

ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДІГЕСТАТІ З ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ПТАХІВНИЦТВА

Ю.В. Подоба, В.О. Пінчук, О.В. Тертична, О.І. Мінералов, В.І. Дешко

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: 2375797@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1000-7946

e-mail: pinchuk_yo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

e-mail: mineralovo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6384-1080

e-mail: deshko_v@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0219-9311

Визначено вміст важких та інших металів, які мають санітарний статус «шкідливих речовин» у різних національних та європейських стандартах і настановах якості, у побічній продукції птахівництва й продуктів її перероблення — дігестаті з біогазової установки. Обґрунтовано доцільність аналізу хімічного складу органічної сировини за різними етапами технологічного процесу для отримання якісного органічного добрива на основі дігестату з біогазових станцій. Проведено гранулювання твердої фракції дігестату для отримання гранульованого органічного добрива, що дало змогу вдосконалити процес переробки побічних продуктів тваринного походження. Маса гранульованого сухого продукту становить 23,1% від маси нативного дігестату з біогазової станції. Лабораторним аналізом гранульованого дігестату визначено відповідність санітарним нормам щодо органічних добрив, дозволених для застосування у класичному і органічному землеробстві. Встановлено, що відповідно до ДСТУ 4944:2008 масова частка важких металів кадмію, свинцю і кобальту у 285, 342 і 1795 разів відповідно менша за допустиму концентрацію для агрохімікатів в Україні, а міді і цинку — менша у 17 та 19 разів. За міжнародними нормами фактична концентрація кадмію, свинцю та міді менша у 14, 205 і 13 разів за гранично допустимі рівні. Фактичний вміст у % від допустимого значення токсикологічних показників органічної суміші, яку згідно з ДСТУ 7527:2014 дозволено використовувати як добриво у сільському та лісному господарствах, у зелену будівництві та для рекультивації земель, становить: залізо — 4,7%, кадмій — 0,5%, кобальт — 0,4%, марганець — 6,9%, мідь — 3,1%, свинець — 0,2%.

Ключові слова: органічні добрива, пташиний послід, дігестат, побічні продукти птахівництва, ґрунт, Регламент (ЄС) 2019/1009, гранично допустима концентрація.

ВСТУП

Розглядаючи вплив галузі тваринництва на навколишнє природне середовище, необхідно констатувати, що сільськогосподарські підприємства з утримання тварин щороку мають значні обсяги побічних продуктів виробництва.

Практика поводження з побічними продуктами тваринництва переважно базується на внесенні їх у ґрунт після компостування. Однак останнім часом фермери активно вкладали кошти в будівництво комплексів для отримання біогазу з побічних продуктів агровиробництва. Водночас, проблема поводження з побічними продук-

тами не втратила актуальності і перейшла на інший рівень — розробка технологій утилізації або поводження з побічними продуктами біогазових станцій. Дігестат, що утворюється після анаеробного зброджування органічної речовини, є продуктом мікробіологічної трансформації гною і придатний до внесення у ґрунт як органічне добриво за умови його відповідності санітарно-гігієнічним вимогам, зокрема до мікробіологічного складу та вмісту важких металів.

Тому метою досліджень є аналіз вмісту важких металів та інших шкідливих речовин у дігестаті з пташиного посліду згідно з міжнародними і українськими санітарно-гігієнічними нормами, а також обґрунту-

вання граничних санітарно допустимих доз внесення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно з останніми законодавчими ініціативами [1], вимоги щодо проведення державної реєстрації пестицидів та агрохімікатів не поширюються на дігестат, що утворюється в біогазових установках і використовується як органічне добриво чи покращувач ґрунту. Також цей закон містить визначення поняття дігестату, яке вважаємо за необхідне повністю процитувати із тексту закону [1]: «дігестат, що утворюється в біогазових установках, — залишки сировини, побічних продуктів та відходів тваринного або рослинного походження, в суміші або ні, що утворюються в результаті контрольованого процесу анаеробного зброджування з виділенням біогазу, що відповідає вимогам, встановленим Регламентом (ЄС) 2019/1009 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 р. про встановлення правил розміщення на ринку добрив ЄС». Щодо згаданого вище Регламенту ЄС [2], на який посилається закон [1] як до настанови з якості дігестату, то цей Регламент встановлює вимоги до якості органічних добрив, як до товару, з метою їх комерсyalізації та торгівлі у межах ЄС. Однак у Регламенті (ЄС) 2019/1009 не виділено переліку важких металів та норми окремо для дігестатів, а у загальних розділах про органічні добрива і покращувачі ґрунту нормується вміст таких забруднювачів: кадмій — 1,5 мг/кг (2 мг/кг для покращувачів ґрунту), шестивалентний хром — 2, ртуть — 1, нікель — 50, свинець — 120, неорганічний арсеній — 40 мг/кг [2].

Міжнародна практика використання продуктів біогазових станцій після анаеробного зброджування як органічного добрива або покращувача ґрунту переважно спрямована на внутрішнє споживання для власних потреб, і є аналогічною класичним компостам, що не передбачає обов'язкові дослідження якості та сертифікацію, якщо власник вносить дігестат на поля в межах свого господарства [3]. Од-

нак, низка настанов якості ЄС щодо органічних добрив містять норми добровільної сертифікації, де регламентуються бажані показники механічного, мікробіологічного і хімічного складу. Також, у багатьох країнах світу на основі цих регламентів ISO, розробляються державні настанови з якості органічних добрив із дігестатів біогазових комплексів [4; 5]. Наразі, все зводиться до того, що тільки дігестат високої якості може бути сертифікований як органічне добриво [6; 7].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хімічний аналіз перепелиного посліду і рідкого дігестату проведено у Житомирській філії ДУ «Держґрунтохорона», твердої фракції — в Українській лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Визначення масової частки загальної магнію (Mg), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd), кобальту (Co), кальцію (Ca), марганцю (Mn), цинку (Zn) та заліза (Fe) згідно з РМ.УЛ.5.4–90 «Визначення вмісту масової частки Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K, Na та Zn в органічних та мінеральних добривах методом атомно-абсорбційної спектроскопії».

Визначення масової частки алюмінію (Al), натрію (N), стронцію (Sr), нікелю (Ni) і хрому (Cr) згідно з РМ.УЛ.5.4–100 «Визначення вмісту елементів (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zr, Be, Mo, Se, Ti, V, AS, Hg, S, P) методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою».

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Одним із субстратів для отримання органічних добрив є продукти анаеробного мікробіологічного перетворення органічної речовини пташиного посліду, що відбувається у біогазових установках. Внаслідок метанового бродиння пташиного посліду утворюється рідкий суспендований

продукт (дігестат), склад якого характеризується набутими завдяки діяльності анаеробних мікроорганізмів новими хімічними особливостями.

У міжнародних настановах і регламентах, як основні санітарно-гігієнічні показники щодо дігестатів біогазових комплексів для їх використання як органічних добрив, виділяють мікробіологічні показники і вміст хімічних елементів, які прийнято називати важкими металами. Серед інших показників якості дігестату також встановлюються норми до механічного забруднення (подрібнений пластик, скло, метал — до 3 г/кг мікроскопічних частинок розміром понад 2 мм, загальний вміст з іншими твердими включеннями — до 5 г/кг), наявності насіння бур'янів (до 2-х схожих насінин на 1 л (або 1 кг) дігестату), та до наявності органічних забруднювачів. У зв'язку із високою вартістю лабораторного аналізу органічних забруднювачів, контроль якості дігестату на практиці зводиться до контролю походження та якості сировини. Насіння ж бур'янів упродовж 7 діб переважно втрачають схожість за термічних умов мезофільного процесу під час отримання біогазу [7].

Термін «важкі метали», який пов'язують зі шкідливим впливом хімічних елементів на довкілля і живих організмів [8], використовується для характеристики безпеки окремих сполук цих елементів [9].

В екології цей термін асоціюється з забруднювачами на основі сполук таких елементів періодичної таблиці, як ртуть (Hg), свинець, кадмій, нікель, хром, кобальт, мідь, цинк, миш'як (As), фтор (F), селен (Se) та ін. Використання терміна «важкі метали» раніше пов'язували із виявленням шкідливих впливів на довкілля, які спричиняють метали: кадмій, ртуть і свинець, які є важкими за залізо за атомною масою та за густиною [9]. Однак, згодом термін «важкі метали» став змістовнішим як за кількістю хімічних елементів, так і за тлумаченням. Наразі деякі елементи, які об'єднуються в загальну назву «важкі метали», навіть не є металами, наприклад F і Se, а Cr є легшим Fe і не може назива-

тися важким за фізичними властивостями атому [10]. Такі метали, як Zn, Cu і Cr належать до «важких металів» з ярликом «шкідливих або забруднюючих», проте з точки зору агрономії є мікроелементами живлення рослин. Pb, Cd, Ni і Hg не беруть участі у фізіологічних процесах живлення рослин, але мають здатність до поглинання їх рослинами і накопичення у вегетативних та генеративних органах [6].

З точки зору аграрного виробництва, якщо розглядати ґрунт як субстрат для вирощування сільськогосподарських рослин, основну увагу щодо безпеки окремих хімічних елементів в органічних добривах доцільно акцентувати на тих елементах, що не беруть участі у живленні рослин і не є хімічними агентами, що впливають на фізіологічні процеси рослин. Оскільки переважна більшість важких металів є мікроелементами у живленні рослин, вони потрапляють із ґрунту до складу зерна — далі у корми, гній і дігестат, то виникає питання про доцільність контролю таких важких металів за умови внесення дігестату назад у ґрунт як органічного добрива. Схоже, що такий підхід реалізовано у Регламенті (ЄС) 2019/1009, де обмеження щодо вмісту важких металів стосуються лише Cd, шестивалентного Cr, Hg, Ni, Pb і неорганічного As [2].

Санітарні норми щодо допустимого рівня надходження шкідливої речовини у ґрунт з агрохімікатами, в т. ч. і органічними добривами, у міжнародних і українських настановах якості [2; 11] рекомендовано мінімум 5 (для ЄС) або 7 (для України) чинних показників вмісту хімічних елементів, значення яких наведені у *табл. 1*. В українських нормативах якості органічних добрив, на відміну від європейських, перелік елементів, які підлягають контролю, містить F і Co, проте відсутні Hg, Cr і As.

Методика розрахунків у ДСТУ 4944: 2008 вказує на те, що допустимі концентрації металів в агрохімікатах мають корегуватися залежно від фонових та гранично допустимих концентрацій (ГДК) у ґрунті, що залежить від стійкості ґрунту до за-

Таблиця 1. Обмеження щодо вмісту важких металів у речовинах, що вносяться у ґрунт, мг/кг

Назва важкого металу	Національні стандарти різних країн ЄС [12]	Бажані норми по ЄС з 2025 р., не більше [12]	Обмеження в Україні [11] залежно від дози внесення добрив у ґрунт**		Обмеження в ЄС для комерційного використання [2]***
			3 т/га	1 т/га	
Cd	1–20	2	40	120	1,5
Pb	80–750	300	500	1700	120
Hg	0,6–16	3	н/р*	н/р*	1
Ni	30–300	100	1400	4700	50
Zn	200–3000	1500	7000	25000	н/р*
Cu	75–1000	600	800	2900	н/р*
Cr	75–1000	600	н/р*	н/р*	н/р*
Co	н/р*	н/р*	700	2100	н/р*
F	н/р*	н/р*	3000	9000	н/р*
As	н/р*	н/р*	н/р*	н/р*	40

Примітка: * н/р – не регламентується у настановах якості; ** під обмеження підпадають агрохімікати, що сертифікуються для внесення у ґрунт; *** під обмеження підпадають добрива, що сертифікуються для продажу на ринку ЄС.

бруднення за ґрунтово-кліматичними зонами (Полісся, Лісостеп, Степ). У розрахунках допустимих концентрацій важких металів в агрохімікатах стійкість ґрунту до забруднення відображається коефіцієнтом, який для різних металів і різних ґрунтово-кліматичних зон може приймати значення від 0,11 до 0,83. До того ж, разове надходження шкідливої речовини у ґрунт з агрохімікатом має бути в 10 разів менше за гранично допустимий рівень.

Перелік нормованих показників та їх допустиме значення також може варіювати у галузевих настановах якості залежно від виду органічних добрив, вихідної сировини, напряму використання добрив, дози внесення [2; 7; 12; 13]. Зокрема, у ДСТУ 7527:2014 [13], який стосується безпосередньо біологічного перероблення пташиного посліду, перелік показників розширений до 11 металів і додатково до перелічених (у ДСТУ 4944:2008) містить Fe, Co, марганець (Mn), Pb, стронцій (Sr), Cr трьохвалентний, проте відсутній F.

Польовими дослідженнями із внесенням дігестату як органічного добрива встановлено мінімальні зміни концентрації важких металів у ґрунті навіть за високих доз [14]. Однак наголошено [12], що використання дігестату в органічному зем-

леробстві за фонового вмісту цих важких металів у ґрунті, наближеного до ГДК, необхідно обмежувати. Для ЄС фонові ГДК Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu, і Cr становлять: 1 мг/кг, 50, 30, 150, 50 і 100 мг/кг ґрунту. Українські норми ГДК для шкідливих речовин у ґрунті сягають (у мг/кг ґрунту): Cd – 3, Pb – 32, Hg – не регламентовано, Ni – 85, Zn – 100, Cu – 55, Cr – не регламентовано, Co – 50, F – 330.

Джерела надходження важких металів у ґрунт є природними і техногенними. Природним джерелом є гірські породи, на продуктах вивітрювання яких формується ґрунтовий покрив, а до техногенних відносять викиди промислових підприємств і мінеральні добрива. До складу органічного добрива важкі метали можуть надходити із сировиною.

Для отримання якісного органічного добрива на основі дігестату з біогазових станцій доцільно аналізувати хімічний склад органічного субстрату за такими етапами технологічного процесу:

1. Аналіз вихідної сировини для отримання біогазу.
2. Аналіз продукту ферментації – нативний дігестат із біогазової станції.
3. Аналіз продукту переробки твердої фракції дігестату – сухі гранули.

На першому етапі, основне правило управління якістю дігестату полягає у запобіганні його забрудненню шкідливими речовинами. Видалення полутантів проводять шляхом попередньої обробки сировини або у процесі її зброджування. Якщо ефективне видалення полутантів не гарантоване, відповідний матеріал не повинен використовуватися як вихідна сировина у біогазових установках, дігестат яких заплановано вносити у ґрунт [15].

Дігестат з біогазової установки має різноманітний фізико-хімічний склад залежно від низки чинників: походження сировини та її фізико-хімічного складу (гноїй (послід) різних видів тварин і птиці, рослинні рештки та ін.), співвідношення різної сировини в органічній масі, технологічних параметрів процесу виробництва біогазу і способів зневоднення дігестату.

Своєю чергою, хімічний склад сировини залежить від систем утримання і раціону годівлі сільськогосподарських тварин. Зокрема, проведено аналіз пташиного посліду, як сировини для отримання органічного добрива з дігестату, на вміст важких та ін. металів (табл. 2).

У дігестат потрапляють лише ті макрота мікроелементи, які були у вихідній сировині, за виключенням частини С, водню (H_2), кисню (O_2), сірки (S) та N, що випа-

раються з біогазом. При цьому дігестат у нативному вигляді, рідка або тверда фракція після розділення нативного дігестату у сепараторі, не можуть розглядатись як препаративні форми агрохімікатів сталого хімічного складу, оскільки має мінливий склад упродовж року та з року в рік. Нині, ні в Україні, ні на загальноєвропейському, ні на рівні окремих країн ЄС не вимагається державна реєстрація дігестату як добрива. До того ж, існують як національні, так і європейські схеми сертифікації дігестату на його відповідність прийнятим стандартам якості [16].

Тверда і рідка фракції дігестату внаслідок фізико-хімічних властивостей своїх складових дещо розрізняються за вмістом хімічних компонентів.

Рідка фракція дігестату містить більший вміст нітрогену і калію, але переважна кількість органічної речовини і загального фосфору знаходиться у твердій фракції [3].

Масова частка важких та ін. металів у нативному дігестаті з пташиного посліду істотно менша за допустимі норми [13] щодо токсикологічних показників продуктів перероблення пташиного посліду, які можна використовувати як добриво у сільському та лісному господарствах і у зеленому будівництві; для рекультивациі земель, а та-

Таблиця 2. Вміст металів у пташиному посліді за різних систем утримання птиці

Хімічний елемент, одиниці вимірювань	Вміст металу на вихідну вологу	
	у посліді без підстилки	у посліді з підстилкою
Al, мг/кг	0,037±0,002	0,038±0,002
Ca, мг/кг	1,714±0,079	1,732±0,086
Fe, мг/кг	0,028±0,001	0,068±0,003
Mg, мг/кг	0,244±0,012	0,462±0,024
Na, мг/кг	0,083±0,004	0,351±0,021
Mn, мг/кг	0,011±0,001	0,043±0,002
Zn, мг/кг	0,009±0,001	0,036±0,002
Sr, мг/кг	0,003±0,0001	0,005±0,0003
Cu, мг/кг	0,521±0,026	0,723±0,033
Cr, мкг/кг	0,100±0,005	0,200±0,012
Ni, мкг/кг	0,300±0,018	0,900±0,045
Pb, мкг/кг	0,004±0,0007	—
Cd, мкг/кг	0,017±0,004	—

кож як паливо. Аналіз засвідчив, що вміст у дигестаті таких елементів, як Fe, Co, Mn, Cu, менше за допустимі для використання у сільському господарстві норми у 82, 6, 36, 16 разів відповідно. Допустимі значення вмісту металів для використання продуктів перероблення пташиного посліду у лісному господарстві, зеленому будівництві та для рекультивациі земель у декілька разів вищі, ніж для використання у сільському господарстві. Тому згідно з токсикологічними вимогами [13] нативний дигестат із пташиного посліду можна використовувати у сільському господарстві, у лісному господарстві, зеленому будівництві та для рекультивациі земель.

Проведено гранулювання твердої фракції дигестату для отримання гранульованого органічного добрива, що дало можливість вдосконалити процес переробки побічних продуктів тваринного походження. Маса гранульованого сухого продукту становить 23,1% від маси нативного дигестату з біогазової станції.

Лабораторним аналізом гранульованого дигестату встановлено відповідність санітарним нормам щодо органічних добрив, дозволених для застосування у класичному і органічному землеробстві. До того ж, у розрахунку на дозу внесення гранульованого дигестату – 3 т/га, масова частка Cd, Pb і Co відповідно у 285, 342 і 1795 раз менші, ніж ГДК для агрохімікатів. Масова частка Cu і Zn виявилась меншою за нормативні значення у 17 і 19 разів відповід-

но. Масову частку важких та ін. металів у гранулах наведено у *табл. 3*.

Для встановлення гранично допустимої дози внесення дигестату у ґрунт необхідно визначити важкий метал із концентрацією, найбільш наближеною до ГДК шкідливих речовин у агрохімікатах. Встановлено, що найбільше навантаження на вміст шкідливих речовин у ґрунті вноситиме Cu, оскільки її концентрація у гранульованому дигестаті лише у 17 разів менша за допустимий вміст. Тобто, за виявлених масових часток Cd (0,14 мг/кг), Pb (1,46), Cu (46,36) і Zn (362,44 мг/кг) у гранулах, лімітувальну дозу застосування гранульованого дигестату слід розраховувати за фактичною концентрацією Cu (46,36 мг/кг). Отже, згідно з вимогами ДСТУ 4944:2008 розрахункова доза внесення гранульованого дигестату на сировині з пташиного посліду становить 5,1 кг/м². Щодо дози внесення нативного дигестату, то за масовою часткою Cu відповідно до санітарних норм щодо ГДК шкідливих речовин в агрохімікатах [11], максимальна доза внесення нативного дигестату на основі пташиного посліду становить 2,6 л/м².

Масова частка досліджених важких та ін. металів у гранульованому дигестаті з пташиного посліду також істотно нижча за ГДК [13] щодо токсикологічних показників органічної суміші, яку можна використовувати як добриво у сільському та лісному господарствах і у зеленому будівництві; для рекультивациі земель та як паливо. Фактичний вміст у % від ГДК [13]

Таблиця 3. Масова частка різних металів у гранульованому дигестаті з пташиного посліду

Хімічний елемент	Масова частка хімічного елементу у дигестаті на вихідну вологу, мг/кг	Допустима концентрація хімічного елементу в агрохімікаті на вихідну вологу згідно з ДСТУ 4944:2008 [11], мг/кг
Cd	0,14±0,06	40
Pb	1,46±0,44	500
Cu	46,36±8,33	800
Zn	362,44±47,77	7000
Co	0,39±0,14	700
Fe	1170,0±0,13	н/р*
Mn	139,07±21,17	н/р
Mg	7600,00±630,00	н/р

Примітка: * н/р – не регламентується.

становить: Fe – 4,7%; Cd – 0,5; Co – 0,4; Mn – 6,9; Cu – 3,1; Pb – 0,2%.

Порівняльним аналізом вмісту важких металів у гранульованому дігестаті у межах ГДК шкідливих речовин в ЄС встановлено, що фактична концентрація Cd, Pb та Cu нижчі в 14, 205 і 13 рази за найжорсткіші вимоги [2] щодо концентрацій шкідливих речовин у продуктах перероблення пташиного посліду. Результати дослідження будуть використані для подальшого обґрунтування оптимальних технологій застосування дігестатів, що дасть змогу вдосконалити процеси переробки побічних продуктів тваринного походження.

ВИСНОВКИ

Дігестат із біогазових установок доцільно розглядати як сировину для переробки на органічне добриво з урахуванням вмісту важких металів. Варіювання вмісту важких металів у дігестаті залежить від характеристик органічної сировини і води, а також технологічних параметрів процесу виробництва біогазу та способів зневод-

нення дігестату. На якість сировини впливає санітарно-гігієнічний стан приміщень, епізоотичне благополуччя тварин, раціон годівлі тварин, хімічний склад кормів та попередня обробка сировини до завантаження в біогазову установку.

Масова частка важких металів у гранульованому дігестаті з пташиного посліду становить: Cd (0,14 мг/кг), Pb (1,46), Cu (46,36), Co (0,39) і Zn (362,44 мг/кг), що значно менше за допустиму концентрацію шкідливих речовин у агрохімікатах, згідно з національними та європейськими санітарними вимогами.

За підвищеного вмісту важких металів у дігестаті, слід обмежувати допустиму дозу внесення органічного добрива у ґрунт відповідно до міжнародних і українських санітарно-гігієнічних норм. Фактична санітарно допустима доза внесення органічного добрива у ґрунт залежить від концентрації шкідливих речовин як у добривах, так і у ґрунті. До того ж, дозу внесення буде обмежувати той забруднювач, концентрація якого максимально наближена до ГДК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання у сфері поводження з пестицидами і агрохімікатами: Закон України від 16.11.2022. № 2775–ІХ. *Офіційний вісник України*. 2023 р. № 2. Ст. 80. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2775-20>.
2. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. *Official Journal of the European Union*. 2019. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2023-03-16>.
3. Nutrient recovery by biogas digestate processing: report by International Energy Agency — IEA Bioenergy / В. Drosig et al.; edited by D. Baxter. 2015. Task 37. 40 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/08/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web2.pdf.
4. PNS/BAFPS 40:2013. Organic Fertilizer Philippine. 2013. 12 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/332037765_PHILIPPINE_NATIONAL_STANDAR_PNSBAFPS_40_2013_Organic_Fertilizer.
5. DRS 279:2020. Organic fertilizer — Specification. 2020. 17 p. URL: www.portal.rsb.gov.rw.
6. Lamolinara B., Pérez-Martínez A. and Guardado-Yordi E. Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*. 2022. Vol. 140. P. 14–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035>.
7. Siebert S. and Auweele W.V. European quality assurance scheme for compost and digestate: ECN-QAS Quality Manual. European Compost Network, 2018. 134 p. URL: https://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/180711_ECN-QAS-Manual_3rd-edition_keyed-1.pdf.
8. Словник довідник з агроекології і природокористування / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: ТОВ «ДІА», 2012. 336 с.
9. Duffus J.H. «Heavy metals» a meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*. 2002. Vol. 74. No. 5. P. 793–807. DOI: <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>.
10. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Донецьк: Вебер, 2008. 738 с.
11. ДСТУ 4944:2008. Агрохімікати. Встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин. [Чинний від 2008–03–26]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2009. 12 с.
12. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer: report by International Energy Agency — IEA Bioenergy / T. Al. Seadi, C. Lukehurst; edited by D. Baxter. 2012. Task 37. 39 p. URL:

- https://provisioncoalition.com/Assets/Provision-Coalition/Documents/FoodWasteManagementSolutions/digestate_quality_managment%20IEA%202011.pdf.
13. ДСТУ 7527:2014. Послід птиці. Технології біологічного перероблення. Загальні вимоги. [Чинний від 2015–02–01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 22 с.
 14. Govasmark E., Stab J., Holen B. et al. Chemical and microbiological hazards associated with the recycling of anaerobic digested residue intended for use in agriculture. *Waste Management*. 2011. Vol. 31. Is. 12. P. 2577–2583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.025>.
 15. Кучерук П. Управління якістю дигестату. *Sustainable agribusiness forum*. 2020. URL: <https://saf.org.ua/news/1006/> (дата звернення: 16.10.2023).
 16. Про внесення змін до Закону України «Про пестициди та агрохімікати» щодо державної реєстрації дигестату біогазових установок: проект Закону України від 5 лютого 2021 р. № 5039 / Верховна рада України. URL: https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71037 (дата звернення: 12.10.2023).
- ## REFERENCES
1. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo vdoskonalennia derzhavnogo rehuliuвання u sferi povodzhennia z pestytsydamy i ahrokhimikatamy: Zakon Ukrainy 2775–IX vid 16.11.2022 [On amendments to some laws of Ukraine regarding the improvement of state regulation in the field of handling pesticides and agrochemicals: Law of Ukraine № 2775–IX from November 16th, 2022]. (2023). *Ofitsiynyi visnyk Ukrainy — Official Gazette of Ukraine*, 2, art. 80. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2775-20> [in Ukrainian].
 2. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. (2019). *Official Journal of the European Union*. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2023-03-16> [in English].
 3. Drosig, B., Fuchs, W., Al Seadi, T. & Madsen, M. (2015). Nutrient recovery by biogas digestate processing: report by International Energy Agency — IEA Bioenergy. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/08/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web2.pdf [in English].
 4. Organic Fertilizer. (2013). *PNS/BAFPS 40*. URL: https://www.researchgate.net/publication/332037765_PHILIPPINE_NATIONAL_STANDARD_PNSBAFPS_40_2013_Organic_Fertilizer [in English].
 5. Organic fertilizer — Specification. (2020). *ICS 65.080. DRS 279*. URL: www.portal.rsb.gov.rw [in English].
 6. Lamolinara, B., Pérez–Martínez, A. & Guardado–Yordi, E. (2022). Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*, 140, 14–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035> [in English].
 7. Siebert, S. & Auweele, W.V. (2018). European quality assurance scheme for compost and digestate: ECN-QAS Quality Manual. European Compost Network. URL: https://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/180711_ECN-QAS-Manual_3rd-edition_keyed-1.pdf [in English].
 8. Furdychko, O.I. (Eds.). (2012). *Slovník dovidnyk z ahroekolohii i pryrodokorystuvannia [Dictionary of agroecology and nature management]*. Kyiv [in Ukrainian].
 9. Duffus, J.H. (2002). «Heavy metals» a meaningless term? IUPAC Technical Report. *Pure and Applied Chemistry*, 74 (5), 793–807. DOI: <https://doi.org/10.1351/pac200274050793> [in English].
 10. Opeida, Y. & Shvaika, O. (2008). *Hlosarii terminiv z khimii [Glossary of chemistry terms]*. Donetsk [in Ukrainian].
 11. Ahrokhimikaty. Vstanovlennia dopustymykh kontsentratsii shchikidlyvykh rehovyn [Agrochemicals. Establishing permissible concentrations of harmful substances]. (2009). *DSTU 4944:2008 from March 26th 2008*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 12. Seadi, T. & Lukehurst, C. (2012). Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer: report by International Energy Agency — IEA Bioenergy. URL: https://provisioncoalition.com/Assets/ProvisionCoalition/Documents/FoodWasteManagementSolutions/digestate_quality_managment%20IEA%202011.pdf [in English].
 13. Poslid ptytsi. Tekhnolohii biolohichnoho pererobliannia. Zahalni vymohy [Poultry droppings. Technologies of biological processing. General requirements]. (2015). *DSTU 7527:2014 from January 1st 2014*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 14. Govasmark, E. et al. (2011). Chemical and microbiological hazards associated with the recycling of anaerobic digested residue intended for use in agriculture. *Waste Management*, 31 (12), 2577–2583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.025> [in English].
 15. Kucheruk, P. (2020). Upravlinnia yakistiu dihestatu [Digestate quality management]. *Sustainable agribusiness forum*. URL: <https://saf.org.ua/news/1006/> [in Ukrainian].
 16. Pro vnesennya zmin do Zakonu Ukrayiny «Pro pestytsydy ta ahrokhimikaty» shchodo derzhavnoyi reyestratsiyi dyhestatu biohazovykh ustanovok: projekt Zakonu Ukrayiny vid 5.02.2021 [On Amendments to the Law of Ukraine «On Pesticides and Agrochemicals» Regarding State Registration of Digestate of Biogas Stations: draft Law of Ukraine from February 5th, 2021]. (2021). *Verkhovna Rada Ukrainy Rada of Ukraine*. URL: https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71037 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 08.08.2023