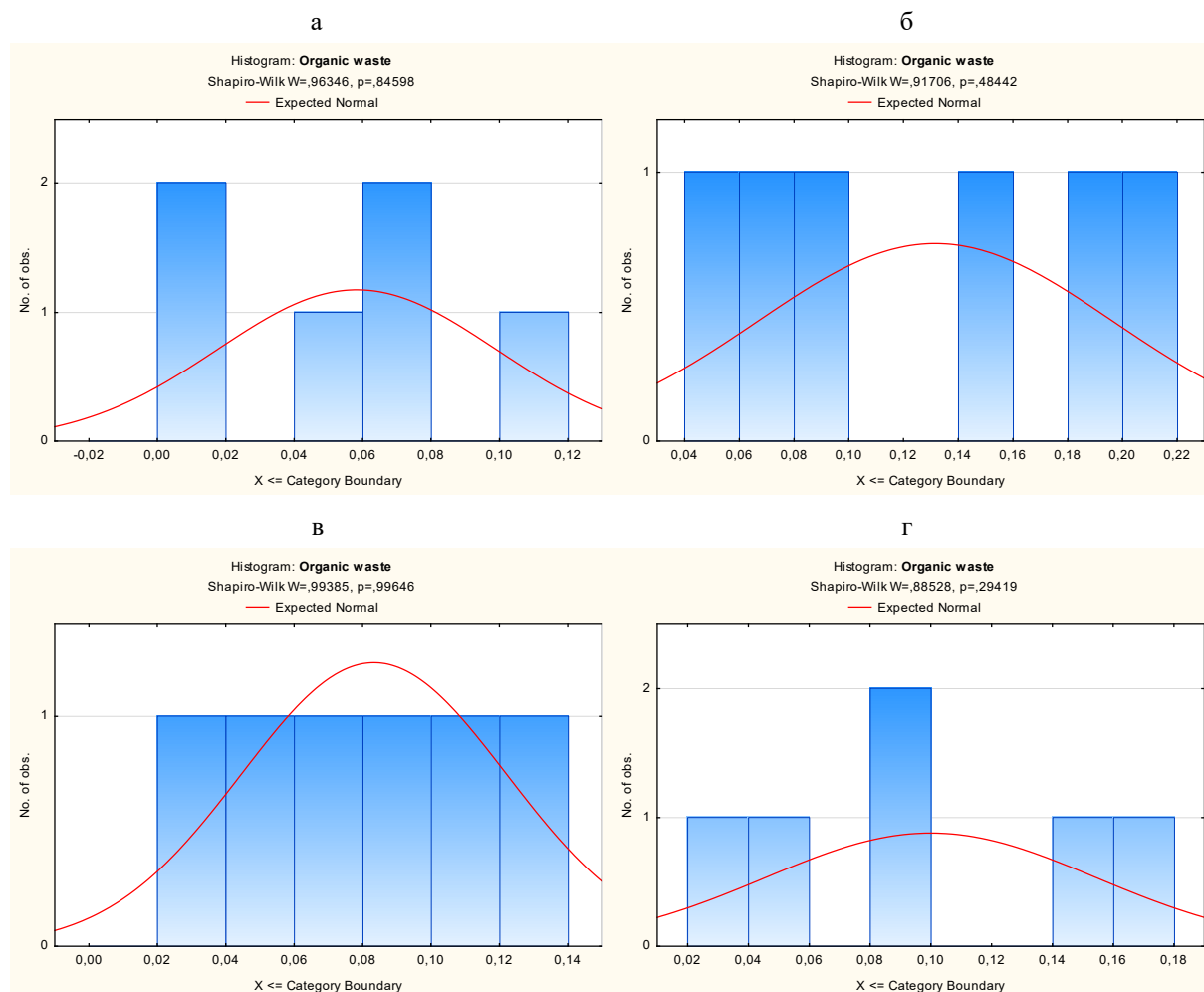


Рис. 2. Аналіз розподілу досліджуваних показників вмісту Cd в органічних відходах (мг/кг) за тестом Шанпіро-Уїлка. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

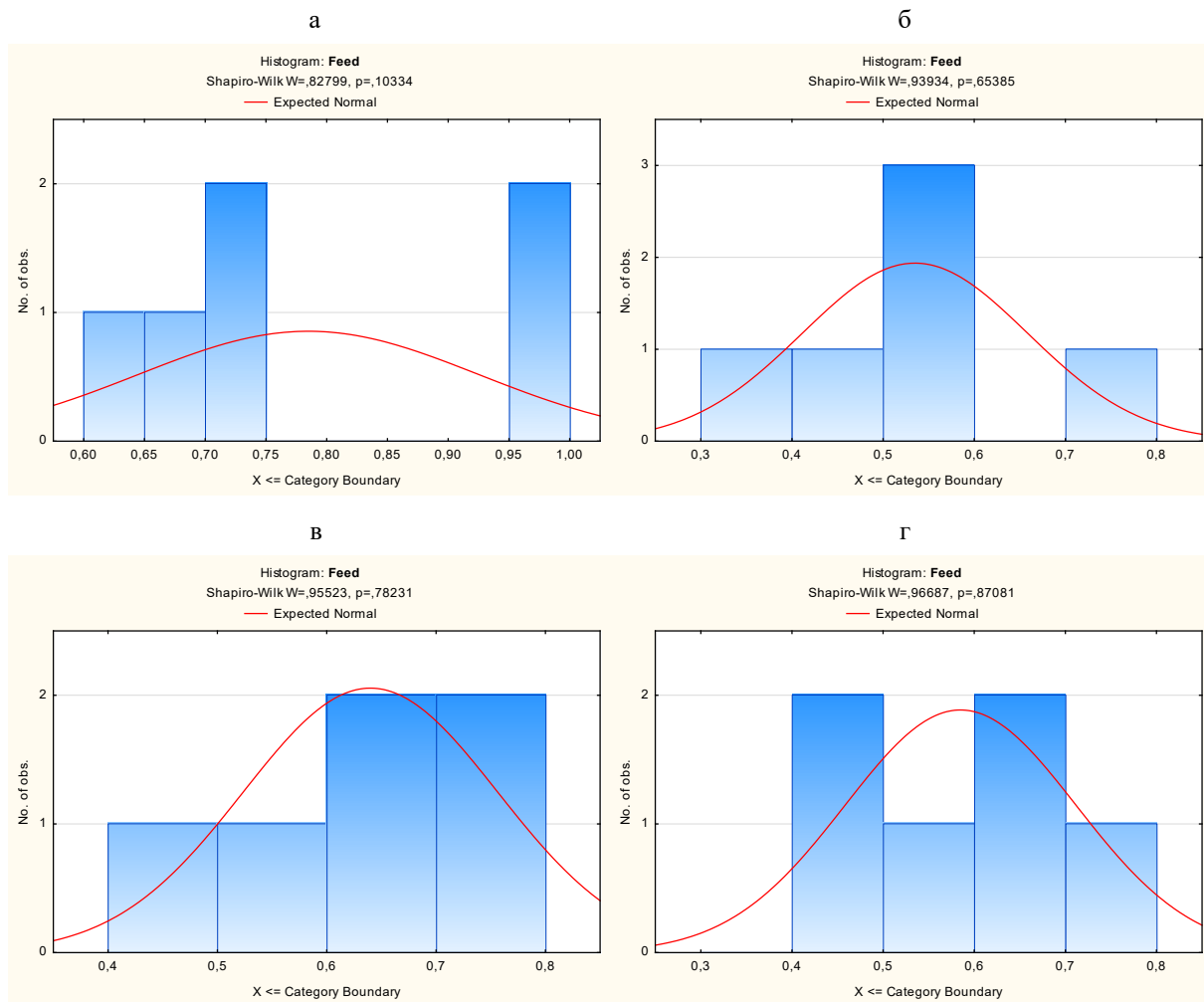


Рис. 3. Аналіз розподілу досліджуваних показників вмісту Pb в кормах раціону корів (мг/кг) за тестом Шапіро-Уїлка. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

Вітчизняні вчені [6] зазначають важливість дослідження проблеми забруднення навколишнього природного середовища, пов'язану з токсичністю важких металів, котрі здійснюють шкідливий вплив на живі організми. Найбільш пріоритетними для хіміко-токсикологічного аналізу вчені зазначають Pb, Hg, Cd, Cu, Ni, Co, Zn, які мають високу токсичність і міграційну здатність, що узгоджується з нашими дослідженнями. Поведінка токсикантів у різних природних середовищах обумовлена їх специфічністю та відповідними властивостями, як от токсичність, акумуляція, рухомість, комплексоутворення тощо. Вчені [6], дослідивши кореляційний зв'язок між умістом важких металів у ґрунтах різних екосистем, під час математичного моделювання в екологічному моніторингу дійшли висновку, що існує тісний зв'язок між накопиченням важких

металів у ґрунтах за їх малої міграційної здатності завдяки наявності нерозчинних сполук, до складу яких вони входять. Цей факт обумовлено комплексним забрудненням навколишнього середовища, зокрема техногенними речовинами хімічної природи (катионогени і аніоногени). Встановивши кореляційний зв'язок і отримавши відповідні рівняння регресії, вчені за допомогою математичної моделі можуть прогнозувати відповідні екологічні зміни, оцінювати екологічні ризики.

Досліджені нами органічні відходи тваринництва містять токсичні важкі метали Cd, Pb ін., які, потрапивши до ґрунту, підвищують його родючість й водночас спричиняють акумуляцію поллютантів, котрі можуть утворювати не лише валові, а й рухомі форми токсичних елементів. Далі, залежно від рН ґрунту та інших факторів, вони мігрують у рослини, які є кормом для

сільськогосподарських тварин, і у випадку ведення традиційного чи органічно-біологічного землеробства потрапляють у харчові продукти. Нами було застосовано кореляційний аналіз за використання програми STATISTICA версії 10.0, яку також широко використовують зарубіжні вчені. Наприклад, [3] досліджували кореляцію між важкими металами, [7] також застосовували кореляційний аналіз Спірмена, досліджуючи концентрації озону, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, твердих частинок тощо, [8] концентрації токсичних важких металів під час спалювання промислових небезпечних відходів та інше.

Як бачимо, складність процесів, що відбуваються в екосистемах, ефективний екологічний моніторинг потребують застосування перевірених у наукових дослідженнях нових методів моделювання ситуації з використанням відповідних комп'ютерних програм. Переваги моделювання в тому, що вони дають змогу

простими й недорогими способами аналізувати стан екологічних систем і передбачити характер їх трансформації у разі внесення тих чи інших змін, наприклад забруднення важкими металами після внесення в ґрунт органічних добрив з відходів тваринництва. Головна вимога до таких екологічних моделей – точність та достатня узагальненість. Точність моделей здебільшого залежить від кількості вибраних для її побудови елементів і параметрів системи. Включення до моделі великої кількості компонентів ускладнює її аналіз, створює «шум». Зменшення кількості елементів до занадто малого їх числа робить модель далекою від реальності. Нами було побудовано математичні моделі, в основу яких покладено розрахунок кореляційної залежності між досліджуваними показниками з побудовою відповідних рівнянь регресії. У наукових дослідженнях часто виникає необхідність пошуку взаємозв'язку між різними показниками досліджуваних груп.

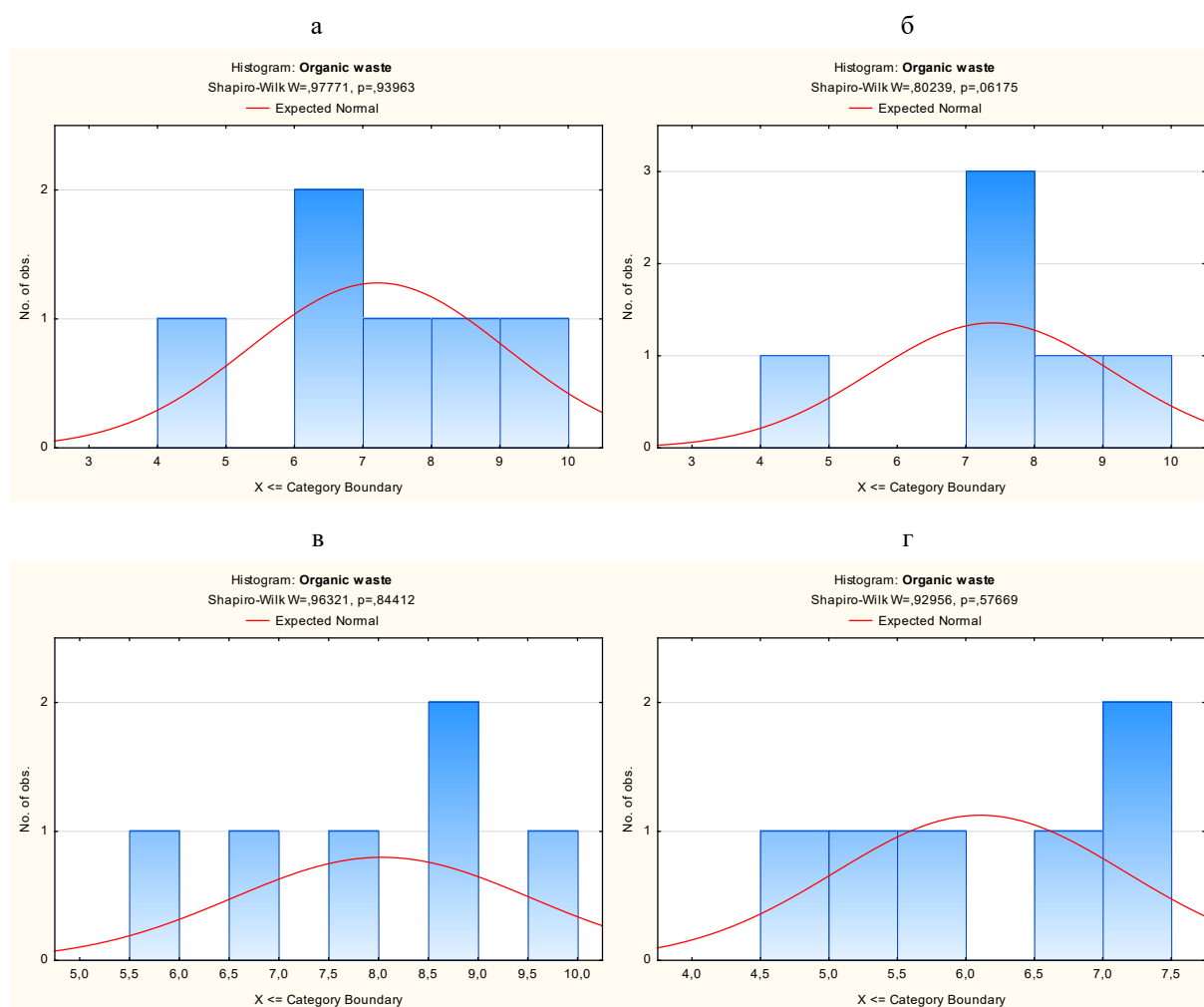


Рис. 4. Аналіз розподілу досліджуваних показників вмісту Pb в органічних відходах (мг/кг) за тестом Шапіро-Уїлка. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

Ми проаналізували вміст токсичних важких металів кадмію та свинцю в кормах раціону дійних корів з різними типами годівлі і їх органічними відходами. Для вирішення завдань такого типу використовують різні види кореляційного аналізу, що дає змогу оцінити напрям взаємозв'язку між двома показниками (прямий чи зворотний), а також виразити кількісно за допомогою коефіцієнта кореляції. Чим ближче коефіцієнт кореляції до 1 (за модулем), тим сильніший зв'язок між показниками.

Кореляційну залежність між вмістом Cd і Pb у кормах раціону та органічних відходах тваринництва дійних корів, що встановлена нами в експерименті, ми вважаємо дуже важливою для екологічного моніторингу, оцінювання екологічного ризику забруднення ґрунтів, що доповнить вже існуючий інструментарій фахівців-екологів, зооінженерів, інших спеціалістів,

оскільки регулярний відбір проб ґрунту та їх лабораторний аналіз є достатньо складним, потребує додаткових матеріальних витрат.

Екологічний моніторинг забруднення ґрунтів токсичними важкими металами необхідно проводити комплексно. Відбір проб ґрунту та їх лабораторний аналіз з дуже високою точністю встановить концентрацію валових та рухомих форм поллютантів, а кореляційний аналіз за вже відомим хімічним аналізом кормів, що здійснюється регулярно в господарствах, дасть змогу з високою точністю прогнозувати вміст важких металів в органічних відходах. Головне в роботі спеціалістів агропідприємств – передбачити і не допустити повторного забруднення та крайнього загрозливого стану екосистем. Встановлена нами висока ($r=0,66-0,75$), дуже висока ($r=0,83$ (Cd), $p<0,05$) та висока ($r=0,66-0,77$), дуже висока ($r=0,83$ (Pb), $p<0,05$) коре-

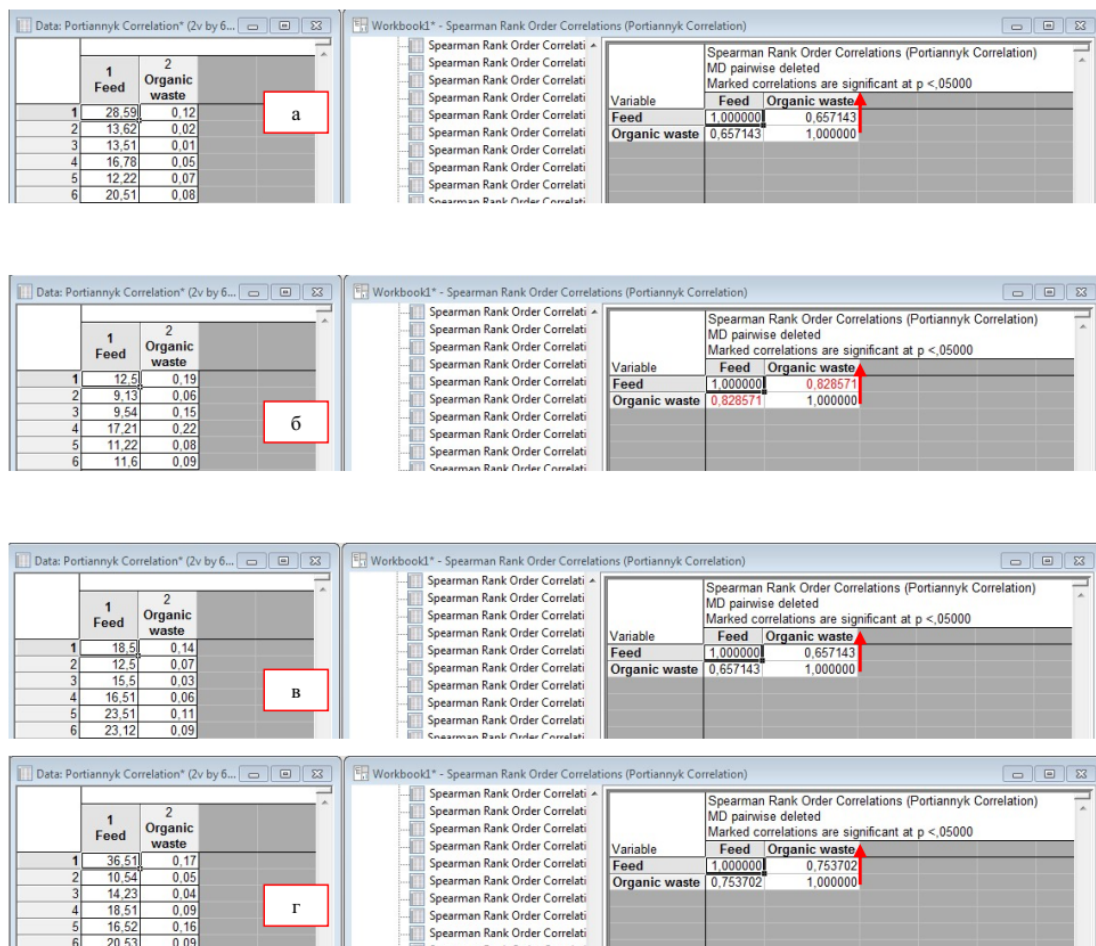


Рис. 5. Записані у вікно програми показники вмісту кадмію в кормах раціону та органічних відходах корів $n=6$ та результат – коефіцієнт кореляції Спірмена між вмістом елемента в кормах раціону і органічних відходах тварин. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

ляційна залежність між вмістом токсикантів у кормах та органічних відходах дасть змогу спеціалістам ефективно діяти в умовах виробництва, впевнено використовувати метод екологічного моніторингу і прогнозувати екологічну ситуацію.

Кореляційний аналіз ефективно застосовують у різних галузях. Вчені [9] провели дослідження впливу козячого молока, збагаченого олігосахаридами, на мікробіоту в товстому кишківнику мишей. За допомогою кореляційного аналізу Спірмена дослідили силу кореляційного зв'язку між мікробіотою та коротколанцюговими жирними кислотами у дослідних тварин. Кореляційний аналіз Спірмена показав, що пропіонова, ізомасляна та валеріанова кислоти позитивно корелюють з певною мікробіотою. Відповідно доведено, що козяче

молоко корисне для поліпшення середовища товстого кишківника.

Ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена успішно застосували в аналізі показників [10] під час дослідження взаємозв'язку між дозою радіації природного випромінювання та захворюваністю на рак людей у Республіці Корея. Було взято дані про потужність дози радіації із 171 пункту спостереження у 113 адміністративних округах країни за 10 років: з 2007 до 2016.

Міжнародна практика показує, що за допомогою рангового непараметричного коефіцієнта кореляції Спірмена може бути встановлена висока сила кореляційного зв'язку між досліджуваними показниками, що доводять дослідження та досліди [9], а також навпаки, сила кореляційного зв'язку може бути низькою, як і статистична вірогідність [10].

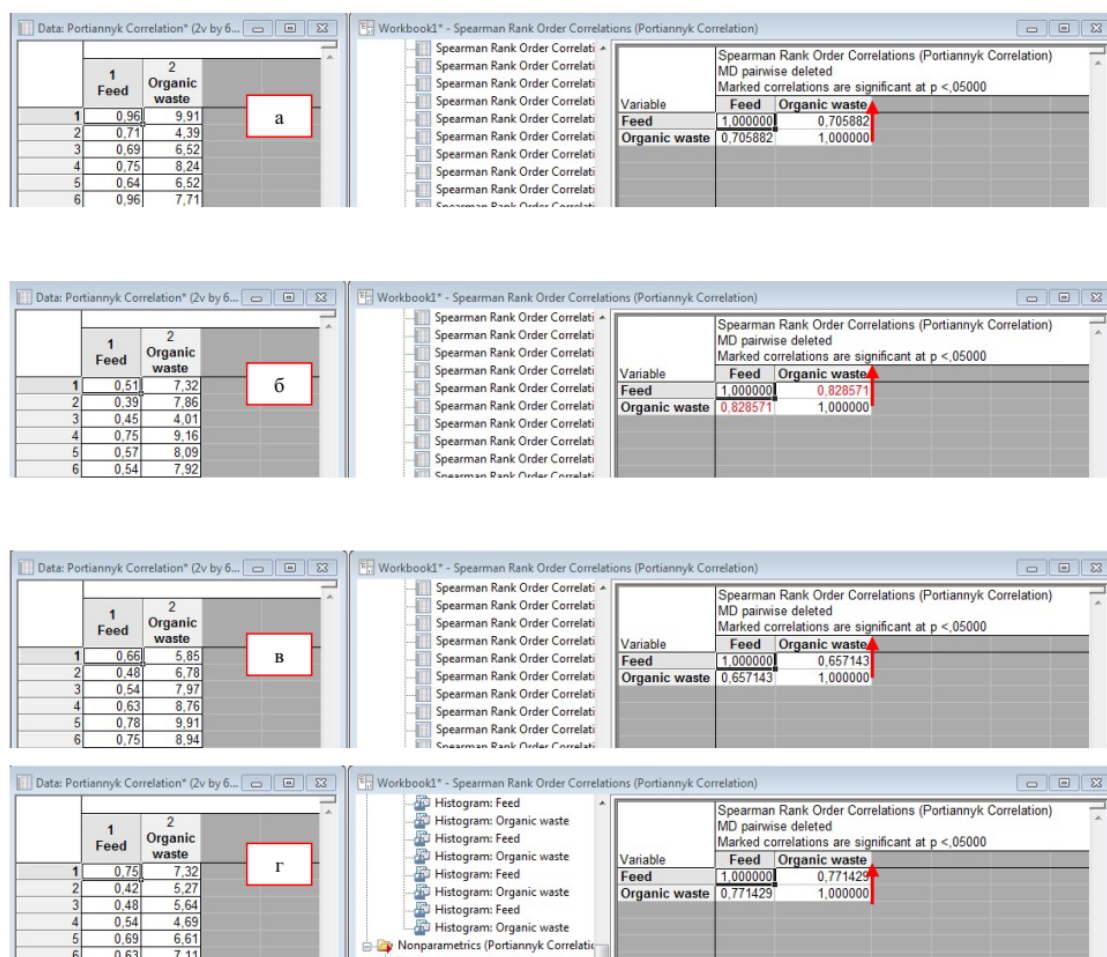


Рис. 6. Записані у вікно програми показники вмісту свинцю в кормах раціону та органічних відходах корів (n=6) та результат – коефіцієнт кореляції Спірмена між вмістом елемента в кормах раціону і органічних відходах тварин. Типи годівлі: а – силосно-коренеплодний; б – силосно-сінний; в – силосно-сінажний; г – силосно-сінажно-концентратний.

Методологія оцінювання ризику, вибір оптимальних шляхів усунення або зменшення ризику складається з трьох взаємопов'язаних елементів: оцінювання ризику; управління ризиком; інформування про ризик. Саме їх сукупність дає змогу не лише виявити існуючі проблеми, розробити шляхи їх вирішення, а й створити умови для практичної реалізації рішень. Враховуючи високу і дуже високу кореляційну залежність досліджуваних показників, екологічний ризик забруднення ґрунту токсичними елементами кадмієм та свинцем є високим, що з високою ймовірністю може призвести до погіршення якості ґрунту, деградації флори і фауни ґрунтових екосистем, зменшення видового різноманіття, порушення біогеохімічних циклів, процесів біотичної саморегуляції, екологічної рівноваги, зниження адаптаційних можливостей агроєкосистем внаслідок порушення норми внесення органічних добрив, котрі містять ксенобіотичні хімічні елементи.

Погоджуємося з вченими з Португалії [11], які вказують на обмежувальний фактор, концентрацію важких металів у використанні органічних відходів (компосту із сільськогосподарських відходів) на сільськогосподарських ґрунтах. Дослідники відбирали по 9 зразків різних органічних відходів з осаду муніципальних стічних вод, компосту тощо. Вони наголошують, що використання різних органічних відходів є дуже важливим фактором дотримання Директиви Ради 1999/31/ЄС про захоронення відходів (Landfill Directive) з дотриманням політики зменшення утворення відходів в Європі та одночасним стратегічним завданням зростання вмісту органо-мінеральних речовин у ґрунті, котрий може бути дуже низьким. Важкі метали не розкладаються під час зберігання, знезаражування гною у гноєсховищах чи утворенні компостів [12].

Дослідження [13] показують, що внесення органічних відходів тваринництва (компостів), що містять високі рівні важких металів, може призвести до їх надмірного накопичення в ґрунті та погіршення його якості. Наприклад, 18-кратне збільшення концентрації Cd у ґрунті спостерігалось, коли свинячий гній вносили в ґрунт протягом 17 років на північному сході та півдні Китаю порівняно з контрольними ґрунтами де або зовсім не вносилися добрива, або вносилися лише мінеральні добрива [14]. Взагалі забруднення ґрунту важкими металами є критичною проблемою в цій країні. Загальнонаціональні дослідження показують, що 19 % сільськогосподарських ґрунтів вже перевищують китайські екологічні стандарти якості

щодо важких металів. Крім того, концентрації важких металів, таких як кадмій, у ґрунті значно зросли за останні 3 десятиліття. Тому існує нагальна потреба моніторингу та мінімізації надходження важких металів у сільськогосподарські ґрунти. Очевидно, що досвід Китаю з негативними екологічними наслідками інтенсивного розвитку тваринництва необхідно буде враховувати у післявоєнний час в Україні, на що спрямовано й наші дослідження.

Розроблені і доступні сьогодні на ринку комп'ютерні програми, зокрема, такі як використана нами для кореляційного аналізу STATISTICA версії 10.0 для операційної системи Windows 7, доводить свою ефективність. Враховуючи попередню перевірку отриманих показників лабораторного аналізу кормів раціону та органічних відходів за тестом Шапіро-Уїлка, доцільно застосовувати непараметричний ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена для встановлення сили кореляції, прогнозування розвитку екологічного стану агроєкосистем та оцінювання екологічного ризику.

Висновки. Статистична обробка даних з функцією аналізу непараметричної рангової кореляції Спірмена встановила високу і дуже високу кореляційну залежність між концентрацією токсичних важких металів кадмію та свинцю в кормах раціону корів за різних типів годівлі і концентрацією (переходом) їх в органічні відходи, що значно полегшує фахівцям здійснювати екологічний моніторинг, прогнозувати забруднення ґрунту та оцінювати екологічний ризик агроєкосистем. У агропідприємствах це сприятиме вчасному застосуванню відповідних заходів зі зниження рівня концентрації полутантів в органічних відходах тваринництва, зменшення забруднення ґрунту важкими металами та забезпечить дотримання вимог діючих Директив, Регламентів ЄС щодо стану ґрунтів і поводження з відходами.

REFERENCES

1. Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X., Cao, Yu. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops, environmental pollution. Vol. 278, 116911. ISSN 0269-7491, DOI:10.1016/j.envpol. 2021.116911
2. 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, Vol. 70, Issue 1, pp. 23–31. DOI:10.1016/S0960-8524(99) 00017-6.
3. Liu, L., Wang, Z., Ju, F., Zhang, T. (2015). Co-occurrence correlations of heavy metals in sediments revealed using network analysis,

Chemosphere. Vol. 119, pp. 1305–1313. DOI:10.1016/j.chemosphere.2014.01.068

4. 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*, Vol. 47, Issue 6, pp. 1117–1122. DOI:10.1016/j.fct.2009.01.035

5. Praice, W. (1972). *Analytical atomic absorption spectrometry*. London, New-York, Pheon, pp. 259–275.

6. Kozulya, T. V., Glushkova, L. V., Shtitelman, Z. V. (2004). Determination of correlations between the content of heavy metals in soils of different ecosystems when solving problems of mathematical modeling in ecological monitoring. *Radio electronics and informatics*. 4 (29), pp. 159–164.

7. Wang, Z., Lv, J., Tan, Y., Guo, M., Gu, Y., Xu, S., Zhou, Y. (2019). 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*. Vol. 10, Issue 4, pp. 1203–1210. ISSN 1309-1042, DOI:10.1016/j.apr.2019.02.003

8. Zhang, J., Chen, T., Li, H., Tu, S., Zhang, L., Hao, T., Yan, Bo. (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. *Science of The Total Environment*. Vol. 877, 162842. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.162842

9. Han, Y., Ma, H., Liu, Y., Zhao, Y., Li, L. (2021). Effects of goat milk enriched with oligosaccharides on microbiota structures, and correlation between microbiota and short-chain fatty acids in the large intestine of the mouse. *Journal of Dairy Science*, Vol. 104, Issue 3, pp. 2773–2786. DOI:10.3168/jds.2020-19510

10. Joo, H. Y., Kim, J. W., Moon, J. H. (2020). Use of big data analysis to investigate the relationship between natural radiation dose rates and cancer incidences in Republic of Korea, nuclear engineering and technology. Vol. 52, Issue 8, pp. 1798–1806. DOI:10.1016/j.net.2020.01.015

11. Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Morais, M.-C., Cunha-Queda, C. (2015). Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors, waste management. Vol. 40, pp. 44–52. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2015.01.027

12. Yang, X., Li, Q., Tang, Z., Zhang, W., Yu, G., Shen, Q., Zhao, F.-J. (2017). Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China, waste management. Vol. 64, pp. 333–339. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2017.03.015

13. Hang, X., Wang, H., Zhou, J., Ma, C., Du, C., 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. Vol. 157, Issues 8–9, pp. 2542–2549. ISSN 0269-7491, DOI:10.1016/j.envpol.2009.03.002

14. Wu, L., Tan, C., Liu, L., Zhu, P., Peng, C., Luo, Y., Christie, P. (2012). Cadmium bioavailability in surface soils receiving long-term applications of inorganic fertilizers and pig manure, *Geoderma*. Vol. 173–174, pp. 224–230. ISSN 0016-7061, DOI:10.1016/j.geoderma.2011.12.003

Assessment of the risk of contamination by heavy metals and correlation analysis of the content of toxicants in animal feed and organic waste

Portiannik S.

Pollution of agroecosystems by heavy metals poses a significant threat to agricultural production in various countries of the world, including Ukraine. In the post-war period, the environmental situation will be even more complicated. Timely assessment of environmental risk using the results of laboratory analysis of the feed of dairy cows and their organic waste for the content of ecotoxicants such as cadmium and lead obtained in scientific experiments is important. Correlation analysis is one of the methods of statistical data processing that, when properly applied using modern computer software, allows you to quickly establish the strength of the relationship between indicators and its statistical significance. Such research methods are used by scientists from the countries of the European Union, the USA, China, and other countries. Previous studies have focused directly on the concentrations of contamination with heavy metals Cd, Pb, and other animal feed and organic waste, but have not investigated the relationship between them. Scientific and economic experiments were conducted on dairy cows with different types of feeding. The animals were selected by the method of analogues for live weight and productivity. The diet included feed with an excess of cadmium and lead. The high biological activity of pollutants influenced their transition from ration fodder to products and organic waste. The aim of the research was to analyze the correlation dependence between the content of Cd and Pb in cow feed and their organic waste with an assessment of the risk of soil contamination by hazardous toxicants in the area of activity of agro-enterprises producing milk after the introduction of organic waste as organic fertilizer. With the help of the STATISTICA version 10.0 computer program, the Shapiro-Wilk's W test, the conformity of the obtained data of laboratory analyzes of feed and organic waste with the concentration of heavy metals, the law of "normal" distribution (Gaussian), and then the non-parametric Spearman rank correlation coefficient necessary in this case is selected for calculation. The analysis established a high $r=0.66-0.75$ (Cd) ($p<0.05$), $r=0.66-0.77$ (Pb) ($p<0.05$) and a very high $r=0.83$ (Cd) ($p<0.05$), $r=0.83$ (Pb) ($p<0.05$) correlation dependence between the content of toxicants in feed and organic waste, which allows specialists to act quickly and effectively in production conditions, confidently use the method of environmental monitoring, forecast the environmental situation, assess

environmental risks, including those related to organic and biological farming and avoid disturbing the ecological balance of agroecosystems.

Further research is aimed at correlational and regression analysis, but on other important indicators of environmental safety in veterinary, zootechnical and

ecological practice, with an assessment of the relevant risks of running the livestock industry in the forest-steppe zone of Ukraine.

Key words: feed, organic waste, organic fertilizers, heavy metals, cadmium, lead, correlation, ecological risk, dairy cows.



Copyright: Портянник С. В. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Портянник С. В.

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