

Conclusion: *the dynamics of mineralization processes in the root zone of corn plants depends on the intensity of plant growth and the fertilizer system used.*

Key words: *index of pedotrophicity, oligotrophicity, coefficient of mineralization of nitrogen compounds, mineralization activity of humus, phytotoxicity, total biological activity, mineral fertilizer, organic fertilizer.*

УДК: 631.861:631.862

DOI: 10.32782/2415-8240-2024-104-1-19-31

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОГАЗОВОГО ДИГЕСТАТУ З КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ

О. В. ШЕВЧУК, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

Г. М. ГОСПОДАРЕНКО, доктор сільськогосподарських наук
Уманський національний університет садівництва

У зв'язку з високою концентрацією ксенобіотиків і стійкістю до розкладання, самоочищення природи проходить повільно. Тому відновлення довкілля є актуальним екологічним завданням: раціональне перероблення сільськогосподарських відходів, відновлення родючості ґрунтів від токсичних хімічних речовин, утилізація відходів каналізаційних очисних споруд, очищення водних джерел тощо. Серед наведених екологічних проблем є й утилізація супутніх продуктів біогазового виробництва. Під час біогазового виробництва утворюється дигестат. У процесі проходження дигестатом різних стадій трансформації йому стають властиві певні характеристики. Крім того, зберігання дигестату приводить до розповсюдження несприятливого газоповітряного фону, забруднення ґрунту та підземних вод токсичними складовими. Утилізація дигестату пов'язана також з великими обсягами переробки біля населених пунктів. Його заборонено складувати без спеціальних дозволів та умов, не можна захоронювати на звичайних полігонах побутових відходів. Вимоги до зберігання регламентуються ДСТУ 8727:2017.

Ключові слова: дигестат, біогаз, характеристика, хімічний склад, класифікація.

Постановка проблеми. Термін «дигестат» використовують як узагальнюючий для супутніх продуктів, які утворюються під час виробництва біогазу. Проблема його утилізації ще повністю не вирішена. Дигестат піддається різним етапам перероблення і може використовуватися в якості органічних добрив завдяки високій концентрації азоту, фосфору, калію, біологічно активних речовин. У той же час вони можуть бути джерелом забруднення, тому що містить, наприклад, високі концентрації мікроелементів (важких металів). Необхідність класифікації супутніх продуктів біогазового виробництва є актуальним і потребує додаткових досліджень. Проблеми агрохімічно

обґрунтованого та екологічно безпечного їх застосування зумовлені значними обсягами накопичення на обмеженій території і раціонального застосування у вигляді удобрювального продукту під сільськогосподарські культури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У біогазових установках у процесі біохімічних перетворень під час метанового бродіння різних органічних речовин утворюється 10 % газу від закладеної біомаси, а решта – 90 % супутній продукт – переброджена органічна маса (дигестат) [1]. Для анаеробного бродіння в біореакторах і виробництва біогазу можуть використовуватися речовини, що мають органічне походження [13, 21, 28], відходи рибальства та аквакультури [15], деревообробної промисловості [18, 25] тощо.

Склад дигестату, отриманого на виході з біогазових установок, залежить від біохімічного складу вихідної сировини, яка завантажується в метантенк [10]. Агрохімічний склад і характеристики дигестату більшою мірою залежать від виду і походження вихідної сировини для переробки [7, 16]. До основних хімічних показників, що характеризують якість удобрювальних продуктів відносять: рН біогазової суспензії, вміст органічних речовин, фосфору, калію, азоту, в тому числі амонійних сполук, інших макро- й мікроелементів: Ca, Mg, S, Fe, B, Cu, Co, Mn, Mo і Zn, що мають істотне значення для росту й розвитку культур. Окрім цього, дигестат містить органічний вуглець, у т. ч. у складі гумінових речовин (1–3 % від маси). Порівняно з незабродженою сировиною, частка потенційно доступного для рослин азоту сягає 10–70 % і оптимальне для ґрунту відношення C : N, значення показника рН 6,8–7,5, активні популяції бактерій, що сприяють оптимізації мікробіологічної активності ґрунту [2]. Перед використанням дигестату в сільському господарстві важливо вивчити його склад і врахувати наявність важких металів [22]. Високий вміст важких металів може негативно впливати на родючість ґрунту та екологічну безпеку [5].

На один мегават потужності біогазової установки за рік утворюється 40–50 тис. т дигестату. Кількість його також залежить від вихідної сировини, кг/т: гною свиней – 990, гною ВРХ – 920, бурякового жому – 910, курячого посліду – 890, силосу кукурудзи – 780 [19]. Маса дигестату може бути зменшена, якщо частину його повернути до ферментаційного відсіку біогазової установки [8]. Зброджений субстрат також може або зберігатися і використовуватися як ферменти, або бути розділений на рідку й тверду фракції. Крім того, досягти оптимальної маси і необхідної консистенції дигестату можна певною технологією, зокрема сепарацією, центрифугуванням, концентруванням, сушінням, гранулюванням або вилученням із його складу окремих елементів [9, 23]. Якість і структура органічної речовини дигестату залежить від вихідної сировини і технології її переробки, що може вплинути на доступність рослинам важких металів [29]. Наприклад, свинячий гній містить більше калію, а спільно ферментований гній великої рогатої худоби збільшує вміст фосфору. Дигестат (як органо-мінеральне добриво) може забезпечити рослини такою ж кількістю поживних речовин, як мінеральні [11, 27] або органічні добрива, такі як гній [12, 30]. За територіально обмеженого накопичення органічних відходів тваринництва поблизу підприємства виділяють екологічні показники

негативного впливу та основні загрози: здатність змінювати місцеву навколишню екологічну ситуацію; погіршуються умови проживання людей; висока концентрація речовин забруднює ґрунт і повітря, що прямо чи опосередковано змінює їх склад, флору і фауну; висока ймовірність забруднення природних водойм і поверхневих ґрунтових вод [7].

Отже, дигестат якісно й кількісно відрізняється від традиційних органічних і мінеральних удобрювальних продуктів: він близький або подібний природним сполукам; цілеспрямовано вноситься в ґрунт для включення в біологічний цикл ґрунт–рослина–продукція; має високу біологічну активність; тривало та у великих кількостях застосовується на одних і тих самих полях. Тому і підходи до оцінювання побічних ефектів його застосування повинні бути іншими, як і система заходів з їх запобігання [3]. Досліджень, проведених у цьому напрямку явно недостатньо.

Метою досліджень є детальна характеристика супутніх продуктів виробництва біогазу з курячого посліду.

Методика досліджень. Зразки дигестату було відібрано у відокремленому підрозділі «Біогаз Ладжин» ТОВ «Вінницька птахофабрика». Аналіз їх агрохімічного складу виконано у спеціалізованих, акредитованих і сертифікованих лабораторіях ПП «Західний Буг», ТОВ «Компанія землероб» та ТОВ «Агрофірма «Колос». У сертифікованій лабораторії ПП «Західний Буг», що відповідає вимогам ДСТУ ISO10012:2005 також було визначено агрохімічний склад курячого посліду як основного складника для отримання дигестату. Аналізи виконано згідно з державними стандартами України (ДСТУ) та відповідними методичними рекомендаціями. У біолабораторії ТОВ «Агрофірма «Колос» проведено мікробіологічні дослідження курячого посліду.

Результати досліджень. Загальні вимоги щодо якості органічних і органо-мінеральних добрив регламентуються ДСТУ 7938 : 2015 і ДСТУ 7881 : 2015. Показники якості органічних добрив поділяють на: загальні (обов'язкові для усіх форм добрив) і спеціальні (обов'язкові для певних форм). До обов'язкових показників належать: вміст поживних речовин, гарантійний термін зберігання. За агрегатним станом органічні добрива поділяють на тверді та рідкі. Для твердих органічних добрив важливим показником є розсипчастість. Рідкі можуть бути у вигляді розчинів і суспензій. До загальних показників безпеки належать: ступінь небезпеки (вибухова, пожежна, токсичності); токсичність за ГДК парів або пилу добрива в повітрі робочої зони; горючість за температурою самозаймання [7].

Дегестат – це складний органо-мінеральний комплекс, органічна частина якого являє собою біомасу та адсорбовані й частково окиснені речовини, а також мінеральні сполуки. До його фізико-механічних властивостей відносять: наявність сторонніх механічних і/або біохімічних домішок, вологість, запах; гранулометричний склад. Механічні характеристики переважно стосуються технологічних властивостей добрива для зберігання і внесення: щільність і насипна щільність твердих добрив, здатність твердих добрив утримувати вологу, опір течії рідких і суспендованих добрив, динамічна міцність,

статистична міцність, температура кристалізації для рідких і суспендованих добрив [7]. До загальних характеристик відносять: грубі, важкі та плаваючі домішки, свіжі осади, тощо. Грубі домішки утворюються внаслідок проходження через решета. Склад домішок, що затримується решетами, непостійний. Він пов'язаний з конструкціями решіт і складом дигестату. Зазвичай це домішки органічного походження. Вміст води у рідкому дигестаті може бути від 85 до 95 %, а маса 1 м³ в середньому становить 1020–1040 кг (табл. 1).

Табл. 1. Вміст органічних речовин і макроелементів у курячому посліді та дигестаті на його основі

Продукт	Вологість, %	Вміст, % на суху речовину							
		органічних речовин	азоту		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S
			загального	у т. ч. N-NH ₄ ⁺					
Курячий послід	53,6	33,4	9,2	2,4	4,2	3,7	1,9	10,5	0,4
Дигестат (сепаратор)	93,8	69,4	16,9	6,8	3,0	4,3	0,9	6,5	0,6
Дигестат (доброджувач)	93,8	67,7	18,6	7,7	3,3	9,7	2,0	8,0	0,6
Дигестат (ферментатор)	92,1	22,8	14,9	5,3	5,5	8,0	2,5	8,0	0,5
Дигестат твердий	76,3	40,9	9,7	1,9	3,0	2,4	1,5	4,3	0,3

Показник рН різного виду дигестату 8,4–8,7, а курячого посліду – 7,2, відношення С : N відповідно 0,8–2,1 та 1,8.

З агрономічного та екологічного погляду найбільш важливою характеристикою супутніх продуктів біогазового виробництва є їх хімічний склад. Він має важливе значення як для контролю за правильним режимом роботи біогазових установок, так і для подальшого їх використання. Величина рН є важливою для біохімічних процесів. Вони істотно можуть знижувати інтенсивність за зміни реакції середовища. Величина рН дигестатів змінюється в незначних межах – від 8,4 до 8,7 (у курячого посліду – 7,2). Дигестат також містить органічні речовини, що позитивно впливає на фізичні та хімічні властивості ґрунтів [24, 30]. Вміст органічних речовин змінюється від 22,8 до 69,4 %, азоту – 9,7–18,6 %, у тому числі амонійних сполук – 1,9–7,7 %. Амоній є найближчим резервом азоту для засвоєння кореневими системами рослин. Інша частина азоту органічних сполук поступово мінералізується, що пролонгує позитивну меліоративну дію дигестату на ґрунт. Цю особливість дигестату необхідно враховувати при розрахунку доз його внесення. Для гальмування процесів нітрифікації, що інтенсивно проходять за внесення в ґрунт азотних сполук і сприяють їх міграції у біосфері, можуть бути добавлені інгібітори нітрифікації.

Вміст інших макроелементів у біогазовій суспензії також змінюється в широких межах залежно від проходження доброджування, сепарації, ферментації, відстоювання тощо – фосфору (P₂O₅) – 3,0–5,5 %, калію (K₂O) – 2,4–

9,7 %, кальцію (CaO) – 4,3–8,0 %, магнію (MgO) – 0,9–2,5 %, сірки – 0,3–0,6 % на суху речовину. До фізико-механічних показників дигестату відносяться вологість, об'ємна маса, пластично-в'язкі властивості. Вода входить у трьох видах: вільна (60–70 %), колоїдно-зв'язана (20–30) та гігроскопічна (5–10 %). З дигестату легко видаляється фільтрацією, віджиманням на пресах або декантацією вільна вода – вона не зв'язана з його твердими часточками. Важче видалити колоїдно-зв'язану воду, яка ускладнює обробку дигестату. Вона органічно поєднана з твердими часточками і покриває їх гідратною оболонкою. Це не дозволяє часточкам з'єднуватись у великі агрегати. Повне видалення такої води можливе лише сушінням за високих температур. Проте вже за висушування дигестату на 40–50 %, як колоїд, він набуває властивості незворотності. Тобто, як наприклад і торф, за повторного зволоження перестає розбухати і втримувати вологу. За центрифугування від 35 до 90 % сухої речовини виноситься з фугатом.

Об'єм дигестату залежить від його вологовмісту. Зі зменшенням вологості об'єм дигестату зменшується. Його можна визначити за такою формулою:

$$O_2 = O_1(100 - V_1) : (100 - V_2),$$

де O_1 , O_2 – початковий і кінцевий об'єм, м³; V_1 , V_2 – початкова та кінцева вологість дигестату, %.

Ця формула дійсна лише до вологості дигестату від 65 до 75 %. За подальшого висушування, вода виходить з осаду, зменшується його маса, але об'єм дигестату не змінюється. Це пояснюється пружністю твердих часточок дигестату. Лише за термічної обробки можна досягти подальшого зменшення його об'єму.

Сепарацією розподіляють дигестат на тверду та рідку фракції. При цьому на 10–20 % зменшується об'єм рідкого дигестату залежно від вихідного матеріалу та технології сепарації. Тверда фракція є економнішою для транспортування, бо містить до 40 % сухої речовини. Крім того, її можна досушити і довести вміст сухої речовини до 90 %. Для визначення об'ємної маси дигестату за різної вологості необхідно знати питому масу сухих речовин. Залежно від характеру дигестату вона може змінюватись.

Важливим показником дигестату є пластично-в'язкі властивості. Вони змінюється залежно від градієнта швидкості – за малих градієнтів в'язкість досягає більших значень, а за її збільшення зменшується в десятки разів. Дигестат є хорошим джерелом не лише легкодоступних макро-, але й мікроелементів для рослин і ґрунтових мікроорганізмів, тому може частково замінити їх у ґрунт з тваринним гноєм або мінеральними добривами [14, 17, 20].

Відносно удобрювальних продуктів і пестицидів, що застосовуються в сільському господарстві, встановлено норми і гранично допустимі концентрації важких металів. За використання дигестату на добриво, важливо контролювати їх вміст у ґрунті та регулювати надходження моніторинговими аналізами ґрунту і вчасно реагувати на будь-які відхилення від прийнятих стандартів. Постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. за № 1325 затверджено нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) небезпечних речовин у ґрунтах. Граничні нормативи внесення азотних добрив в Україні, згідно ДСТУ

7925 : 2015, мають рекомендаційний характер залежно від ґрунтового-кліматичних умов. Нині в Україні відсутні нормативні документи щодо допустимого вмісту елементів живлення та шкідливих домішок у добривах, хоча у ЄС та інших країнах вони встановлені [26]. Так, за рекомендаціями в Європейському Союзі за повторного використання міських і промислових відходів дози компосту повинні бути розраховані так, щоб з ними у ґрунт щорічно надходило 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).

У міжнародних регламентах [26] і ДСТУ 4944 : 2008 рекомендується контролювати вміст мінімум п'яти, а в Україні – шести важких металів. За вітчизняними нормативами якості органічних добрив, на відміну від європейських, підлягає контролю вміст фтору, проте відсутні ртуть і хром. У ДСТУ 4944 : 2008 ГДК металів в удобрювальних продуктах корегується залежно від фонових та ГДК їх у ґрунті і від стійкості ґрунту до забруднення за ґрунтового-кліматичними зонами (Полісся, Лісостеп, Степ). При цьому разове надходження шкідливої речовини у ґрунт з удобрювальним продуктом має бути у 10 разів менше за ГДК.

Дигестат крім макро-, містить також і мікроелементи (важкі метали), які в адекватних концентраціях потрібні для вирощування рослин, але у високих концентраціях вони обумовлюють токсичну дію. Забруднення дигестату важкими металами є одним з основних чинників, що може обмежувати їх застосування в якості органічного добрива. Залежно від хімічного складу курячого посліду, а також можливого добавляння мікродобрив для поліпшення та пришвидшення процесу бродіння дигестат може містити і різну кількість мікроелементів (табл. 2). Серед них – найбільше бору, мангану, заліза, міді, цинку. Тому для ефективного застосування як удобрювального продукту та запобігання забруднення довкілля потрібно проводити хімічний аналіз кожної партії супутніх продуктів, особливо за внесення певних змін у технологію виробництва біогазу та наступної їх доробки і зберігання.

До органолептичних показників дигестату відносять забарвлення, запах, прозорість. Запах пояснюється наявністю в біогазовій суспензії летких речовин. У екскрементах курей різних груп також ймовірна наявність хімічних забруднювачів – антибіотики, регулятори росту, дезінфектанти та ін. З часом (12–17 міс.), у процесі зберігання посліду, антибіотики розкладаються під дією зовнішніх чинників і мікроорганізмів. Однак, наявність одночасно антибіотиків тетрациклінової, пеніцилінової і поліміксинової груп у різних концентраціях і співвідношеннях збільшує термін розкладання органічних сполук і сприяє накопиченню окремих антибіотиків мікробного походження в продукті за зберігання в умовах мезофільного режиму до понад 1,5 року. Це вказує, що на тлі пригнічення більшості видів кишкової патогенної та умовно патогенної, а також до симбіотичної мікрофлори, гриби (зокрема представники роду *Penicillium*, у тому числі *Penicillium chrysogenum*), які належить до ґрунтової мікрофлори, здатні продовжувати свою життєдіяльність на посліді курей [4].

Табл. 2. Вміст мікроелементів у курячому посліді та дигестаті на його основі

Продукт	Вміст, мг/кг сухої речовини				
	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Курячий послід	66,2	57,8	36,2	117,5	673,1
Дигестат (сепаратор)	251,6	639,2	3,9	277,4	1400,0
Дигестат (доброджувач)	237,1	623,2	4,8	296,8	1509,7
Дигестат (ферментатор)	206,3	495,6	5,9	251,9	1293,7
Дигестат твердий	63,7	208,4	8,7	97,0	515,2

Також, у складі добрива можуть міститися дезінфікувальні засоби, які використовують для миття обладнання, санації приміщень тощо. Ці хімічні речовини, залежно від кількості їх надходження з удобрювальним продуктом у ґрунт, можуть мати токсичний вплив на рослини [7]. Основним критерієм фітотоксичності ґрунту згідно з ISO11269-1 : 2012 є ефект гальмування росту кореневої системи рослин.

Дослідженнями встановлено, що курячий послід має рН 7,55 і високу мікробіологічну активність (табл. 3).

Табл. 3 Показники загальної мікробіологічної активності курячого посліду

Показник / група мікроорганізмів	КУО в 1 г сирого субстрату
Кількість бактерій на ПА (мікроорганізми, які використовують органічні форми азоту), амоніфікувальна мікрофлора	$0,8 \times 10^9$ (підвищена амоніфікувальна активність)
Кількість бактерій на КАА (які розкладають безазотисті органічні речовини ґрунту із групи олігосахаридів і споживають мінеральні форми азоту), амілолітична мікрофлора	$0,18 \times 10^9$ (середня амілолітична активність (розщеплення крохмалю з утворенням ахроодекстринів, зони розщеплення 0,1 см)
Коефіцієнт мінералізації	0,125
Азотфіксувальні мікроорганізми, олігонітрофільна мікрофлора (проведення несимбіотичної азотфіксації)	$0,28 \times 10^2$
Мікроскопічні гриби, бактерії, які вимогливі до поживного середовища	$1,48 \times 10^7$
Денітрифікувальні бактерії	Не виявлено
Мікроорганізми, здатні до мобілізації фосфору з неорганічних сполук (Муромцева)	$0,48 \times 10^3$
Мікроорганізми о, здатні до мобілізації фосфору з органічних сполук (Менкіної)	$2,48 \times 10^7$
Целюлозоруйнівні аеробні мікроорганізми, які задіяні в розкладанні безазотистої речовини із групи полісахаридів і целюлози, целюлолітична мікрофлора	$0,38 \times 10^5$

Мікробіологічним аналізом курячого посліду не було виявлено: бактерій групи кишкової палички; сульфітредукувальних анаеробів (*Clostridium perfringens*) та ентерококів.

Отже, з розвиток біогазового виробництва збільшується і виробництво різних видів дигестатів, які можна використати у сільському господарстві як органічні удобрювальні продукти. Але умови їх застосування та ефективність нині вивчена недостатньо.

Висновки. 1. Запропоновані складові характеристики дигестатів дозволяють детальніше класифікувати їх за різними ознаками, такими як: загальні, фізико-механічні, органолептичні, хімічні, теплофізичні, санітарно-бактеріологічні тощо.

2. Дигестат має високий вміст макро- та мікроелементів у розрахунку на суху речовину і може бути цінним удобрювальним продуктом, з урахуванням того, що його потрібно утилізували на незначній відстані від біогазової установки. При цьому кожен окремий дигестат – це окреме добриво, що має свій унікальний макро- й мікроелементний склад і вміст органічних речовин. Він потребує попереднього аналізу в агрохімічних лабораторіях. І вже на основі отриманих результатів і проведених розрахунків можна визначити допустимі дози внесення під певну сільськогосподарську культуру.

3. Нині немає жодних обмежень щодо реалізації дигестату як удобрювального продукту органічного походження. Тому необхідно продовжити дослідження щодо максимальних доз його внесення, ефективності під різні сільськогосподарські культури.

Література:

1. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Понятійний апарат категорії сільськогосподарські відходи, їх класифікація та перспективи подальшого використання для виробництва біоенергії. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. № 3 (53). С. 23–38. DOI: 10.37128/2411-4413-2020-3-2. 269.

2. Гончарук І. В., Панцирева Г. В., Вовк В. Ю., Верховлюк С. Д. Дослідження екологічної безпеки та економічної ефективності дигестату як біодобрива. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.28274>.

3. Господаренко Г. М. Обґрунтування дози внесення рідких органічних добрив. *Наукове обґрунтування фітосанітарної безпеки України: теорія і практика*: матеріали Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. Херсон: ІЗЗ НААН, 2021. С. 85–86.

4. Доброжан Ю. В. Санітарно-гігієнічна оцінка посліду курей за вмістом антибіотиків : автореф. дис. канд. вет. наук : 16.00.06. Київ, 2020. 22 с.

5. Пазюк В. М., Токарчук О. А. Основні характеристики осадів стічних вод. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 96–104. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-11 12.

6. Панцирева Г. В. Еколого-економічні аспекти рециклінгу дигестату на засадах сталого розвитку та підвищення родючості ґрунту. *Сталий розвиток економіки*. 2024. № 2 (49). С. 354–362.

7. Пінчук В. О., Подоба Ю. В., Тертична О. В., Кривохижа Є. М., Дешко В. І., Мінералов О. І. Екологічно безпечні технології переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічних добрив: науково-методичні рекомендації. Київ : ДІА, 2023. 50 с.
8. Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Паламаренко Я. В. Забезпечення енергетичної та екологічної безпеки держави за рахунок біопалива з біоенергетичних культур і відходів. Вінниця : Консоль, 2019. 248 с.
9. Рибіна Л. О. Екологічні аспекти інноваційного розвитку АПК. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2009. № 2. С. 78–83.
10. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Властивості біодобрив, що отримуються після анаеробної ферментації гною. *Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту*. 2013. Вип. 13. Т. 3. С. 110–117.
11. Шевчук О. В., Господаренко Г. М. Використання рідкого дигестату біогазового виробництва для підживлення пшениці озимої. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 103. Ч. 1. С. 18–26. DOI: 10.32782/2415-8240-2023-103-1-18-26
12. Alburquerque J. A., de la Fuente C., Campoy M., Carrasco L., Nájera I., Baixauli C., Caravaca F., Roldán A., Cegarra J., Bernal M. P. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*. 2012. 43. P. 119–128. DOI: 10.1016/j.eja.2012.06.001.
13. Bhatt A. H., Tao L. Economic perspectives of biogas production via anaerobic digestion. *Bioengineering*. 2020. № 7(3). DOI: 10.3390/bioengineering7030074.
14. Brtnicky M., Kintl A., Holatko J., Hammerschmiedt T., Mustafa A., Kucerik J., Vitez T., Prichystalova J., Baltazar T. and Elbl J. Effect of digestates derived from the fermentation of maize-legume intercropped culture and maize monoculture application on soil properties and plant biomass production. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2022. № 9(1). P. 1–24. DOI: 10.1186/s40538-022-00310-6.
15. European Parliament 2009. Directive 2009/28/EC. Promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives. 2001/77/EC and 2003/30/EC. O. J. European Union 140(16). Online: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/2015-10-05> [Accessed: 2023-10-05].
16. Häfner F., Ruser R., Class-Mahler I., Möller K. Field Application of Organic Fertilizers Triggers N₂O Emissions From the Soil N Pool as Indicated by ¹⁵N-Labeled Di- gestates. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. № 4. DOI: 10.3389/fsufs.2020.614349.
17. Hammerschmiedt T., Kintl A., Holatko J., Mustafa A., Vitez T., Malicek O., Baltazar T., Elbl J., Brtnicky M. Assessment of digestates prepared from maize, legumes, and their mixed culture as soil amendments: Effects on plant biomass and soil proper- ties. *Frontiers in Plant Science*. 2022. № 13(13). DOI: 10.3389/fpls.2022.1017191.
18. Honcharuk I., Tokarchuk D., Gontaruk Y., Hreshchuk H. Bio- energy recycling of household solid waste as a direction for ensuring sustainable development of rural areas. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2023. № 26(1). P. 23–42. DOI: 10.33223/epj/161467.
19. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural

Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11. № 3 (43). P. 513–522. DOI:10.14505/jemt.v11.3(43).02.

20. 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.

21. Kathijotes N., Petrova V., Zlatareva E., Kolchakov V., Marinova S., Ivanov P. Impacts of Biogas Digestate on Crop Production and the Environment: A Bulgarian Case Study. *American Journal of Environmental Sciences*. 2015. № 11(2). P. 81–89. DOI: 10.3844/ajessp.2015.81.89.

22. Manojlović M., Kovačević D., Čabilovski R., Petković K., Štrbac M. Organic fertilizers as a source of microelements and potentially toxic elements. *Proceedings of the 6th International Scientific Meeting, the International Soil Science Symposium on Soil Science & Plant Nutrition*. Turkey: Samsun, 2021. P. 127–133.

23. Miceikienė A., Gesevičienė K., Rimkuvienė D. Assessment of the Dependence of GHG Emissions on the Support and Taxes in the EU Countries. *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (14). DOI: <https://doi.org/10.3390/su13147650/>.

24. 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.

25. Rawoof S. A. A., Kumar P. S., Vo D.V.N., Subramanian S. Sequential production of hydrogen and methane by anaerobic digestion of organic wastes: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021. № 19. P. 1043–1063. DOI: 10.1007/s10311-020-01122-6.

26. 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>.

27. Riva C., Orzi V., Carozzi M., Acutis M., Boccasile G., Lonati S., Tambone F., D'Imporzano G., Adani F. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (n) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*. 2016. № 547. P. 206–214. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.156.

28. Tilvikienė V., Venslauskas K., Povilaitis V., Navickas K., Zuperka V., Kadziulienė Z. The effect of digestate and mineral fertilisation of cocksfoot grass on greenhouse gas emissions in a cocksfoot-based biogas production system. *Energy, Sustainability and Society*. 2020. № 10. DOI: 10.1186/s13705-020-00245-6.

29. Törnwall E., Pettersson H., Thorin E., Schwede S. Post-treatment of biogas digestate – An evaluation of ammonium recovery, energy use and sanitation. *Energy Procedia*. 2017. № 142. P. 957–963. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.153.

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

References:

1. Honcharuk, I. V., Vovk, V. Yu (2022). Conceptual apparatus of the category of agricultural waste, their classification and prospects for further use for

bioenergy production. *Economics, finance, management: topical issues of science and practice*, no. 3 (53), pp. 23–38. DOI: 10.37128/2411-4413-2020-3-2. 269. [in Ukrainian].

2. Honcharuk, I. V., Pantsyreva, H. V., Vovk, V. Yu., Verkholiuk, S. D., (2023). Study of ecological safety and economic efficiency of digestate as a biofertilizer. *Balanced nature management*, no. 2, pp. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.28274>. [in Ukrainian].

3. Hospodarenko, H. M. (2023). Justification of the dosage of liquid organic fertilizers. *Scientific substantiation of phytosanitary safety of Ukraine: theory and practice: materials of the all-Ukrainian scientific-practical Internet Conf.* Kherson: IIF NAAS, 2021. Pp. 85–86. [in Ukrainian].

4. Dobrozhan, Yu. V. (2020). Sanitary and hygienic assessment of chicken droppings according to the content of antibiotics. Autoref. PhD thesis. Kyiv. 22 p. [in Ukrainian].

5. Pazyuk, V. M., Tokarchuk, O. A. (2022). Basic characteristics of sewage sludge. *Technology, energy, transport of agricultural industry*, no. 1 (116), pp. 96–104. DOI:10.37128/2520-6168-2022-1-11 12. [in Ukrainian].

6. Pantsyreva, H. V. (2024). Environmental and economic aspects of digestate recycling on the basis of sustainable development and increasing soil fertility. *Sustainable economic development*, no. 2 (49), pp. 354–362. [in Ukrainian].

7. Pinchuk, V. O., Podoba, Yu. V., Tertychna, O. V. Et al (2023). Environmentally safe technologies for processing by-products of animal origin with obtaining organic fertilizers. Kyiv: DIA. 50 p. [in Ukrainian].

8. Pryshliak, N. V., Tokarchuk, D. M., Palamarenko, Ya. V. (2019). Ensuring energy and environmental security of the state due to biofuel from bioenergy crops and waste. Vinnytsia: Konsol. 248 p. [in Ukrainian].

9. Rybina, L. O. (2009). Environmental aspects of the innovative development of the agricultural sector. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, no. 2, pp. 78–83. [in Ukrainian].

10. Skliar, O. H., Skliar R. V. (2013). Properties of biofertilizers obtained after anaerobic manure fermentation. *Proceedings of Tavri State Agrotechnological University*, vol. 13, pp. 110–117. [in Ukrainian].

11. Shevchuk, O. V., Hospodarenko, H. M. (2023). Use of liquid digestate of biogas production for feeding winter wheat. *Coll. of science Ave. of Umansky NUH*, iss. 103, pp. 18–26. DOI: 10.32782/2415-8240-2023-103-1-18-26. [in Ukrainian].

12. Albuquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J. Bernal, M. P. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, no. 43, pp. 119–128. DOI: 10.1016/j.eja.2012.06.001.

13. Bhatt, A. H., Tao, L. (2020). Economic perspectives of biogas production via anaerobic digestion. *Bioengineering*, no. 7(3). DOI: 10.3390/bioengineering7030074.

14. Brtnicky, M., Kintl, A., Holatko, J., Hammerschmidt, T., Mustafa, A., Kucerik, J., Vitez, T., Prichystalova, J., Baltazar, T., Elbl, J. (2022). Effect of digestates derived from the fermentation of maize-legume intercropped culture and maize monoculture application on soil properties and plant biomass production. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, no. 9(1), pp. 1–24, DOI: 10.1186/s40538-022-00310-6.

15. European Parliament (2009). Directive 2009/28/EC. Promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives. 2001/77/EC and 2003/30/EC. O. J. European Union 140(16). Online: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/2015-10-05> [Accessed: 2023-10-05].
16. Häfner, F., Ruser, R., Class-Mahler, I. and Möller, K. (2021). Field Application of Organic Fertilizers Triggers N₂O Emissions From the Soil N Pool as Indicated by ¹⁵N-Labeled Digestates. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, no. 4. DOI: 10.3389/fsufs.2020.614349.
17. Hammerschmiedt, T., Kintl, A., Holatko, J., Mustafa, A., Vitez, T., Malicek, O., Baltazar, T., Elbl, J., Brtnicky, M. (2022). Assessment of digestates prepared from maize, legumes, and their mixed culture as soil amendments: Effects on plant biomass and soil properties. *Frontiers in Plant Science*, no. 13(13). DOI: 10.3389/fpls.2022.1017191.
18. Honcharuk, I., Tokarchuk, D., Gontaruk, Y., Hreshchuk, H. (2023). Bioenergy recycling of household solid waste as a direction for ensuring sustainable development of rural areas. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, no. 26(1), pp. 23–42, DOI: 10.33223/epj/161467.
19. Kaletnik, G., Honcharuk, I., Okhota, Yu. (2020). The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*, no. 11(3), pp. 513–522. DOI:10.14505/jemt.v11.3(43).02.
20. 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*, no. 20, pp. 3265–3288. DOI: 10.1007/s10311-022-01451-8.
21. Kathijotes, N., Petrova, V., Zlatareva, E., Kolchakov, V., Marinova, S., Ivanov, P. (2015). Impacts of Biogas Digestate on Crop Production and the Environment: A Bulgarian Case Study. *American Journal of Environmental Sciences*, no. 11(2), pp. 81–89, DOI: 10.3844/ajessp.2015.81.89.
22. Manojlović, M., Kovačević, D., Čabilovski, R., Petković, K., Štrbac, M. (2021). Organic fertilizers as a source of microelements and potentially toxic elements. *Proceedings of the 6th International Scientific Meeting, the International Soil Science Symposium on Soil Science & Plant Nutrition*. Turkey: Samsun. Pp. 127–133.
23. Miceikienė, A., Gesevičienė, K., Rimkuvienė, D. (2021). Assessment of the Dependence of GHG Emissions on the Support and Taxes in the EU Countries. *Sustainability*, vol. 13 (14). DOI: <https://doi.org/10.3390/su13147650/>.
24. 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*, no. 28(7), pp. 1246–1253, DOI: 10.1016/j.wasman.2007.06.005.
25. Rawoof, S. A. A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., Subramanian, S. (2021). Sequential production of hydrogen and methane by anaerobic digestion of organic wastes: a review. *Environmental Chemistry Letters*, no. 19, pp. 1043–1063, DOI: 10.1007/s10311-020-01122-6.
26. 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>.

27. Riva, C., Orzi, V., Carozzi, M., Acutis, M., Boccasile, G., Lonati, S., Tambone, F., D'Imporzano, G., Adani, F. (2016). Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (n) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*, no. 547, pp. 206–214, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.156.

28. Tilvikiene, V., Venslauskas, K., Povilaitis, V., Navickas, K., Zuperka, V., Kadziuliene, Z. (2020). The effect of digestate and mineral fertilisation of cocksfoot grass on greenhouse gas emissions in a cocksfoot-based biogas production system. *Energy, Sustainability and Society*, no. 10. DOI: 10.1186/s13705-020-00245-6.

29. Törnwall, E., Pettersson, H., Thorin, E., Schwede, S. (2017). Post-treatment of biogas digestate – An evaluation of ammonium recovery, energy use and sanitation. *Energy Procedia*, no. 142, pp. 957–963, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.153.

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

Annotation

Shevchuk O., Hospodarenko H.

Main characteristics of chicken droppings biogas digestate

Aims. Detailed characteristics of by-products of chicken droppings biogas production.

Methods. Digestate samples were collected in the separate unit Biogas Ladyzhyn Vinnytsia Poultry Farm LLC. The analysis of their agrochemical composition was carried out in specialized, accredited and certified laboratories of Zahidnyi Bug PP(private entrepreneur), Kompaniia Zemlerob LLC, and Agrofirma Kolos LLC.

Results and conclusions. The development of biogas production increases every year. At the same time, the production of various types of digestate, which can be used in agriculture as organic fertilizer products, is increasing. However, the conditions of their use and effectiveness are not sufficiently studied. The proposed constituent characteristics of digestates allow to classify them in more detail according to various characteristics, such as: general, physical-mechanical, organoleptic, chemical, thermophysical, sanitary-bacteriological, etc. Digestate has a high content of macro- and microelements in terms of dry matter and can be a valuable fertilizer, taking into account the fact that it should be disposed of at a small distance from the biogas plant. At the same time, each separate digestate is a separate fertilizer with its own unique macro- and microelement composition and content of organic substances. It requires to be preliminary analysed in agrochemical laboratories. And on the basis of the obtained results and the calculations carried out, it is possible to determine the permissible application doses for a certain agricultural crop. Currently, there are no restrictions on the sale of digestate as a fertilizer of organic origin. Therefore, it is necessary to continue research on the maximum doses of its application, effectiveness for various agricultural crops.

Key words: digestate, biogas, characteristics, chemical composition, classification.