


## ЕКОЛОГІЯ

УДК 631.95-049.5:636.2.085/.087:546.95

### Забезпечення екологічної безпеки агроєкосистем в умовах підвищеного вмісту важких металів у кормах та гнойовій масі корів

Портянник С.В. 

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

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



Портянник С.В. Забезпечення екологічної безпеки агроєкосистем в умовах підвищеного вмісту важких металів у кормах та гнойовій масі корів. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2023. № 1. С. 132–144.

Portiannik S. Ensuring the ecological safety of agroecosystems in conditions of increased content of heavy metals in fodder and manure of cows. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2023. № 1. PP. 132–144.

Рукопис отримано: 24.01.2023 р.

Прийнято: 04.02.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-132-144

Забруднення довкілля органічними відходами тваринництва, особливо гноем великої рогатої худоби, актуальне для різних країн світу, зокрема Сполучених Штатів Америки та країн Європейського союзу. Набагато більшу загрозу для агроєкосистем і, зокрема, ґрунту становить гній, котрий містить токсичні важкі метали, такі як кадмій, свинець, мідь та цинк. У лісостеповій зоні України було проведено науково-господарський дослід на дійних коровах з виробництва екологічно безпечного молока. Під час експерименту в дослідних групах згодовували спеціальний мінерально-вітамінний премікс та ін'єктували біопрепарат, що посилювало елімінацію важких металів з екскрементами. Досліди проведено в чотирьох господарствах з різним поголів'ям тварин. В кінці дослідів з гноєсховищ у кожному господарстві було відібрано по 10 зразків гнойової маси (всього 40) і методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії (спектрофотометр ААС-30) проведено хімічний аналіз концентрації важких металів Cd, Pb, Cu та Zn. Встановлено, що з причини вмісту в раціонах тварин кормів з перевищенням гранично допустимих концентрацій важких металів, проходячи шлунково-кишковий тракт, ці метали потрапляють разом з екскрементами у гній. Концентрація кадмію в середньому становила 0,07–0,11 мг/кг, свинцю – 5,48–8,25 мг/кг, міді – 37,71–47,42 мг/кг, цинку – 66,55–81,49 мг/кг. Підстилковий гній в подальшому вноситься на сільськогосподарські угіддя як органічне добриво. Для запобігання забрудненню ґрунту важкими металами необхідно в кожному конкретному випадку встановлювати доцільність внесення органічних добрив під овочеві та кормові культури, особливо ті, що йдуть на корм дійним коровам. У зв'язку зі складністю в умовах сьогодення придбання аграріями достатньої кількості мінеральних добрив слід збільшити використання органічних добрив, якщо їх кількість достатня в господарстві, але внесення у ґрунт має бути контрольованим і нормованим з урахуванням концентрації токсикантів у гнойовій масі та ґрунті сільськогосподарських угідь з одночасним поліпшенням подрібнення та рівномірності розподілу по полю. Використання сучасної техніки з подрібнення та розкидання гною, а також науково-обґрунтованих способів його компостування, вирощування вермикультури, личинок синантропної мухи чи виробництво біогазу сприятиме внесенню в ґрунт гною як екологічно безпечного органічного добрива, позитивно вплине на його механічні та фізико-хімічні властивості, забезпечить економічно ефективну врожайність культур, екологічну безпеку агроєкосистем, корів – екологічно безпечними кормами.

**Ключові слова:** гній, важкі метали, органічні відходи, екологічна безпека, агроєкосистема, дійні корови.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Внесення органічних добрив у ґрунт має зазвичай позитивний вплив на них. Їх використання важливе під час ведення альтернативного орґано-біологічного землеробства. Коли традиційні мінеральні добрива мають невисоку ціну і доступні аграріям, вони, на жаль, рідко приділяють значну увагу органічним добривам. Руйнування внаслідок бойових дій підприємств хімічної промисловості, котрі виробляли мінеральні добрива, та припинення торговельних відносин з агресором спонукатимуть виробників сільськогосподарської продукції дедалі більше звертати увагу на компенсацію втрат поживних речовин ґрунту посиленням внесенням органічних добрив, особливо в тих регіонах України, де вдалося зберегти поголів'я сільськогосподарських тварин, зокрема, великої рогатої худоби. Завданням найближчої перспективи буде збереження існуючого поголів'я тварин, їх продуктивності та врожайності сільськогосподарських культур.

Гній як органічне добриво – дуже цінне природне джерело необхідних для рослин макроелементів азоту, фосфору, калію, а також великої кількості мікроелементів, зокрема магнію, сірки, хлору, кремнію тощо. Гній може містити і небезпечні для агроєкосистем важкі метали, котрі теж належать до мінеральних елементів, але є політантами ксенобіотичного походження. Наприклад, мікроелементи свинець, кадмій, миш'як, ртуть та ін., потрапляючи в організм сільськогосподарських тварин, в т. ч. великої рогатої худоби, дійних корів, виводяться з екскрементами (калом та сечею). Внесення органічних добрив, котрі містять токсичні метали, у ґрунт може призвести до небажаних екологічних наслідків в екосистемах, де вирощуються рослини, котрі йдуть на корм, особливо дійним коровам, і навіть призвести до шкідливого впливу на здоров'я людини за безпосереднього споживання. Ведення орґано-біологічного землеробства вимагатиме урахування нових технологічних підходів.

Правильне екологічно безпечне застосування органічних добрив поліпшує фізико-хімічні властивості ґрунту. Зменшується його підкислення, міграція важких металів з ґрунту в рослини на цьому тлі також зменшується. Органічні добрива є важливим джерелом гумусу в ґрунті, що, відповідно, підвищує його сорбційну здатність.

Екологічна проблема вмісту важких металів у кормах для тварин і відходах тваринництва та її вирішення є актуальною в різних країнах світу, не лише в Україні. Вмісту токсичних металів у масі гною приділяють

увагу навіть тоді, коли він не вноситься традиційно у ґрунт як органічне добриво, а зазнає анаеробного зброджування та компостування. При цьому токсичні метали можуть міститися і в біогазі, і в компості [1]. Інші вчені з Великої Британії [2], розглядають ґрунт як довготривалий поглинач і утримувач важких металів, де політанти можуть перебувати сотні, а то і тисячі років. Залежно від потенційно тривалого часу негативного впливу на родючість, з урахуванням законодавства Європейського Союзу щодо концентрації кадмію та свинцю в продовольчій сировині, значну увагу приділяють кількісному визначенню надходження токсичних металів у сільськогосподарські ґрунти з можливістю оцінити, які ґрунти є найбільш вразливими до забруднення політантами. Тільки тоді можна буде прогнозувати і управляти потенційними ризиками для зменшення негативного впливу на агроєкосистеми. Вчені відібрали 183 проби кормів для тварин та 85 проб гною з різних комерційних ферм в Англії та Уельсі і дослідили у них концентрацію цинку, міді, нікелю, свинцю, кадмію, миш'яку, хрому та ртуті [2]. Вченими з Китаю [5] було досліджено 360 зразків кормів і гною, котрі були зібрані на 150 тваринницьких фермах у провінції Цзянсу, зоні інтенсивного ведення тваринництва, проаналізовано на вміст важких металів та різних мінеральних елементів.

Привертає увагу вчених і перетворення важких металів у процесі переробки гною за допомогою вермикюльтури [3]. Важкі метали не розкладаються, на відміну від інших органічних сполук, за допомогою дощових черв'яків та аеробних мікроорганізмів. Біогумус і дощові черв'яки можуть акумулювати токсичні метали. Виходячи з цього, вчені [3] рекомендують досліджувати зміни і перетворення важких металів під час вермикомпостування гною, цього досить екологічно безпечного нетрадиційного способу переробки та знешкодження відходів тваринництва. Вчені з Китаю [4] доводять, що процес вермикомпостування може підвищити якість поживних речовин біогумусу і зменшити ризик забруднення ґрунту важкими металами, котрі акумулюються у сільськогосподарських органічних відходах. Тож екологічна доцільність вермикомпостування в утилізації відходів з вмістом важких металів не викликає сумнівів.

**Метою досліджень** є оцінка екологічної безпеки використання гнойової маси корів у зоні діяльності агропідприємств з виробництва молока та забезпечення екологічної безпеки при її застосуванні як органічного добрива для ґрунтів.

**Матеріал і методи досліджень.** Науково-господарські дослід з виробництва екологічно безпечного молока та моніторинг стану агроєкосистем проводили в господарствах Полтавської області, котра і після повномасштабної війни, за даними Держстату у 2022 році, входить у трійку лідерів за кількістю поголів'я великої рогатої худоби, посідаючи третє місце після Хмельницької та Вінницької областей (102, 3 тис. голів). При проведенні наукового експерименту з дійними коровами чорно- та червонорябої молочних порід, під час відбору середніх проб дотримувалися загальноприйнятих у зоотехнічній практиці методів. Метод екологічного моніторингу екосистем застосовується постійно, починаючи з 2000 року до нині, у відповідності до етапів виконання НДДКР, Державний реєстраційний номер: 0121U113933 від 18.11.2021 року. Біохімічний аналіз зразків рослинного походження (кормів), молока, екскрементів на вміст макро-, мікроелементів, токсичних металів та ін. проведено методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії (спектрофотометр ААС-30) [6].

Для проведення експериментів відібрали 36 голів корів з силосно-коренеплодним типом годівлі (господарство № 1), 195 – з силосно-сінним (господарство № 2), 63 – з силосно-сінажним (господарство № 3) та 126 – з силосно-сінажно-концентратним типом годівлі (господарство № 4), відповідно. Піддослідне поголів'я розділили на три групи: першу – контрольну та другу і третю – дослідні групи. Тваринам усіх груп згодовували корми з умістом важких металів кадмію, свинцю, міді, цинку вище встановлених гранично допустимих концентрацій. Корови другої і третьої дослідних груп отримували додатково спеціальні антидотні речовини для посилення елімінації з екскрементами токсичних металів. Середня жива маса корів – 500–545 кг. Корови, відібрані за методом аналогів за живою масою, продуктивністю, перебували в однакових умовах годівлі та утримання. Відбір зразків підстилкового гною здійснювався з прифермерського гноєсховища в кінці досліду. Дослідний період тривав 120 днів. Сільськогосподарські угіддя піддослідних господарств розташовані навколо промислового міста та поблизу екологічно шкідливих антропогенних об'єктів впливу на агроєкосистеми – автошлях з підвищеною інтенсивністю руху автотранспорту Київ – Харків – Довжанський, родовищ видобутку природного газу та газо-конденсатних підприємств, магістральних нафто- і газопроводів, підприємств з виробництва асфальтобетону тощо.

Статистичну обробку даних проводили за використання пакету програм STATISTICA версії 10.0 для операційної системи Windows 7.

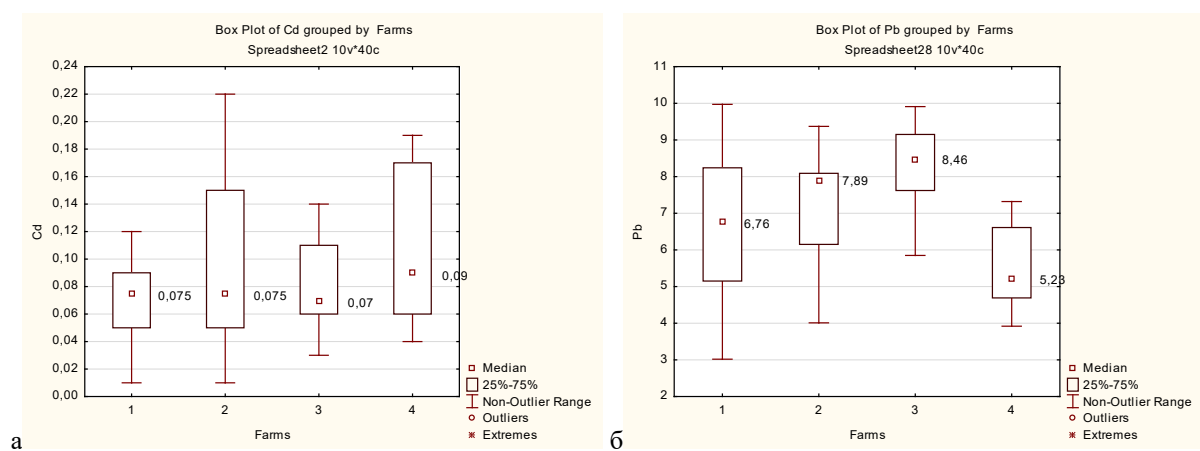
**Результати дослідження.** Гній великої рогатої худоби дійних корів формується з екскрементів, підстилкового матеріалу, залишків нез'їдених кормів тощо. Визначення концентрації важких металів у гнойовій масі зі гноєсховища має важливе значення для забезпечення екологічної безпеки агроєкосистем, коли гній вноситься в ґрунт на сільськогосподарських угіддях як органічне добриво. Після комплексного застосування в експерименті антидотних речовин для посилення виведення з організму продуктивних тварин токсичних металів політанти у великій кількості потрапляють з екскрементами у гній, далі – в ґрунт, продовжуючи мігрувати у трофічному ланцюзі та різних компонентах біосфери. Концентрацію досліджуваних токсичних важких металів представлено в таблиці 1, основні показники описувальної статистики за Cd та Pb, в тому числі, медіану – на рисунку 1.

Вихід екскрементів за добу у корів становить приблизно 50–60 кг. Річний вихід гною від кожної корови становить 15–20 м<sup>3</sup> або в середньому (за стійловий період) становить приблизно 7 тон. З огляду на це, у сільськогосподарські угіддя першого дослідного господарства потрапило як органічне добриво (36 голів × 7 т) 252 т гною, другого (195 голів × 7 т) – 1365 т, третього (63 голів × 7 т) – 441 т та четвертого (126 голів × 7 т) – 882 т гною. Концентрація важких металів у такій кількості органічного добрива становить у першому господарстві за кадмієм – 0,018 кг, свинцем – 1,69 кг, міддю – 10,63 кг та цинком – 18,89 кг; другому, відповідно, – 0,123 кг, 9,99 кг, 54,5 кг та 104,63 кг; третьому – 0,035 кг, 3,64 кг, 20,91 кг та 29,35 кг; четвертому, відповідно, – 0,097 кг, 4,83 кг, 33,26 кг та 71,87 кг. Таке надходження важких металів у ґрунт агроєкосистем разом з техногенним забрудненням потребує контролюваного, нормованого і раціонального використання гною як органічного добрива для забезпечення екологічної безпеки сільськогосподарських угідь, де вирощуються рослини, які йдуть на корм дійним коровам й іншим сільськогосподарським тваринам, чи реалізуються на ринку як рослинна продукція.

Концентрація кадмію в кормах першого господарства, що увійшли до раціону годівлі дійних корів, перевищував встановлені допустимі норми в середньому в 2,1–3,2 раза, свинцю – 2,4–5,7 раза, міді – 1,4–2,3 та цинку – 1,2–2,4 раза, відповідно. Найбільше перевищення норми Cd та Pb було виявлено в сні злаково-бобовому (3,2 та 5,7 раза), Cu – в дерті кукурудзяній (2,3 раза), Zn – у соломі пшеничній (2,4 раза).

Таблиця 1 – Концентрація важких металів у гною дійних корів дослідних господарств, мг/кг ( $M \pm SD$ ).

Важкий метал	ГДК валових форм у ґрунті	Гній з гноєсховищ дослідних господарств, n=10			
		№1	№2	№3	№4
Кадмій	3	0,07 ± 0,035	0,09 ± 0,062	0,08 ± 0,037	0,11 ± 0,057
Свинець	32	6,73 ± 2,296	7,32 ± 1,693	8,25 ± 1,243	5,48 ± 1,184
Мідь	55	42,18 ± 5,364	39,93 ± 6,717	47,42 ± 4,779	37,71 ± 4,910
Цинк	100	74,95 ± 5,702	76,65 ± 5,344	66,55 ± 4,281	81,49 ± 3,344



Farms=1 Descriptive Statistics (Spreadsheet2)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Cd	10	0,070000	0,075000	0,010000	0,120000	0,034641

Farms=2 Descriptive Statistics (Spreadsheet2)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Cd	10	0,094000	0,075000	0,010000	0,220000	0,070427

Farms=3 Descriptive Statistics (Spreadsheet2)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Cd	10	0,082000	0,070000	0,030000	0,140000	0,037357

Farms=4 Descriptive Statistics (Spreadsheet2)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Cd	10	0,112000	0,090000	0,040000	0,190000	0,057310

Farms=1 Descriptive Statistics (Spreadsheet28)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Pb	10	6,734000	6,765000	3,020000	9,970000	2,295528

Farms=2 Descriptive Statistics (Spreadsheet28)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Pb	10	7,317000	7,890000	4,010000	9,370000	1,692966

Farms=3 Descriptive Statistics (Spreadsheet28)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Pb	10	8,252000	8,455000	5,850000	9,910000	1,243381

Farms=4 Descriptive Statistics (Spreadsheet28)						
Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Pb	10	5,479000	5,230000	3,920000	7,320000	1,184112

Рис. 1. Квартільна діаграма медіани вмісту Cd (а) та Pb (б) у гною дійних корів (мг/кг) у 4-х дослідних господарствах та основні показники описувальної статистики.



Концентрація важких металів у кормах інших дослідних господарств коливалася, що було обумовлено різним умістом рухомих форм токсикантів у ґрунті та місцем розташування сільськогосподарських угідь, де вирощувалися рослини, залежно від відстані до промислового центру, автомагістралей, місць видобудку природного газу, газо-конденсатних підприємств тощо. У кормах другого господарства вміст Cd, Pb, Cu, Zn з перевищенням допустимої норми було виявлено в кормових буряках, відповідно, у 2,5; 3,4; 3,8; та 4,1 раза. Рослини більшою мірою акумулюють важкі метали в кореневій системі, тобто в тій частині, котра знаходиться в ґрунті, а у вегетативну систему політантів потрапляє дещо менше, тому з усіх кормів саме кормові буряки мали найвищий рівень забруднення за всіма досліджуваними елементами, в порівнянні з іншими кормами.

У кормах, вирощених на сільськогосподарських угіддях третього господарства, крім перевищення норми вмісту Cd, Pb, Cu, Zn, у порівнянні з іншими господарствами, було зафіксовано високий уміст цинку в кормах і, зокрема, в зерні вівса та гороху в середньому – у 6,3–6,8 раза. Найбільшим умістом кадмію та свинцю серед решти кормів вирізнялася дерть горохова, а міді – сіно злаково-бобове (3,9 раза).

Серед усіх чотирьох господарств корми четвертого мали найбільше забруднення по свинцю – у 7,3 раза, цинку – у 7,8 раза та міді – у 4,1 раза. За забрудненням кормів кадмієм господарство посідає останнє місце разом з другим господарством. Найбільшим умістом кадмію, свинцю та міді серед кормів раціону вирізнялося сіно злаково-бобове, а цинку найбільше накопичило зерно кукурудзи.

За рівнем забруднення кормів господарства можна розташувати таким чином: (в порядку зменшення) забруднення кадмієм №1 → №3 → №2 → №4; забруднення свинцем №4 → №1 → №3 → №2; забруднення міддю №4 → №3 → №2 → №1; забруднення цинком №4 → №3 → №2 → №1. Мідь та цинк – есенціальні елементи, що беруть участь у різних життєво важливих для організму тварин біохімічних процесах: гормональних, ферментативних тощо. У певній кількості вони повинні надходити в організм тварини. Важлива їх роль і для вирощування рослин, тому необхідно не допускати перенасичення ґрунту Cu і Zn. Враховуючи концентрацію міді і цинку, а також інших більш небезпечних токсичних важких металів, таких як кадмій і свинець у гнойовій масі, валових і рухомих формах політантів у ґрунті необхідно контролювати дотримання норми внесення

органічного добрива на 1 гектар сільськогосподарських угідь. Науково-обґрунтована норма внесення органічних добрив, отриманих з гною великої рогатої худоби для запобігання накопиченню нітратів у ґрунті, становить 50–70 тонн на гектар. Нетрадиційні технології переробки гною за допомогою компостування гною, вермикультури чи виробництва біогазу так само практикуються в усьому світі для поліпшення екологічної ситуації у відповідному регіоні та країні загалом, що є важливим і для України.

**Обговорення.** Підстилковий гній великої рогатої худоби – один з найпоширеніших видів органічного добрива. Органічним добривам належить значна роль у накопиченні запасів гумусу, рівень котрого за постійного використання хімічних мінеральних добрив зменшується. Саме гумус є енергетичною базою біологічних процесів, котрі відбуваються у ґрунті, та джерелом доступних для рослин макро- і мікроелементів, у тому числі, важких металів, фізіологічно активних речовин, а також сорбентом різних забруднювальних речовин токсичних металів, пестицидів тощо. Фоновий вміст досліджуваних важких металів у ґрунтах всіх дослідних господарств знаходився в межах гранично допустимих концентрацій, при цьому виявлено перевищення допустимої норми рухомих форм в середньому за кадмієм у 4,3–8,3 раза, свинцем – у 4,9–8,8 раза, міддю – 3,3–4,5 та цинком – у 1,8–2 раза, відповідно, в першому господарстві. В другому і четвертому дослідних господарствах спостерігали схожу ситуацію: перевищення ГДК рухомих форм політантів у ґрунті обох господарств у середньому становило: Cd – у 3,9–9 та 3,6–7,3 раза, Pb – у 4,8–9 та 4,7–8,2 раза, Cu – 3,2–5 та 1,9–4 раза, Zn – 1,8–2 та 1,7–1,9 раза, відповідно, третьому господарстві – у 3–8,6 раза кадмію, 4–9 раза – свинцю, 2,6–4,7 раза – міді та у 1,7–2,1 раза цинку. В експерименті важко встановити, яка частка важких металів, котрі потрапили у ґрунт, надійшла з органічними добривами, яка – з агрохімікатами, а яка потрапила з техногенними викидами. Очевидним є те, що коли мінеральні добрива доступні за ціною, аграрії застосовують їх у великій кількості. Вони підкислюють ґрунт, посилюють тим самим збільшення рухомих форм політантів у ґрунті і спричиняють міграцію важких металів у рослини. Органічні добрива діють навпаки. Тому збільшення внесення органічних добрив на фоні значного зменшення внесення мінеральних у цьому аспекті дасть сприятливий результат. Надто, гній великої рогатої худоби – основне і найбільш екологічно безпечне органічне добриво. Вміст поживних речовин у ньому

залежить від ступеня його розкладу. Підстилковий гній є добрим органічним добривом. У якісному підстилковому гноєві середній вміст азоту становить 5 кг/т, фосфору – 2,5–3 кг/т, калію – до 6 кг/т. Такий уміст поживних речовин досягається за правильного зберігання гною в гноєсховищі. Порушення правил зберігання гною призводить до 50 % втрати азоту і вуглецю, до 20–30 % вимивається фосфору і калію. Ефективність підстилкового гною залежить від ґрунтово-кліматичних умов та зростає з півдня на північ України, в її центральній лісостеповій зоні, де знаходиться Полтавщина, сконцентровано значне поголів'я великої рогатої худоби, інтенсивність застосування органічних добрив на полях стає надзвичайно важливою, в тому числі, і з точки зору розвитку органо-біологічного землеробства.

Вченими з Китаю [5] було проаналізовано велику кількість проб кормів і гною на вміст важких металів, котрі були зібрані не в чотирьох господарствах, як у нашому випадку, а на 150 тваринницьких фермах у провінції Цзянсу (Jiangsu Province, China). Концентрації Zn і Cu в кормах для тварин становили приблизно 15,9–2041,8 і 392,1 мг/кг, відповідно, тим часом Hg, As, Pb, Cd і Cr у всіх кормах були нижче 10 мг/кг. Концентрації Cu, Zn та Cr у гною тварин становили 8,4–1726, 39,5–11379 та 1,0–1602 мг/кг, відповідно, а As, Cd, Hg та Pb – < 10 мг/кг. Концентрація Cu, Zn, As і Cr в кормах для тварин та гною мала позитивну кореляцію ( $P < 0,001$ ), але Cd, Hg і Pb статистично не корелювали між вмістом у кормах і вмістом у гною. Концентрації Cu, Zn були найвищими в кормах для свиней і гною, за ними йшли птиця, дійні тварини. Протягом 1990–2008 рр. вміст Cu, Zn, As, Cr, Cd збільшився на 771 %, 410 %, 420 %, 220 % і 63 % у свинячому гною, на 212 %, 95 %, 200 %, 791 % і 63 % – у гною дійних тварин та 181 %, 197 %, 1500 %, 261 і 196 % – у пташиному посліді. За даними вчених, збільшення відбулося переважно з 2002 по 2008 рік, що вказує на широке використання кормових добавок після 2002 року. На відміну від цього, рівень Pb і Hg у гною постійно знижувався з 1990 по 2008 рік. Результати досліджень свідчать, що вміст важких металів у тваринному гною значно збільшився протягом понад 18 років, що, відповідно, посилить надходження їх у ґрунт. Вчені Yan Xu та ін. також зазначають, що гній худоби в Китаї має значний потенціал до забруднення важкими металами, оскільки в країні поширене надлишкове додавання в корми мінеральних елементів, котрі є важкими металами, зокрема, міді і цинку [17]. Щоб зменшити захворюваність тварин, корми обро-

бляють різними мікроелементними добавками, в яких мідь і цинк – основні складники. Велика кількість важких металів потрапляє у гній. Надлишок міді та цинку у гною ВРХ в різних регіонах Китаю коливався в широкому діапазоні.

Питання дослідження вмісту важких металів у кормах та гнойовій масі цікавлять вчених різних країн і континентів планети. Науковцями з Англії [7] досліджено 183 проби кормів для худоби та 85 проб гною тварин, зібраних з комерційних ферм в Англії. Нами досліджено 40 проб гною по 10 проб з кожного комерційного господарства. Британські вчені визначали вміст цинку, міді, нікелю, свинцю, кадмію, миш'яку, хрому і ртуті. Наші дослідження було зосереджено на найбільш небезпечних важких металах – кадмії, свинцю, міді та цинку, забруднення котрими характерне для цього регіону, за даними екологічного моніторингу. Вченими [7] встановлені концентрації цинку та міді в кормах для свиней, котрі становили від 150–2920 мг/кг сухої речовини за цинком та 18–217 мг/кг – за міді, залежно від віку свиней. У кормах для птиці концентрації коливалися від 28–4030 мг/кг – за цинком і 5–234 мг/кг – за міддю, при цьому корми для курей-несучок зазвичай мали більший вміст важких металів, ніж корми для бройлерів. Концентрації Zn і Cu у молочних і м'ясних кормах великої рогатої худоби були значно нижчими, ніж у кормах для свиней і птиці. Свинячий гній зазвичай містив біля 500 мг/кг цинку і майже 360 мг/кг міді, що вказує на концентрацію металу в кормах. Типові концентрації в пташиному посліді становили 400 мг/кг цинку і 80 мг/кг міді, а в гною великої рогатої худоби – 180 мг/кг цинку і 50 мг/кг міді. Нами зафіксовані значно нижчі концентрації, котрі становили в середньому 66,55–81,49 мг/кг по цинку та 37,71–47,42 мг/кг по міді, відповідно, що зумовлено значно меншим забрудненням кормів. Вміст сухої речовини у відходах великої рогатої худоби та свиней був корисним індикатором концентрації важких металів у натуральній речовині.

Гній великої рогатої худоби використовується рослинами не тільки в прямій дії, його ефективність прослідковується і у післядії, на 2 та 3 рік після внесення. Підстилковий гній у системі удобрення найдоцільніше вносити під цукрові і кормові буряки, кукурудзу на зерно і на силос, соняшник, ріпак та сою. Звичайно, внесення гною під кормовий буряк, кукурудзу на силос і інші кормові культури, особливо ті, що йдуть на корм дійним коровам для виробництва екологічно безпечного молока, потребує урахування норми внесення органічного

добрива з розрахунку на 1 га сільськогосподарських угідь, виходячи з концентрацій токсичних важких металів, таких як кадмій, свинець у гною та ґрунті. Під зернові культури (пшениця озима, ячмінь, жито) гній не рекомендується вносити, оскільки це агрономічно і економічно недоцільно. З високими дозами внесення органічного добрива (на рівні 40–60 т/га) необхідно бути обережним, оскільки станеться вилягання посівів через надлишок азоту, стійкість рослин до грибкових захворювань знижується.

Оптимальні дози внесення підстилкового гною залежать від ґрунтово-кліматичної зони України, що пов'язано з різним відсотком гумусу в ґрунті та його фізико-хімічними і механічними властивостями (сипучість, вміст вологи, ін.). Рекомендовані оптимальні норми для кукурудзи на зерно та силос – 30–40 т/га, кормовий буряк – 50 т/га, їх необхідно дотримуватися і підходити диференційовано з урахуванням концентрації поллютантів у гною та ґрунті відповідної сівоzmіни. Для розрахунку норм внесення органіки необхідно провести дослідження ґрунту та дослідження складу органічного добрива. Також варто знати тип культури та її планову врожайність. Залежно від кількості мінеральних елементів живлення, в тому числі, важких металів у ґрунтах, органічному добриві та рослинах, формується загальна кількість необхідних для внесення поживних мінералів і встановлюється максимальне надходження токсичних металів. Для максимально точного розрахунку необхідно враховувати і післядію органічного добрива на 3–5 років. Максимально допустимі норми внесення органічних добрив передбачено у ДСТУ 7925:2015. Наприклад, якщо вміст азоту в підстилковому гною ВРХ становить 5 кг/т, максимально-допустима норма внесення у ґрунт – не більш як 34 т/га.

Основною вимогою при внесенні підстилкового гною є ступінь його подрібнення і рівномірність розподілу по поверхні ґрунту у встановленій нормі. На жаль, ще багато українських аграріїв застосовують застарілу радянську техніку (розкидачі). Величезний її недолік – відсутність якісного подрібнення гною та мала ширина розкидання (до 3 метрів). Рівномірність розподілу – низька, практично відсутня, зокрема подрібнення та рівномірний розподіл по поверхні поля підвищує засвоюваність поживних речовин гною рослинами і врожайність підвищується на 20–40 %. Будь-яке агропідприємство сьогодні буде рахувати витрати на розкидання гною, адже вартість палива значно зросла. Нова сучасна техніка набагато ефективніша щодо вирішення цієї проблеми.

Підстилковий гній ВРХ найвигідніше вносити по поверхні ґрунту восени під глибоку оранку, а також навесні – під весняну оранку, гірше – під дискування або культивування, оскільки значна частина добрив залишається на поверхні поля. Нерівномірність подрібнення і внесення гною призводить до зниження ефективності використання органіки кореневою системою рослин, знижує продуктивність всього поля, веде до втрати врожайності, спричиняє строкатість посівів та посилення накопичення важких металів. Заорювання гною в ґрунт необхідно здійснювати в той же день, після проходження гноєрозкидача, оскільки кожний день затримки заорювання гною призводить до втрати амонійного азоту до 50 %. Якщо розкиданий гній заорати через добу, позитивний вплив на врожайність культур знижується на 10–15 %, через чотири доби – вже на 30 %. Мало того, невчасне заорювання гною призводить до забруднення поверхневих та підземних вод. Забруднення питної води нітратами та важкими металами становитиме загрозу для життя і здоров'я людей.

Дуже часто на великих фермах гній накопичується у великих кількостях і може загрожувати довкіллю. Шкода від забруднення і відповідні ризики біологічної небезпеки посилюються, якщо промислові ферми розміщені поблизу населених пунктів або водних ресурсів. Трапляються випадки, коли фермери через переповнення гноєсховищ вивозять гній прямо на поля, порушуючи встановлені ДСТУ 7925:2015 максимально допустимі норми, порушують методи внесення, що безумовно призведе до забруднення екосистем нітратами, фосфатами, сульфатами, хлоридами, важкими металами, такими, як кадмій, свинець, мідь та цинк, що підтверджується результатами досліджень [9]. У Китаї, як і в Україні, існує стандарт максимально допустимих норм внесення органічних добрив [14]. Крім того, було проведено загальнонаціональне дослідження компостів з тваринного гною. Проби аналізували на вміст 9 важких металів. Було з'ясовано, що концентрації токсичних металів варіюють у широких межах Zn – 11,8–3692 мг/кг, Cu – 3,6–916, Cr – 0,7–6603, Ni – 0,7–73, Pb – 0,05–189, As – 0,4–72, Co – 0,1–94, Cd – 0,01–8,7 та Hg – 0,01–1,9 мг/кг, відповідно. Значні кореляції між концентраціями цинку, міді та миш'яку вказували на комплексне забруднення компостів цими елементами. Багаторазове внесення компосту з підвищеною концентрацією важких металів значно підвищує концентрацію цинку, міді, кадмію та ртуті у ґрунті, порівняно з фонними концентраціями. Дослідження вчених

[14] підкреслюють необхідність мінімізації концентрації Zn, Cu, Cd, Hg та As у тваринному гною, щоб забезпечити екологічну безпеку сільськогосподарських угідь.

Деякі виробники сільськогосподарської продукції для підвищення інтенсивності продуктивності тварин використовують незбалансовані раціони та корми сумнівної, часто низької якості, зокрема такі, що містять важкі метали. Дослідження мінерального складу кормів для тварин часто не проводяться з різних причин, зокрема, і через брак коштів. Раціони з кормами, що містять важкі метали, призведуть до переходу їх у гнійову масу, що підтверджено нашими дослідженнями (табл. 1, рис. 1). Гній містить велику кількість розчинених солей, зокрема, важких металів, котрі після випаровування вологи залишаються у ґрунті, зокрема у вигляді хлоридів, сульфатів, що спричиняє засолення ґрунтів і забруднення токсичними металами.

У Нідерландах, як і на північному заході Німеччини, тваринництво інтенсивно розвивається. Через високий вміст у гною поживних речовин його використовують як цінне органічне добриво, що позбавляє фермерів потреби купувати дорогі мінеральні добрива. Однак у Нідерландах не вистачає місця для величезної кількості гною, який вже просто став відходами. Голландські фермери платять від 18 до 25 євро за кубічний метр вивезення надлишкового гною. Фермерам дешевше доставляти гній до Німеччини. У 2016 році було експортовано понад 2,2 млн тонн тваринного гною. Німеччина є найбільшим покупцем гною із Голландії, хоча його достатньо у самій Німеччині. Утворення величезної кількості гною створює проблему і для Німеччини. Нітратний азот та фосфати погіршують стан річок, озер, прибережних смуг. Гранично допустима концентрація нітратів для країн Європейського союзу становить 50 мг/л, відповідно до Директиви 91/676/ЄС від 21 грудня 1991 року про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел. Вміст нітратів у понад 27 % підземних вод Німеччини сягає вже понад встановлену норму. Занадто висока концентрація нітратів у воді становить загрозу для здоров'я людини. Про необхідність перевезення гною з одних критичних регіонів Китаю в інші, з урахуванням моделі просторового розподілу поживних речовин у гною та потреби у них сільськогосподарських угідь для підтримання екологічного благополуччя територій, зазначається в публікації Zhi et al [12].

Ефективне і екологічно безпечне використання гною в господарствах як органічного

добрива можливе лише за чіткої організації робіт з його зберігання, внесення на поля, що передбачає всі операції з вивезення, подрібнення та рівномірного розподілу по поверхні ґрунту. Позитивним буде результат комбінування внесення органічних добрив разом з мінеральними, якщо буде хоч якась можливість їх закупівлі в господарствах з традиційним веденням землеробства. Подібного ефекту від комбінованого застосування органічних і мінеральних добрив можна досягти подвоєнням норми внесення органічних добрив і, тим самим, повної відмови від застосування мінеральних добрив – суто органічна система удобрення. Результати, отримані на Київщині [8], показали, що в разі подвоєння дози внесення підстилкового гною ВРХ, за достатньої його кількості в господарстві, заміна мінеральних добрив на гній підвищує вміст гумусу у сірому лісовому ґрунті до 1,88 %, тим часом за внесення органіко-мінеральних добрив – до 1,77 %. Фінансові витрати на мінеральні добрива при цьому значно знижуються. Внесення понаднормованої кількості гною в ґрунт спричиняє не лише його забруднення, а й несприйнятливості добрив у майбутньому. Накопичення надлишку поживних речовин та важких металів може спричинити зворотній ефект – зменшення родючості ґрунту і погіршення його властивостей внаслідок пригнічення біогеоценотичних процесів, що порушує процеси самоочищення ґрунту.

Вченими [10] було проведено 4 місячний експеримент з дослідження реакції важких металів і поживних речовин гною в процесі його компостування з додаванням залишків грибів з дощовими черв'яками та без них. Результати показали, що дощові черв'яки прискорюють мінералізацію органічної речовини (знижується співвідношення C/N, збільшується загальна концентрація N, P, K) та гуміфікацію. Незважаючи на те, що компостування збільшило загальну концентрацію важких металів (As, Pb, Cu, Zn), незалежно від дощового черв'яка, доступність важких металів значно зменшилася ( $P < 0,05$ ), особливо за оброблення дощовими черв'яками. Перехід від доступних до недоступних фракцій важких металів відбувався або через біоаккумуляцію дощових черв'яків, на що вказує загальна концентрація важких металів, котра була вищою в тканинах черв'яків, або через утворення стабільних комплексів метал-гумус, що вказує на сприяння гуміфікації. Таким чином, дані дослідження доводять, що процес вермикомпостування може підвищити якість поживних речовин та зменшити вплив важких металів у сільськогосподарських органічних відходах ґрунтів.



На ефективність компостування свинячого гною, що містить важкі метали, вказують дослідження [11]. Гній з умістом важких металів було компостовано під дією мікроорганізмів, які фіксують азот. Порівняно з контролем, дослідний компост показав значно нижчий екстрагований Cd (23,10 %), Cu (48,15 %), Cr (82,79 %), Pb (4,49 %) та Zn (29,15 %) ( $P < 0,05$ ). Автори – дійшли висновку, що метод компостування гною є ефективним для забезпечення біобезпеки органічних добрив. Дослідження якості та екологічної безпеки компостування гною проводили і корейські вчені [15]. Проведено експеримент компостування гною з тирсою. На різних стадіях компостування концентрації Zn, Cu та Pb значно різнилися, що дало змогу запропонувати відповідні параметри дозрівання компостної маси, котра забезпечила максимальну екологічність застосування її як органічного добрива.

До деяких досить рідкісних, сучасних технологій належить піроліз біомаси відходів гною в біовугілля для відновлення (рекультиваци) ґрунту. Позитивну роль вчені обґрунтовують тим, що традиційні технології переробки гною досить повільні і не завжди

ефективні [16]. Щоб покращити управління вуглецем і зменшити викиди парникових газів, такий спосіб переробки гною може у майбутньому стимулювати розвиток промисловості з виробництва біовугілля. Завдяки піролізу важкі метали з гною фіксуються в біовугіллі. У такий спосіб, мінімізується забруднення ґрунту як через вимивання, так і поглинання токсикантів сільськогосподарськими культурами. Піролізне біовугілля потенційно може використовуватися для рекультиваци ґрунту, агрономічної і екологічної доцільності (рис. 2). Американські вчені [18] досліджують використання дистанційного зондування для визначення застосування гною у східній Північній Кароліні, де на фермах утримується велике поголів'я тварин. На невеликій території концентрується значна кількість гною. Супутниковий радар (рис. 2) застосовувався для визначення місця і часу внесення гною на сільськогосподарських угіддях, щоб уникнути перенасичення ґрунту речовинами. Такі дослідження вчених доводять важливість обов'язкового вирішення питання екологічно безпечного застосування органічних добрив у тваринницьких господарствах.

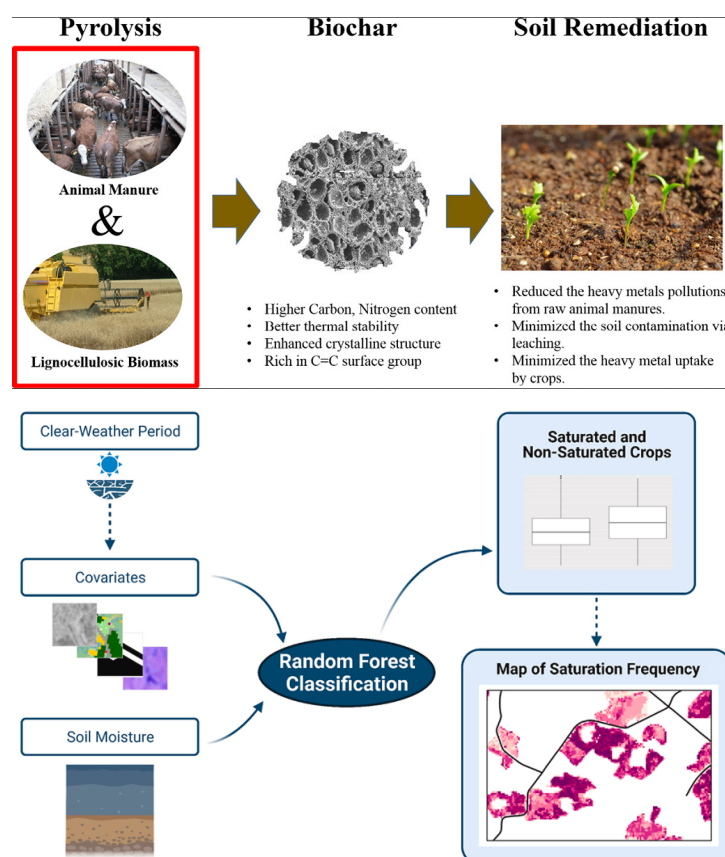


Рис. 2. Технологія піролізу гною [16] та застосування супутникового радару для визначення місця і часу внесення гною як органічного добрива [18].

Таким чином, токсичні важкі метали, такі як кадмій, свинець, мідь та цинк і багато інших мінеральних елементів, з кормами раціону потрапляють в організм тварин, легко проходять шлунково-кишковий тракт дійних корів, частина їх акумулюється у внутрішніх органах і тканинах, певна кількість виводиться з молоком та екскрементами, що підтверджується хімічним аналізом гною тварин та узгоджується з дослідженнями інших вчених. Чим більше перевищення ГДК вмісту важких металів в кормах, тим більше надходження їх в організм тварин з добовим раціоном, більше надходження поллютантів з екскрементами в гній. Тому важливо перед внесенням органічного добрива обов'язково досліджувати як сам гній на вміст поживних та шкідливих речовин, важких металів, так і ґрунт з метою уникнення негативних екологічних наслідків, котрі можуть виникнути в результаті його понаднормового внесення. У світовій практиці використовують різні технологічні прийоми зі зменшення негативного впливу гною на екосистеми, котрі передбачають нормування внесення органічних добрив, компостування гною, вирощування вермикультури чи личинок чорної солдатської (синантропної) мухи [20], виробництво біогазу [13], розвиток екологічно безпечного орґано-біологічного землеробства тощо, а концентрацію важких металів у гною необхідно обов'язково контролювати перед внесенням його на поля як органічного добрива [19].

**Висновки.** Сучасні умови ведення агробізнесу, ріст цін на мінеральні добрива та багато інших факторів спонукають підприємців до інтенсивнішого використання гною як якісного та екологічно безпечного органічного добрива. Гній у господарствах, де утримується дійне стадо, накопичується у великих кількостях, виступає кінцевою ланкою концентрації важких металів кадмію, свинцю, міді, цинку, котрі після метаболізму переходять в екскременти та гній. Згодовування мінерально-вітамінного преміксу та ін'єкція біопрепарату посилюють елімінацію токсичних металів з організму і підвищують їх концентрацію у гною корів з різними типами годівлі до 0,07–0,11 мг/кг (Cd), 5,48–8,25 мг/кг (Pb), 37,71–47,42 мг/кг (Cu) та 66,55–81,49 мг/кг (Zn). Під час заготівлі екологічно безпечних кормів для дійних корів і виробництва якісного екологічно безпечного молока необхідно дотримуватися нормування внесення органічних добрив з урахуванням концентрації у гною та ґрунті токсичних важких металів, особливо кадмію та свинцю. Гній, що утворився під час застосування забруднених важкими металами раціонів, необхідно вносити як органічне добриво, попередньо визначивши норму його внесення (з урахуванням вмісту ксенобіотиків у ґрунті). Варто застосовувати диференційоване внесення і в такий спосіб зменшувати навантаження важкими металами як на одиницю площі сільськогосподарських угідь, так і на рослини, особливо, коли вміст важких металів у кормах перевищує ГДК в 10 і більше разів. Використовувати техніку, котра дає змогу ефек-

тивно вивезти, подрібнити та рівномірно розкидати органічне добриво по полю. Внесення гною як органічного добрива потребує систематичного моніторингу за динамікою міграції важких металів у ґрунтах сільськогосподарських угідь скотарських господарств з утримання дійних корів лісостепо-вої та ін. сільськогосподарських зон. Враховувати комплексну антропогенну дію на агроєкосистеми джерел забруднення довкілля та ширше застосовувати нетрадиційні способи переробки гною за допомогою компостування, вирощування вермикультури, личинок синантропної мухи чи виробництва біогазу. Гній, що утворився під час поїдання кормів з перевищенням ГДК важких металів у 20 і більше разів, вносити під технічні культури та обмежувати норму під овочеві та кормові. Якщо ГДК важких металів у масі гною перевищуватиме у 100 разів і більше, ефективним буде метод піролізу та виробництва біовугілля. Компостування гною шляхом змішування з торфом, землею, соломною, тирсою більш безпечними щодо вмісту важких металів матеріалами також зменшуватиме концентрацію токсикантів в 1 кг гною.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Review on fate and bioavailability of heavy metals during anaerobic digestion and composting of animal manure/ X. Zheng et al. Waste Management. 2022. Vol. 150. P. 75–89. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2022.06.033
2. 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. Issue 1. P. 23–31. ISSN 0960-8524, DOI:10.1016/S0960-8524(99)00017-6
3. Lv B., Xing M., Yang J. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. Bioresource Technology. 2016. Vol. 209. P. 397–401. ISSN 0960-8524, DOI:10.1016/j.biortech.2016.03.015
4. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues/ X. Song et al. Waste Management. 2014. Vol. 34. Issue 11. P. 1977–1983. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2014.07.013
5. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China/ H. Wang et al. Journal of Environmental Sciences. 2013. Vol. 25. Issue 12. P. 2435–2442. DOI: 10.1016/S1001-0742(13)60473-8.
6. Praise W. Analytical atomic absorption spectrometry. London, New-York, Phein, 1972. P. 259–275.
7. 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. Issue 1. P. 23–31. DOI:10.1016/S0960-8524(99)00017-6.
8. Bobyk S. Revival of organics. 2015. URL: [https://ag-bag.ua/advice/vidrod\\_zhennja-organiki\\_pidstilkovij-gnij-vrh](https://ag-bag.ua/advice/vidrod_zhennja-organiki_pidstilkovij-gnij-vrh)

9. Kuzurziak K. V. The influence of pig farms of different capacities on the ecological state of the surrounding territories: autoref. thesis Ph.D. village Sciences: 03.00.16. National Acad. agrarian of Sciences of Ukraine, Institute of Agroecology and Nature Management. Kyiv, 2017.

10. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues/ X. Song et al. Waste Management. 2014. Vol. 34. Issue 11. P. 1977–1983. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2014.07.013

11. Influence of microbial augmentation on contaminated manure composting: metal immobilization, matter transformation, and bacterial response/ C. Wang et al. Journal of Hazardous Materials. 2023. Vol. 441. 129762 p. ISSN 0304-3894, DOI:10.1016/j.jhazmat.2022.129762

12. Redeploy manure resources to enhance the agro-pastoral cycle/ B. Zhi et al. Science of The Total Environment. 2022. Vol. 846. 157439 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.157439

13. Current and prognostic overview on the strategic exploitation of anaerobic digestion and digestate: A review, Environmental Research/ S. Chozhavadhan et al. 2023. Vol. 216. Part 2. 114526 p. ISSN 0013-9351, DOI:10.1016/j.envres.2022. 114526.

14. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China/ X. Yang et al. Waste Management. 2017. Vol. 64. P. 333–339. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2017.03.015.

15. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure/ H.J. Ko et al. Waste Management. 2008. Vol. 28. Issue 5. P. 813–820. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2007.05.010.

16. Utilization of current pyrolysis technology to convert biomass and manure waste into biochar for soil remediation: A review/ S. Tan et al. Science of The Total Environment. 2023. Vol. 864. 160990 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv. 2022.160990.

17. Data integration analysis: Heavy metal pollution in China's large-scale cattle rearing and reduction potential in manure utilization/ Y. Xu et al. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 232. P. 308–317, ISSN 0959-6526, DOI:10.1016/j.jclepro.2019.05.337.

18. Shea K., Schaffer-Smith D., Muenich R.L. Using remote sensing to identify liquid manure applications in eastern North Carolina. Journal of Environmental Management. 2022. Vol. 317. 115334 p. ISSN 0301-4797, DOI:10.1016/j.jenvman. 2022.115334.

19. Dong R., Qiao W., Guo J., Sun H. Chapter 10 - Manure treatment and recycling technologies, Editor(s): Alexandros Stefanakis, Ioannis Nikolaou, Circular Economy and Sustainability. Elsevier. 2022. P. 161–180. ISBN 9780128216644, DOI:10.1016/B978-0-12-821664-4.00009-1.

20. Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy:

A review/ T. Liu et al. Science of The Total Environment. 2022. Vol. 833. 155122 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.155122.

## REFERENCES

1. Zheng, X., Zou, D., Wu, Q., Wang, H., Li, S., Liu, F., Xiao, Z. (2022). Review on fate and bioavailability of heavy metals during anaerobic digestion and composting of animal manure. Waste Management, Vol. 150, pp. 75–89. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2022.06.033.

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. ISSN 0960-8524, DOI:10.1016/S0960-8524(99)00017-6.

3. Lv, B., Xing, M., Yang, J. (2016). Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. Bioresource Technology, Vol. 209, pp. 397–401, ISSN 0960-8524, DOI:10.1016/j.biortech.2016.03.015.

4. Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., Hu, F. (2014). Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. Waste Management, Vol. 34, Issue 11, pp. 1977–1983. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2014.07.013.

5. Wang, H., Dong, Y., Yang, Y., Toor, G.C., Zhang, X. (2013). Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. Journal of Environmental Sciences, Vol. 25, Issue 12, pp. 2435–2442. DOI:10.1016/S1001-0742(13)60473-8.

6. Preece, W. (1972). Analytical atomic absorption spectrometry. London, New-York, Pheon, pp. 259–275.

7. 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.

8. Bobyk, S. (2015). Revival of organics. Available at: [https://ag-bag.ua/advice/vidrodzhennja-organiki\\_pidstilkovij-gnij-vrh](https://ag-bag.ua/advice/vidrodzhennja-organiki_pidstilkovij-gnij-vrh)

9. Kuzurziak, K. V. (2017). The influence of pig farms of different capacities on the ecological state of the surrounding territories: autoref. thesis Ph.D. village Sciences: 03.00.16. National Acad. agrarian of Sciences of Ukraine, Institute of Agroecology and Nature Management. Kyiv.

10. Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., Hu, F. (2014). Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. Waste Management, Vol. 34, Issue 11, pp. 1977–1983. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2014.07.013.

11. Wang, C., Jia, Y., Li, J., Li, P., Wang, Yu., Yan, F., Wu, M., Fang, W., Xu, F., Qiu, Z. (2023). Influence

of microbial augmentation on contaminated manure composting: metal immobilization, matter transformation, and bacterial response. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 441, 129762 p. ISSN 0304-3894, DOI:10.1016/j.jhazmat.2022.129762.

12. Zhi, B., Xiang, S., Wang, Y., Dai, Z., Du, P., Wang, R., Li, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., Wang, X. (2022). Redeploy manure resources to enhance the agro-pastoral cycle. *Science of The Total Environment*, Vol. 846, 157439 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.157439.

13. Chozhavendhan, S., Karthigadevi, G., Bharathiraja, B., Praveen Kumar, R., Abo, L.D., Venkatesa Prabhu, S., Balachandar, R., Jayakumar, M. (2023). Current and prognostic overview on the strategic exploitation of anaerobic digestion and digestate: A review. *Environmental Research*, Vol. 216, Part 2, 114526 p. ISSN 0013-9351, DOI:10.1016/j.envres.2022.114526.

14. 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.

15. Ko, H.J., Kim, K.Y., Kim, H.T., Kim, C.N., Umeda, M. (2008). Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management*, Vol. 28, Issue 5, pp. 813–820. ISSN 0956-053X, DOI:10.1016/j.wasman.2007.05.010.

16. Tan, S., Zhou, G., Yang, Q., Ge, S., Liu, J., Cheng, Y.W., Yek, P.N.Y., Mahari, W.A.W., Kong, S.H., Chang, J.-S., Sonne, C., Chong, W.W.F., Lam, S.S. (2023). Utilization of current pyrolysis technology to convert biomass and manure waste into biochar for soil remediation: A review. *Science of The Total Environment*, Vol. 864, 160990 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.160990.

17. Xu, Y., Li, J., Zhang, X., Wang, L., Xu, X., Xu, L., Gong, H., Xie, H., Li, F. (2019). Data integration analysis: Heavy metal pollution in China's large-scale cattle rearing and reduction potential in manure utilization. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 232, pp. 308–317. ISSN 0959-6526, DOI:10.1016/j.jclepro.2019.05.337.

18. Shea, K., Schaffer-Smith, D., Muenich, R.L. (2022). Using remote sensing to identify liquid manure applications in eastern North Carolina. *Journal of Environmental Management*, Vol. 317, 115334 p. ISSN 0301-4797, DOI:10.1016/j.jenvman.2022.115334.

19. Dong, R., Qiao, W., Guo, J., Sun, H. (2022). Chapter 10 - Manure treatment and recycling technologies, Editor(s): Alexandros Stefanakis, Ioannis Nikolaou, Circular Economy and Sustainability. Elsevier, pp. 161–180, ISBN 9780128216644, DOI:10.1016/B978-0-12-821664-4.00009-1.

20. Liu, T., Klammersteiner, T., Dregulo, A.M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., Awasthi, M.K. (2022). Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review. *Science of The Total Environment*, Vol. 833, 155122 p. ISSN 0048-9697, DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.155122.

### **Ensuring the ecological safety of agroecosystems in conditions of increased content of heavy metals in fodder and manure of cows**

**Portiannik S.**

Environmental pollution with organic waste from livestock, especially cattle manure, is relevant for various countries of the world, including the United States of America and the countries of the European Union. Manure, which contains toxic heavy metals such as cadmium, lead, copper and zinc, is a much greater threat to agroecosystems and, in particular, to the soil. In the forest-steppe zone of Ukraine, a scientific and economic experiment was conducted on dairy cows for the production of ecologically safe milk. During the experiment, the research groups were fed a special mineral-vitamin premix and an injection of a biological preparation that enhanced the elimination of heavy metals with excrement. Experiments were conducted in four farms with different livestock. At the end of the experiment, 10 samples of manure mass were taken from each farm (total of 40 samples) and a chemical analysis of the concentration of heavy metals Cd, Pb, Cu and Zn was made using atomic absorption spectrophotometry (spectrophotometer AAS-30). It was established that as a result of the content in animal diets of fodder with exceeding the maximum allowable concentrations of heavy metals, they, passing through the gastrointestinal tract, fall together with excrement into manure. The average concentration of cadmium was 0.07-0.11 mg/kg, lead 5.48-8.25 mg/kg, copper 37.71-47.42 mg/kg, zinc 66.55-81.49 mg / kg. Litter manure is subsequently applied to agricultural land as an organic fertilizer. In order to prevent soil contamination with heavy metals, it is necessary to establish the expediency of applying organic fertilizers to vegetable and fodder crops in each specific case, especially those that are fed to dairy cows. In connection with the difficulty, in today's conditions, for farmers to purchase a sufficient amount of mineral fertilizers, to increase the use of organic fertilizers, if their quantity is sufficient in the farm, but their application to the soil should be controlled and standardized, taking into account the concentration of toxicants in the manure mass and the soil of agricultural lands with simultaneous improvement of grinding and uniformity of distribution over the field. The use of modern equipment for crushing and spreading manure, as well as scientifically based methods of its composting, growing vermiculture, synanthropic fly larvae or biogas production will con-



tribute to the introduction of manure into the soil as an ecologically safe organic fertilizer, will positively affect its mechanical and physical chemical properties, will ensure a good economically effective yield of crops, ecological safety of agroecosystems, cows

with ecologically safe feed. Keywords: average daily hopes, premix, bioprepared, cadmium, lead, copper, zinc, contaminated feeds, antidote substances.

**Key words:** manure, heavy metals, organic waste, ecological safety, agro-ecosystem, 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>