

РОЛЬ МУЛОВИХ МАС СТИЧНИХ ВОД У РОЗШИРЕННІ АСОРТИМЕНТУ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

В. І. Дубовий

доктор сільськогосподарських наук, професор

Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)

e-mail: vidubovy@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>**О. О. Буда**

кандидат сільськогосподарських наук

Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)

e-mail: olegkrivbas@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>**І. В. Холоденко**

аспірант

Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)

e-mail: khodenkoivan@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>**О. В. Ляшинська**

аспірантка

Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)

e-mail: 0977604549@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3322-0873>

У статті розглянуто перспективи та технології використання мулових мас стічних вод (далі — ММСВ) у сільському господарстві, а також екологічні та економічні аспекти їх утилізації. Висвітлено потенційні ризики, пов'язані з наявністю важких металів, стійких органічних забруднювачів і патогенних мікроорганізмів, що можуть становити загрозу для довкілля та здоров'я людини. Наведено аналіз сучасних підходів до переробки та утилізації ММСВ, що дозволяють знизити екологічне навантаження на довкілля. Здійснено огляд актуальних нормативно-правових актів щодо регулювання використання мулових мас в Україні та країнах світу. За результатами дослідження підкреслено доцільність науково обґрунтованого застосування ММСВ як економічно вигідного та екологічно прийняттого ресурсу в системі стійкого сільського господарства. Проведено агрохімічний аналіз ММСВ у картах-відстійниках і буртах. Показано, що вміст важких металів не перевищує ГДК. Відзначається важливість використання ММСВ під час вирощування зернових (пшениці та ячменю), зернобобових (сої), круп'яних (гречки) і технічних (соняшнику, кукурудзи на зерно) культур, що й передбачено нашими дослідженнями.

Ключові слова: ґрунт, важкі метали, мулові маси стічних вод, органічне землеробство, органічні добрива, сільське господарство.

.....

ВСТУП

ММСВ є важливим ресурсом, що може бути використаний у різних галузях господарства, зокрема в сільському господарстві, біоенергетиці та екологічних технологіях. Оскільки процес їх утворення супроводжується значними обсягами відходів, актуальним стає питання ефективної утилізації ММСВ.

У сучасних умовах чільне місце серед ефективних методів утилізації відходів, що дозволяють зменшити залежність від мінеральних добрив, відведено ММСВ як альтернативі орґано-мінеральним добривам. Цей підхід не лише сприяє зменшенню обсягів відходів, але й дозволяє повернути цінні поживні речовини

в ґрунт, підтримуючи його структуру та родючість [1; 2].

Використання ММСВ як добрив має значний потенціал у контексті стійкого сільського господарства, відповідає концепції *circular esopotu* та, як наслідок, сприяє зменшенню використання невідновлюваних ресурсів. Водночас для підвищення безпеки та ефективності використання ММСВ необхідно вирішити завдання щодо зменшення ризиків для здоров'я людини та довкілля. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розроблення методів ефективного застосування ММСВ під час вирощування зернових і технічних культур, вивчення їхньої продуктивності та якості зерна,

встановлення нормативних вимог і моніторинг впливу на екосистеми.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останні наукові дослідження показують як переваги, так і ризики, пов'язані з використанням ММСВ у сільському господарстві [3; 4].

ММСВ містять велику кількість макро- та мікроелементів, таких як N, P, K, Zn та Cu, а також органічну складову, що робить їх перспективним добривом [5]. Проте, поряд із цими важливими компонентами, вони можуть мати в складі також важкі метали (Pb, Cd, Ni), патогенні мікроорганізми, залишки лікарських засобів і стійкі органічні забруднювачі типу PFAS (синтетичні фторорганічні сполуки) [2; 6–8].

Незважаючи на можливі переваги, існують ризики, пов'язані з безпекою використання ММСВ у сільському господарстві. Зокрема, накопичення важких металів у ґрунті може призвести до їх потрапляння в харчові ланцюги, а потенційна присутність патогенних мікроорганізмів і стійких забруднювачів — до негативних наслідків для екосистем і здоров'я людини [9].

Дослідження показують, що застосування ММСВ може призводити до накопичення важких металів у ґрунті та рослинах, що становить загрозу для здоров'я людини [3].

Так, у дослідженнях Н. Kominko, К. Gorazda та З. Wzorek показано вплив добрив на основі мулових мас стічних вод на приріст біомаси та накопичення важких металів у рослинах. Результати свідчать про підвищення врожайності ріпаку, кукурудзи та соняшнику внаслідок застосування таких добрив, однак виявлено потенційне підвищення концентрацій Cd, Ni та Pb у біомасі залежно від дози внесення.

ММСВ можуть містити PFAS (перфторалкільні і поліфторалкільні речовини) й інші стійкі органічні сполуки, які не розкладаються в навколишньому середовищі та можуть накопичуватися в харчовому ланцюгу.

У 2025 році Агентство з охорони навколишнього середовища США (англ. *Environmental Protection Agency, EPA*) оприлюднило проєкт оцінки ризиків, пов'язаних із наявністю PFAS у мулі стічних вод. У документі зазначено, що ці хімічні речовини можуть спричиняти серйозні захворювання, зокрема рак, порушення роботи імунної системи та проблеми з розвитком у дітей. EPA рекомендує штатам проводити моніторинг біосолідів для виявлення PFAS і впроваджувати заходи з попередньої обробки промислових стоків [6].

Дослідження, проведене в Канаді, виявило наявність 80 сполук PFAS у мулі стічних вод, біосолідах, компостах і хімічних добривах. Це свідчить про широке поширення цих забруднювачів у різних типах добрив, що застосовуються в сільському господарстві [10].

Застосування ММСВ, що містять PFAS, на сільськогосподарських угіддях може призвести до перенесення цих речовин у вирощувані культури. Дослідження показують, що деякі рослини здатні поглинати PFAS через кореневу систему, що може призвести до їх накопичення в їстівних частинах рослин [4].

Згідно з дослідженням [7], очисні споруди, які використовують анаеробне зброджування, мають тенденцію до накопичення вищих концентрацій поліциклічних ароматичних вуглеводнів і поліхлорованих біфенілів у мулі. Ці сполуки є стійкими органічними забруднювачами, що можуть негативно впливати на здоров'я людини та екосистеми.

У статті [11] розглядаються можливості використання осадів стічних вод у сільському господарстві як добрив. Автор аналізує агрохімічні характеристики осадів, потенційні ризики для довкілля та здоров'я людей, а також надає пропозиції щодо вдосконалення системи контролю за їх використанням. Зроблено висновки про доцільність застосування осадів за умови попереднього очищення та дотримання екологічних нормативів.

У [12] встановлено нормативно-правові вимоги до повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод, зокрема в сільському господарстві. Визначено критерії безпеки та гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин для забезпечення екологічної безпеки під час їх застосування.

У статті [1] досліджено вплив застосування мулових добрив на фізико-хімічні властивості чорноземів. Результати показали, що внесення мулу сприяє підвищенню вмісту гумусу та покращенню структури ґрунту. Однак автори наголошують на необхідності контролю за вмістом важких металів у мулі, щоб запобігти можливому забрудненню ґрунтів і негативному впливу на рослини.

У звіті EFSA (англ. *European Food Safety Authority*) за 2024 рік розглядаються ризики, пов'язані з наявністю пер- та поліфторалкільних речовин (PFAS) у навколишньому середовищі, зокрема в мулі стічних вод. Зазначено, що PFAS є стійкими забруднювачами, які можуть накопичуватися в харчовому ланцюгу, спричиняючи потенційні загрози для здоров'я людини. EFSA підкреслює необхідність обмеження вмісту таких речовин у добривах і впровадження заходів

контролю для мінімізації їхнього впливу на довкілля та здоров'я населення [2].

У роботі [13] досліджено можливості виробництва органомінеральних добрив на основі осади стічних вод у Польщі. Автори аналізують вміст поживних речовин, важких металів і фітотоксичність таких добрив для вирощування ріпаку. Результати показують, що за умов дотримання нормативів щодо вмісту важких металів, такі добрива можуть бути ефективним і безпечним джерелом поживних речовин для сільського господарства, відповідаючи вимогам ЄС.

У статті [14] досліджено вплив біовугілля, отриманого з мулу стічних вод, на адсорбцію та біодоступність важких металів у ґрунтах. Автори показали, що додавання такого біовугілля суттєво зменшує рухомість токсичних металів, покращуючи екологічну безпеку використання мулових продуктів у сільському господарстві. Результати свідчать про ефективність цього підходу для ремедіації забруднених ґрунтів і його потенційне застосування як безпечного компонента органомінеральних добрив.

У дослідженні [8] представлено огляд сучасних методів перетворення мулу стічних вод на добрива з акцентом на відновлення поживних речовин (азоту, фосфору) і зниження екологічних ризиків. Описано ефективні технології обробки мулу, що дозволяють зменшити вміст патогенних організмів, органічних забруднювачів і важких металів. Автори підкреслюють важливість збалансованого підходу до утилізації мулу для підвищення його агрономічної цінності та екологічної безпеки.

Автори статті [15] аналізують міжнародні практики утилізації осади стічних вод, такі як компостування, спалювання, виробництво будівельних матеріалів, та оцінюють їхню придатність для впровадження в Україні. Наголошується на необхідності розвитку нормативно-правової бази та інфраструктури для ефективного використання осади у сільському господарстві.

У дослідженнях [16] встановлено, що осади стічних вод мають високий вміст органічної речовини та макроелементів, що робить їх перспективними для використання як добрив за умови контролю за вмістом важких металів.

Саме тому ми поставили за мету дослідити агрохімічні особливості мулових мас стічних вод безпосередньо в картах-відстійниках і буртах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Агрохімічний аналіз як вологого, так і сухого осади було проведено в сертифікованій ла-

бораторії Київської обласної проєктно-наукової станції хімізації сільського господарства. У сухому вигляді осад є розсипчастим, однорідним матеріалом темно-сірого кольору, без запаху, з вмістом органічної речовини від 41 до 45% при слабокислій реакції ($\text{pH}_{\text{сол}}$ 5,3–6,7); $\text{N}_{\text{заг}}$ 0,7–1,5%; P_2O_5 0,9–1,4%; K_2O 0,1–0,2%; гумус 10,2–10,4%. Відбір проб ММСВ на мулових майданчиках каналізаційних очисних споруд здійснювали згідно з загальноприйнятою методикою [17].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Численні дослідження показують негативні наслідки систематичного використання мінеральних добрив. В умовах мінеральної системи живлення рослин відбувається надмірне накопичення у ґрунті мінеральних форм азоту в нітратній формі. Мінеральні добрива часто незбалансовані за поживними речовинами і представлені формами, які розчиняються та засвоюються лише на 40%, тоді як залишок (60%) змивається поверхневими і внутрішніми стоками у Світовий океан або втрачається внаслідок денітрифікації. Значна їхня кількість є продуктами переробки відходів промисловості або низькозбагачених агроруд, які небезпечно впливають на живі організми та природні екосистеми через наявність у них домішок важких металів, радіонуклідів, органічних і неорганічних речовин.

Серед різних типів підприємств хімічної промисловості найбільший інтерес становлять підприємства з виробництва фосфорних і комплексних добрив, у зв'язку зі шкідливістю вихідних продуктів — фосфору, азотної кислоти, апатитів, а також складним комплексом технологічних процесів та утворення токсичних інгредієнтів у процесі їх виробництва — фтору, аміаку, окисів азоту та інших сполук.

Шкода, яку завдають мінеральні добрива під час їх виробництва, для навколишнього середовища є колосальною. Це охоплює викиди шкідливих речовин у повітря та воду, енерго- і ресурсоспоживання, викиди парникових газів тощо.

Слід зазначити, що це виробництво є надзвичайно небезпечним, адже вимагає суворого дотримання технології. Не важко провести аналогію з виробництвом інших видів добрив.

Водночас у процесі життєдіяльності людина виробляє значну кількість каналізаційних відходів, на очищення яких виділяються відповідні енергетичні ресурси. Тобто очищення каналізаційних стоків є життєво необхідною ланкою для існування людства. Очевидно, що такі каналізаційні стоки є специфічними залежно від промислового розвитку регіону, але

в процесі зберігання осаду очисних споруд каналізації його мікробіологічна складова стабілізується.

У зв'язку з цим ми виконали дослідження агрохімічного стану ММСВ. У березні 2024 р. було відібрано зразки ММСВ на мулових майданчиках очисних споруд м. Біла Церква.

Агрохімічний аналіз як вологого, так і сухого осадів був проведений у сертифікованій лабораторії Київської обласної проектно-наукової станції хімізації сільського господарства, а його результати представлені в *табл. 1*.

ММСВ є індивідуальними за своїм хімічним складом. На сьогодні вони нові та досі мало досліджені, що нерідко викликає підозри щодо їх використання.

Таблиця 1

**Агрохімічний аналіз
вологого та сухого осадів**

Показники	Агрофізичний стан мулових мас	
	сухих	вологих
Вологість, %	32,77	67,37
Суха р-на, %	67,23	32,63
Зола, %	58,75	55,0
Органічна речовина, %	41,25	45,0
pH _{сол.}	5,3	6,7
N _{заг.} , %	1,533	0,731
P ₂ O ₅ , %	1,412	0,881
K ₂ O, %	0,227	0,109
Гумус	10,15	10,37

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Таблиця 2

**Вміст важких металів в осаді очисних
споруд міської каналізації, мг/кг**

Показники	Сухий осад	ГДК
Кадмій (Cd)	0,02	1,5
Свинець (Pb)	0,066	32
Цинк (Zn)	11,359	23
Мідь (Cu)	2,883	3,0
Кобальт (Co)	0,218	5,0

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Органічні сполуки, макро- і мікроелементи, високий вміст фосфору та реакція, наближена до нейтральної, характеризують ММСВ як відповідні добрива.

Вміст важких металів у ММСВ представлений у *табл. 2*, з якої видно, що вони не перевищують показники ГДК.

Слід зазначити, що органічні сполуки, високий вміст фосфору, загального азоту, калію та реакція, наближена до нейтральної, свідчать про високу поживну цінність цих добрив з агрономічної точки зору.

Під час очищення стічних вод каналізації осади піддаються знешкодженню, знезараженню, обезводненню та сушці. Вміст гумусу в сухому осаді становив 10,15%, тоді як у вологому — 10,37%. Підсушування ММСВ незначно вплинуло на зміну цього показника.

Мінеральна частина осадів переважно представлена сполуками азоту, фосфору та калію.

Нагромадження калію в ґрунті не відбувається, оскільки в осадах цього елемента недостатньо. Вміст великої кількості органічних речовин (41,25–45,0%) дозволяє використовувати осади для рекультивації ґрунтів, у яких втрачено верхній родючий шар, що є особливо важливим для відновлення його природної родючості.

Вміст загального азоту становить 0,7–1,5%; загального фосфору — 0,9–1,4%; загального калію — 0,1–0,2%. У процесі зневоднення спостерігається зменшення валового азоту на 0,8%. Зафіксовано також зниження вмісту фосфору, який зменшився на 0,5%, а калію — на 0,1% у сухому осаді. Загалом вміст загальних форм поживних елементів у сухому осаді свідчить про його високу поживну цінність.

Отже, на підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що ММСВ можна віднести до одного з видів орґано-мінеральних добрив, що є альтернативою як органічним, так і мінеральним добривам. Виробництво останніх, як відомо, супроводжується значними витратами хімічно небезпечних речовин, що суттєво погіршують екологічний стан території їх виробництва та регіону загалом.

Звісно, кожен вид осаду стічних вод каналізації необхідно використовувати лише після об'єктивної агроекологічної оцінки. Надходження виробничих стоків на очисні станції міст призводить до наявності в осадах низки мікроелементів, таких як бор, кобальт, марганець, мідь, молібден і цинк. Особливі вимоги стосуються вмісту важких металів в осаді стічних вод, оскільки цей санітарно-хімічний чинник може стати на заваді використанню осаду як добрива.

ВИСНОВКИ

Наведено аналіз сучасних підходів до переробки та утилізації ММСВ, а також показано шляхи зниження екологічного навантаження на довкілля. Проведено агрохімічний аналіз ММСВ в картах-відстійниках (вологий осад) і буртах (сухий осад).

Показано, що мулові маси стічних вод є важливим ресурсом, який може бути використаний у сільському господарстві як орґано-мінеральне добриво.

Вміст порівняно великої кількості органічних речовин (41,25–45,0%) дозволяє рекомендувати мулові маси також для рекультиватії ґрунтів, у яких втрачено верхній родючий шар, що є особливо важливим для відновлення їхньої природної родючості.

Наголошується на доцільності науково обґрунтованого застосування ММСВ як економічно вигідного та екологічно прийняттого ресурсу в системі стійкого сільського господарства.

Отже, можна припустити, що очисні споруди населених пунктів виконують не тільки функцію позбавлення стічних вод від небажаних речовин, а й можуть бути підприємствами з виробництва орґано-мінеральних добрив.

Зазначається важливість використання ММСВ при вирощуванні зернових (пшениці, ячменю), зернобобових (сої), круп'яних (гречки) і технічних (соняшнику, кукурудзи на зерно) культур, що також передбачено нашими дослідженнями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Савенко І. М., Шевченко Л. П. Вплив мулових добрив на фізико-хімічні показники чорноземів. *Агро-екологічний журнал*. 2020. № 3. С. 45–50.
2. European Food Safety Authority (EFSA). Emerging risks and horizon scanning report 2024. *EFSA Supporting Publications*. 2025. EN-9475. 32 p.
3. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114417>
4. PFAS in agriculture: How sewage sludge contaminates crops. *Envirotech Online*. URL: <https://www.envirotech-online.com/news/pfas-analysis/105/international-environmental-technology/how-sewage-sludge-in-us-agriculture-contaminates-crops-with-pfas/63323> (дата звернення: 01.04.2025).
5. Manca G., Manca S., Sanna G. et al. Systematic Review and Meta-Analysis of the Sustainable Impact of Sewage Sludge Application on Soil Organic Matter and Nutrient Content. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, no. 22. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16229865>
6. U.S. Environmental Protection Agency. Biosolids and per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). URL: <https://www.epa.gov/biosolids/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-sewage-sludge> (дата звернення: 01.04.2025).
7. Guo X., Wang Y., Liu H., Zhang J. Occurrence and fate of persistent organic pollutants in sewage sludge: A review. *Environmental Pollution*. 2023. Vol. 326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121564>
8. Gusiati Z. M., Klimiuk P. Transformation of sewage sludge into fertilizers: nutrient recovery and risk mitigation. *Waste and Biomass Valorization*. 2021. Vol. 12. P. 789–804. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00993-w>
9. Farsang A., Babcsányi I., Ladányi Z. et al. Evaluating the effects of sewage sludge compost applications on the microbial activity, the nutrient and heavy metal content of a Chernozem soil in a field survey. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020. Vol. 13, no. 19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06005-2>
10. McCarthy S. A., Mallavarapu M., Naidu R. Distribution and risk assessment of PFAS in biosolids, composts and fertilizers. *Chemosphere*. 2024. Vol. 349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141021>
11. Березовська Н. В. Перспективи застосування осадів стічних вод у сільському господарстві. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 2. С. 58–64.
12. Про затвердження Порядку повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин: Наказ Міністерства регіонального розвитку і будівництва від 12.12.2018 р. № 341. *Офіційний вісник України*. 2018. № 102. С. 114.
13. Malinowska E., Jarosz-Krzemińska K. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 1413–1421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.067>
14. Li R., Wang Z., Sun Y. Effects of sewage sludge-derived biochar on heavy metal adsorption and bioavailability. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29, no. 2. P. 2314–2326. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15765-9>
15. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 2. С. 82–87.
16. Дишлюк В. Є., Пиляк Н. В., Лобан Л. Л. Агроекологічна характеристика та оцінка придатності осадів стічних вод очисних споруд м. Одеси для використання в сільському господарстві. *Біологія та сільське господарство*. 2020. № 2. С. 45–51.
17. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний від 2005-07-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.

THE ROLE OF SEWAGE SLUDGE MASSES IN EXPANDING THE RANGE OF ORGANO-MINERAL FERTILIZERS

Dubovyi V.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: vidubovy@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>

Budak O.

Candidate of Agricultural Sciences

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: olegkrivbas@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>

Kholodenko I.

Postgraduate student

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: khodenkoivan@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>

Liashynska O.

Postgraduate student

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: 0977604549@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3322-0873>

The article examines the prospects and technologies for the use of sewage sludge masses (SSM) in agriculture, as well as the environmental and economic aspects of their utilization. It highlights potential risks associated with the presence of heavy metals and pathogenic microorganisms, which may pose threats to the environment and human health. The paper provides an analysis of current approaches to the processing and utilization of sewage sludge, aimed at reducing environmental impact. A review of current regulatory frameworks governing the use of sewage sludge in Ukraine and other countries is presented. Based on the research findings, the paper emphasizes the feasibility of scientifically justified application of SSM as an economically viable and environmentally acceptable resource in sustainable agriculture systems. An agrochemical analysis of SSM from sedimentation maps (wet) and dry storage (heaps) was conducted. It was shown that the concentration of heavy metals does not exceed maximum permissible limits. The importance of using SSM in the cultivation of cereal crops (wheat and barley), legumes (soybean), pseudocereals (buckwheat), and industrial crops (sunflower, corn for grain) is noted, which corresponds with the focus of our research.

Keywords: soil, heavy metals, sewage sludge, organic farming, organic fertilizers, PFAS, agriculture.

REFERENCES

1. Savenko, I. M., & Shevchenko, L. P. (2020). Influence of sludge fertilizers on physicochemical properties of chernozems. *Agroecological Journal*, 3, 45–50.
2. European Food Safety Authority. (2025). Emerging risks and horizon scanning report 2024. *EFSA Supporting Publications*.
3. Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2022). Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *Journal of Environmental Management*, 305, 114417. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114417
4. Envirotech Online. (n.d.). *PFAS in agriculture: How sewage sludge contaminates crops*. Retrieved from <https://www.envirotech-online.com/news/pfas-analysis/105/international-environmental-technology/how-sewage-sludge-in-us-agriculture-contaminates-crops-with-pfas/63323>
5. Manca, G., Manca, S., Sanna, G., Manca, P., & Manca, A. (2024). A systematic review and meta-analysis of the sustainable impact of sewage sludge application on soil organic matter and nutrient content. *Sustainability*, 16(22), 9865. doi: 10.3390/su16229865
6. U.S. Environmental Protection Agency. (2025). *Biosolids and per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)*. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-sewage-sludge>
7. Guo, X., Wang, Y., Liu, H., & Zhang, J. (2023). Occurrence and fate of persistent organic pollutants in sewage sludge: A review. *Environmental Pollution*, 326, 121564. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121564
8. Gusiatin, Z. M., & Klimiuk, P. (2021). Transformation of sewage sludge into fertilizers: Nutrient recovery and risk mitigation. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 789–804. doi: 10.1007/s12649-020-00993-w
9. Farsang, A., Babcsányi, I., Ladányi, Z., Perei, K., Bodor, A., Csányi, K., & Barta, K. (2020). Evaluating the effects of sewage sludge compost applications on microbial activity, nutrient and heavy metal content of a Chernozem soil in a field survey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 987. doi: 10.1007/s12517-020-06005-2
10. McCarthy, S. A., Mallavarapu, M., & Naidu, R. (2024). Distribution and risk assessment of PFAS in biosolids, composts and fertilizers. *Chemosphere*, 349, 141021. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.141021
11. Berezovska, N. V. (2021). Prospects for the use of sewage sludge in agriculture. *Agroecological Journal*, 2, 58–64.
12. Order of the Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine No. 341 “On approval of the proce-

- ture for reuse of treated wastewater and sewage sludge under compliance with maximum allowable concentrations of pollutants". (2018, December). *Official Bulletin of Ukraine*, 102, 114.
13. Malinowska, E., & Jarosz-Krzemińska, K. (2019). Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. *Science of The Total Environment*, 660, 1413–1421. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.067
 14. Li, R., Wang, Z., & Sun, Y. (2022). Effects of sewage sludge-derived biochar on heavy metal adsorption and bio-availability. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 2314–2326. doi: 10.1007/s11356-021-15765-9
 15. Shkvirko, O. M., Tymchuk, I. S., & Malovanyi, M. S. (2019). Adaptation of global experience in sewage sludge disposal to environmental conditions of Ukraine. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 29(2), 82–87.
 16. Dyshliuk, V. Ye., Pilyak, N. V., & Loban, L. L. (2020). Agroecological characteristics and suitability assessment of sewage sludge from Odesa treatment facilities for agricultural use. *Biology and Agriculture*, 2, 45–51.
 17. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2005). Soil quality. Sampling (DSTU 4287:2004). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ДУБОВИЙ Володимир Іванович — доктор сільськогосподарських наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: vidubovy@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>).

БУДАК Олег Олегович — кандидат сільськогосподарських наук, асистент, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: olegkrivbas@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>).

ХОЛОДЕНКО Іван Володимирович — аспірант, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: khodenkoivan@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>).

ЛЯШИНСЬКА Олена Володимирівна — аспірантка, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: 0977604549@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3322-0873>).

Новини

Новини

Новини • Новини • Новини

За даними дослідження Ініціативи з обліку викидів парникових газів від війни росії, у 2024 році кліматичний слід збройного конфлікту в Україні зріс на 30%, досягнувши 230 млн тонн CO₂-еквіваленту з початку повномасштабного вторгнення. Як зазначила **Світлана Краковська** з Українського гідрометеорологічного інституту під час сесії МГЕЗК у Ханчжоу, фінансова відповідальність рф за ці викиди, розрахована за соціальною ціною вуглецю (\$185/т), перевищує \$42 млрд. Міндовкілля України акцентує, що світова спільнота має усвідомити нерозривний зв'язок між кліматичною безпекою та миротворенням, що вимагає консолідованих міжнародних дій.