

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра екології та природозахисних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід ПЛЯЦУК
(підпис)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр
101 «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія та охорона
навколишнього середовища»
на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ ЗА
РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ БІОДОБРІВ
З ДИГЕСТАТУ**

Здобувачки групи ОС.мз-31с Михно Ганни Іванівни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

_____ Ганна МИХНО
(підпис)

Керівник – доцент кафедри екології
та природозахисних технологій,
доктор технічних наук,
доцент

_____ Ірина АБЛЄЄВА
(підпис)

Суми – 2024

Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою _____
“ _____ ” _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Михно Ганни Іванівни

1. Тема проекту (роботи) Підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів за рахунок використання гранульованих біодобрив з дигестату затверджена наказом по університету від “14” жовтня 2024 р. № 1049-VI.
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 16 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) патентна база щодо методів одержання гранульованих добрив; вплив гранульованих добрив на екологічну безпеку ґрунту; хімічний склад дигестату.
4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) вплив добрив на екологічний стан ґрунтів; удобрювальні властивості дигестату та вплив на ґрунтові екосистеми; аналіз способів внесення дигестату, одержання гранул; постановка експерименту з пророщування насіння; результати тестування щодо пророщування насіння; аналіз екологічного ризику від застосування добрива з дигестату; обговорення результатів та надання рекомендацій щодо подальших досліджень.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
потік поживних речовин у ґрунті при застосуванні добрив; технологічна схема анаеробного зброджування; схеми внесення добрив; схема одержання гранул; схема розчинення гранул добрив у ґрунті та вивільнення поживних речовин; схема проведення експерименту; графіки з результатами фітотестування; таблиця переваги та недоліки гранульованих біодобрив з дигестату; таблиці вихідних даних та результатів розрахунку екологічного ризику від застосування добрива з дигестату.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд за досліджуваною проблематикою	Травень 2024 р.	
2	Робота над розділом «Методи дослідження», проведення експерименту	Вересень 2024 р.	
3	Оброблення результатів експерименту та графічне представлення	Жовтень 2024 р.	
4	Розрахунок екологічного ризику та обговорення результатів	Листопад 2024 р.	
5	Робота над розділом «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях»	Листопад 2024 р.	
6	Оформлення роботи	13.12.24	

5. Дата видачі завдання 09.09.2024 року

Студент

Г. І. Михно

Керівник проекту

І. Ю. Аблєєва

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 73 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 77 с., у тому числі 5 таблиць, 5 рисунків, список використаних джерел на 10 сторінках.

Мета роботи – визначення впливу гранульованих біодобрив з дигестату на екологічну безпеку ґрунтів та їх фізико-хімічні властивості.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*: провести аналіз існуючих методів отримання гранульованих біодобрив з дигестату та їх вплив на фізико-хімічні властивості ґрунтів; оцінити ефективність застосування гранульованих біодобрив на основі дигестату для підвищення родючості різних типів ґрунтів; дослідити вплив гранульованих біодобрив на біологічну активність ґрунту та розвиток рослин; визначити оптимальні дозування та методи внесення гранульованих біодобрив для різних типів ґрунтів; розробити рекомендації для застосування гранульованих біодобрив з дигестату в сільському господарстві з урахуванням екологічних факторів та економічної ефективності.

Об'єкт дослідження – екологічний стан ґрунтів різних типів, в які вноситься гранульоване біодобриво з дигестату

Предмет дослідження – вплив гранульованих біодобрив з дигестату на екологічну безпеку ґрунтів та їх родючість.

Методи дослідження включають статистичну обробку даних, а також моделювання процесів внесення та розчинення добрив у ґрунті.

Ключові слова: ДИГЕСТАТ, ГРАНУЛЬОВАНІ ДОБРИВА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ГРУНТОВІ ЕКОСИСТЕМИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ...	9
1.1 Вплив добрив на екологічний стан ґрунтів	9
1.3 Удобрювальні властивості дигестату та вплив на ґрунтові екосистеми..	21
1.4 Аналіз способів внесення дигестату. Одержання гранул	22
1.5 Постановка задач дослідження	36
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	38
2.1 Моделювання розчинення гранул добрив у ґрунті.....	38
2.2 Методики визначення фітотоксичності добрив	40
2.3 Постановка експерименту з пророщування насіння.....	42
2.4 Методика визначення екологічного ризику	46
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	49
3.1 Результати тестування щодо пророщування насіння	49
3.2 Аналіз екологічного ризику від застосування добрива з дигестату	51
3.3 Обговорення результатів та надання рекомендацій щодо подальших досліджень.....	55
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	58
4.2 Розрахунок параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Розрахунок повітрообміну.....	63
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67

ІНВ.НЕПОДАЛ.	Затв.	Н.Контр	Перев.	Розроб.	Вип	Підп. і дата	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дата						
						ОС 23320348									
						Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат					

Підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів за рахунок використання гранульованих біодобрив з дигестату

Літ.	Аркуш	Аркушів
	5	77

СумДУ, ЦЗДВН
гр. ОС.мз-31с

ВСТУП

Забруднення навколишнього середовища та деградація ґрунтів є одними з найактуальніших проблем, що стоять перед сучасною охороною навколишнього середовища та екологією. Зростаючий попит на продукцію сільського господарства та інтенсивне використання хімічних добрив спричиняють забруднення ґрунтів важкими металами, пестицидами та нітратами, що, у свою чергу, погіршує якість ґрунтових ресурсів і небезпечно впливає на біосферу. У цьому контексті велике значення має пошук і застосування екологічно безпечних і ефективних альтернатив традиційним хімічним добривам. Одним з таких рішень є використання біодобрив, отриманих на основі органічних відходів, зокрема дигестату – продукту біологічного перероблення органічних відходів у анаеробних умовах.

Гранульовані біодобрива з дигестату можуть не лише забезпечити рослини необхідними поживними речовинами, але й покращити фізико-хімічні властивості ґрунтів, підвищуючи їх родючість і зменшуючи забруднення навколишнього середовища. Однак широке застосування цих добрив потребує детального вивчення їхнього впливу на екологічну безпеку ґрунтів, зокрема, на біологічну активність, структуру ґрунту та його здатність до самоочищення.

Актуальність дослідження полягає в необхідності зменшення негативного впливу хімічних добрив на навколишнє середовище та пошуку альтернативних методів підвищення родючості ґрунтів, які б забезпечували стійкість агроєкосистем. Використання гранульованих біодобрив з дигестату як екологічно чистого та ефективного засобу для підвищення екологічної безпеки ґрунтів є важливим напрямом сучасної екології.

Метою дослідження є визначення впливу гранульованих біодобрив з дигестату на екологічну безпеку ґрунтів та їх фізико-хімічні властивості.

Досягнення поставленої мети зумовлює виконання **таких завдань:**

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.	Підп.	Дат
-----	-----	--------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

6

1. Провести аналіз існуючих методів отримання гранульованих біодобрив з дигестату та їх вплив на фізико-хімічні властивості ґрунтів.
2. Оцінити ефективність застосування гранульованих біодобрив на основі дигестату для підвищення родючості різних типів ґрунтів.
3. Дослідити вплив гранульованих біодобрив на біологічну активність ґрунту та розвиток рослин.
4. Визначити оптимальні дозування та методи внесення гранульованих біодобрив для різних типів ґрунтів.
5. Розробити рекомендації для застосування гранульованих біодобрив з дигестату в сільському господарстві з урахуванням екологічних факторів та економічної ефективності.

Об'єктом дослідження є екологічний стан ґрунтів різних типів, в які вноситься гранульоване біодобриво з дигестату.

Предметом дослідження є вплив гранульованих біодобрив з дигестату на екологічну безпеку ґрунтів та їх родючість.

Методи дослідження включають статистичну обробку даних, а також моделювання процесів внесення та розчинення добрив у ґрунті.

Наукова новизна роботи полягає в системному підході до вивчення екологічної безпеки ґрунтів при застосуванні гранульованих біодобрив з дигестату. Вперше проводиться комплексний аналіз впливу цього типу добрив на фізико-хімічні властивості ґрунтів, а також на їх біологічну активність та екологічну безпеку в довгостроковій перспективі. Розроблено рекомендації щодо оптимальних доз і способів застосування гранульованих біодобрив для покращення стану ґрунтів у сільському господарстві.

Практична цінність роботи полягає у впровадженні отриманих результатів для розробки технологій застосування гранульованих біодобрив з дигестату, що дозволяє знизити використання хімічних добрив, підвищити родючість ґрунтів та забезпечити сталий розвиток сільського господарства.

Підп. і дата	
Інв.№ДУБЛ.	
Взаєм.інв.	
Підп. і дата	
Інв.№ПОДЛ.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ОС 23320348	Арк
						7

Особистий внесок магістра полягає у літературному пошуку та аналітичному підході до оброблення даних, аналізі результатів та формулюванні рекомендацій для застосування гранульованих біодобрив у сільському господарстві, а також у застосуванні підходів до оцінки екологічної безпеки ґрунтів при використанні цих добрив.

Апробація результатів роботи. Результати дослідження у межах кваліфікаційної роботи апробовано на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференція «Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 5–6 листопада 2024 р. з публікацією тез на тему «Застосування біочару для ремедіації ґрунтів після воєнних дій» [68].

Основні результати роботи було залучено в межах реалізації модуля Жана Моне «Біоенергетичні інновації в управлінні відходами: Європейський досвід впровадження циркулярної економіки» (BIOINWASTE) програми ЄС Еразмус+ за грантовою угодою № 101085172 (2023-2025).

Дисклеймер

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

Публікації. За результатами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано 2 наукові праці, із них 1 стаття у фаховому виданні та 1 тези доповідей конференцій.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	Підп. і дата
Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ОС 23320348	Арк 8
-----	-----	----------	-------	-----	-------------	----------

РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ

1.1 Вплив добрив на екологічний стан ґрунтів

Через стрімке зростання промисловості накопичення важких металів (ВМ) у сільськогосподарських ґрунтах становить серйозні ризики для людей, оскільки ці метали можуть потрапити в організм, якщо будуть засвоєні рослинами та далі передаватимуться по харчовому ланцюгу. Основними джерелами забруднення ґрунтів ВМ є такі: гірничодобувна промисловість, зокрема видобуток вугілля та видобуток кольорових металів, що спричиняє міграцію з відвалів та осідання з атмосфери; пряме внесення мінеральних фосфорних добрив, що сприяє значному накопиченню кадмію та урану в ґрунті; і органічні добрива (переважно гній). ВМ, потенційно присутні в гноєвих добривах, можуть накопичуватись у ґрунтах вище екологічно безпечного рівня, створюючи екологічні ризики. Ризики для здоров'я людей зростають, якщо ВМ доступні для засвоєння рослинами або вимиваються з ґрунту в поверхневі чи підземні води (рис. 1.1). Останнє здебільшого залежить від хімічної структури ґрунтових сполук, що можуть зв'язувати ВМ, сили цих зв'язків і умов довкілля, таких як рН; висока кислотність підвищує мобільність багатьох ВМ [2].

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

9

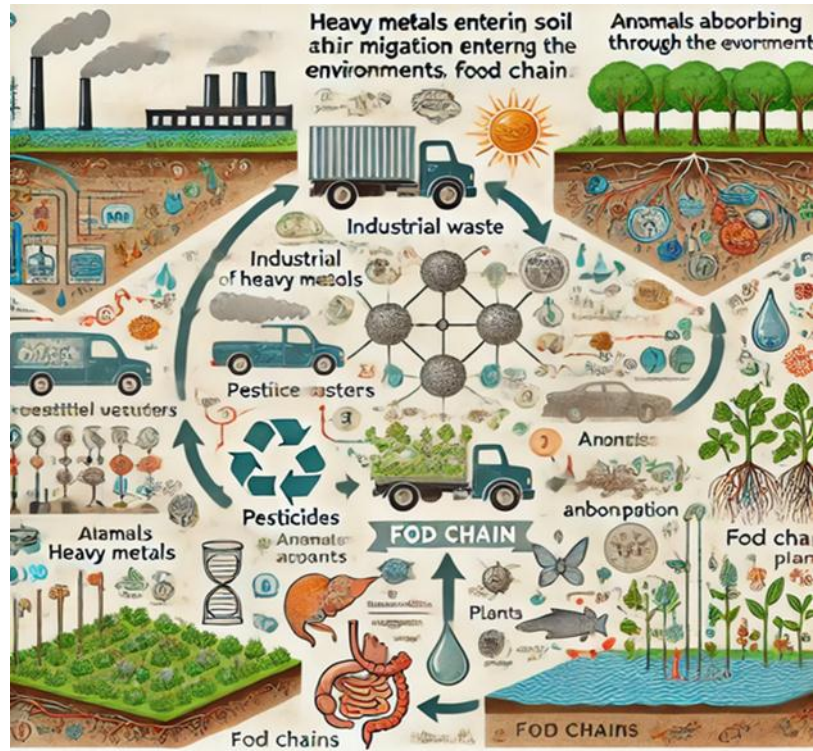


Рисунок 1.1 – Процес надходження важких металів до ґрунту та їх міграцію через середовище, включаючи харчові ланцюги

Різні механізми очищення ґрунтів відіграють ключову роль у зниженні цих ризиків і можуть сприяти досягненню екологічних цілей, таких як стратегія ЄС щодо ґрунтів на 2030 рік. Ці механізми базуються на фізичних та хімічних процесах, таких як осадження, окиснення, йонообмін, нанофільтрація, осмос та адсорбція, проте деякі з них можуть бути поєднані з біологічними процесами в ґрунті для підвищення ефективності.

Найбільш дієвий метод біоремедіації полягає у зміні параметрів ґрунту (наприклад, кислотності, лужності, катіонної ємності обміну) та іммобілізації важких металів у стійкі хімічні матеріали шляхом біосорбції, біоосадження та фіксації або комплексоутворення. У цьому контексті стратегія удобрення, що базується на добривах без важких металів, може запобігти забрудненню ґрунтів і допомогти відновити вже забруднені ділянки, якщо сполуки в добривах здатні зв'язувати ВМ. Дигестат, що отримується з анаеробного розкладу органічних залишків, нині широко використовується як біодобриво в ЄС, але в Україні це

Підп. і дата
Інв.№ДУБЛ.
Взаєм.інв.
Підп. і дата
Інв.№ПОДЛ.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

поки що досить рідкісна практика. Окрім позитивного впливу на врожайність та властивості ґрунту, дигестат містить розчинену органічну речовину, важливу для зв'язування ВМ. При застосуванні дигестату розчинена органічна речовина (РОР) впливає на мобільність ВМ, що може сприяти відновленню ґрунтових ресурсів [11].

Таким чином, використання дигестату з анаеробного розкладання (АР) може бути перспективною стратегією зниження концентрації біодоступних ВМ у ґрунтах. Водночас поживні речовини в дигестаті можуть замінити частину хімічних добрив, що застосовуються для підвищення врожайності.

Дигестат також може бути перетворений на продукти з доданою вартістю, такі як біочар, активоване вугілля або композитні матеріали, які є ефективними адсорбентами для очищення ґрунтів від ВМ. Біочар може позитивно впливати на ґрунти, наприклад, іммобілізує іони ВМ, накопичуючи вуглець, стимулюючи мікробну активність ґрунту, а також покращуючи родючість і якість ґрунту [4].

РОР можна використовувати для біовилуговування ВМ із ґрунтів завдяки наявності карбоксильних, гідроксильних, фенольних і сульфгідрильних груп, які можуть утворювати комплекси з металами. Окрім таких факторів, як тип металу та умови середовища, на властивості зв'язування РОР-ВМ найбільше впливає наявність відповідних молекулярних груп у РОР.

Альтернативним шляхом для підвищення здатності дигестату до зв'язування ВМ може бути створення нових біокомпозитних матеріалів шляхом змішування з неорганічними сполуками, такими як фосфогіпс.

Проблема збереження родючості ґрунтів і захисту їх екологічного стану є важливим аспектом сучасного сільського господарства. З метою підвищення врожайності культур у сільському господарстві широко використовуються добрива. Однак їхнє неконтрольоване та надмірне використання може призвести до деградації ґрунтів і порушення природних екосистем.

Добрива можна поділити на мінеральні (синтетичні) та органічні (природні). Кожен з цих видів має свій вплив на екосистему ґрунтів.

Підп. і дата
Інв.№ДУБЛ.
Взаєм.інв.
Підп. і дата
Інв.№ПОДЛ.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

У сучасному сільському господарстві мінеральні добрива відіграють вирішальну роль у забезпеченні рослин поживними речовинами, необхідними для їхнього розвитку і високої врожайності. Основними компонентами мінеральних добрив є азот, фосфор і калій, які вносяться для задоволення специфічних потреб культур. Однак інтенсивне та тривале використання мінеральних добрив може негативно впливати на екологічний стан ґрунтів і природні екосистеми.

Мінеральні добрива переважно містять такі поживні елементи: азотні добрива, фосфорні добрива, калійні добрива [11].

Надмірне використання мінеральних добрив може призводити до таких негативних наслідків: підкислення ґрунту, засолення, зниження біорізноманіття ґрунту, забруднення ґрунтових вод нітратами, евтрофікація водних об'єктів.

Амонійні добрива сприяють підвищенню кислотності ґрунтів. Це ускладнює засвоєння рослинами поживних речовин, знижуючи родючість ґрунту та стимулюючи розвиток кислотолюбної флори. Тривале використання добрив, які містять хлориди та інші солі, сприяє накопиченню солей у верхніх шарах ґрунту. Засолення ґрунту знижує його водопроникність і призводить до деградації екосистем. Добрива можуть пригнічувати розвиток ґрунтових мікроорганізмів, що відповідають за утворення гумусу та розклад органічних залишків. Це знижує біологічну активність ґрунту, послаблюючи природний цикл поживних речовин. Вимивання нітратів із добрив у ґрунтові води є серйозною екологічною проблемою, що призводить до забруднення питних джерел. Нітрати є токсичними для багатьох організмів і можуть становити загрозу для здоров'я людини. Потрапляння надлишку фосфатів у водойми через вимивання з ґрунту сприяє швидкому розмноженню водоростей, що призводить до евтрофікації. Це спричиняє дефіцит кисню у воді, що негативно впливає на водні екосистеми [23].

У таблиці 1.1 розглянемо методи, які застосовують для зменшення негативного впливу мінеральних добрив на ґрунти та екосистеми.

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Таблиця 1.1 – Методи, які застосовують для зменшення негативного впливу мінеральних добрив на ґрунти та екосистеми

Метод	Опис
Оптимізація дозування добрив	Точне дотримання рекомендованих норм і вибір часу внесення для уникнення накопичення речовин у ґрунті.
Використання комбінованих добрив	Застосування органо-мінеральних добрив для комплексного впливу з меншими екологічними ризиками.
Запровадження сівозміни	Чергування культур для зменшення потреби в добривах і відновлення природних запасів поживних речовин.
Застосування біодобрив	Використання біодобрив із корисними мікроорганізмами для збереження екологічного стану ґрунту.

Загалом мінеральні добрива, незважаючи на їхню ефективність у підвищенні врожайності, можуть негативно впливати на екологічний стан ґрунтів та природні екосистеми за умов їхнього неконтрольованого використання. Для зниження негативних наслідків важливо використовувати добрива з дотриманням агротехнічних вимог, застосовувати комбіновані добрива і методи сівозміни. Завдяки інтегрованим методам можна досягти високої продуктивності сільського господарства, зберігаючи при цьому здоров'я ґрунтових екосистем та запобігаючи їхній деградації [11].

Органічні добрива відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві завдяки своїй здатності покращувати структуру та родючість ґрунтів, сприяти природним процесам розкладання і збагачувати ґрунт поживними речовинами. Вони не тільки постачають рослинам основні елементи живлення, але й сприяють збереженню ґрунтового біорізноманіття, що є ключовим чинником у підтримці екологічного балансу.

Органічні добрива можуть бути різного походження і мають різний склад. Основні види органічних добрив включають: гній, компост, сидерати, перегній.

Органічні добрива забезпечують низку екологічних переваг, сприяючи збереженню екосистем та відновленню родючості ґрунтів. Органічні добрива багаті на поживні елементи та органічну речовину, що сприяє утворенню гумусу. Це підвищує здатність ґрунту утримувати поживні речовини та запобігає їх швидкому вимиванню.

ІНВ.№ПОДЛ. ПІДП. І ДСТА. ВЗАЄМ.ІНВ. ІНВ.№ДУБЛ. ПІДП. І ДСТА.

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	ПІДП.	ДАТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

13

Органічна речовина допомагає підтримувати оптимальну структуру ґрунту, покращує його пористість та знижує схильність до ерозії. Це сприяє кращій аерації та водопроникності, що важливо для розвитку кореневої системи рослин.

Органічні добрива є джерелом енергії для ґрунтових мікроорганізмів. Їхня активність підвищує розкладання органічних залишків, стимулює утворення біологічно активних речовин, таких як ензими і вітаміни, що важливо для здоров'я ґрунту. Органічні добрива зміцнюють структуру ґрунту, збільшуючи його здатність до утримання вологи. Це зменшує ризик водної та вітрової ерозії. Органічні добрива створюють сприятливі умови для розвитку різних ґрунтових організмів (бактерій, грибів, черв'яків), що сприяє збереженню екологічного балансу в ґрунтовій екосистемі [40].

Попри численні переваги, використання органічних добрив також може призвести до деяких екологічних ризиків за неправильного застосування. Надмірне використання органічних добрив, особливо гною, може призвести до накопичення нітратів у ґрунті, які можуть потрапити до ґрунтових вод і забруднити їх. Деякі органічні добрива (особливо компости з відходів промислового походження) можуть містити важкі метали, що накопичуються в ґрунті та можуть забруднювати харчові продукти.

Процеси розкладу органічних добрив супроводжуються викидами парникових газів, таких як метан і закис азоту, що можуть посилювати глобальне потепління. Недостатньо розкладені органічні матеріали, такі як свіжий гній, можуть містити патогенні мікроорганізми, що призводять до забруднення ґрунту та можуть становити загрозу здоров'ю людини [50].

У таблиці 1.2 наведено рекомендації для мінімізації екологічних ризиків застосування органічних добрив.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дст
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Таблиця 1.2 – Рекомендації для мінімізації екологічних ризиків застосування органічних добрив

Рекомендація	Опис
Дотримуватися дозування та правил застосування	Врахування потреб ґрунту і рослин для уникнення надмірного накопичення органічних речовин у ґрунті.
Компостувати відходи	Компостування знижує вміст патогенів і важких металів, створюючи стабільне джерело органічної речовини.
Аналізувати склад добрив	Лабораторний аналіз дозволяє визначити наявність важких металів та інших шкідливих речовин у добривах.
Застосовувати сидерати	Використання сидератів для збагачення ґрунту природними органічними речовинами без накопичення шкідливих речовин.

Дотримуватися дозування та правил застосування. Важливо враховувати потреби ґрунту і рослин, щоб уникнути надмірного накопичення органічних речовин у ґрунті.

Компостувати відходи. Компостування допомагає знизити вміст патогенів і важких металів, створюючи стабільне джерело органічної речовини, придатне для безпечного використання.

Аналізувати склад добрив. Проведення лабораторного аналізу допоможе визначити наявність важких металів та інших шкідливих речовин у добривах.

Застосовувати сидерати. Вирощування сидератів як природного органічного добрива дозволяє збагачувати ґрунт без ризику накопичення шкідливих речовин

Загалом органічні добрива є важливим елементом збереження екологічного стану ґрунтів, підвищення їхньої родючості та стійкості до ерозії. Вони позитивно впливають на біологічну активність ґрунту та сприяють його оздоровленню, зменшуючи залежність від синтетичних добрив. Проте для досягнення максимальних екологічних переваг органічних добрив важливо дотримуватися правил їхнього застосування та уникати надмірного внесення. Це дозволить отримати високу продуктивність сільського господарства без шкоди для екології та здоров'я людей.

Отже, добрива є важливим інструментом для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, проте їхній неконтрольований вплив на ґрунти

Інв.№ПОДЛ. Підп. і ДСТГ. Взаєм.інв. Інв.№ДУБЛ. Підп. і ДСТГ

може призвести до значних екологічних проблем. Ефективне використання добрив у поєднанні з природоохоронними методами дозволить зменшити їхній негативний вплив на ґрунт і забезпечити стабільну продуктивність сільського господарства.

1.2 Аналіз переваг застосування гранульованих добрив

Сучасне сільське господарство дедалі більше залежить від використання синтетичних ресурсів для підтримки необхідного рівня врожайності та продуктивності. Одними з найбільш поширених і в деяких випадках навіть надмірно вживаних ресурсів є хімічні або синтетичні добрива. Хоча численні дослідження свідчать про те, що помірне застосування цих засобів є допустимим, їхній негативний вплив у довгостроковій перспективі заперечувати не можна. Одним з основних наслідків є порушення балансу ґрунтової екосистеми, що може призвести до зниження врожайності. Це, у свою чергу, підштовхує до ще більшого використання хімічних засобів, утворюючи замкнене коло. З 1990 по 2020 рік світове використання мінеральних добрив у сільському господарстві зросло майже на половину – з 103,1 кг до 146,4 кг на гектар. Ця тенденція залишається стабільною протягом тривалого періоду, підкреслюючи незмінну значущість добрив у сучасному сільському господарстві. Водночас змінилася сама концепція їх використання: якщо раніше акцент робили на збільшенні обсягів добрив, то зараз у центрі уваги якісне, ефективне їхнє застосування з опорою на інноваційні технології точного землеробства та інтелектуальні агросистеми [9].

Дослідження країн світу за рівнем використання мінеральних добрив показало, що майже половина країн використовує до 100 кг на гектар сільськогосподарських угідь. Близько 30 країн використовують від 100 до 200 кг на гектар і лише 27 країн застосовують від 200 до 300 кг (рис. 1.2). Аналіз довгострокових статистичних даних (1990-2020 рр.) для всіх розглянутих країн

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗСЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

16

за рівнем внесення мінеральних добрив на гектар і, наприклад, середньої врожайності зернових культур часто демонструє високу пряму кореляцію (рис. 1.3). Згідно з аналітичною інтерпретацією, кожне збільшення внесення мінеральних добрив на 10 кг призводить до зростання середньої врожайності зернових культур на 0,25 т/га на глобальному рівні [29, 30].



Рисунок 1.2 – Використання мінеральних добрив у світі

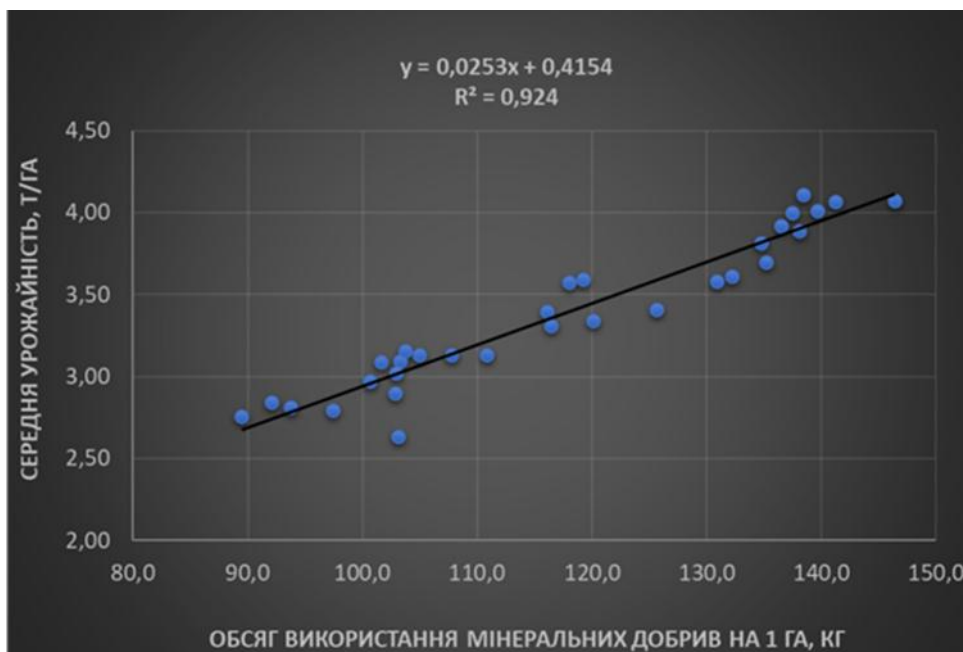


Рисунок 1.3 – Залежність між врожайністю та застосуванням мінеральних добрив

Інв.№подав.	Підп. і дата	Взаєм.інв.	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

За останні роки зростання популярності органічного землеробства сприяло переходу до більш сталого підходу в аграрній сфері, який акцентує увагу на екологічно безпечних практиках для забезпечення продовольчої безпеки та збереження біорізноманіття ґрунтів. Зацікавлені сторони застосовують різні стратегії для популяризації органічного і сталого сільського господарства, серед яких важливим напрямком є використання біодобрив для надання культурним рослинам оптимальних поживних речовин та підвищення родючості ґрунту [11].

Основний акцент у розвитку сталого сільського господарства в найближчі роки буде зроблено на екологічно чистих методах, спрямованих на покращення мікробної екосистеми ґрунту та підтримку різноманітності природних мікробів, що забезпечує стабільне рослинництво. Дослідження показують, що належний догляд за корисними ґрунтовими мікроорганізмами сприяє процвітанню природної екосистеми. Ці мікроорганізми підтримують фізико-хімічні властивості ґрунту, зміцнюють його здоров'я, сприяють росту рослин і підвищенню врожайності.

Біодобрива сприяють створенню оптимальної ґрунтової екосистеми, збагачуючи її органічною речовиною, що стимулює ріст мікробного біому. Вони збільшують чисельність важливих мікробних штамів, як-от азотобактерії, азоспірили, фосфобактерії та ризобактерії, забезпечуючи ефективний кругообіг азоту, що критично важливо для здоров'я ґрунту і рослин. Біодобрива підвищують доступність поживних речовин, сприяють їх розчиненню, стимулюють утворення рослинних гормонів, таких як цитокіни, покращують фотосинтез і сприяють розвитку кореневої системи. Вироблені метаболіти підвищують стійкість рослин до стресових факторів і хвороб, забезпечуючи одночасно здоров'я ґрунту та стимулювання росту рослин. Сучасні біодобрива оптимізовані для поліпшення рівнів основних елементів, як-от азот, калій і фосфор, а також забезпечують доступність мікроелементів, таких як цинк [14].

Продовження досліджень і розробок може знизити вартість рідких добрив, що дасть фермерам більше вибору. Дигестат, як біодобриво, також відіграє тут

Підп. і дата
Інв. № док.убл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.убл.	Підп.	Дат
-----	-----	------------	-------	-----

ОС 23320348

значну роль. Це продукт біоконверсії органічної речовини в процесі метанового бродіння, у результаті якого складні органічні сполуки перетворюються на прості органічні речовини, мінерали, мікробну біомасу та біогаз, що складається переважно з метану й вуглекислого газу.

Гранульовані добрива займають значну частку ринку засобів для живлення сільськогосподарських культур і відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві. На відміну від рідких і порошкових форм, гранульовані добрива забезпечують низку унікальних переваг, що робить їх привабливими для фермерів і агрономів. Вони забезпечують оптимальне внесення поживних речовин, знижують екологічне навантаження на довкілля та зменшують витрати на підтримання родючості ґрунту.

Гранульовані добрива мають унікальну здатність до поступового вивільнення поживних речовин, що є однією з їхніх ключових переваг. Така особливість забезпечується через фізичні та хімічні властивості гранул, які розчиняються під дією води і поступово віддають мікро- та макроелементи. Цей механізм сприяє максимальному засвоєнню поживних речовин рослинами та знижує втрати елементів через вимивання у нижні горизонти ґрунту. Як наслідок, гранульовані добрива забезпечують більш тривалий і рівномірний вплив на рослини, підвищуючи ефективність використання добрив [18].

Однією з важливих переваг гранульованих добрив є їх фізична структура, яка полегшує їх застосування та забезпечує рівномірний розподіл по поверхні ґрунту. Гранули легко розподіляються як вручну, так і за допомогою сільськогосподарської техніки, що особливо актуально для великих посівних площ. Завдяки рівномірному внесенню поживні речовини більш ефективно потрапляють у зону кореневої системи рослин, що сприяє більш рівномірному росту та розвитку сільськогосподарських культур.

Високоєфективне використання поживних речовин із гранульованих добрив дозволяє знизити частоту їх внесення і, відповідно, зменшити витрати на добрива. Завдяки поступовому вивільненню та контролю за доступністю

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	Взаєм.інв.
Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

поживних речовин, рослини отримують елементи у відповідності до їхніх фаз розвитку. Це значно підвищує загальну ефективність використання добрив і сприяє зниженню витрат на забезпечення родючості ґрунту. Крім того, завдяки зниженню потреби в повторних підживленнях, зменшується витрата паливних і людських ресурсів.

Гранульовані добрива сприяють збереженню структури ґрунту завдяки тому, що потребують менш частого внесення, а також через зниження рівня вимивання поживних речовин у нижні горизонти ґрунту. Їх поступове вивільнення знижує ризик забруднення водних ресурсів, особливо під час дощів або зрошення. Також дослідження показують, що використання гранульованих добрив знижує ризик накопичення азоту у вигляді нітратів у ґрунті, що зменшує ризик їх потрапляння у ґрунтові води.

Технології виробництва гранульованих добрив дозволяють створювати спеціальні склади, що враховують потреби певних культур, ґрунтових умов та регіональних кліматичних особливостей. Ця гнучкість дозволяє створювати індивідуальні програми живлення для кожної культури, що сприяє максимальній продуктивності рослин та покращенню якості врожаю. Здатність адаптувати склад добрив забезпечує точніше внесення необхідних елементів, що також знижує екологічне навантаження на довкілля [61].

Отже, гранульовані добрива мають низку вагомих переваг, що зумовлюють їхню високу ефективність у сільському господарстві. Вони забезпечують тривале та контрольоване живлення рослин, сприяють збереженню структури ґрунту, знижують екологічне навантаження та дозволяють адаптувати поживний склад до конкретних потреб культур. Таким чином, використання гранульованих добрив є перспективним підходом для покращення ефективності сільськогосподарських технологій і підвищення екологічної стійкості.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗСЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

1.3 Удобрювальні властивості дигестату та вплив на ґрунтові екосистеми

Дигестат є органічним залишком, який утворюється в результаті анаеробного зброджування біомаси, що перетворює органічну речовину на біогаз. Цей процес сприяє зниженню викидів парникових газів та одночасно утворює побічний продукт – дигестат. Завдяки високому вмісту азоту, фосфору, калію та органічної речовини дигестат має значний потенціал як добриво, що сприяє поліпшенню родючості ґрунтів та впливає на ґрунтові екосистеми.

Дигестат містить значну кількість поживних елементів у доступних для рослин формах, включаючи амонійний азот, який легко засвоюється, та органічні сполуки, що покращують структуру ґрунту. Вміст поживних речовин варіюється залежно від вихідної сировини, технології зброджування та режиму експлуатації біогазових установок. В середньому, дигестат може містити від 1% до 5% азоту, від 0,5% до 3% фосфору та від 1% до 5% калію, що робить його порівняним із традиційними мінеральними добривами. Також важливими компонентами є мікроелементи, такі як цинк, мідь та бор, які є необхідними для розвитку рослин [4].

Завдяки вмісту органічної речовини, дигестат позитивно впливає на агрономічні властивості ґрунту, підвищуючи його вологозатримуючу здатність і поліпшуючи структуру. Використання дигестату зменшує потребу в синтетичних добривах, що позитивно позначається на економічних витратах аграрного сектора та знижує забруднення водних ресурсів.

Внесення дигестату може стимулювати активність ґрунтових мікроорганізмів завдяки вмісту органічної речовини, яка є їхнім джерелом енергії та живлення. Було відзначено, що дигестат сприяє підвищенню популяції мікроорганізмів, які беруть участь у процесах мінералізації, нітрифікації та денітрифікації, що, у свою чергу, покращує цикл азоту в ґрунті.

Дигестат також може впливати на ґрунтових безхребетних, зокрема на популяції дощових черв'яків, які відіграють важливу роль у формуванні структури ґрунту. Дослідження показали, що дигестат у помірних дозах не має

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

Арк

21

негативного впливу на черв'яків, а іноді навіть покращує їхню активність. Однак при надмірному застосуванні можливий токсичний ефект через підвищення концентрації амонійного азоту та важких металів, що слід враховувати при дозуванні.

Незважаючи на переваги, дигестат може містити важкі метали, залишки пестицидів або патогени, залежно від складу вхідної біомаси. Для мінімізації ризиків необхідно проводити регулярний моніторинг якості дигестату, а також розробляти рекомендації щодо його безпечного використання. Важливо також дотримуватися рекомендованих доз внесення, що забезпечить безпеку для екосистем і сприятиме підвищенню родючості ґрунтів [7].

Отже, дигестат є цінним продуктом для поліпшення агрохімічних характеристик ґрунту та зменшення залежності від мінеральних добрив. Однак, необхідно враховувати можливі ризики, пов'язані з його складом та впливом на ґрунтові екосистеми. Ефективне використання дигестату як добрива вимагає постійного моніторингу його хімічного складу та екологічного впливу для досягнення оптимальних результатів в агроекологічному секторі.

1.4 Аналіз способів внесення дигестату. Одержання гранул

Дигестат – це органічне добриво, що є побічним продуктом анаеробного зброджування біомаси і широко використовується в сільському господарстві завдяки високому вмісту поживних елементів, зокрема азоту, фосфору, калію та органічної речовини. Для підвищення ефективності його використання у ґрунті і поліпшення зручності транспортування та зберігання, важливим є правильний вибір способу внесення та використання технологій гранулювання (рис. 1.4) [19]. Це дозволяє оптимізувати властивості дигестату, що робить його більш зручним для широкого застосування.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дст
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

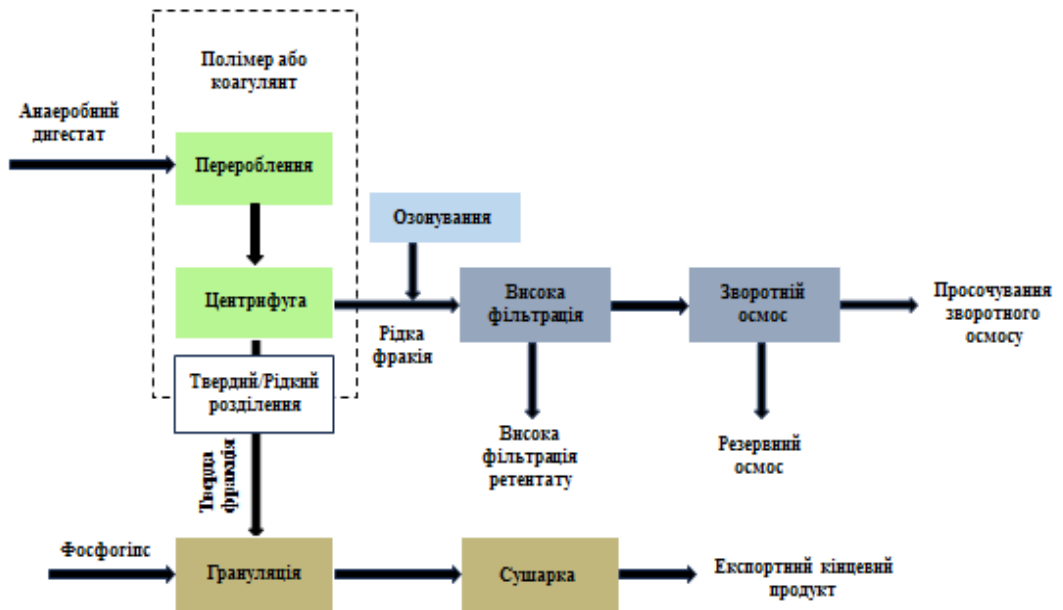


Рисунок 1.4 – Процес грануляції дигестату

Залежно від фізичних властивостей дигестату, існує кілька методів його внесення в ґрунт. Розглянемо основні способи: поверхнєве внесення, ін'єкційне внесення, стрічкове внесення.

Поверхнєве внесення дигестату в ґрунт передбачає розподіл цього добрива по поверхні ґрунту без його глибокого загортання, що робить цей метод економічно доступним і простим для застосування. Це внесення забезпечує швидкий доступ рослин до поживних речовин, оскільки органічні сполуки, що містяться в дигестаті, здатні частково розчинитися в ґрунтових розчинах, що дозволяє кореням рослин ефективно поглинати їх. Такий підхід дозволяє скоротити витрати на обробку ґрунту та знижує енерговитрати, оскільки не потребує додаткових затрат на обробку ґрунту, як це буває при глибокому загортанні добрив [8].

Цей метод особливо підходить для ґрунтів з хорошою аерацією, таких як легкі піщані ґрунти, де застосування поверхнєвого внесення дозволяє органічним речовинам швидко проникати в ґрунт і активізувати діяльність мікроорганізмів, що є важливими для розкладу органічних матеріалів та утворення доступних для рослин поживних елементів. Внесення дигестату

ІНВ.№ПОДЛ.	Підп. і дата
ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.
Підп. і дата	Підп. і дата

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДАТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

також стимулює розвиток ґрунтової мікрофлори, зокрема бактерій та грибів, що займаються розкладанням органічних речовин і сприяють покращенню структури ґрунту.

Поверхнєве внесення дигестату має ряд переваг, зокрема, мінімальне втручання в структуру ґрунту, що дозволяє зберігати його природну аерацію та запобігати ерозії. Крім того, цей метод дає можливість швидко реагувати на зміну потреб рослин у поживних речовинах, оскільки добрива, розподілені на поверхні, доступні для поглинання рослинами практично відразу після внесення.

Проте, для досягнення максимального ефекту від поверхневого внесення дигестату необхідно враховувати ряд факторів, таких як тип ґрунту, погодні умови та культура, що вирощується. На ґрунтах з низьким вмістом органічної речовини поверхнєве внесення може бути менш ефективним, оскільки поживні елементи з дигестату можуть не засвоюватися рослинами через недостатню аерацію ґрунту. У таких випадках варто комбінувати поверхнєве внесення з легким загортанням добрив, щоб забезпечити їх глибше проникнення в ґрунт. Крім того, в умовах сильних дощів чи високої вологості поверхнєве внесення може призвести до втрат поживних елементів через вимивання, тому необхідно враховувати сезонні особливості і кліматичні умови регіону [43].

Завдяки своїй простоті та низьким витратам, поверхнєве внесення дигестату стає популярним у багатьох аграрних регіонах. Це також дозволяє інтегрувати використання органічних добрив з біогазових установок у сільськогосподарське виробництво, сприяючи сталому розвитку агросистем і зменшенню залежності від хімічних добрив. Однак для досягнення оптимальних результатів і запобігання можливим негативним наслідкам важливо постійно контролювати правильність дозування та враховувати специфіку ґрунтів, що обробляються.

Ін'єкційне внесення дигестату в ґрунт є інноваційною технологією, що дозволяє більш ефективно і точно доставляти органічні добрива безпосередньо до кореневої зони рослин. Цей метод характеризується використанням

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

спеціального обладнання для введення рідкого або напіврідкого дигестату в ґрунт під тиском, що дозволяє добриву проникати на глибину, де відбувається активне поглинання поживних речовин коренями рослин. Ін'єкційне внесення є одним із найбільш передових методів, що сприяють зменшенню втрат поживних елементів, зберігаючи їх доступними для рослин, а також мінімізуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

Дигестат, як продукт анаеробного бродіння органічних відходів, багатий на органічні речовини, азот, фосфор, калій, а також мікроелементи, необхідні для росту рослин. Ін'єкційне внесення забезпечує безпосередній контакт добрива з ґрунтом, що дозволяє уникнути витрат поживних елементів на поверхні і зменшує ризик їх вимивання. Це забезпечує високу ефективність добрива навіть за умов інтенсивних дощів або при високому рівні випаровування в посушливих регіонах. Використання ін'єкційного методу також дозволяє уникнути поверхневих втрат поживних речовин через волатильність або газовиділення, що характерно для інших методів внесення органічних добрив, таких як розпилення або поверхнєве внесення.

Однією з основних переваг ін'єкційного внесення є точність доставки добрива саме до кореневої зони, де концентрація поживних елементів найбільша. Це дозволяє оптимізувати використання добрив, забезпечуючи рослини необхідними ресурсами в критичні періоди їх розвитку, зокрема під час цвітіння або формування плодів. Завдяки такому точному підходу можна значно знизити загальну потребу в добривах, при цьому зберігаючи високу врожайність і знижуючи негативний екологічний вплив. Крім того, застосування ін'єкційного методу дозволяє мінімізувати ризики забруднення водоносних шарів та ґрунтових вод через вимивання, оскільки поживні речовини потрапляють в глибші шари ґрунту, де вони менш піддані руху води [45].

Ще однією важливою перевагою ін'єкційного внесення є можливість інтеграції цього методу в органічне сільське господарство, оскільки він зменшує потребу в хімічних добривах, що дозволяє зберегти природний баланс ґрунту та

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТА	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТА
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

покращити його біологічну активність. Ін'єкційне внесення допомагає підтримувати стабільність родючості ґрунтів, оскільки поживні елементи постійно надходять до рослин, а органічна речовина, яка міститься в дигестаті, сприяє формуванню структури ґрунту і підвищенню його водоутримуючих властивостей.

Проте, застосування ін'єкційного внесення дигестату потребує наявності спеціалізованого обладнання, що може бути економічно недосяжним для деяких господарств. Крім того, цей метод вимагає точного розрахунку дозування, оскільки надмірне внесення добрива може призвести до перенасичення ґрунту поживними елементами, що може негативно вплинути на ріст рослин, сприяти розвитку корневих гнилей або навіть забруднити навколишнє середовище. Враховуючи це, необхідно застосовувати науково обґрунтовані підходи до визначення оптимальних доз, що дозволить забезпечити максимальну ефективність та знизити екологічні ризики.

У плані технологічного впровадження ін'єкційне внесення дигестату потребує добре розвинутої інфраструктури, включаючи не лише обладнання для безпосереднього внесення добрив, а й систему моніторингу та контролю за їх ефективністю, а також точні методи оцінки складу ґрунту та потреб рослин. Тому важливо також враховувати економічні витрати на підготовку та обслуговування відповідної техніки, що може бути значним фактором при ухваленні рішення щодо застосування цієї технології в сільському господарстві.

Ін'єкційне внесення дигестату в ґрунт є перспективним методом для підвищення ефективності використання органічних добрив, що дозволяє значно зменшити втрати поживних елементів та забезпечити рослини необхідними речовинами в оптимальний для їх розвитку час. Проте для досягнення максимальних результатів важливо оптимізувати цей метод з урахуванням конкретних умов ґрунтів, агрокліматичних характеристик та потреб сільськогосподарських культур. Перспективи цього методу також пов'язані з подальшими дослідженнями, що дозволять удосконалити технології внесення і

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗАСМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

зробити їх більш доступними для широкого використання в аграрному секторі [48].

Стрічкове внесення дигестату в ґрунт є інноваційним методом застосування органічних добрив, який полягає в рівномірному розподілі добрива по певним стрічковим смугам ґрунту, зазвичай у міжряддях рослин або в межах кореневої зони культур. Цей метод дозволяє досягти високої ефективності використання добрив, оскільки поживні елементи доставляються безпосередньо до місця, де вони найбільш необхідні – до кореневої системи рослин, знижуючи ризики втрат поживних речовин через випаровування або вимивання. Стрічкове внесення є важливою складовою сучасних технологій точного землеробства, що знижує вплив на навколишнє середовище та покращує ефективність сільськогосподарського виробництва.

Використання добрива дигестату в рамках стрічкового внесення дозволяє значно покращити родючість ґрунтів і підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, знижуючи при цьому вплив на екологічну ситуацію, оскільки процес внесення не передбачає надмірного перевантаження ґрунту або його забруднення [4].

Однією з основних переваг стрічкового внесення дигестату є точність розміщення поживних елементів. Оскільки цей метод передбачає внесення добрива безпосередньо в межах кореневої зони рослин, поживні речовини стають доступними для поглинання коренями майже без втрат. Це дозволяє значно знизити витрати на добрива, оскільки кількість необхідних внесених поживних елементів оптимізується відповідно до потреб рослин. Така точність також сприяє зменшенню ризиків від забруднення навколишнього середовища, зокрема ґрунтових вод, оскільки добрива знаходяться в тісному контакті з кореневою системою і менш схильні до вимивання.

Крім того, стрічкове внесення дозволяє зберігати структуру ґрунту і зменшувати витрати енергії на обробку ґрунту, оскільки не потребує інтенсивного загортання добрив у глибші шари. Цей метод є менш агресивним

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

для ґрунту порівняно з глибоким обробленням, що дозволяє зберігати природну аерацію та водно-фізичні властивості ґрунту. Водночас, завдяки покращеній аерації кореневої зони та підвищеному вмісту органічних сполук, рослини отримують більш сприятливі умови для розвитку, а біологічна активність ґрунту зростає.

Стрічкове внесення також має суттєві економічні переваги. Воно дозволяє знизити витрати на добрива і оптимізувати їх використання. Цей метод особливо ефективний для ґрунтів, де спостерігається дефіцит органічної речовини або де необхідно покращити фізико-хімічні властивості ґрунту, такі як водоутримуюча здатність, пористість або структура. Стрічкове внесення дозволяє точніше регулювати дозування добрив у різних умовах, що підвищує економічну ефективність використання органічних добрив, таких як дигестат, і робить процес внесення більш керованим [8].

Важливим аспектом стрічкового внесення є використання спеціалізованого обладнання, яке дозволяє здійснити точне розподілення добрив по заданих лініях на ґрунтовій поверхні. Це обладнання може включати як тракторні агрегати, так і спеціалізовані машини для точного внесення рідких чи гранульованих добрив, що значно спрощує цей процес і дозволяє зменшити трудозатрати на внесення. Однак для досягнення максимальних результатів важливо правильно налаштувати систему внесення залежно від типу ґрунту, культур, що вирощуються, та інших факторів.

Не менш важливим є забезпечення достатнього контролю за процесом внесення та моніторингу ефективності використання добрив. Для цього потрібно регулярно оцінювати фізико-хімічні властивості ґрунту після внесення добрива, зокрема рН, вміст органічних сполук, рівень вологи, а також ріст і розвиток рослин. У разі необхідності можна коригувати дозування або методи внесення для досягнення найкращих результатів.

Підсумовуючи, стрічкове внесення дигестату в ґрунт є ефективним методом використання органічних добрив, який дозволяє зменшити витрати на

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	-----------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

добрива та мінімізувати екологічні ризики. Цей метод підвищує ефективність сільськогосподарського виробництва, сприяє покращенню структури ґрунтів, а також забезпечує точне і зручне внесення поживних елементів без шкоди для навколишнього середовища. Проте для досягнення оптимальних результатів важливо здійснювати детальне планування та регулярний моніторинг умов внесення та його ефективності, враховуючи специфіку кожного господарства та тип ґрунтів.

Одним з перспективних напрямів використання дигестату є його перетворення у гранульовану форму. Гранулювання підвищує стабільність, дозволяє спростити транспортування та зберігання, а також поліпшує контроль за дозуванням при внесенні в ґрунт. Існують різні методи гранулювання, зокрема: сушіння та пресування, гранулювання за допомогою барабанних грануляторів, сушіння в псевдозрідженому шарі, комбіновані методи.

Сушіння та пресування є одними з найбільш ефективних методів гранулювання дигестату, що дозволяють отримати органічне добриво в вигляді гранул, зручних для зберігання, транспортування та застосування на полях. Ці процеси активно використовуються в агропромисловості для переробки органічних відходів, таких як дигестат, який є результатом анаеробного бродіння органічних матеріалів у біогазових установках. В результаті цих процесів отримують біодобриво, багате на органічні речовини, азот, фосфор, калій, а також інші мікроелементи, необхідні для росту рослин [48].

Сушіння є важливим етапом переробки дигестату, оскільки він дозволяє зменшити вологість продукту до рівня, що забезпечує стабільність гранул та запобігає їх розкладу або злипанню під час зберігання. Висока вологість дигестату може спричинити погіршення його фізико-хімічних властивостей, зокрема, зниження ефективності поживних речовин, що в ньому містяться. Процес сушіння зазвичай здійснюється при температурі, що не перевищує 60-70°C, що дозволяє зберегти більшість органічних компонентів та мікроелементів. Під час сушіння водяна пара випаровується, а залишкові тверді

Підп. і ДСТ
Інв.№ДУБЛ.
ВЗЄМ.ІНВ.
Підп. і ДСТ
Інв.№ПОДЛ.

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ

ОС 23320348

частки стають більш щільними, що полегшує подальший етап пресування та гранулювання.

Пресування дигестату є наступним етапом, що дозволяє отримати гранули певного розміру та форми. Для цього використовуються різноманітні пресувальні машини, такі як екструдери або гранулятори, що піддають сушений дигестат механічному тиску, формуючи його в компактні гранули. Пресування допомагає значно знизити об'єм продукту, що зручно для зберігання та транспортування. Крім того, під час пресування органічні компоненти дигестату з'єднуються між собою, утворюючи стабільні гранули, які не розпадаються в процесі використання.

Основною перевагою методу сушіння та пресування є здатність значно покращити механічні та фізико-хімічні властивості дигестату. Оскільки гранули мають більш високу щільність та меншу вологість, вони краще зберігаються, менше псуються під час зберігання і менш схильні до утворення плісняви або інших мікроорганізмів, які можуть негативно вплинути на їх якість. Крім того, гранули мають більш рівномірний розподіл поживних елементів, що дозволяє забезпечити кращу ефективність при внесенні в ґрунт [50].

Процес пресування також дозволяє досягти більшої зручності у використанні добрива. Гранули легко дозувати та рівномірно розподіляти по ґрунту, що зменшує ймовірність утворення місць з надмірною концентрацією поживних елементів, які можуть викликати пошкодження рослин або забруднення навколишнього середовища. Крім того, завдяки своїй стабільності гранули здатні краще витримувати складні умови транспортування та зберігання, що робить їх більш практичними для широкомасштабного застосування в сільському господарстві.

Процес сушіння та пресування дигестату має певні технологічні особливості, які необхідно враховувати при його реалізації. Зокрема, важливо контролювати температуру під час сушіння, оскільки надмірно висока температура може призвести до втрат органічних речовин і зменшення

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

ефективності добрива. Оптимальний температурний режим дозволяє зберегти більшу частину поживних елементів і мікроорганізмів, що мають позитивний вплив на ґрунт. Пресування також вимагає точного налаштування обладнання для забезпечення необхідного рівня тиску, що гарантує утворення стабільних гранул з хорошими механічними властивостями.

З економічної точки зору, метод сушіння та пресування є досить ефективним, оскільки дозволяє отримати високоякісне добриво при порівняно низьких витратах на енергію та обладнання. Завдяки тому, що процеси сушіння та пресування є добре відпрацьованими та поширеними в промисловості, вони можуть бути адаптовані до потреб сільського господарства різного масштабу, включаючи як малих, так і великих виробників органічних добрив [53].

Однак цей метод має і деякі обмеження. Перш за все, сушіння вимагає значної кількості енергії, особливо на початкових етапах, коли вологість продукту висока. Це може збільшити вартість виробництва, особливо в умовах обмежених енергетичних ресурсів. Пресування також вимагає спеціального обладнання, що додає витрат на його закупівлю та обслуговування. Незважаючи на це, застосування методу сушіння та пресування для гранулювання дигестату є ефективним способом отримання органічних добрив, що відповідають вимогам сучасного сільського господарства, дозволяючи зберігати ресурси та зменшувати вплив на навколишнє середовище.

Гранулювання дигестату за допомогою барабанних грануляторів є одним із ефективних методів переробки органічних відходів, таких як відходи, що утворюються після анаеробного бродіння в біогазових установках. Цей процес дозволяє отримати стабільне органічне добриво у вигляді гранул, що зручне для транспортування, зберігання та використання в аграрному секторі. Барабанні гранулятори працюють на принципі механічного стискання і обертання матеріалу в барабані, що дозволяє формувати гранули різного розміру та щільності. Вони знайшли широке застосування в агропромисловості завдяки

Підп. і дата
Інв. № док. бл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

своїй простоті, ефективності і здатності працювати з різними типами органічних матеріалів, зокрема з дигестатом.

Основний принцип роботи барабанного гранулятора полягає в тому, що під час обертання барабана матеріал, що містить дигестат, піддається механічному впливу, що сприяє злипненню часток і їх формуванню в гранули. Для досягнення бажаних розмірів гранул і їх стабільності в процесі гранулювання важливим є контроль за параметрами, такими як швидкість обертання барабана, подача води, вологість початкової сировини та час перебування матеріалу в барабані. Барабанні гранулятори можуть працювати як у безперервному, так і в циклічному режимах, що дозволяє адаптувати процес до різних масштабів виробництва та типів сировини [56].

У таблиці 1.3 розглянемо переваги гранулювання дигестату за допомогою барабанних грануляторів.

Таблиця 1.3 – Переваги гранулювання дигестату

Перевага	Опис
Обробка великої кількості сировини	Швидка обробка великих обсягів сировини за короткий час.
Отримання гранул з високою щільністю і однорідною структурою	Гранули мають стабільну форму, щільність і однорідність.
Контроль за розмірами гранул	Можливість регулювання розмірів гранул залежно від потреб.
Працездатність із сировиною високої вологості	Ефективна обробка сировини з високою вологістю або великою кількістю дрібних часток.
Використання різних добавок	Можливість коригувати склад гранул для покращення характеристик добрив.

В процесі гранулювання дигестату в барабанному грануляторі важливим фактором є контроль за вологістю сировини. Надмірна вологість може призвести до утворення надмірно м'яких гранул, які легко руйнуються під час транспортування та зберігання, в той час як занадто низька вологість може ускладнити процес злипання часток і призвести до утворення непридатних для використання часток або порошку. Зазвичай в процесі гранулювання в

Інв.№ПОДЛ. Підп. і Дста. Взаєм.інв. Інв.№ДУБЛ. Підп. і Дста.

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	Дст
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

32

барабаних грануляторах використовуються добавки, такі як вода або розчини, що допомагають зберегти оптимальну вологість і покращити злипання часток.

З іншого боку, процес гранулювання за допомогою барабаних грануляторів потребує контролю за температурними режимами. Під час обробки матеріал може нагріватися, і якщо температура підвищується занадто швидко, це може призвести до втрати поживних елементів та мікроорганізмів, що містяться в дигестаті. Тому важливо регулювати швидкість обертання барабана і час перебування матеріалу в грануляторі, щоб уникнути перегріву і зберегти біологічну активність органічних компонентів.

Гранулювання за допомогою барабаних грануляторів має також певні екологічні переваги. Завдяки цьому методу можна ефективно використовувати органічні відходи, зменшуючи їх обсяг та перетворюючи їх на високоякісне органічне добриво, що допомагає знижувати забруднення навколишнього середовища. Використання гранулованих добрив з дигестату зменшує потребу в хімічних добривах, що позитивно впливає на екосистеми, знижуючи ризик забруднення ґрунтів і водних ресурсів [61].

Однак, як і в будь-якому іншому технологічному процесі, гранулювання за допомогою барабаних грануляторів має свої обмеження. Перш за все, цей метод потребує значних енергетичних витрат, оскільки процес обертання барабана і перемішування матеріалу вимагає стабільної подачі енергії. Це може призвести до високих експлуатаційних витрат, що потрібно враховувати при впровадженні цієї технології на підприємствах з переробки органічних відходів. Крім того, для досягнення високої ефективності гранулювання необхідно використовувати спеціальне обладнання, яке також має значні початкові витрати на закупівлю та обслуговування.

Загалом, гранулювання дигестату за допомогою барабаних грануляторів є високоефективним методом, який дозволяє отримати стабільні гранули органічного добрива з хорошими механічними та фізико-хімічними властивостями. Цей метод дозволяє забезпечити високу ефективність процесу

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

переробки органічних відходів і виготовлення добрив, що є важливим етапом у стратегії сталого розвитку та екологічної безпеки в сільському господарстві.

Сушіння в псевдозрідженому шарі є одним із найбільш ефективних методів обробки органічних відходів, зокрема дигестату, що утворюється в біогазових установках. Цей метод поєднує в собі сушіння і гранулювання, що дозволяє одночасно знизити вологість органічної сировини та перетворити її в зручні для зберігання та транспортування гранули. Сушіння в псевдозрідженому шарі використовується в ряді індустрій, де важливо досягти швидкого і рівномірного сушіння матеріалів, що мають високий вміст вологи, як у випадку з дигестатом.

Принцип роботи установки з псевдозрідженим шаром полягає в тому, що матеріал подається в шар повітря, що рухається з певною швидкістю, утворюючи ефект «зрідження». Повітря подається через спеціальну решітку або інші конструкції, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл газу по всьому шару матеріалу. В результаті цього матеріал, який знаходиться в шарах, перебуває в стані, схожому на рідину, тобто він «плаває» в потоці повітря. Цей ефект дозволяє зменшити контакт між частками матеріалу та значно підвищити швидкість теплопередачі, що дозволяє ефективно знижувати вологість сировини [58].

У процесі сушіння в псевдозрідженому шарі матеріал, такий як дигестат, піддається не тільки сушінню, але й механічному впливу через взаємодію з повітряним потоком. Цей ефект допомагає часткам злипатися між собою, утворюючи гранули. Процес сушіння здійснюється при помірних температурах, що дозволяє зберігати більшість поживних елементів та органічних сполук, які є важливими для подальшого використання в якості добрив. Важливою перевагою цього методу є можливість одночасного виконання сушіння і гранулювання, що значно зменшує витрати енергії і часу, порівняно з роздільними процесами.

Сушіння в псевдозрідженому шарі дозволяє здійснювати обробку матеріалів з різним вмістом вологи, що робить цей метод універсальним для

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

роботи з різними типами органічних відходів, зокрема з дигестатом, який може мати значну вологість і великі кількості органічних часток. Водночас важливим аспектом є контроль за параметрами процесу, такими як температура повітря, швидкість потоку та вологість, оскільки ці фактори впливають на ефективність процесу сушіння та гранулювання.

Однією з основних переваг сушіння в псевдозрідженому шарі є висока ефективність цього методу. Завдяки активному повітряному потоку матеріал швидко висихає, що знижує час обробки і енергетичні витрати на сушіння. Окрім того, гранули, отримані після сушіння, мають високу механічну міцність, що робить їх зручними для зберігання, транспортування і використання. Це дозволяє значно поліпшити якість кінцевого продукту – гранулованого органічного добрива, яке можна застосовувати для підживлення різних культур, покращення фізико-хімічних властивостей ґрунтів та підвищення їх родючості.

Проте, як і в будь-якому технологічному процесі, сушіння в псевдозрідженому шарі має певні обмеження. Оскільки цей метод базується на використанні активного повітряного потоку, існують вимоги до оснащення та технологічного контролю, що включає наявність спеціальних пристроїв для регулювання температури і вологості. Високий рівень енергетичних витрат, необхідний для підтримки стабільного повітряного потоку, також може впливати на економічну ефективність процесу. Крім того, у разі обробки матеріалу з дуже високим вмістом води, процес може вимагати більш тривалого часу для досягнення бажаної вологості, що знову-таки впливає на витрати енергії [64].

Сушіння в псевдозрідженому шарі також має екологічні переваги, оскільки дозволяє зменшити обсяг органічних відходів, перетворюючи їх на корисне органічне добриво. Це сприяє зниженню навантаження на навколишнє середовище, оскільки органічні відходи, такі як дигестат, часто стають джерелами забруднення, якщо їх не переробляти належним чином. Крім того, цей метод дозволяє зберегти біологічну активність органічних сполук, що є

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дат
-----	-----	------------	-------	-----

ОС 23320348

важливим фактором для подальшого використання гранул у сільському господарстві.

У деяких випадках використовуються комбіновані методи, коли сушіння дигестату поєднується з процесом пресування чи використанням спеціальних адгезивних добавок. Це дозволяє отримувати міцні гранули з оптимальним вмістом поживних речовин, що підходять для внесення в ґрунт різними методами.

Гранульований дигестат має низку переваг порівняно з рідким дигестатом, зокрема гранули займають менше місця і є легкими для зберігання. Їх можна пакувати в стандартні контейнери, що полегшує логістичні процеси. Гранули поступово розкладаються в ґрунті, забезпечуючи повільне і рівномірне вивільнення поживних речовин, що сприяє їх більш ефективному засвоєнню рослинами. Гранульована форма дозволяє більш точно дозувати кількість внесеного дигестату, що зменшує ризик передозування та підвищує ефективність добрива [67].

Отже, гранульований дигестат є перспективною альтернативою рідким органічним добривам, що дозволяє поліпшити агрономічні показники ґрунту, забезпечити зручність транспортування та довготривалу дію поживних речовин. Використання різних методів внесення та технологій гранулювання дозволяє адаптувати дигестат під специфічні потреби аграрного сектора і зробити його ефективним інструментом для підтримки сталого сільського господарства.

1.5 Постановка задач дослідження

Збільшення сільськогосподарського виробництва, зокрема інтенсивне застосування мінеральних добрив і пестицидів, спричиняє значне екологічне навантаження на ґрунти та водні ресурси. У зв'язку з цим актуальним є пошук сталих альтернатив, які забезпечать рослини поживними речовинами та мінімізують вплив на довкілля. Гранульовані біодобрива з дигестату є перспективним рішенням, оскільки вони сприяють заміщенню синтетичних

Підп. і дста
Інв.№ДУБЛ.
Взаєм.інв.
Підп. і дста
Інв.№ПОДЛ.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дст
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк
36

добрив органічними продуктами, мають властивість повільного вивільнення поживних речовин і потенційно знижують ризик забруднення ґрунтів. Дослідження у цьому напрямку є надзвичайно важливим для підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів. Постановка завдань дослідження включає основні напрями вивчення ефективності та безпечності гранульованих біодобрив з дигестату.

Основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих методів отримання гранульованих біодобрив з дигестату та їх вплив на фізико-хімічні властивості ґрунтів.
2. Оцінити ефективність застосування гранульованих біодобрив на основі дигестату для підвищення родючості різних типів ґрунтів.
3. Дослідити вплив гранульованих біодобрив на біологічну активність ґрунту та розвиток рослин.
4. Визначити оптимальні дозування та методи внесення гранульованих біодобрив для різних типів ґрунтів.
5. Розробити рекомендації для застосування гранульованих біодобрив з дигестату в сільському господарстві з урахуванням екологічних факторів та економічної ефективності.

Поставлені завдання мають забезпечити комплексне розуміння потенціалу використання гранульованих біодобрив з дигестату для підвищення екологічної безпеки ґрунтів. Дослідження дозволить підтвердити ефективність даних добрив як заміників мінеральних добрив і сформулювати практичні рекомендації для їх безпечного використання.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дст
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Моделювання розчинення гранул добрив у ґрунті

Моделювання процесу розчинення гранул добрив на основі дигестату у ґрунті передбачає врахування кількох ключових факторів, зокрема фізико-хімічних властивостей гранул, структури ґрунту, вологості, температури та руху води. Для цього доцільно використовувати математичні моделі, що описують масообмін між гранулою та ґрунтом, враховуючи кінетику розчинення, дифузію поживних речовин у водній фазі ґрунту та їхнє поглинання рослинами [19].

Вихідні параметри моделювання

Фізичні властивості гранул: розмір і форма гранул; щільність матеріалу; пористість гранул, яка визначає їхню здатність поглинати воду; склад поживних речовин (азот, фосфор, калій та мікроелементи).

Ґрунтові параметри: текстура ґрунту (пісок, суглинок, глина); вологість і температура ґрунту; початковий хімічний склад ґрунтового розчину (вміст солей, рН).

Екологічні умови: кількість опадів або об'єм зрошення; інтенсивність випаровування; швидкість всмоктування води рослинами.

Процес розчинення гранул описується рівняннями масопереносу, які враховують баланс речовин між гранулою, водною фазою та ґрунтом [17]:

$$\frac{dm}{dt} = -kA(Cs - C), \quad (2.1)$$

де m – маса гранули, г;

t – час, с;

k – коефіцієнт масопереносу, м/с;

A – площа поверхні гранули, м²;

Інв.№подав.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	Інв.№дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

38

C_s – концентрація речовини на поверхні гранули, моль/м³;

C – концентрація у водній фазі, моль/м³.

Дифузія поживних речовин – поширення поживних речовин у ґрунті моделюється рівнянням дифузії:

$$\frac{dC}{dt} = D\nabla^2 C - v \frac{dCn}{dx}, \quad (2.2)$$

де D – коефіцієнт дифузії;

v – швидкість фільтрації води в ґрунті;

∇^2 – оператор Лапласа.

Поглинання рослинами: враховується швидкість вилучення поживних речовин кореневою системою. Це описується як джерело/поглинач у моделі:

$$R(x,t) = -krC, \quad (2.3)$$

де $R(x,t)$ – швидкість поглинання;

kr – коефіцієнт поглинання корінням.

Моделювання дозволяє оцінити такі ключові аспекти (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Ключові аспекти моделювання

Аспект моделювання	Опис
Швидкість розчинення гранул	Гранули з високою пористістю розчиняються швидше, забезпечуючи інтенсивне вивільнення поживних речовин.
Розподіл поживних речовин у ґрунті	У піщаних ґрунтах речовини поширюються швидше, але можуть вимиватися; у глинистих - затримуються у верхніх шарах.
Ефективність використання поживних речовин	Оптимальні умови вологості й температури підвищують доступність поживних речовин для кореневої системи.

Результати моделювання вказують на необхідність адаптації дозування і способу внесення гранул залежно від типу ґрунту та кліматичних умов. Для забезпечення рівномірного живлення рослин рекомендується поєднання гранул

дигестату з іншими типами добрив або використання захисних оболонок, які сповільнюють розчинення у ґрунті. Подальші дослідження можуть включати експериментальну валідацію моделі у польових умовах та оптимізацію складу гранул для конкретних культур.

2.2 Методики визначення фітотоксичності добрив

Фітотоксичність добрив – це здатність добрив впливати негативно на ріст і розвиток рослин, що може проявлятися у пригніченні проростання насіння, порушенні розвитку кореневої системи, пожовтінні листя та ін. Фітотоксичність може бути наслідком як високих концентрацій поживних елементів, так і наявності небажаних домішок (важкі метали, токсичні органічні речовини). Тому оцінка фітотоксичності є важливим етапом перед впровадженням добрив у сільськогосподарське виробництво. Існує кілька методик для визначення рівня фітотоксичності, кожна з яких має свої особливості, переваги і обмеження.

Метод інгібування проростання насіння є одним із найпоширеніших для оцінки фітотоксичності. Він базується на спостереженні за рівнем проростання насіння під впливом добрива у вигляді водного розчину або розбавленої суспензії. Процедура включає розміщення насіння рослин (зазвичай використовуються швидкорослі культури, такі як редис, кропива чи пшениця) у чашках Петрі з розчином добрива та контрольними пробами, які містять лише воду. Після інкубації протягом визначеного періоду (від 24 до 96 годин) проводять оцінку таких показників:

1. Відсоток проростання насіння у порівнянні з контрольною пробою.
2. Довжина коренів і паростків.
3. Морфологічні зміни в розвитку рослин [16].

Результати дозволяють оцінити рівень фітотоксичності: чим більший інгібуючий вплив добрива на проростання та ріст коренів, тим вищий рівень фітотоксичності.

Підп. і дата	
Інв. № док.	
Взаєм. інв.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

40

Метод визначення фітотоксичності на основі біотестування з рослинними культурами включає використання певної рослини (пшениці) як біотеста, що росте в ґрунті або субстраті, збагаченому добривом. Рослини вирощуються протягом одного-двох тижнів у ґрунті з додаванням різних доз добрива. По завершенні експерименту аналізуються такі показники:

1. Зміни у висоті рослини.
2. Візуальні прояви токсичності, такі як знебарвлення листя або некроз.
3. Маса та довжина кореневої системи і надземної частини.
4. Зміни у біомасі у порівнянні з контрольною групою [8].

Цей метод дозволяє оцінити вплив добрив на рослини в умовах, близьких до природних, що є особливо важливим при оцінці комплексних органічних добрив.

Метод індексу токсичності T50 визначає час (в годинах або днях), необхідний для інгібування проростання або росту рослинного матеріалу на 50% порівняно з контролем. Це показник, що дозволяє оцінити тривалість впливу токсичних компонентів добрива. Методика використовується для добрив із повільним вивільненням, оскільки дозволяє визначити затримані прояви фітотоксичності. Експеримент виконується за схемою інгібування проростання насіння або біотестування, де вимірюються проміжні результати для побудови кривої залежності дози від відповіді.

Метод оцінки індексу відносного росту (Relative Growth Index, RGI) обчислюється для визначення співвідношення біомаси або висоти рослин, вирощених з добривом, до контрольної проби. RGI дозволяє кількісно оцінити ефективність добрива та його фітотоксичний вплив одночасно. Метод може застосовуватися як для проростання насіння, так і для зрілих рослин. Значення $RGI < 1$ свідчить про пригнічення росту, а показник >1 вказує на стимулюючий вплив добрива.

Лабораторний тест фітотоксичності з використанням культури клітин включає вирощування культур клітин рослин або тканин на живильному

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	Взаєм.інв.
Інв.№ДУБЛ.	Інв.№ДУБЛ.
Підп. і дата	Підп. і дата

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

середовищі з додаванням добрива. Тест дозволяє оцінити токсичність на клітинному рівні, спостерігаючи за ростом і морфологічними змінами клітин. Метод часто використовується для оцінки впливу окремих компонентів добрива, таких як важкі метали або інші токсичні елементи. Результати визначаються шляхом порівняння з контрольними клітинами і дозволяють виявити клітинні зміни на ранніх стадіях [18].

Хімічний аналіз на токсичні речовини в складі добрив передбачає визначення концентрацій токсичних елементів (важкі метали, пестициди, органічні забруднювачі), не є прямим методом оцінки фітотоксичності, але дозволяє оцінити потенційний ризик токсичності добрива. Використання хроматографічних методів або атомно-абсорбційної спектрометрії дозволяє визначити вміст небезпечних компонентів, що можуть спричинити фітотоксичність при накопиченні у ґрунті або рослинах.

Вибір методу залежить від типу добрива (мінеральне, органічне, комплексне), способу його внесення та очікуваного шляху впливу на рослину. У разі комплексних органічних добрив, які можуть містити різні домішки, доцільним є поєднання кількох методів, таких як тест інгібування проростання, індекс відносного росту та хімічний аналіз. Це забезпечить більш точне оцінювання та врахування як безпосереднього, так і потенційного впливу добрива на рослини.

Оцінка фітотоксичності добрив є ключовим етапом при їх розробці та впровадженні. Комплексний підхід, що включає кілька методик, дозволяє оцінити потенційний ризик добрива для рослин на різних стадіях їх розвитку.

2.3 Постановка експерименту з пророщування насіння

Пророщування насіння є важливим етапом у процесі агрономічних досліджень, оскільки воно дозволяє оцінити вплив різних факторів на життєздатність рослин. У даному експерименті досліджено плив дигестату –

Інв.№подав.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	Підп. і дата
Інв.№дубл.	Підп. і дата
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ОС 23320348	Арк 42
-----	-----	----------	-------	-----	-------------	-----------

продукту біологічної переробки органічних відходів у біогазових установках – на пророщування насіння пшениці [71].

Дигестат, зокрема, має потенціал для використання як органічне добриво, оскільки містить значну кількість поживних елементів, таких як азот, фосфор і калій, а також органічні речовини, що можуть стимулювати ріст рослин. Однак важливим аспектом є оцінка його фітотоксичності, тобто здатності стимулювати або, навпаки, пригнічувати розвиток рослин.

У рамках експерименту насіння пшениці пророщували за допомогою дигестату, застосовуючи різні концентрації розчину для порівняння його впливу на ріст і розвиток рослин.

Завданням експерименту було вивчити, як різні концентрації дигестату впливають на показники проростання, довжину паростків і загальну життєздатність насіння.

Методологія дослідження включала наступні етапи: насіння пшениці оброблялося різними концентраціями розчину дигестату, при цьому контрольну групу обробляли тільки водою. Пророщування проводилося в умовах лабораторного середовища за стандартних температурних умов (20-22 °C), і результати були зафіксовані через певні проміжки часу (1, 3, 7 діб).

Мета дослідження: дослідити фітотоксичність дигестату залежно від:

- 1) виду сировини (гній, рослинні залишки, харчові відходи);
- 2) умов процесу (температура анаеробного бродіння: мезофільна чи термофільна);
- 3) етапу застосування (дигестат до або після додаткового оброблення, наприклад, компостування).

Методологія дослідження була розроблена на основі робіт [69; 71-73] та включає такі етапи та залежні і незалежні фактори:

1. Відбір проб дигестату.

Проби дигестату отримують з біогазових установок, які переробляють три види субстрату:

Підп. і дата
Інв.№ДУБЛ.
Взаєм.інв.
Підп. і дата
Інв.№ПОДЛ.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

C1: Гній (тваринницький відхід).

C2: Рослинні залишки (кукурудза, солома).

C3: Харчові відходи.

Для кожного типу сировини проводять анаеробне бродіння за двох температурних режимів:

MP – мезофільний (35–40 °C).

TP – термофільний (50–55 °C).

2. Фактор оброблення, що передбачає врахування наявності післяоброблення дигестату, тому пропонуємо порівнювати фітотоксичні властивості дигестату:

1) До оброблення (свіжий дигестат).

2) Після оброблення (дигестат, що пройшов компостування протягом 1–2 місяців).

3) Гранульований дигестат.

3. Дозування дигестату:

1. Низьке (10 % розчин): 10 % дигестату, розведеного у воді.

2. Середнє (25 % розчин): 25 % дигестату, розведеного у воді.

3. Високе (50 % розчин): 50 % дигестату, розведеного у воді.

4. Фітотоксичне тестування.

Для тестування використовували тестові рослини (насіння пшениці).

Контрольну групу представляють рослини, які вирощують без добрив (на чистій воді).

Для оцінювання фітотоксичності використовують такі показники:

1. Індекс проростання (GI), що враховує відсоток проростання насіння і довжину паростків.

2. Висота паростків (у см).

3. Біомаса рослин (маса зеленої частини, у г).

Розрахунок GI проводили за допомогою методики, описаної у [70]:

Підп. і дста
Інв. № дубл.
Взам. інв.
Підп. і дста
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дат

OC 23320348

Арк

44

$$GI = \left(\frac{\% \text{ проростання у дигестаті}}{\% \text{ проростання у контролі}} \cdot \frac{\text{довжина паростків у дигестаті}}{\text{довжина паростків у контролі}} \right) \cdot 100, \quad (2.4)$$

де % проростання у дигестаті – кількість пророслого насіння у середовищі з дигестатом, %;

% проростання у контролі – кількість пророслого насіння у контрольному середовищі (наприклад, вода), %;

довжина паростків у дигестаті – середня довжина паростків у середовищі з дигестатом, мм;

довжина паростків у контролі – середня довжина паростків у контрольному середовищі, мм.

Значення GI розраховується у відсотках і показує ступінь токсичності дигестату.

GI < 50% – висока токсичність, GI 50-80% – середня токсичність, GI > 80% – відсутність токсичності.

Загалом, результати показали, що в залежності від концентрації дигестату, його використання може мати як стимулюючий, так і токсичний ефект на пророщування насіння пшениці. Для забезпечення оптимальних умов для росту рослин необхідно ретельно контролювати концентрацію дигестату та проводити його розведення до безпечних рівнів, які не призводять до пригнічення проростання. Однак, при використанні помірних концентрацій, дигестат може слугувати потенційним джерелом органічних добрив для сільського господарства. Цей експеримент показав важливість подальших досліджень для визначення оптимальних доз застосування дигестату в агрономії, а також необхідність вивчення його впливу на різні види рослин, оскільки різні культури можуть мати різну чутливість до фітотоксичних речовин, що містяться в дигестаті. Враховуючи високу ефективність дигестату як джерела органічних поживних елементів, подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку технологій його обробки та застосування в аграрному секторі для підвищення родючості ґрунтів і зниження екологічного навантаження.

Підп. і дата	
Інв. № док.	
Взаєм. інв.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Компостування дигестату, зокрема після анаеробного бродіння в термофільному режимі, суттєво знижує його фітотоксичність, що робить його безпечнішим для використання в сільському господарстві. Термофільний режим сприяє ефективнішому розкладанню токсичних сполук, а компостування додатково зменшує токсичність різних типів дигестатів, підвищуючи їхній індекс проростання (GI).

2.4 Методика визначення екологічного ризику

Використання добрив із дигестату – залишкового продукту біогазових установок – є перспективним підходом до покращення родючості ґрунту, але також може створювати екологічні ризики. Дигестат може містити як поживні речовини (азот, фосфор, калій), так і потенційно шкідливі домішки (важкі метали, токсичні органічні речовини, залишки медикаментів і патогени). Для оцінки екологічного ризику необхідно визначити рівень можливого негативного впливу дигестату на екосистему, зокрема, на якість ґрунту, водних ресурсів та здоров'я рослин, тварин і людей.

Методика оцінки екологічного ризику добрив із дигестату складається з кількох етапів. Перший крок передбачає хімічний аналіз для визначення основних компонентів дигестату, таких як макроелементи (N, P, K), мікроелементи, органічні речовини та потенційно небезпечні елементи (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Небезпечні елементи

Категорія забруднювачів	Опис
Важкі метали	Включають кадмій, свинець, ртуть, хром тощо; можуть накопичуватися в ґрунті та рослинах.
Органічні забруднювачі	Залишки антибіотиків, гормонів, хімікатів та інших токсичних речовин, що впливають на живі організми.
Патогени	Спори бактерій, вірусів, грибів, які спричиняють захворювання у людей, тварин і рослин.

Підп. і дата	
Інв. № док.	
Взаєм. інв.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

46

Для хімічного аналізу використовують методи спектроскопії, хроматографії, а також бактеріологічні тести для визначення вмісту патогенних мікроорганізмів [8].

Оцінка фітотоксичності дигестату проводиться на основі тестів із проростанням насіння або вирощуванням рослин у ґрунті з дигестатом. Мета полягає у визначенні потенційного впливу добрива на рослини. Основні показники, що оцінюються:

1. Відсоток проростання насіння у порівнянні з контролем.
2. Ріст і розвиток рослин, зміни у біомасі, інгібіція росту.

Цей етап дозволяє оцінити безпосередній вплив дигестату на рослинність та визначити його безпечність для сільськогосподарських культур.

Дигестат, внесений у ґрунт, може спричинити ризик забруднення ґрунтових і поверхневих вод, якщо відбувається його вимивання. Для оцінки водної токсичності проводять тести з водними організмами, такими як водорості, дафнії та риби [4].

Умови тестування:

1. Вимірювання інгібування росту водоростей, летальність дафній та вплив на поведінку і виживання риб у середовищі з додаванням екстракту дигестату.
2. Визначення концентрації забруднювачів у воді після додавання дигестату, таких як фосфати та нітрати, що можуть викликати евтрофікацію водних екосистем.

Оскільки багато шкідливих речовин, включаючи важкі метали, мають властивість накопичуватися у ґрунті та повільно розкладатися, доцільно визначити потенціал їх міграції з ґрунту в рослини чи ґрунтові води. Для цього проводяться дослідження:

Вимивання речовин із ґрунту: моделювання впливу опадів на міграцію важких металів у нижчі горизонти ґрунту.

Біоаккумуляція: визначення концентрації токсичних речовин у рослинах, які ростуть на ділянках із внесенням дигестату [11].

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

47

Важливим критерієм екологічної безпеки є вплив дигестату на ґрунтові мікроорганізми, адже вони відіграють ключову роль у розкладі органічної речовини та підтриманні здоров'я ґрунту. Оцінка включає:

1. Визначення кількості й активності мікроорганізмів у ґрунті після внесення дигестату.
2. Вплив на чисельність нітрифікуючих та денітрифікуючих бактерій, які забезпечують круговорот азоту.
3. Тест на ферментативну активність ґрунту, що відображає його загальну біологічну активність та функціональну стабільність.

Після отримання результатів за всіма показниками екологічної безпеки проводиться інтеграційна оцінка екологічного ризику за методикою Ecological Risk Assessment (ERA). На основі комбінації даних щодо хімічного складу, фітотоксичності, водної токсичності та впливу на мікробіоту визначаються ризики:

Низький ризик: дигестат безпечний для використання як добриво за умов дотримання рекомендованих доз.

Середній ризик: необхідні заходи для зменшення дозування або застосування методів обробки для зниження рівня шкідливих речовин.

Високий ризик: дигестат потребує додаткової очистки або не може використовуватися в агросистемах [12].

Методика оцінки екологічного ризику добрив із дигестату базується на поєднанні лабораторних досліджень, токсикологічних тестів та аналізу потенційної міграції шкідливих речовин у навколишнє середовище. Використання інтегративного підходу до оцінки ризику дозволяє забезпечити раціональне використання дигестату в сільському господарстві, мінімізуючи його негативний вплив на ґрунт, водні ресурси та екологічні системи в цілому.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дст
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Результати тестування щодо пророщування насіння

У експерименті з пророщування пшениці [71] дигестат застосовувався як добриво для насіння, згідно цього було теоретично оцінено його вплив на проростання, ріст паростків і загальний розвиток рослин залежно від типу добрива (оброблений чи необроблений дигестат) і дозування.

Можна припустити, що кожен із факторів у методології дослідження матиме певний вплив на індекс проростання (GI), висоту паростків та біомасу рослин. Згідно з припущеннями: проби дигестату, отримані з різних типів сировини, можуть мати різний вплив на індекс проростання (GI). Дигестат із гною (C1) ймовірно може містити компоненти, які сприяють більшому проростанню насіння, порівняно з дигестатом з рослинних залишків (C2) та харчових відходів (C3), що можуть мати більш фітотоксичні властивості. Проте це також залежить від температурного режиму анаеробного бродіння.

При застосуванні мезофільного режиму (MP) (35-40°C) дигестат може мати менший токсичний вплив, ніж при використанні термофільного режиму (TP) (50-55°C), оскільки високі температури можуть спричинити утворення більш фітотоксичних речовин.

Фактор оброблення дигестату: враховуючи вплив післяоброблення, свіжий дигестат ймовірно буде більш фітотоксичним, ніж дигестат, що пройшов компостування протягом 1-2 місяців. Це може призвести до зниження індексу проростання (GI) і негативно вплинути на висоту паростків і біомасу.

Гранульований дигестат може мати менший фітотоксичний ефект, оскільки компостування і гранулювання можуть знижувати концентрацію шкідливих речовин, що дозволить рослинам проростати краще, що, ймовірно, призведе до більш високих показників GI, висоти паростків та біомаси.

Підп. і дата
Інв. № доубл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

OC 23320348

Арк

49

Дозування дигестату: низьке дозування (10 % розчин), ймовірно, матиме мінімальний токсичний вплив на рослини, що сприятиме кращому проростанню насіння та зростанню паростків, а також збільшенню біомаси. Це дозволить отримати найкращі результати за всіма показниками.

Середнє дозування (25 % розчин), ймовірно, матиме дещо більший фітотоксичний ефект, ніж низьке дозування, що може привести до зниження індексу проростання (GI), а також зменшення висоти паростків і біомаси порівняно з контрольними групами.

Високе дозування (50 % розчин), ймовірно, призведе до значного зниження індексу проростання (GI), а також суттєвого зменшення висоти паростків і біомаси через сильний токсичний вплив дигестату на рослини.

Фітотоксичне тестування. Оцінка індексу проростання (GI) може показати, що при низьких концентраціях дигестату проростання насіння та ріст паростків будуть оптимальними, тоді як при високих концентраціях – буде спостерігатися значне зниження цих показників через фітотоксичні ефекти. Висота паростків та біомаса також ймовірно зменшуватимуться у групах з високими концентраціями.

Можна припустити, що застосування дигестату у високих концентраціях може призвести до зниження відсотка проростання насіння. Це може свідчити про наявність фітотоксичних компонентів у дигестаті, які потенційно інгібують процеси росту та розвитку рослин. Однак, за умови використання розбавлених розчинів, ефект міг би бути менш вираженим, і проростання насіння, ймовірно, відбувалося б значно краще порівняно з групами з високими концентраціями. Довжина паростків, ймовірно, також могла б значно зменшуватися в умовах високих концентрацій дигестату, що могло б свідчити про те, що при таких умовах коріння і стебла рослин не могли розвиватися належним чином через потенційно токсичні ефекти [71-73]. Ці припущення базуються на загальних уявленнях про вплив органічних відходів і їх переробки на проростання та ріст

Підп. і дата
Інв. № док.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

рослин, але конкретні результати можуть змінюватися залежно від точних умов експерименту.

Тобто узагальнивши можна зробити висновки що:

1. Свіжий (необроблений) дигестат: використання необробленого дигестату навіть у низьких концентраціях (10%) демонструє середню фітотоксичність (GI = 70%) через високий вміст аміаку та органічних кислот. При підвищенні дозування до 50% токсичність значно зростає, що пригнічує проростання насіння та ріст паростків.

2. Компостований дигестат: після компостування токсичність значно знижується: GI досягає 90% при низькому дозуванні. Середнє дозування (25%) забезпечує оптимальний ріст і розвиток рослин (GI = 85%, висота паростків = 9.5 см, біомаса = 1.0 г). Висока концентрація (50%) може викликати перенасичення поживними речовинами, що частково пригнічує ріст (GI = 75%) [71].

Контрольна група: хоча проростання насіння у контрольній групі досягає 100%, ріст паростків і біомаса обмежені через відсутність додаткових поживних речовин. Отже, компостований дигестат є ефективним добривом для пшениці, особливо при низьких та середніх концентраціях. Свіжий дигестат без попереднього компостування має високу токсичність і пригнічує ріст насіння навіть при низькому дозуванні. Перед використанням дигестату як добрива слід проводити компостування для зниження токсичності. Оптимальна концентрація для використання компостованого дигестату: 10-25% розчин у воді. Використання компостованого дигестату може значно підвищити урожайність пшениці за рахунок поліпшення початкового росту рослин і підвищення біомаси.

3.2 Аналіз екологічного ризику від застосування добрива з дигестату

Застосування дигестату як добрива при тестуванні пророщування насіння пшениці має значний екологічний потенціал, проте може спричиняти низку ризиків, які залежать від його складу, дозування та способу обробки (рис. 3.2).

Інв.№подав.	Підп. і дата	Взаєм.інв.	Інв.№дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

51

Основним екологічним ризиком є можливість токсичного впливу свіжого дигестату на ґрунт, рослини та навколишнє середовище. Високий вміст аміаку, органічних кислот і потенційно токсичних елементів у свіжому дигестаті може пригнічувати проростання насіння пшениці, знижувати його ріст і викликати деградацію ґрунтових умов. Такий вплив не лише зменшує біологічну активність ґрунту, але й може порушувати його фізико-хімічну структуру, зокрема через накопичення солей.

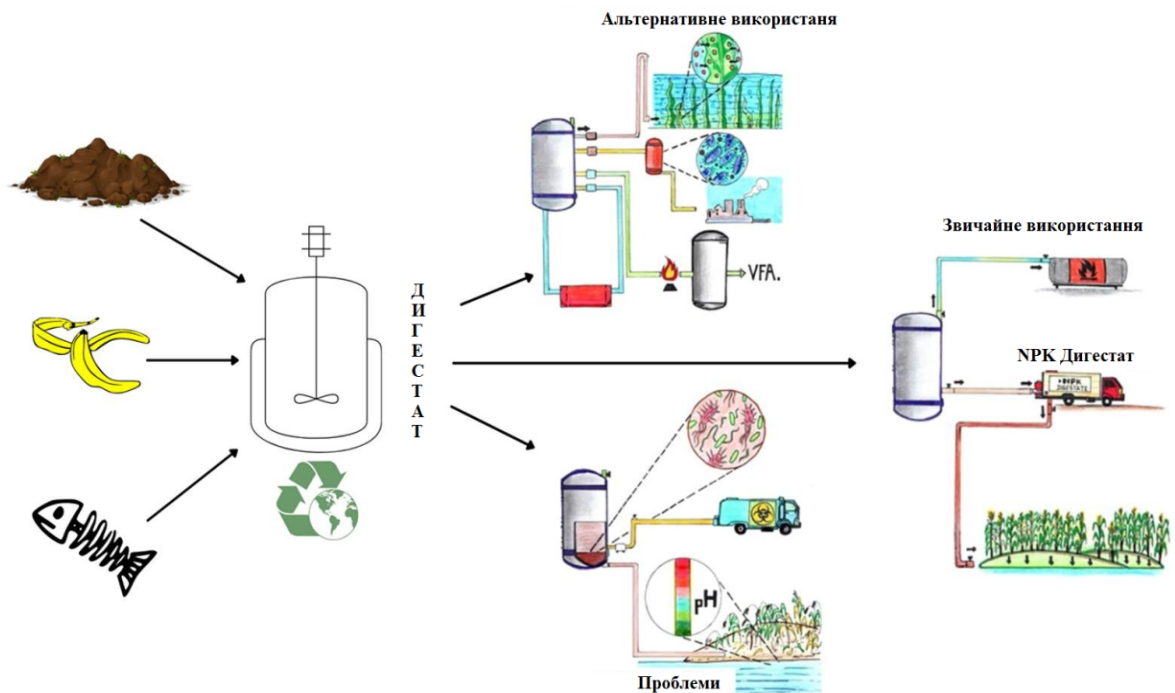


Рисунок 3.1 – Ризики від застосування добрива з дигестату

Крім того, внесення свіжого дигестату може спричинити забруднення поверхневих і підземних вод через стік поживних речовин, особливо нітратів і фосфатів. Це створює ризик евтрофікації водойм, що проявляється в неконтрольованому зростанні водоростей, зниженні рівня кисню у воді та втраті біорізноманіття водних екосистем. Забруднення підземних вод нітратами може стати серйозною проблемою для питного водопостачання, впливаючи на здоров'я людей і екологічну стабільність регіону. Ризик такого забруднення значно підвищується у випадках неправильного внесення дигестату, наприклад, на схилах чи за відсутності буферних зон поблизу водойм [4].

ІНВ.№ПОДЛ.	Підп. і дата
Взаєм.інв.	
ІНВ.№ДУБЛ.	
Підп. і дата	

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Ще одним аспектом ризику є мікробіологічне забруднення. У свіжому дигестаті можуть зберігатися патогенні мікроорганізми, які при контакті з ґрунтом або рослинами можуть створювати небезпеку для здоров'я працівників і споживачів. Залишкові патогени, особливо в умовах прямого контакту добрива з насінням або їстівними частинами рослин, можуть забруднювати харчові продукти. Використання сировини для виробництва дигестату, що містить пластикові домішки, може спричинити накопичення мікропластику у ґрунтах. Мікропластик впливає на водоутримувальні властивості ґрунту, біологічну активність і довгострокову якість агроєкосистеми.

Компостований дигестат має значно нижчий рівень екологічного ризику, оскільки процес компостування знижує токсичність добрива, розкладаючи органічні кислоти, стабілізуючи аміак і знищуючи патогенні мікроорганізми. Використання такого матеріалу дозволяє забезпечити рослини поживними речовинами без значного негативного впливу на ґрунт і довкілля. Однак навіть у цьому випадку існує ризик перенасичення ґрунту, якщо добриво застосовується у високих концентраціях. Надлишок поживних речовин може знижувати ефективність кореневих систем, спричиняти гальмування росту пшениці та ускладнювати природне регулювання складу ґрунту.

Грануляція дозволяє перетворити сирий дигестат на стабільний, безпечний продукт із контрольованими властивостями. Процес включає етапи сушіння, гомогенізації та формування гранул із додаванням сполучних речовин. Така технологія забезпечує рівномірний розподіл поживних елементів у ґрунті, а також мінімізує ризики забруднення довкілля. Під час грануляції вдається зменшити вологість дигестату, що знижує ризик утворення токсичних фітонцидів і патогенних мікроорганізмів.

Гранульовані добрива мають низку переваг. По-перше, їх легко транспортувати та зберігати, що робить їх зручними для аграріїв. По-друге, гранули повільніше розчиняються у ґрунтовому розчині, забезпечуючи поступове вивільнення поживних речовин. Це запобігає вимиванню азоту та

ІНВ.№ПОДЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАСМ.ІНВ.	
ІНВ.№ДУБЛ.	
ПІДП. І ДАТА	

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	ПІДП.	ДАТА
-----	-----	----------	-------	------

ОС 23320348

фосфору у ґрунтові води, зменшуючи ризик їх евтрофікації. По-третє, термофільний режим, який часто використовується під час попередньої обробки дигестату, сприяє розкладанню органічних токсинів і патогенів, що додатково підвищує екологічну безпеку продукту.

Важливим етапом мінімізації ризиків є тестування готових гранульованих добрив на токсичність. Показники, такі як індекс проростання (GI), використовуються для оцінки фітотоксичності продукту. Дослідження підтверджують, що компостування дигестату перед грануляцією суттєво знижує вміст важких металів і органічних сполук, які могли б негативно впливати на рослини.

Інтеграція гранульованих добрив із дигестату у сільськогосподарські системи дозволяє створити більш сталу модель управління органічними відходами. Використання таких добрив сприяє замиканню циклу поживних речовин, знижує залежність від хімічних добрив і зменшує кількість органічних відходів, які потрапляють на полігони.

Ризики від використання дигестату можна мінімізувати шляхом дотримання регламентованих норм внесення, особливо для різних типів ґрунту, і попередньою обробкою дигестату. Наприклад, використання 10-25% розчинів компостованого дигестату забезпечує кращий баланс між поживністю добрива і відсутністю токсичного впливу. Важливим аспектом також є навчання фермерів щодо екологічно безпечного використання дигестату і застосування технологій точного землеробства, що дозволяють контролювати дозування добрив і запобігати перевищенню їхньої кількості [8].

Отже, хоча дигестат має значний потенціал як екологічно дружнє добриво, його використання потребує чіткої регуляції і належної підготовки. Тільки за умов дотримання стандартів якості, попередньої стабілізації матеріалу та контролю внесення можна забезпечити безпечне використання дигестату для пророщування пшениці без негативного впливу на навколишнє середовище.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗСЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

3.3 Обговорення результатів та надання рекомендацій щодо подальших досліджень

Результати тестування щодо пророщування насіння пшениці за допомогою дигестату продемонстрували його потенціал як органічного добрива, проте виявили низку особливостей, які потребують детального аналізу для оцінки екологічної безпеки та ефективності застосування. Дослідження показали, що використання дигестату у вигляді рідкої фракції, особливо в низьких концентраціях, може позитивно впливати на проростання насіння пшениці, стимулюючи розвиток паростків і сприяючи зростанню біомаси. Це пояснюється високим вмістом поживних речовин, таких як азот, фосфор та калій, які доступні для рослин у легко засвоюваній формі. Проте результати також вказують на важливість дозування, адже високі концентрації дигестату, особливо свіжого, можуть мати фітотоксичний ефект через надмірний вміст аміаку та органічних кислот.

Порівняння ефективності дигестату залежно від його попередньої обробки показало, що компостований дигестат демонструє кращі результати щодо відсутності токсичного впливу на насіння. Стабілізація органічних речовин під час компостування знижує ризики пригнічення росту рослин, оскільки відбувається розкладання летких жирних кислот та інших токсичних сполук. Крім того, компостований дигестат забезпечує поступове вивільнення поживних речовин, що сприяє рівномірному забезпеченню рослин макро- і мікроелементами протягом їхнього розвитку. У свою чергу, свіжий дигестат, незважаючи на високий вміст поживних речовин, потребує попередньої обробки або розведення, щоб уникнути негативного впливу на проростання насіння.

Грануляція дигестату є ефективним методом його трансформації у стабільну форму. Під час цього процесу рідка фракція видаляється, а поживні речовини концентруються в гранулах. Завдяки цьому гранульовані добрива мають низку переваг:

Підп. і дата
Інв.№ДУБЛ.
Взаєм.інв.
Підп. і дата
Інв.№ПОДЛ.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

Арк

55

1. Поступове вивільнення поживних речовин. Гранули забезпечують пролонговану дію, поступово постачаючи макро- і мікроелементи, що дозволяє уникнути швидкого вимивання азоту та фосфору.

2. Зниження токсичності. Термофільний режим на етапі зброджування, а також сушіння й стабілізація в процесі грануляції зменшують вміст летких жирних кислот і аміаку.

3. Зручність транспортування та зберігання. Гранули мають компактну форму, що полегшує їх логістику та використання в польових умовах.

4. Екологічна безпека. У процесі грануляції досягається зниження концентрації патогенів і органічних забруднювачів, що робить продукт безпечним для агроєкосистем.

Тестування показало, що гранульований дигестат не лише сприяє проростанню пшениці, але й знижує ризик фітотоксичності у порівнянні з сирим дигестатом. Показник індексу проростання (GI) значно збільшується після грануляції, що свідчить про зниження токсичних впливів. Компостування перед грануляцією додатково покращує характеристики добрива, сприяючи більш рівномірному розподілу поживних речовин у ґрунті.

Застосування гранульованих добрив із дигестату також потребує оптимізації дозувань залежно від типу ґрунту, культури та кліматичних умов. Для цього необхідно проводити попередній аналіз складу добрив, щоб визначити концентрацію поживних речовин, важких металів та органічних сполук. Довгострокові дослідження впливу гранульованих добрив на ґрунтову екосистему можуть дати цінну інформацію про їхню ефективність і безпеку.

Дослідження також показали, що вид сировини, яка використовується для отримання дигестату, значною мірою впливає на його властивості. Дигестат, отриманий з відходів тваринництва, часто містить вищу концентрацію азоту, проте також характеризується підвищеним рівнем аміаку, що може бути токсичним для насіння. Дигестат, виготовлений із зеленої біомаси, як правило, має збалансований склад, який сприяє кращому проростанню. Отже, вибір

Підп. і дата
Інв. № док. бл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дат

ОС 23320348

сировини є критично важливим фактором для забезпечення ефективності та екологічної безпеки застосування дигестату.

Обговорення результатів тестування вказує на необхідність оптимізації методів застосування дигестату для підвищення ефективності його використання як добрива. Рекомендовано здійснювати попередній аналіз складу дигестату для визначення його хімічних та мікробіологічних характеристик. Це дозволить уникнути негативного впливу на рослини та ґрунтову екосистему. Важливою умовою також є застосування точних дозувань залежно від типу ґрунту, кліматичних умов та потреб культури. Особливу увагу слід приділяти питанням компостування дигестату або його розбавлення, щоб мінімізувати ризики фітотоксичності.

Для подальших досліджень рекомендується розширити спектр тестованих культур, щоб оцінити універсальність використання дигестату як добрива. Крім того, доцільним є проведення довгострокових експериментів з метою вивчення його впливу на біологічну активність ґрунту, вміст органічної речовини та урожайність пшениці у польових умовах. Подальше дослідження слід зосередити на розробці стандартів якості дигестату, враховуючи джерело сировини, режим анаеробного зброджування та методи обробки. Особливу увагу варто приділити вивченню впливу мікропластику, залишків фармацевтичних препаратів та інших домішок, які можуть бути присутніми у дигестаті.

Загалом результати тестування підтверджують доцільність використання дигестату для пророщування насіння пшениці за умови чіткої регламентації його застосування. Подальші дослідження дозволять краще зрозуміти механізми впливу дигестату на рослини і розробити ефективні стратегії його використання для підвищення урожайності при збереженні екологічного балансу.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк
57

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Використання гранульованих біодобрих з дигестату стає все більш популярним завдяки їхньому позитивному впливу на ґрунт, зокрема завдяки вмісту органічної речовини та поживних елементів (азот, фосфор, калій). Однак у процесі виробництва, транспортування та застосування гранульованих біодобрих з дигестату можливий вплив небезпечних і шкідливих факторів, які можуть становити ризик для працівників, навколишнього середовища і сільськогосподарських культур. Ідентифікація та аналіз цих факторів є важливим для забезпечення безпечних умов праці та мінімізації негативного впливу на екологію.

Гранульовані добрива з дигестату можуть містити важкі метали (кадмій, свинець, ртуть), токсичні органічні сполуки та залишкові антибіотики. Контакт з такими речовинами може призводити до отруєння при тривалому впливі на організм людини, накопичуючись у тканинах та спричиняючи довготривалі негативні ефекти для здоров'я. У процесі розкладу органічної речовини в дигестаті можуть виділятися аміак та сірководень. Висока концентрація цих газів у повітрі може викликати подразнення дихальних шляхів, зниження працездатності та загальне погіршення стану здоров'я працівників. При роботі з гранульованими добривами, особливо під час пакування та транспортування, утворюється пил, який може спричинити алергічні реакції, подразнення очей та слизових оболонок, а також становить небезпеку для працівників з наявністю хронічних респіраторних захворювань [13].

Дигестат, як продукт біологічної переробки органічних відходів у біогазових установках, є важливим джерелом органічних добрив, що містять

ІНВ.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№дубл.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

58

значну кількість поживних елементів, таких як азот, фосфор і калій. Однак, при його використанні в аграрному секторі необхідно враховувати й потенційні ризики, зокрема через можливу наявність залишкових патогенів, таких як бактерії, віруси і гриби. Це стає серйозною проблемою, оскільки недостатня стабілізація або недостатня дезінфекція дигестату може призвести до його контамінації патогенними мікроорганізмами, що в свою чергу може впливати на здоров'я людей, тварин, а також на екосистеми.

Процес анаеробного бродіння, який використовується для отримання дигестату, здатний знижувати кількість багатьох мікроорганізмів завдяки створенню умов без кисню. Однак, цей процес не завжди здатен повністю знищити всі види патогенів, особливо якщо він не триває достатньо довго або не забезпечує оптимальні температурні умови. Деякі патогени, наприклад, спори бактерій або віруси, можуть залишатися життєздатними навіть після анаеробного процесу, якщо температура в реакторі була занадто низькою або вхідні органічні відходи не були попередньо достатньо оброблені.

Найбільш часто зустрічаються патогени в дигестаті включають бактерії родів *Escherichia*, *Salmonella*, *Clostridium*, а також різні віруси та гриби, такі як *Aspergillus* та *Fusarium*. Вони можуть бути переносниками різноманітних захворювань, включаючи інфекційні хвороби у тварин і людей. Наприклад, патогенні бактерії, такі як *Salmonella* або *Campylobacter*, можуть спричинити серйозні захворювання у тварин, які отримують таке забруднене добриво через корм або воду, а також можуть становити небезпеку для сільськогосподарських культур, якщо вони потрапляють на поверхню ґрунту [17].

Для зменшення ризиків, пов'язаних з наявністю патогенів, часто застосовуються різні методи стабілізації та дезінфекції дигестату. Це включає підвищення температури в процесі анаеробного бродіння, використання додаткових термічних або хімічних обробок, таких як пастеризація або обробка ультрафіолетовим світлом, а також застосування спеціальних біологічних агентів для знищення патогенів. Проте навіть після застосування таких заходів,

Підп. і ДСТ
Інв.№ДУБЛ.
ВЗАСМ.ІНВ.
Підп. і ДСТ
ІНВ.№ПОДЛ.

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

наявність патогенних мікроорганізмів у дигестаті не може бути повністю виключена, особливо якщо технологічний процес стабілізації був порушений або не відповідає стандартам.

Застосування недостатньо обробленого або нестабілізованого дигестату може призвести до серйозних наслідків для здоров'я людей та тварин, а також до забруднення навколишнього середовища. Оскільки дигестат часто використовується як органічне добриво на сільськогосподарських угіддях, наявність залишкових патогенів може мати негативний вплив на продуктивність культур, знижуючи їх якість та безпеку для споживання. Враховуючи це, важливо розробляти ефективні методи моніторингу та контролю якості дигестату, щоб забезпечити його безпеку для навколишнього середовища і людського здоров'я.

Контакт з органічними добривами, зокрема з дигестатом, що містить високий вміст білків та інших органічних сполук, може становити потенційну небезпеку для здоров'я працівників, які працюють з цими матеріалами. Одним із найбільш серйозних ризиків є розвиток алергічних реакцій, що можуть виникати через вдихання аерозолів або через контакт з шкірою. Алергени, що містяться в органічних добривах, здатні викликати широкий спектр негативних ефектів, від легких симптомів, таких як подразнення шкіри, до серйозних респіраторних та анафілактичних реакцій, які можуть становити загрозу для здоров'я працівників [8].

Дигестат, що утворюється в результаті анаеробного процесу біологічної обробки органічних відходів, містить велику кількість органічних сполук, включаючи білки, вуглеводи, жири, амінокислоти та інші компоненти, які можуть виступати як потенційні алергенні речовини. Високий вміст білків, зокрема протеїнів з рослинного або тваринного походження, може бути основним фактором, що сприяє розвитку алергії. Коли ці речовини потрапляють в організм через дихальні шляхи або через шкіру, вони можуть викликати гіперчутливість, що призводить до запальних процесів у тканинах та органах.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і ДСТ	ВЗСЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і ДСТ
------------	-------------	------------	------------	-------------

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк
60

Алергенні білки можуть бути присутніми в повітрі у вигляді дрібнодисперсних часток або аерозолів, які утворюються під час обробки або транспортування дигестату. Ці частки можуть бути легко вдихнуті, потрапляючи в дихальні шляхи працівників, що збільшує ризик розвитку респіраторних алергічних захворювань, таких як астма або риніт. Крім того, потрапляння часток на шкіру може викликати дерматологічні реакції, зокрема свербіж, почервоніння, набряк або навіть екзему, якщо шкіра чутлива до цих сполук.

Особливо чутливі до таких алергенів працівники, які регулярно контактують з дигестатом, наприклад, під час його розподілу на ґрунті, складування або переміщення. Професійні агрономи, техніки, а також робітники на біогазових установках можуть піддаватися високому ризику розвитку алергічних реакцій, оскільки їхня робота пов'язана з тривалим контактом із потенційно небезпечними матеріалами.

З метою зниження ризику алергічних реакцій необхідно впроваджувати ряд заходів безпеки, таких як використання спеціальних захисних костюмів, рукавичок, респіраторів і масок, а також організація належної вентиляції та контролю за рівнем аерозолів під час роботи з дигестатом. Крім того, важливо проводити регулярні медичні обстеження працівників для раннього виявлення алергічних реакцій і вжиття відповідних заходів, таких як корекція робочих умов або застосування медичних препаратів для полегшення симптомів [17].

Також важливою є інформативна складова: працівники повинні бути поінформовані про потенційні ризики та алергічні реакції, які можуть виникнути при контакті з органічними добривами, а також знати способи першої допомоги в разі алергічної реакції. Підвищення рівня обізнаності та навчання працівників основним принципам безпеки може значно знизити рівень професійних алергічних захворювань.

Процеси пакування, транспортування та внесення гранульованих добрив можуть передбачати значні фізичні навантаження. Постійне підняття вантажів і перенесення мішків може призводити до надмірного навантаження на м'язову

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і Дато
Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.
Підп. і Дато	Підп. і Дато

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

систему, що створює ризик травм та захворювань опорно-рухового апарату. При виробництві, особливо на стадіях гранулювання та сушіння, використовується обладнання з високим рівнем шуму, що може негативно впливати на слух працівників та викликати загальну втому. Робота з механічним обладнанням, яке використовується для гранулювання та пакування, може спричинити ризик механічних травм (порізи, переломи) у разі порушення техніки безпеки або неналежного технічного обслуговування обладнання.

Якщо гранульовані добрива з дигестату містять небезпечні хімічні домішки або патогени, внесення таких добрив у ґрунт може призвести до забруднення, що негативно впливає на якість ґрунтових вод і може спричинити ланцюговий негативний ефект для всієї екосистеми. Неправильне дозування добрив з високим вмістом азоту та фосфору може викликати евтрофікацію водойм, якщо добрива змиваються дощами. Це призводить до надмірного росту водоростей і погіршення якості води [4].

Для зниження рівня небезпечних речовин у добриві важливо контролювати вміст важких металів, токсичних органічних речовин та патогенів у дигестаті. Попередня стабілізація, термічна або хімічна обробка можуть знизити рівень патогенних мікроорганізмів та видалити небезпечні домішки, забезпечуючи безпечне використання.

Використання засобів захисту дихальних шляхів (респіратори, маски) є обов'язковим під час роботи з пилом і хімічними домішками. Для запобігання ризику шкірного контакту рекомендується використовувати рукавиці, захисний одяг та окуляри.

Для зменшення фізичних навантажень необхідно максимально автоматизувати процеси пакування, транспортування та внесення добрив, використовуючи механічні засоби (навантажувачі, транспортери). Це знижує ризик фізичного навантаження і зменшує ймовірність травм.

Регулярне навчання персоналу щодо небезпечних факторів, правил поводження з обладнанням та використання ЗІЗ є необхідним заходом для

Підп. і дата
Інв. № доубл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

зниження ризиків. Важливо також впроваджувати регулярний контроль дотримання правил техніки безпеки для запобігання аварійним ситуаціям.

Регулярний моніторинг стану ґрунту та води на ділянках, де використовуються добрива з дигестату, допомагає своєчасно виявляти накопичення небезпечних речовин. Важливо враховувати природні умови, у яких використовуються добрива, щоб знизити ризик забруднення довкілля [18].

Отже, використання гранульованих добрив з дигестату, хоча й є перспективним з точки зору екологічної та економічної ефективності, пов'язане з певними небезпечними та шкідливими факторами. Комплексна оцінка ризиків та застосування заходів безпеки на всіх етапах виробництва і застосування добрив є важливим для збереження здоров'я працівників, запобігання травматизму та мінімізації негативного впливу на екосистему.

4.2 Розрахунок параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Розрахунок повітрообміну

Для забезпечення безпечних та комфортних умов праці у виробничих приміщеннях при використанні гранульованих біодобрив з дигестату, необхідно розрахувати основні параметри мікроклімату, зокрема температуру, вологість, швидкість руху повітря, а також визначити оптимальний рівень повітрообміну для видалення шкідливих речовин.

Згідно з санітарно-гігієнічними нормами, параметри мікроклімату мають відповідати рекомендованим значенням, що забезпечують безпеку для працівників:

1. Температура повітря: 16–24 °C (залежно від характеру робіт)
2. Відносна вологість: 40–60%
3. Швидкість руху повітря: 0,1–0,3 м/с.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста
Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.
Підп. і дста	Підп. і дста

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дст
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

63

Підтримання цих параметрів знижує ризик накопичення аміаку, пилу та інших шкідливих речовин, що можуть виділятися під час роботи з гранульованими біодобривами [1].

Для забезпечення якісного повітрообміну у виробничому приміщенні використовують формулу для розрахунку повітрообміну на основі кількості шкідливих речовин, що виділяються у приміщення:

$$L = \frac{G}{G_{\text{допустимо}}}, \quad (3.1)$$

де L – обсяг вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$;

G – кількість шкідливих речовин, що виділяються в повітря на годину, $\text{г}/\text{год}$;

$G_{\text{допустимо}}$ – гранично допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі, $\text{г}/\text{м}^3$.

Основні шкідливі речовини – аміак, пил та леткі органічні сполуки. Для розрахунку припустимо, що на виробничій ділянці обсяг шкідливих речовин складає 5 г аміаку та 10 г пилу за годину. За санітарними нормами гранично допустима концентрація аміаку в повітрі робочої зони – $0,02 \text{ г}/\text{м}^3$, для пилу – $0,1 \text{ г}/\text{м}^3$. Маємо такі розрахунки:

$$L_{\text{ам}} = \frac{5}{0,02} = 250 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.2)$$

$$L_{\text{пил}} = \frac{10}{0,1} = 100 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.3)$$

Отже, для досягнення безпечного рівня необхідно забезпечити повітрообмін не менше $250 \text{ м}^3/\text{год}$, оскільки саме цей показник є найбільшим.

Для досягнення повітрообміну в $250 \text{ м}^3/\text{год}$ доцільно використовувати механічну припливно-витяжну вентиляцію. Система повинна мати можливість регулювання швидкості для адаптації до зміни параметрів мікроклімату в

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат
-----	-----	-----------	-------	-----

ОС 23320348

Арк

64

приміщенні. Для зменшення концентрації пилу та шкідливих газів у зонах їх найбільшого виділення (гранулювання, пакування) можна встановити локальні витяжні пристрої з фільтрами, які ефективно затримують пил та гази. Важливо забезпечити контроль за рівнем шкідливих речовин за допомогою датчиків, що вимірюють концентрацію аміаку та пилу. Це дозволить своєчасно коригувати інтенсивність вентиляції [3].

Отже, забезпечення належного повітрообміну при роботі з гранульованими біодобривами з дигестату вимагає обсягу вентиляції на рівні 250 м³/год для зниження концентрації аміаку та пилу до безпечного рівня. Використання системи припливно-витяжної вентиляції з додатковими локальними витяжками дозволить підтримувати комфортні параметри мікроклімату та забезпечить безпеку робочого середовища.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	-----------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 23320348

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів за рахунок використання гранульованих біодобрих з дигестату, встановлено:

1. Гранульовані біодобрива з дигестату, створені шляхом сушіння, механічного гранулювання та додавання допоміжних матеріалів, є перспективними завдяки стабільності, зручності транспортування та поступовому вивільненню поживних речовин, що покращує екологічну безпеку ґрунтів.

2. Використання гранульованих біодобрих сприяє покращенню структури ґрунту, підвищує його пористість і водоутримувальну здатність, збільшує вміст органічних речовин, активує мікрофлору та підвищує врожайність, особливо на деградованих та піщаних ґрунтах.

3. Гранульовані біодобрива стимулюють розвиток корисної ґрунтової мікрофлори, покращують аерацію ґрунту та створюють сприятливі умови для росту рослин, забезпечуючи стабільне живлення та підвищуючи стійкість до стресових умов.

4. Ефективність біодобрих залежить від типу ґрунту і варіюється від 200 до 500 кг/га. Для важких ґрунтів потрібне глибше загортання добрив, тоді як на легких ґрунтах можливе поверхнєве внесення для збереження поживних речовин.

5. Гранульовані біодобрива є екологічно безпечними та економічно вигідними завдяки зменшенню потреби в хімічних добривах і переробці органічних відходів. Необхідні подальші дослідження для оптимізації їх застосування та оцінки довгострокового впливу на ґрунти.

Інв.№ПОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	Інв.№ДУБЛ.	Підп. і дста	Арк
Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	Дат	ОС 23320348

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Безпека життєдіяльності. Безпека технологічних процесів і виробництв (Охорона праці) / П. П. Кукін, В. Л. Лапін, Н. Л. Пономарьов та ін. – Київ : Вища школа, 2022. – 335 с.

2. Важливість використання добрив в сільському господарстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://visrozdil.lviv.ua/2024/02/26/vazhlyvist-vykorystannya-dobryv-v-silskomu-gospodarstvi/>

3. Самойлов В. Вентиляція та кондиціонування. – Київ : Аделант, 2019. – 686 с.

4. Використання дигестату / МХП Еко Енерджі. – 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/dombrovskyi-mhp-saf-seminar-digestat-2020.pdf>.

5. Вовкотруб М. П., Мулярчук І. Ф., Городній М. М. Виробництво мінеральних та органо-мінеральних добрив // Науковий вісник НАУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nauu.kiev.ua>

6. Голуб Н. Переробка біомаси. – Київ: [видавництво], 2021. – 204 с.

7. Дигестат: недооцінений потенціал органічного добрива [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/kukurudza/novyny/dyhestat-nedootsinenyi-potencial-orhanichnoho-dobryva/> – Назва з екрану.

8. Дігестат як компонент добрив [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/16286-dihestat-iaak-komponent-dobryv.html> – Назва з екрану.

9. Добрива: види і особливості застосування органічних і мінеральних добрив [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aopplatforma.com/blog/fertilizers-features-of-application-organicmineral> – Назва з екрану.

Підп. і дата
Інв. № док. бл.
Взаєм. інв.
Підп. і дата
Інв. № подал.

10. Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б., Ходаківська Т. В. Дослідження ефективності сумісного зброджування гною свиней та силосу кукурудзи // Механізація, екологізація і конвертація біосировини в тваринництві. – 2018. – № 2. – С. 45–53

11. Мінеральні добрива та їх застосування в сільському господарстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.covalent.com.ua/blog/2019/02/22/fertilizers/>

12. Мінеральні і органічні добрива й підгодівлі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://agromarket.net/ua/news/udobreniya/mineralnye_i_organicheskie_udobreniya_i_podkormki/

13. Нікітіна А. Біотехнологічні та мікробіологічні аспекти термофільної анаеробної переробки комунальних органічних відходів при високому навантаженні по субстрату : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.07 / Нікітіна Анна. – Київ, 2018. – 168 с.

14. Органічні та мінеральні добрива: що обрати? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tetra-agro.com.ua/news/organicni_ta_mineralni_dobryva_shho_obrati

15. Таргоня В. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах / В. Таргоня. – Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2017. – 124 с.

16. Тесля Р. Огляд застосування дигестату за кордоном [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/teslja-2_24.pdf

17. Якушко С.І., Іванов В.П. Органо-мінеральні добрива: переваги та способи виробництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/324277846.pdf>

18. Ablieieva, I., Berezna, I., Bereznyi, D., Prast, A.-E., Geletuha, G., Lutsenko, S., Yanchenko, I., Carraro, G. Technologies for Environmental Safety

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взам. інв.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дат

OC 23320348

Арк
68

Application of Digestate as Biofertilizer [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ecoeet.com/pdf-147154-73763?filename=Technologies%20for.pdf>

19. Ablieieva, I. Yu., Geletukha, G. G., Kucheruk, P. P., Enrich-Prast, A., Carraro, G., Berezna, I. O., Bereznyi, D. M. Digestate potential to substitute mineral fertilizers. Engineering approaches. Journal of Engineering Sciences, 2020. – Vol. 9(1). – P. 1–10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
[https://doi.org/10.21272/jes.2022.9\(1\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2022.9(1).h1)

20. Ali, W., Muhammad, S. Compositional data analysis of heavy metal contamination and eco-environmental risks in Himalayan agricultural soils, Northern Pakistan. Journal of Geochemical Exploration, 2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107323>

21. Anae J., Ahmad N., Kumar V., Thakur V. K., Gutierrez T., Yang X. J., Cai C., Yang Z., Coulon F. Recent advances in biochar engineering for soil contaminated with complex chemical mixtures: Remediation strategies and future perspectives // Science of the Total Environment. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144351>

22. Bigalke M., Ulrich A., Rehmus A., Keller A. Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland // Environmental Pollution. 2017. С. 85–93. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.035>

23. Borggaard O. K., Holm P. E., Strobel B. W. Potential of dissolved organic matter (DOM) to extract As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn from polluted soils: A review // Geoderma. 2019. Т. 343. С. 235–246. URL: <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2019.02.041>

24. Bossolani J. W., Crusciol C. A. C., Leite M. F. A, Merloti L. F., Moretti L. G., Pascoaloto I. M., Kuramae E. E. Modulation of the soil microbiome by long-term Ca-based soil amendments boosts soil organic carbon and physicochemical quality in a tropical no-till crop rotation system // Soil Biology and Biochemistry. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108188>

Підп. і дста
Інв. № дубл.
Возем. інв.
Підп. і дста
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дст
-----	-----	------------	-------	-----

OC 23320348

25. Cattin M., Semple K. T., Stutter M., Romano G., Lag-Brotons A. J., Parry C., Surridge B. W. J. Changes in microbial utilization and fate of soil carbon following the addition of different fractions of anaerobic digestate to soils // European Journal of Soil Science. 2021. T. 72, №6. C. 2398–2413. URL: <https://doi.org/10.1111/ejss.13091>

26. Chernysh Y., Ablieieva I., Chubur V., Skvortsova P., Roubik H. Biopotential of agricultural waste: production of biofertilizers and biofuels // Proceedings of 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022. Publisher: STEF92 Technology, 2022. T. 22, №4.2. C. 39–47. URL: <https://doi.org/10.5593/sgem2022V/4.2/s18.05>

27. Chernysh Y., Balintova M., Shtepa V., Skvortsova P., Skydanenko M., Fukui M. Integration of processes of radionuclide-contaminated territories decontamination in the framework of their ecological-socio-economic rehabilitation // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2022. T. 23, №1. C. 110–124. URL: <https://doi.org/10.12912/27197050/143002>

28. Chernysh Y., Plyatsuk L., Roubik H., Yakhnenko O., Skvortsova P., Bataltsev Y. Application of technological solutions for bioremediation of soils contaminated with heavy metals // Journal of Engineering Sciences. 2021. T. 8, №2. C. 8–16. URL: [https://doi.org/10.21272/jes.2021.8\(2\).h2](https://doi.org/10.21272/jes.2021.8(2).h2)

29. Chernysh Y., Roy I., Chubur V., Shulipa Y., Roubik H. Co-digestion of poultry litter with cellulose-containing substrates collected in the urban ecosystem // Biomass Conversion and Biorefinery. 2023. T. 13. C. 4803–4815. URL: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01582-y>

30. Deng W., Wang F., Liu W. Identification of factors controlling heavy metals/metalloid distribution in agricultural soils using multi-source data // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114689>

31. Doyeni M. O., Suproniene S., Barcauskaite K., Tilvikiene V. Animal manure digestate fertilization effect on the soil microbial activity and crop

Підп. і дста
Інв. № док. бл.
Взам. інв.
Підп. і дста
Інв. № подл.

productivity in the northern part of temperate climate conditions-Lithuania // Geoderma Regional. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00699>

32. Du Z., Zhao P., Fu Q., Wang Q., Hu A., Zhang W., Wang D. Biostimulants in dissolved organic matters recovered from anaerobic digestion sludge with alkali-hydrothermal treatment: Nontarget identification by ultrahigh-resolution mass spectrometry // Environmental International. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107813>

33. Fernández-Domínguez D., Guilayn F., Patureau D., Jimenez J. Characterising the stability of the organic matter during anaerobic digestion: a selective review on the major spectroscopic techniques // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2022. Vol. 21. P. 691–726. URL: <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09623-2>

34. Fernández-Domínguez D., Patureau D., Houot S., Sertillanges N., Zennaro B., Jimenez J. Prediction of organic matter accessibility and complexity in anaerobic digestates // Waste Management. 2021. Vol. 136. P. 132–142. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.004>

35. García-López A. M., Delgado A., Anjos O., Horta C. Digestate not only affects nutrient availability but also soil quality indicators // Agronomy. 2023. Vol. 13, № 5. P. 1308. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051308>

36. Guo X., Wu Y., Li N., Tian Y., Peng Y., Yuan D. Effects on the complexation of heavy metals onto biochar-derived WEOM extracted from low-temperature pyrolysis // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112456>

37. He Y., Wang W., Chen Y., Hua J., Deng C., Li H. Source-sink response analysis of heavy metals and soil pollution assessment in non-ferrous metal industrial agglomeration areas based on decision unit // Science of the Total Environment. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167437>

38. Heitkötter J., Marschner B. Interactive effects of biochar ageing in soils related to feedstock, pyrolysis temperature, and historic charcoal production //

ПіАП. і ДСТ
ІНВ. № ДУБЛ.
ВЗРОМ. ІНВ.
ПіАП. і ДСТ
ІНВ. № ПОДЛ.

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	ПіАП.	ДСТ

OC 23320348

Geoderma. 2015. Vol. 245–246. P. 56–64. URL:

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.012>

39. Huang M., Li Z. W., Huang B., Luo N. L., Zhang Q., Zhai X. Q., Zeng G. M. Investigating binding characteristics of cadmium and copper to DOM derived from compost and rice straw using EEM-PARAFAC combined with two dimensional FTIR correlation analyses // Journal of Hazardous Materials. 2018. Vol. 344. P. 539–548. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.022>

40. Huang M., Li Zh., Luo N., Yang R., Wen J., Huang B., Zeng G. Application potential of biochar in environment: Insight from degradation of biochar-derived DOM and complexation of DOM with heavy metals // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 646. P. 220–228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.282>

41. Huang Y., Tian Y., Xie L., Liu Y., Dai B., Guo X., Yang Y. The application of two-dimensional correlation spectroscopy for the binding properties of heavy metals onto digestate-derived DOM from anaerobic digestion of chicken manure // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. Vol. 204. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111129>

42. Kratz S., Godlinski F., Schnug E. Heavy metal loads to agricultural soils in Germany from the application of commercial phosphorus fertilizers and their contribution to background concentration in soils // The New Uranium Mining Boom. Springer Geology. 2011. P. 755–762. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-22122-4_86

43. Li C., Dong Y., Yi Y., Tian J., Wang Y., Cao J. Effects of phosphogypsum on enzyme activity and microbial community in acid soil // Scientific Reports. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33191-2>

44. Liu L., Li W., Song W., Guo M. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 633. P. 206–219. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>

ІВ.№ПОДЛ. ПІАП. І ДСТА
ВЗРОМ.ІВ. ІВ.№ДУБЛ.
ПІАП. І ДСТА

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	ПІАП.	ДСТ

OC 23320348

Арк

72

45. Liu P., Wu Q., Hu W., Tian K., Huang B., Zhao Y. Effects of atmospheric deposition on heavy metals accumulation in agricultural soils: Evidence from field monitoring and Pb isotope analysis // Environmental Pollution. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121740>

46. Malovanyy M., Palamarchuk O., Trach I., Petruk H., Sakalova H., Soloviy K., Vasylynych T., Tymchuk I., Vronska N. Adsorption extraction of chromium ions (III) with the help of bentonite clays // Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21, № 7. P. 178–185. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/125545>

47. Malovanyy M., Petrushka K., Petrushka I. Improvement of adsorption-ion-exchange processes for waste and mine water purification // Chemistry and Chemical Technology. 2019. Vol. 13, № 3. P. 372–376. URL: <https://doi.org/10.23939/chcht13.03.372>

48. Molaey R., Yesil H., Calli B., Tugtas A. E. Influence of volatile fatty acids in anaerobic bioleaching of potentially toxic metals // Journal of Environmental Management. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112118>

49. Muller M., Jimenez J., Antonini M., Dudal Y., Latrille E., Vedrenne F., Steyer J.-P., Patureau D. Combining chemical sequential extractions with 3D fluorescence spectroscopy to characterize sludge organic matter // Waste Management. 2014. Vol. 34, № 12. P. 2572–2580. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.028>

50. Nebbioso A., Piccolo A. Molecular characterization of dissolved organic matter (DOM): A critical review // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2013. Vol. 405. P. 109–124. URL: <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6363-2>

51. Ren Z., Wang L., Wang H., Liu S., Liu M. Solidification/stabilization of lead-contaminated soils by phosphogypsum slag-based cementitious materials // Science of the Total Environment. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159552>

52. Schnug E., Sun Y., Zhang L., Windmann H., Lottermoser B. G., Ulrich A. E., Bol R., Maekawa M., Haneklaus S. H. Elemental Loads with Phosphate Fertilizers

ІНВ.№ПОДЛ. ПІДП. І ДСТУ ВЗРОМ.ІНВ. ІНВ.№ДУБЛ. ПІДП. І ДСТУ

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

OC 23320348

// Soil Constraints and Productivity. CRC Press. Boca Raton, FL, USA, 2023. P. 157–177. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003093565-8>

53. Siebielec G., Siebielec S., Lipski D. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 187. P. 372–379. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.245>

54. Slepeliene A., Volungevicius J., Jurgutis L., Liaudanskiene I., Amaleviciute-Volunge K., Slepetyus J., Ceseviciene J. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania // Waste Management. 2020. Vol. 102. P. 441–451. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.008>

55. Song M., Ju T., Meng Y., Han S., Lin L., Jiang J. A review on the applications of microbially induced calcium carbonate precipitation in solid waste treatment and soil remediation // Chemosphere. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133229>

56. Sun W., Ye J., Lin H., Yu Q., Wang Q., Chen Z., Ma J., Ma J. Dynamic characteristics of heavy metal accumulation in agricultural soils after continuous organic fertilizer application: Field-scale monitoring // Chemosphere. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139051>

57. Tufail M. A., Iltaf J., Zaheer T., Tariq L., Amir M. B., Fatima R., Asbat A., Kabeer T., Fahad M., Naeem H., Shoukat U., Noor H., Awais M., Umar W., Ayyub M. Recent advances in bioremediation of heavy metals and persistent organic pollutant: A review // Science of the Total Environment. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157961>

58. Wang W., Zhang W., Wang X., Lei Ch., Zhang F., Yang Q., Zhu F. Tracing heavy metals in ‘swine manure - maggot - chicken’ production chain // Scientific Reports. 2017. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07317-2>

59. Wang X., Lyu T., Dong R., Liu H., Wu S. Dynamic evolution of humic acids during anaerobic digestion: Exploring an effective auxiliary agent for heavy

Підп. і дста
Інв. № дубл.
Взам. інв.
Підп. і дста
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дст

OC 23320348

metal remediation // Bioresource Technology. 2021. Vol. 320(A). URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124331>

60. Wang Y., Xi B., Li Y., Dang Q., Zhang C., Zhao X. Insight into the fate of metal ions in response to the refined classification and transformation order of dissolved organic matter components during municipal solid waste composting // Environmental Research. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115468>

61. Watson C., Schlösser C., Vögerl J., Wichern F. Hydrochar, digestate, and process water impacts on a soil's microbial community, processes, and metal bioavailability // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85, № 3. P. 717–731. URL: <https://doi.org/10.1002/saj2.20239>

62. Wu Y., Ji H., Li C., Hou Z., Huang C., Chen L., Wang Y., Fu C., Zhang D., Wu Z., Qiu Y. Molecular size-dependent compositions and lead (II) binding behaviors of two origins of organic fertilizers-derived dissolved organic matter // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114959>

63. Xu H., Yan M., Li W., Jiang H., Guo L. Dissolved organic matter binding with Pb (II) as characterized by differential spectra and 2D UV-FTIR heterospectral correlation analysis // Water Research. 2018. Vol. 144. P. 435–443. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.062>

64. Yu G. H., Wu M. J., Wei G. R., Luo Y. H., Ran W., Wang B. R., Zhang J. C., Shen Q. R. Binding of organic ligands with Al (III) in dissolved organic matter from soil: implications for soil organic carbon storage // Environmental Science and Technology. 2012. Vol. 46, № 11. P. 6102–6109. URL: <https://doi.org/10.1021/es3002212>

65. Zhao L., Zhang Q., Li X., Ye J. Adsorption of Cu (II) by phosphogypsum modified with sodium dodecyl benzene sulfonate // Journal of Hazardous Materials. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121808>

66. Zhou H., Chen Y., Yue X., Ren D., Liu Y., Yang K. Identification and hazard analysis of heavy metal sources in agricultural soils in ancient mining areas: A

Підп. і дста
Інв. № дубл.
Взам. інв.
Підп. і дста
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дат
-----	-----	------------	-------	-----

OC 23320348

Арк
75

quantitative method based on the receptor model and risk assessment // Journal of Hazardous Materials. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130528>

67. Zhu Y., An Y., Li X., Cheng L., Lv S. Geochemical characteristics and health risks of heavy metals in agricultural soils and crops from a coal mining area in Anhui province, China // Environmental Research. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117670>.

68. Екологія сталого розвитку урбосистем: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 2024 р. / Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. Харків, 2024. URL: https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy_conferenciy/Zbirnik_Ekol_stalij_rozv_urbosistem_2024.pdf.

69. Parra-Orobio BA, Rotavisky-Sinisterra MP, Pérez-Vidal A. та ін. Фізико-хімічна, мікробіологічна характеристика та фітотоксичність дигестатів, отриманих при одностадійному та двостадійному анаеробному зброджуванні харчових відходів // Sustain Environ Res. 2021. Вип. 31, № 11. URL: <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00085-9>

70. Ronga D., Setti L., Salvarani C., De Leo R., Bedin E., Pulvirenti A., Milc J., Pecchioni N., Francia E. Effects of solid and liquid digestate for hydroponic baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 244. P. 172–181. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.037>

71. Da Ros, C., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D. Digestate management for crop production: Current state and future perspectives. Manuscript post print. 2017. Retrieved from: <https://iris.unive.it/retrieve/e4239ddc-930e-7180-e053-3705fe0a3322/Manuscript%20post%20print%20Da%20Ros%20et%20al%202017.pdf>

72. Da Ros, C., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D. Managing Digestate for Crop Cultivation: Current Status and Future Perspectives [Електронний ресурс] // Agronomy. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 626. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/3/626>

Підп. і дста
Інв.№ДУБЛ.
ВЗРОМ.ІНВ.
Підп. і дста
Інв.№ПОДЛ.

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

OC 23320348

73. Ming-Chieh Chang, Jeng-Fung Chen, Yung-Hsiang Lin, Chia-Yu Yang. Fuzzy Logic-Based Approach for Predicting the Optimal Design of UAV Trajectories in Uncertain Environments / Ming-Chieh Chang, Jeng-Fung Chen, Yung-Hsiang Lin, Chia-Yu Yang. // Electronics. — 2025. — Т. 14, № 5. — С. 1917. — DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14051917>

ІНВ.№ПОДЛ.	Піап. і дста	Взосм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Піап. і дста

Вип	Арк	№ докum.	Піап.	Дат

OC 23320348

Арк
77