

**О. В. Шевчук**

аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва
(м. Умань, Україна)
E-mail: sasha.shevchuk.september@gmail.com

Г. М. Господаренко

доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва
(м. Умань, Україна)
E-mail: hospodarenko@gmail.com



ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИГЕСТАТУ З ІНШИМИ ОРГАНІЧНИМИ ДОБРИВАМИ

Кількість біогазових установок в Україні постійно зростає, що збільшує виробництво супутніх продуктів, біохімічний склад яких не було повністю досліджено. Зразки дигестату було відібрано в підрозділі «Біогаз Ладизин» ТОВ «Вінницька птахофабрика». Аналіз їх агрохімічного складу виконано в сертифікованих лабораторіях ПП «Західний Буг», ТОВ «Компанія землероб» і ТОВ «Агрофірма «Колос». Аналізи виконано згідно з ДСТУ та відповідними методичними рекомендаціями. Встановлено, що дигестати містять значну кількість макроелементів і за цим показником не поступаються курячому посліду. Високий вміст макро- та мікроелементів у розрахунку на суху речовину може бути цінним для удобрювального продукту, з урахуванням того, що його потрібно утилізували на незначній відстані від біогазової установки. При цьому кожна партія дигестату – це окреме добриво, що має свій унікальний макро- й мікроелементний склад і вміст органічних речовин. Він потребує попереднього агрохімічного аналізу та лише на його основі і проведених розрахунків та врахування біологічних особливостей розвитку і можливої продуктивності певної сільськогосподарської культури можна визначити допустимі дози внесення. Дигестат істотно не впливає на мікологічний стан темно-сірого лісового ґрунту, навіть за високих доз його внесення (30–50 м³/га), порівняно з традиційним удобренням аміаком водним у дозі 110 кг/га азоту. Порівняно з традиційними видами органічних добрив, дигестат з пташиного посліду можна вважати цінним місцевим комплексним органо-мінеральним удобрювальним продуктом місцевого значення для поліпшення живлення рослин і балансу в ґрунті елементів живлення. Нині немає жодних обмежень щодо його реалізації як удобрювального продукту органічного походження. Тому необхідно продовжити дослідження щодо максимальних доз його внесення та ефективності різних технологій застосування під сільськогосподарські культури.

Ключові слова: Курячий послід, макроелементи, мікроелементи, види органічних добрив, мікологічний аналіз.

O. V. Shevchuk

Postgraduate student at the Department of Agrochemistry and Soil Science,
Uman National University of Horticulture (Uman, Ukraine)
E-mail: sasha.shevchuk.september@gmail.com

H. M. Hospodarenko

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor at the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science,
Uman National University of Horticulture (Uman, Ukraine)
E-mail: Hospodarenko@gmail.com

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DIGESTATE AND OTHER ORGANIC FERTILIZERS

The number of biogas plants in Ukraine is constantly growing which increases the production of by-products. The biochemical composition of them has not been fully investigated. Digestate samples were collected at Biogas Ladyzhyn, division of Vinnytsia Ptakhofabryka LLC. The analysis of their agrochemical composition was carried out in the certified laboratories of Zakhidnyi Bug PE, Kompania Zemlerob LLC, and Kolos Agrofirma LLC. The analyzes were carried out in accordance with DSTU and the corresponding methodical recommendations. It was established that digestates contain a significant amount of macronutrients and are not inferior to chicken droppings in terms of this indicator. A high content of macro- and micronutrients per dry matter can be valuable for a fertilizer product, taking into account that it needs to be disposed of at a small distance from the biogas plant. Moreover, each batch of digestate is a separate fertilizer that has its own unique macro- and microelement composition and content of organic substances. It requires a preliminary agrochemical analysis and only on its basis the calculations and taking into account the biological features of development and the possible productivity of a certain agricultural crop can determine the permissible application doses. Digestate does not significantly affect the mycological condition of dark grey forest soil, even at high doses of its introduction (30–50 m³/ha), compared with traditional fertilization with aqueous ammonia at a dose of 110 kg/ha of nitrogen. Compared to traditional types of organic fertilizers, poultry dropping digestate can be

considered a valuable local complex organo-mineral fertilizer product of local importance for improving plant nutrition and the balance of nutrients in the soil. Currently, there are no restrictions on its implementation as a fertilizer product of organic origin. Therefore, it is necessary to continue research on the maximum doses of its introduction and the efficiency of various technologies of application to agricultural crops.

Key words: chicken droppings, macroelements, microelements, types of organic fertilizers, mycological analysis.

Постановка проблеми. Кількість біогазових установок в Україні постійно зростає, що збільшує виробництво супутніх продуктів, біохімічний склад яких не було повністю досліджено. Крім того, важливе значення має і технологія використання різної сировини для виробництва біогазу та дигестату. Склад дигестату (вміст елементів живлення та різних органічних сполук) може змінюватися залежно від таких чинників, як корми і утримання худоби чи птиці, а також технології її вирощування. Тому отриманий дигестат, залежно від вихідної сировини, може сильно відрізнятися за своїм макро- та мікроелементним і біологічним складом [5, 8, 15]. Це важливо враховувати для встановлення дози й строку його внесення, щоб підвищити ефективність і мінімізувати потенційний вплив на довкілля.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дигестат багатий органічними речовинами, макро- (азотом, фосфором, калієм і сіркою) й мікроелементами, які необхідні для росту та розвитку рослин [17]. Концентрація таких елементів мінерального живлення є передумовою використання дигестату як біодобрива [11, 16]. Дигестат також можна використовувати як базову основу для виробництва різних добрив, але необхідно знати його склад і властивості, щоб створити комерційно корисний удобрювальний продукт із доданою вартістю [7].

У дигестатах азот входить до складу різних за інтенсивністю до розкладання органічних сполук. Частина з них уже гуміфіковані. Ці особливості дигестатів впливають на властивості ґрунту та визначають їх ефективність. Застосування органічних добрив дозволяє замінити промислові мінеральні добрива або зменшити у них потребу, що може мати позитивний вплив на економічну ефективність і довкілля [9].

Супутні продукти біогазового виробництва, оброблені анаеробно (дигестати), мають високий вміст азоту та низький вміст вуглецю [6]. Це сприяє процесам мінералізації дигестатів у ґрунті.

Дослідженням складу дигестатів встановлено, що за посушливих погодних умов вміст важких металів у них був нижчим. Зміни вмісту загального азоту при цьому були меншими ($V = 19\%$), але зазвичай його концентрація була вищою у вихідному продукті (свинячому гною). Частка азоту мінеральних сполук ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) від вмісту загального азоту змінювалася від 62 до 81 % (у середньому 72 %), тоді як у свинячому гною становила 70 % (від 61 до 84 %) [13].

Допустимий вміст елементів живлення та шкідливих домішок у добривах в Європейському Союзі (ЄС) та інших країнах контролюється [14]. Так, у ЄС з внесеним компостом з міських і промислових відходів у ґрунт щорічно може надходити не більш як 25 кг/га важких металів

(10 – міді, 10 – хрому, 2,15 – свинцю, 2 – нікелю, 0,35 – миш'яку, 0,40 – ртуті, 0,10 – кадмію).

За ДСТУ 4944 [4] в органічних добривах в Україні контролюється вміст шести важких металів і корегується внесення залежно від фонового вмісту та ГДК їх у ґрунті та від стійкості ґрунту до забруднення за природно-кліматичними зонами. При цьому разове надходження шкідливої речовини у ґрунт має бути у десять разів меншим за ГДК.

Мета статті – визначити вміст у дигестаті з курячого посліду органічної речовини, макро- та мікроелементів і порівняти його з іншими органічними добривами.

Методика дослідження. Зразки дигестату було відібрано в підрозділі «Біогаз Ладижин» ТОВ «Вінницька птахофабрика». Аналіз їх агрохімічного складу виконано в сертифікованих лабораторіях ПП «Західний Буг», ТОВ «Компанія землероб» та ТОВ «Агрофірма «Колос». Аналізи виконано згідно з ДСТУ та відповідними методичними рекомендаціями. У біолабораторії ТОВ «Агрофірма «Колос» проведено мікологічний аналіз ґрунту за внесення дигестату методом газону [2].

Основні результати дослідження. Встановлено, що вміст води у рідкому дигестаті може бути від 85 до 95 %, а маса 1 м³ у середньому становить 1020–1040 кг. Важливим чинником для проходження біохімічних процесів є величина рН. Зміна реакції середовища може істотно знижувати їх інтенсивність. Встановлено, що обидва досліджувані органічні добрива – дигестат і курячий послід, мали лужний рН (табл. 1). Тому їх застосування повинно поліпшувати кислотно-основні властивості ґрунту. Величина рН дигестатів у роки проведення досліджень змінювалася в незначних межах – від 8,4 до 8,7 (у курячого посліду – 7,2–7,5).

Як видно з даних табл. 1, у рідкому дигестаті міститься більше елементів живлення, ніж у традиційному гноєві ВРХ на солом'яній підстилці [3]. Так, вміст азоту був вищим у два рази, а фосфору – в чотири рази. Вміст калію, залежно від партії дигестату перевищував вміст у гноєві ВРХ в 1,2–1,5 рази, проте вміст кальцію був майже в два рази меншим.

Вміст міді у відібраних зразках дигестату був 10,6–11,4 мг/кг, цинку – 25,6–34,7 і мангану 13,6–23,3 мг/кг сирової маси, тоді як у гноєві ВРХ він відповідно становить 2,5 мг/кг, 34 і 137 мг/кг [3]. Отже, дигестат містить підвищений вміст міді та порівняно мало мангану.

Коефіцієнт варіації вмісту елементів живлення показує, що кожна нова партія дигестату потребує оцінювання хімічного складу. Тому з агрономічного та екологічного поглядів хімічний склад є найбільш важливою його характеристикою. Він має важливе значення як для

контролю за оптимальним режимом роботи біогазових установок, так і для подальшого використання дигестату.

Дигестат також містить органічні речовини, що позитивно впливає на властивості ґрунтів [12, 20] (табл. 2).

Як видно з даних табл. 2, вміст органічних речовин у сухій масі різних видів дигестатів порівняно з курячим послідом змінювався від 68 до 208 %, загального азоту – 105–202 %, у тому числі амонійних сполук – 79–321 %. Анаеробний ферментований продукт є більш мінералізованим і тому містить менше органічного вуглецю, а отже, й активного гумусу порівняно з вихідним продуктом – курячим послідом.

Відношення C : N у курячому посліді 1,8. У різних видах дигестату він змінюється в широких межах – від 0,8 до 2,1, що потрібно врахувати під час їх застосування для удобрення. Вузьке відношення вуглецю до азоту (C : N) може призвести до пришвидшеного розкладання органічних речовин ґрунту й добрив, а також доступності азоту для рослин. Найбільш низьке відношення C : N було виявлено в анаеробному дигестаті.

Азот є одним із основних чинників, що визначають родючість ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур. Встановлено, що концентрація загального азоту, в тому числі амонійних сполук були вищими у різних видах дигестату, ніж у курячому посліді. Амоній є найближчим резервом азоту в ґрунті для швидкого

засвоєння кореневими системами рослин. Інша частина азоту органічних сполук за умов оптимального зволоження й температури буде поступово мінералізуватися. Це сприятиме пролонгованій позитивній дії дигестату на ґрунт і рослини.

Вміст макроелементів у дигестаті змінюється в широких межах. Від проходження різних етапів – доброджування, сепарації, ферментації, відстоювання тощо вміст у сухій масі фосфору становив 71–131 %, калію – 65–262, кальцію – 41–76, магнію – 47–32 та сірки – 80–150 % від вмісту в сухій масі курячого посліду.

Дигестат також містить необхідні рослинам мікроелементи. Але у високих концентраціях (важкі метали) вони обумовлюють токсичну дію. Тому забруднення дигестату важкими металами є одним із основним чинників, що може обмежувати його тривале застосування в якості органічного добрива.

Встановлено, що залежно від вихідного складу курячого посліду, а також можливого добавляння різних хімічних сполук для поліпшення та пришвидшення процесу бродіння дигестат містить різну кількість мікроелементів (табл. 3). Серед них – найбільше бору, мангану, заліза, міді, цинку.

Найбільше в перерахунку на суху масу дигестат містить бору, заліза, міді й цинку. Залежно від виду дигестату (після сепаратора, доброджувача чи ферментатора) вміст бору, порівняно з курячим послідом, підвищується в 3,1–3,8 рази, заліза – майже в десять разів, міді – в 2,1–2,5 рази

Таблиця 1

Вміст елементів живлення в дигестаті з курячого посліду та його кислотність

Рік	pH	Вміст у сирій масі						
		макроелементів, %				мікроелементів, мг/кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cu	Zn	Mn
2021	8,7	0,97	1,01	0,74	0,23	10,6	25,6	23,2
2022	8,5	1,08	1,03	0,92	0,24	11,0	3,47	13,6
2023	8,4	0,98	0,87	0,77	0,31	11,4	35,4	17,2
Середнє	8,5	1,01	0,97	0,81	0,26	11,0	31,9	18,0
σ	0,1	0,12	0,31	0,13	0,14	4,1	10,3	5,1
V	3,3	19,1	34,2	14,5	0,17	11,0	43,5	47,7

Примітка: σ – стандартне відхилення; V – коефіцієнт варіації, %.

Таблиця 2

Зміни вологості, вмісту органічних речовин і макроелементів у дигестаті порівняно з вихідним продуктом (курячим послідом)

Вид продукту	Вологість, %	Вміст у сухій речовині порівняно з курячим послідом, %							
		органічних речовин	азоту		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	SO ₃
			загального	в т. ч. N–NH ₄ ⁺					
Курячий послід, % у сухій масі	53,6	33,4	9,2	2,4	4,2	3,7	1,9	10,5	1,0
Дигестат після: сепаратора	175	208	184	283	71	116	47	62	150
доброджувача	175	203	202	321	79	262	105	76	150
ферментатора	172	68	162	221	131	216	132	76	100
Дигестат твердий	142	122	105	79	71	65	79	41	80

і цинку – в 1,9–2,2 рази. При цьому вміст мангану знижується в 4–9 разів.

У твердому дигестаті, порівняно з курячим послідом у 3,6 рази підвищується вміст заліза, але знижується вміст мангану, міді та цинку – відповідно в 4,2, 1,2 та в 1,3 рази.

Отже, для ефективного застосування як удобрювального продукту та запобігання забруднення довкілля потрібно проводити хімічний аналіз кожної партії супутніх продуктів. Особливо це необхідне за зміни хімічного складу вихідного продукту та за внесення змін у технологію виробництва біогазу та наступної їх доробки і зберігання.

Органічні добрива, що безпосередньо не виробляються в господарстві, поряд

з мінеральними добривами є додатковим джерелом надходження поживних речовин у ґрунт і поліпшення їх балансу. Встановлено, що за вмістом поживних речовин дигестат значно переважав напівперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстилці (табл. 4). Особливо це стосується вмісту фосфору й азоту. Тому добриво може бути цінним для поліпшення в першу чергу фосфатного режиму ґрунтів.

Як видно з даних табл. 4, дигестат містить багато води, що ускладнює його транспортування на великі відстані. З урахуванням зміни його вологості у широкому діапазоні, для розрахунку дози внесення елементів живлення необхідно робити поправу на цей показник.

Таблиця 3

Зміна вмісту мікроелементів у дигестаті порівняно з вихідним продуктом (курячим послідом)

Продукт	Вміст у сухій речовині порівняно з курячим послідом, %				
	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Курячий послід, мг/кг сухої маси	66,2	57,8	36,2	117,5	673,1
Дигестат після: сепаратора	380	1106	11	236	208
доброджувача	358	1078	13	253	224
ферментатора	312	857	16	214	192
Дигестат твердий	96	361	24	83	77

Таблиця 4

Середній вміст води й основних елементів живлення в органічних добривах

Вид органічного добрива	Вологість, %	Вміст елементу живлення, кг/т		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Дигестат з курячого посліду	92	10,1	9,7	8,1
Гній підстилковий ВРХ	75	5,0	2,5	6,0
Гній напіврідкий ВРХ	85	3,0	1,2	3,3
Сеча	–	2,4	–	5,4
Гноївка свиней	88	6,1	3,4	2,3
Фекалії	93	3,5	1,6	1,4
Гній рідкий ВРХ	95	3,7	1,7	2,3
Гній свиней (тверда фракція)	11	20,2	9,6	3,0
Гній свиней рідкий	98	2,2	2,0	0,7
Пташиний послід сухий	7	17,4	30,5	12,5
Пташиний послід свіжий	81	9,1	12,4	5,3
Пташиний послід напіврідкий	85	9,0	9,0	3,0
Стоки пташиного посліду	98	1,2	2,0	0,6
Пташиний послід тривалого зберігання	27	24,5	53,9	18,7
Пташиний послід на тирсі	23	20,5	18,0	8,0
Пташиний послід на соломі	32	23,8	18,1	9,7
Осад стічних вод тривалого зберігання	63	30,0	16,0	2,0
Компост торфо-гноювий	70	5,6	2,2	4,7
Компост торфо-послідний	70	8,3	7,4	4,1
Сапропель	85	4,2	0,7	0,1
Зелене добриво	75	5,0	1,1	3,5
Солома зернових	14	4,3	0,9	7,9
Солома бобових	18	7,1	5,3	2,0
Солома зернобобових	14	12,9	1,6	10,7
Подрібнене стебелиння кукурудзи	14	4,6	1,6	12,6
Подрібнене стебелиння соняшнику	14	8,7	3,1	28,0

Джерело: власні дані та узагальнені з джерел літератури [1, 3]

Мікологічний стан ґрунту за внесення аміаку водного й дигестату

Мікобіота	Варіант досліджу									
	Nва ₁₁₀		Дигестат, м ³ /га							
			20		30		40		50	
	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22
<i>Fusarium roseum</i>	5,0	15,5	3,6	11,7	3,6	12,0	2,3	7,5	–	–
<i>F. solani</i>	3,4	10,5	4,3	14,0	3,1	10,3	0,7	2,3	2,5	8,4
<i>F. oxysporum</i>	0,3	0,9	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
<i>Pythium ssp.</i>	2,8	8,7	3,3	10,1	3,0	10,0	2,6	8,5	2,6	8,7
<i>Penicillium ssp.</i>	17,7	54,8	15,8	51,3	16,7	55,7	18,9	61,6	19,6	65,8
<i>Aspergillus ssp.</i>	2,0	6,2	1,5	4,9	1,5	5,0	1,8	5,9	1,2	4,0
<i>Trichoderma ssp.</i>	0,4	12,4	0,7	2,3	0,8	2,7	2,5	8,1	2,5	8,4
<i>Cladosporium ssp.</i>	0,3	0,9	0,2	6,5	0,1	0,3	–	–	–	–
<i>Gliocladium ssp.</i>	0,1	0,3	0,3	1,0	0,4	1,3	0,6	2,0	0,8	2,7
<i>Epicoccum ssp.</i>	–	–	0,1	0,3	0,1	0,3	–	–	0,1	0,3
<i>Zygomycetes ssp.</i>	–	–	0,2	0,6	–	–	0,1	0,3	–	–
<i>Paecilomyces ssp.</i>	–	–	0,1	0,3	0,3	1,0	0,2	0,7	0,2	0,7
<i>Acremonium ssp.</i>	0,3	0,9	0,4	1,3	–	–	0,5	1,6	–	–
<i>Wardomyces ssp.</i>	–	–	–	–	0,1	1,0	0,2	0,7	–	–
Всього	32,3		30,8		30,0		30,7		29,8	

Примітка: 1 – середня кількість колоній у чашці, шт.; 2 – частота повторюваності, %.

Порівняно з такими видами органічних добрив, що мають також вологість 81–98 % (пташиний послід свіжий, пташиний послід напіврідкий, гній напіврідкий ВРХ, сапропель, гноївка свиней, фекалії, гній свиней рідкий), дигестат містить у кілька разів більше азоту (за виключенням пташиного посліду). Вміст фосфору в дигестаті з курячого посліду такий як у твердій фракції гною свиней і майже у чотири рази вищий, ніж у підстилковому гноєві ВРХ.

За вмістом калію дигестат з курячого посліду поступається лише пташиному посліду, а також подрібненому стебелинню кукурудзи і соняшнику.

Дигестат є джерелом високоякісної органічної речовини і різних фізіологічно активних речовин, що забезпечує оптимальне відношення С : N для росту мікроорганізмів і сприяє їх функціонуванню [19]. Його внесення збільшує кількість та індекс різноманітності ґрунтових мікроорганізмів. Корисна мікрофлора ґрунту створює сприятливі умови для росту та розвитку рослин [10] і створює ефективний бар'єр для популяції патогенів [18].

Мікологічним аналізом ґрунту з різних варіантів досліджу було виявлено розвиток грибів з різних родів (табл. 5).

Як видно з даних табл. 5, найчастіше виявляли розвиток грибів роду *Penicillium ssp.* Його частка варіювала від 51,3 % у зразку ґрунту з внесенням 20 м³/га дигестату до 65,8 % у зразка, де було внесено 50 м³/га дигестату.

Виявлено широкий спектр фітопатогенних грибів: *Aspergillus ssp.*, *Botryosphaeria ibis ssp.*, *Fusarium ssp.*, *Penicillium ssp.*, *Alternaria ssp.*, *Bipolaris ssp.*, *Pythium ssp.* – збудники коренових гнилей зернових культур (гнилі та опіки проростків, кореневі гнилі, гниль основи стебла, гниль

міжвузля, надлом стебла та інше). Слід звернути увагу на такі патогенні роди грибів як *Fusarium ssp.* та *Pythium ssp.*, навіть незначна їх кількість за сприятливих умов може викликати загнивання кореневої системи рослин, судинне ураження.

Дослідженнями також було виявлено умовно патогенні гриби з родів *Cladosporium ssp.*, *Epicoccum ssp.* і гриби класу *Zygomycetes*, які зазвичай ведуть сапрофітний спосіб живлення, але можуть виступати як факультативні паразити.

Висновки. Дигестати містять значну кількість макроелементів і за цим показником не поступаються курячому посліду. Високий вміст макро- та мікроелементів у розрахунку на суху речовину може бути цінним для удобрювального продукту, з урахуванням того, що його потрібно утилізували на незначній відстані від біогазової установки. При цьому кожна партія дигестату – це окреме добриво, що має свій унікальний макро- й мікроелементний склад і вміст органічних речовин. Він потребує попереднього агрохімічного аналізу та лише на його основі і проведених розрахунків та врахування біологічних особливостей розвитку і можливої продуктивності певної сільськогосподарської культури можна визначити допустимі дози внесення.

Дигестат істотно не впливає на мікологічний стан ґрунту, навіть за високих доз його внесення (30–50 м³/га), порівняно з традиційним удобренням аміаком водним у дозі 110 кг/га азоту.

Порівняно з традиційними видами органічних добрив, дигестат з пташиного посліду можна вважати цінним місцевим комплексним органомінеральним удобрювальним продуктом місцевого значення для поліпшення живлення рослин і балансу в ґрунті елементів живлення. Нині немає жодних обмежень щодо його реалізації

як удобрювального продукту органічного походження. Тому необхідно продовжити дослідження щодо максимальних доз його внесення та ефективності різних технологій застосування під сільськогосподарські культури.

Література

1. Внутрігосподарський контроль стану ґрунтів (наукові рекомендації); за ред. М. Мірошниченка. Харків : 2023. 121 с.
2. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія. За ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2010. 464 с.
3. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.
4. ДСТУ 4944:2008 Агрохімікати. Встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин. [Чинний від 2009.01.01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 8 с.
5. Шевчук О. В., Господаренко Г. М. Основні характеристики біогазового дигестату з курячого посліду. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2024. Вип. 104. Ч. 1. С. 19–32. DOI: 10.32782/2415-8240-2024-104-1-19-32.
6. Brozyna M. A., Petersen S. O., Chirinda N., Olesen J. E. Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013. 181. P. 115–126. doi: 10.1016/j.agee.2013.09.013.
7. Chojnacka K., Moustakas K., Witek-Krowiak A. Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. *Bioresour. Technol.* 2020. 295. 122223.
8. Demirel B., Scherer P. Trace element requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. *Biomass And Bioenergy*. 2011. 35(3). P. 992–998.
9. Giacometti C., Mazzon M., Cavani L., Ciavatta C., Marzadori C. A nitrification inhibitor, nitrpyrin, reduces potential nitrate leaching through soil columns treated with animal slurries and anaerobic digestate. *Agronomy*. 2020. 10(6). 865.
10. Karimi B., Sadet-Bourgeteau S., Cannavacciuolo M., Chauvin C., Flamin C., Haumont A., Jean-Baptiste V., Reibel A., Vrignaud G., Ranjard L. Impact of biogas digestates on soil microbiota in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2022. 20. P. 3265–3288. DOI: 10.1007/s10311-022-01451-8.
11. Möller K., Müller T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*. 2012. 12. P. 242–257. DOI: 10.1002/elsc.201100085.
12. Odlare M., Pell M., Svensson K. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management*. 2008. 28(7). P. 1246–1253, DOI: 10.1016/j.wasman.2007.06.005.
13. Petraitytė D. The effect of liquid organic fertilisers on agrocenoses of different winter wheat varieties. Doctoral Dissertation Agricultural Sciences, Agronomy (A 001). Kaunas, 2024. 198 s.
14. 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 fertilizing 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>.

15. Różyło K., Świeca M., Gawlik-dziki U., Andruszczak S., Kwiecińska-poppe E., Kraska P. Phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain after three years' fertilization with biogas digestate and mineral waste. 2017. P. 148–159.

16. Slepėtiene A., Volungevičius J., Jurgutis L., Liaudanskienė I., Amaleviciute-Volunge K., Slepėtys J., Ceseviciene J. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. *Waste Management*. 2020. 102. P. 441–451. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.11.008.

17. Slepėtiene A., Ceseviciene J., Amaleviciute-Volunge K., Mankeviciene A., Parasotas I., Skersiene A., ... Mockeviciene I. Solid and liquid phases of anaerobic digestate for sustainable use of agricultural soil. *Sustainability*. 2023. 15(2). 1345.

18. Vivant A. L., Garmyn D., Maron P. A., Nowak V., Piveteau P. Microbial diversity and structure are drivers of the biological barrier effect against *Listeria monocytogenes* in soil. *PLOS ONE*. 2013. 8. P. 1–11. DOI: 10.1371/journal.pone.0076991.

19. Zang Y. F., Hao M. D., Zhang L. Q., Zhang H. Q. Effects of wheat cultivation and fertilization on soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen and soil basal respiration in 26 years. *Acta Ecologica Sinica*. 2015. No. 35(05). P. 1445–1451.

20. Zhang X. Effects of long-term biogas slurry application on soil properties and crop yield in the North China Plain : Manuscript Thesis for a Doctor Philosophy Degree (PhD): 201. Sumy, 2023. 151 p.

References

1. Intra-farm monitoring of soil conditions (scientific recommendations); edited by M. Miroshnichenko. Kharkiv: 2023. 121 p. [in Ukrainian].
2. Volkogon, V.V., Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. et al. Experimental Soil Microbiology. Edited by V. V. Volkogon. Kyiv: Agrarian Science, 2010. 464 p.
3. Hospodarenko, H.M. Agricultural chemistry. Kyiv: TROPEA LLC, 2024. 572 p.
4. DSTU 4944:2008 Agrochemicals. Establishing permissible concentrations of harmful substances. [Valid from 2009.01.01]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2009. 8 p.
5. Shevchuk, O.V., Hospodarenko, H.M. Main characteristics of biogas chicken dropping digestate. *Collection. of scientific works. Uman National University of Science and Technology*. 2024. Issue 104. Part 1. Pp. 19–32. DOI: 10.32782/2415-8240-2024-104-1-19-32.
6. Brozyna, M. A., Petersen, S. O., Chirinda, N., Olesen, J. E. (2013). Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 181, 115–126. doi: 10.1016/j.agee.2013.09.013.
7. Chojnacka, K., Moustakas, K., Witek-Krowiak, A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach

towards circular economy. *Bioresour. Technol.* 295. 122223.

8. Demirel, B., Scherer, P. (2011). Trace element requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. *Biomass And Bioenergy*, 35(3), 992–998.

9. Giacometti, C., Mazzon, M., Cavani, L., Ciavatta, C., Marzadori, C. (2020). A nitrification inhibitor, nitrapyrin, reduces potential nitrate leaching through soil columns treated with animal slurries and anaerobic digestate. *Agronomy*, 10(6), 865.

10. Karimi, B., Sadet-Bourgeteau, S., Cannavacciuolo, M., Chauvin, C., Flamin, C., Haumont, A., Jean-Baptiste, V., Reibel, A., Vrignaud, G., Ranjard, L. (2022). Impact of biogas digestates on soil microbiota in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 3265–3288. DOI: 10.1007/s10311-022-01451-8.

11. Möller, K., Müller, T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. (2012). *Engineering in Life Sciences*. 12. 242–257. DOI: 10.1002/elsc.201100085.

12. Odlare, M., Pell, M., Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management*. 28(7). 1246–1253, DOI: 10.1016/j.wasman.2007.06.005.

13. Petraitytė, D. (2024). The effect of liquid organic fertilisers on agroecosystems of different winter wheat varieties. Doctoral Dissertation Agricultural Sciences, Agronomy (A 001). Kaunas, 198 p.

14. 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 fertilizing 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>.

15. Różyło, K., Świeca, M., Gawlik-dzik, U., Andruszczak, S., Kwiecińska-poppe, E., Kraska, P. (2017). Phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain after three years' fertilization with biogas digestate and mineral waste, 148–159.

16. Slepėtienė, A., Volungevičius, J., Jurgutis, L., Liaudanskienė, I., Amaleviciute-Volunge, K., Slepėtys, J., Ceseviciene, J. (2020). The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. *Waste Management*, 102, 441–451. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.11.008.

17. Slepėtienė, A., Ceseviciene, J., Amaleviciute-Volunge, K., Mankeviciene, A., Parasotas, I., Skersiene, A., ... Mockeviciene, I. (2023). Solid and liquid phases of anaerobic digestate for sustainable use of agricultural soil. *Sustainability*, 15(2), 1345.

18. Vivant, A. L., Garmyn, D., Maron, P. A., Nowak, V., Piveteau, P. (2013). Microbial diversity and structure are drivers of the biological barrier effect against *Listeria monocytogenes* in soil. *PLOS ONE*, 8, 1–11. DOI: 10.1371/journal.pone.0076991.

19. Zang, Y. F., Hao, M. D., Zhang, L. Q., Zhang, H. Q. (2015). Effects of wheat cultivation and fertilization on soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen and soil basal respiration in 26 years. *Acta Ecologica Sinica*, 35(05), 1445–1451.

20. Zhang, X. (2023). Effects of long-term biogas slurry application on soil properties and crop yield in the North China Plain : Manuscript Thesis for a Doctor Philosophy Degree (PhD): 201. Sumy, 151 p.