

УДК 631.41:631.417.1

DOI: 10.37128/2707-5826-2024-4-1

ВПЛИВ ДИГЕСТАТУ НА АГРОХІМІЧНИЙ СКЛАД ГРУНТУ ТА НАКОПИЧЕННЯ В НЬОМУ ВУГЛЕЦЮ

В.Д. ПАЛАМАРЧУК, доктор с.-г. наук,
доцент

В.Ю. КРИЧКОВСЬКИЙ, доктор філософії
з агрономії, старший викладач

М.В. СКАКУН, аспірант

Вінницький національний аграрний
університет

У статті приведені результати вивчення впливу дигестату на показники родючості ґрунту та накопичення в ньому органічного вуглецю. Дослідження проводились впродовж 2019-2024 рр. в умовах ТОВ «Органік-Д» на сірих лісових ґрунтах, легкосуглинкового механічного складу.

Результатами проведених досліджень встановлено, що внесення у ґрунт дигестату, отриманого шляхом 14-денного збродження в біогазовій станції свинячого гною, який має лужну реакцію розчину, значну кількість макро- і мікроелементів та корисні мікроорганізми позитивно впливає на показники нагромадження вуглецю у ґрунті із 1,03 до 1,50%, зниження кислотності рН обмінна із 4,68 до 5,7, збільшення у ґрунті макроелементів: амонійного азоту (NH_4) із 14,13 мг/кг на контролі до 41,20 мг/кг на варіанті із дворічним внесенням дигестату, для нітратного азоту NO_3 із 1,37 до 47,50 мг/кг, амонійно-нітратного ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) із 15,50 до 88,70 мг/кг, фосфору (P_2O_5) – із 75,77 до 100,70 мг/кг, калію (K_2O) – із 103,33 до 230,40 мг/кг та сірки (S) – із 2,4 до 9,0 мг/кг і мікроелементів (мідь (Cu) – 0,13 мг/кг, цинк (Zn) 1,32 мг/кг та марганець (Mn) – 7,16 мг/кг). В цілому по досліді внесення дигестату забезпечило зростання вмісту органічного вуглецю на 0,148% порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Місткість катіонного обміну виявилася найвищою на варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) – 176 ммоль+/кг ґрунту, тоді як на контрольному варіанті вона склала 147 ммоль+/кг ґрунту. Внесення дигестату позитивно впливає також на вміст у ґрунті фізичної глини, зокрема на варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) вміст глинистої фракції склав 19 %, а в контрольному варіанті – 16 %.

Найвищий вміст органічного вуглецю в орному шарі ґрунту відмічено на варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне (60 т/га), передпосівне (60 т/га) удобрення та підживлення (60 т/га) – 173,25 т/га, тоді як у контрольному варіанті запаси органічного вуглецю в орному шарі ґрунту склали 138,38 т/га, відповідно зростання становило 34,88 т/га.

Ключові слова: дигестат, органічний вуглець, родючість ґрунту, макроелементи, мікроелементи, кислотність, гумус, система удобрення.

Табл. 4. Літ. 12.

Постановка проблематики досліджень. Ґрунт на разі вважається не лише основним засобом виробництва рослинницької продукції, а й біологічним тілом, в якому виконує свою життєдіяльність велика кількість живих організмів. Вирощування продукції рослинництва істотно залежить від показників родючості ґрунтів, особливо від вмісту органічної частини, яка більшою мірою представлена вуглецевмісними сполуками. Можливість зв'язування вуглецю у вигляді вуглекислого газу в ґрунті дозволяє розв'язувати питання глобального потепління, оскільки оксид вуглецю є одним із найбільш поширених парникових газів. Крім того, збільшення кількості вуглецю в ґрунті (особливо в гумусі) сприяє покращенню його агрономічно-цінних властивостей та забезпечує зростання рівня продуктивності сільсько-

господарських культур. В ґрунті вуглець може бути представлений у вигляді різних сполук та форм, найбільш поширеними серед яких є вуглець загальний, неорганічний, органічний вуглець; суспендований органічний вуглець, стійкий, гумусовий та інші. Сполуки вуглецю за фракційним складом відрізняються за складом, розмірами, періодом обігу в ґрунті, розчинністю і т. д. У зв'язку із цим дослідження в цьому напрямі є актуальними та необхідними, особливо якщо врахувати значну частку ґрунтів, які зазнали деградації під час воєнних дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найбільш важливих ознак стабільності та функціонування едафічної системи є вміст органічної речовини (гумусу). Загалом у науковій літературі можна простежити чітке розуміння тотожності двох термінів «гумус» та «органічна речовина ґрунту». Відповідно до національного стандарту ДСТУ ISO 11074:2009 Якість ґрунту. Словник термінів (ISO 11074:2005, IDT), гумусом вважається вміст усіх рослинних та тваринних решток та продуктів їх перетворення й органічні компоненти, внесені людиною, це можна сказати й про органічну речовину [1, 2].

Гумус є основним чинником реалізації генетичного потенціалу продуктивності сільськогосподарських культур, що визначає родючість ґрунту. Крім того, вивчення вмісту гумусу актуальне в умовах зростання дефіциту харчових продуктів і концентрації CO₂ в атмосфері для оцінки ефективності систем обробітку та удобрення ґрунтів [3]. Згідно з даними Шпренгеля, в складі гумусу міститься 58 % вуглецю, а також існує коефіцієнт перерахунку вмісту гумусу в органічному вуглецю 1,724. Але варто зазначити, що гумус складається не лише з гумінових, але із фульвокислот, що містять менше ніж 50 % вуглецю. Через це виник диференційований метод перерахунку органічного вуглецю на гумус, який враховує різні типи ґрунтових відмін та знаходиться в межах 1,724 – 2,5 [1, 4]. Так коефіцієнт перерахунку вмісту органічного вуглецю на вміст органічної речовини для дерново-підзолистих ґрунтів становить 2,09; сірих лісових ґрунтів – 2,05; каштанових – 1,97; чорноземних – 1,88; бурих лісових ґрунтів – 2,06 [5]. У світі краще сприймається термін «вміст органічного вуглецю» порівняно з показником «вміст гумусу» [1].

Інтенсивне використання ґрунтів людиною спричиняє підвищення біогенності порівняно з природними умовами, що призводить до втрати гумусу, виснаження запасів поживних речовин, порушення структури верхнього шару, змін водного режиму та прискорення мінералізації органічних речовин через активну аерацію й обробіток, це негативно впливає на родючість ґрунтів, погіршуючи їхню здатність забезпечувати продуктивність і екологічну стійкість [6, 7].

Згідно з даними В.П. Ткачука та П.І. Трофименка [3], нагромадження гумусу у верхньому шарі ґрунту залежить від характеру надходження та розкладання органічних добрив і рослинних решток, які є основним джерелом органічної речовини, а також від ступеня розпушування ґрунту, що впливає на процеси аерації й мікробіологічної активності.

Дослідження впливу внесення дигестату на вміст у ґрунті гумусу та органічного вуглецю в науковій літературі висвітлені недостатньо, тому такий напрям досліджень є актуальним і має суттєве практичне значення для землеробства та зменшення інтенсивності глобального потепління.

Метою наших досліджень було встановлення впливу внесення дигестату на агрохімічний склад та агрономічно-цінні властивості ґрунту і накопичення в ньому вуглецю.

Матеріал та методика проведення досліджень. Дослідження проводились впродовж 2019-2024 рр. в умовах ТОВ «Органік-Д» на сірих лісових ґрунтах, легкосуглинкового механічного складу.

Кліматичні умови зони досліджень загалом досить сприятливі для вирощування усіх сільськогосподарських культур. У 2019, 2021 та 2023 роках склалися сприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур. У 2020 весна склалася затяжна із не високими температурними показниками, що вплинуло на застосування ранніх строків сівби ярих культур. Не сприятливим фактором погоди було різке зниження температури, що стало лімітним фактором для розвитку сільськогосподарських культур, особливо теплолюбних, та щоденне випадання дощів, місцями значних. У 2022 році спостерігалися умови із високими температурними показниками та не рівномірним розподілом опадів. У 2024 році помітне значне відхилення показників температурного режиму та кількості опадів від середньобагаторічного значення цих показників. Дефіцит вологи та надлишкова температура негативно вплинула на формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Внесення дигестату проводили в різні строки з обов'язковою заробкою у ґрунт. Схема досліду включала внесення дигестату при вирощуванні кукурудзи на зерно: Варіант 1. Основне удобрення дигестатом (60 т/га) + передпосівне дигестатом (60 т/га) + підживлення (60 т/га); Варіант 2. Підживлення дигестатом (60 т/га); Варіант 3. Передпосівне удобрення дигестатом (60 т/га); Варіант 4. Основне удобрення дигестатом (60 т/га); Варіант 5. Контроль (без добрив); Варіант 6. Внесення мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$). Також досліджувався вплив дигестату на показники родючості ґрунтів інших сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику. Підживлення проводили у фазу 10-12 листків кукурудзи. Основне удобрення виконували під основний обробіток ґрунту, а передпосівну в передпосівну культивуацію.

Дигестат, який використовувався у дослідженнях, отримували шляхом анаеробного зброджування свинячого гною впродовж 14 днів, яке має відповідну сертифікацію (ТУ У 20.1-38731462-001:2018) та патентування в Україні [8, 9]. За агрохімічним складом дигестат зі свинячого гною характеризується лужною реакцією сольового розчину $pH_{\text{сольове}}$ 8,2-8,5; масовою часткою вологи – 97,5-98,4 %; вмістом золи в абсолютно сухій речовині – 34,5-37,3 %; органічної речовини в натуральній масі – 0,60 %, **макроеlementи**: нітратного азоту – 18,2 мг/кг, амонійного азоту – 2,3-3,0 кг/т, загального азоту – 2,9-4,1 кг/т,

легкорухомого фосфору (P_2O_5) – 0,9-1,3 кг/т, калію (K_2O) – 1,8-3,2 кг/т, сірки у формі SO_3 – 0,54 кг/т, магнію (MgO) – 0,42-0,52 кг/т, кальцію (CaO) – 1,1-3,5 кг/т; **мікроелементи**: міді – 4,6-19,0 мг/кг, цинку – 32,0-43,0 мг/кг, марганцю – 14,9-20,0 мг/кг, заліза – 45,1-120,0 мг/кг та молібдену 0,23 мг/кг [10].

Для визначення вмісту гумусу та органічного вуглецю в ґрунті використовували сканування в ближньому інфрачервоному спектрі за допомогою приладу Soil Scanner (рис. 1), який характеризується високою точністю. Визначення базується на детектуванні вмісту С, припускаючи, що в органічній частці ґрунту вміст вуглецю (С) складає 58 %.



Рис. 1. Загальний вигляд сканера Soil Scanner

Після вмикання й автоматичного з'єднання зі смартфоном здійснюється контрольний замір на калібровій рамці, далі вимірювальний блок розміщують над відібраним зразком і проводять вимірювання. Вимірювання й передача даних на сервер займає кілька хвилин; далі на смартфон одержуються результати аналізу. Відомі також приклади використання γ -променів для одержання інформації про властивості ґрунтів. Застосовують їх поки що переважно для ідентифікації відмін ґрунтів, величини рН ґрунтів. У майбутньому γ -променеві прилади будуть важливими для прогнозу, картографування поверхні ґрунту та виявлення низки його властивостей [11, 12].

Користуючись градуйованою характеристикою, за показниками приладу визначали основні властивості ґрунту та вміст вуглецю в досліджуваних зразках.

Досліди виконували відповідно до I етапу прикладного дослідження «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження задля формування кліматичної нейтральності» (державний реєстраційний номер 0124U000483, термін виконання 2024-2025 рр.), що виконується за рахунок коштів державного бюджету.

Виклад основного матеріалу досліджень. Дигестат, отриманий шляхом 14-денного збродження в біогазовій станції свинячого гною, за своїми властивостями

можна схарактеризувати як найповніше біоорганічне добриво, що містить макро-, мікроелементи та корисні мікроорганізми, що позитивно впливають на показники нагромадження вуглецю в ґрунті та формування генетично закладеного рівня продуктивності сільськогосподарських культур. Результатами проведених досліджень підтверджено вплив внесення дигестату на основні агрохімічні показники досліджуваних ґрунтів (див. табл. 1 та 2).

Таблиця 1

**Вплив внесення дигестату на агрохімічні показники ґрунту,
(за 2019-2020 рр.)**

Дата відбору зразків ґрунту	pH обмінна	pH гідролітична ммоль / 100 г	Масова частка вуглецю, %	N (NH ₄) мг/кг	N (NO ₃) мг/кг	N (NH ₄ +NO ₃) мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг	S, мг/кг
14.06.2019 (до внесення дигестату)	4,68	2,55	1,03	14,13	1,37	15,50	75,77	103,33	2,4
28.11.2019 (після внесення дигестату)	5,70	1,37	0,70	9,60	94,50	104,10	139,10	207,40	18,2
26.03.2020 (друге визначення після внесення дигестату)	5,40	2,16	1,50	41,20	47,50	88,70	100,70	230,40	9,0

Джерело: за даними Сервісно-аналітичного центру Відокремленого структурного підрозділу ТОВ «ФАБРИКА АГРОХІМІКАТІВ» «ІНСТИТУТ ЗДОРОВ'Я РОСЛИН»

Із даних таблиці 1 видно, що внесення дигестату знижує рівень кислотності ґрунтів, зокрема до внесення pH обмінна складала 4,68, що відповідає сильній кислотності, а після внесення дигестату pH обмінна склав 5,4-5,7, що уже відповідає слабо кислій реакції. Ця тенденція пояснюється значним вмістом у дигестаті кальцію (1,1-3,5 кг/т), що впливає на зниження рівня кислотності ґрунтів.

Масова частка вуглецю у варіанті до внесення дигестату становила 1,03 %, а після тривалого внесення зростала до 1,50%, що свідчить про позитивну тенденцію фіксації органічного вуглецю у ґрунті.

Вміст азоту в різних формах за внесення дигестату істотно збільшувався, що мало тенденцію зростання в декілька разів, наприклад для амонійного азоту (NH₄) із 14,13 мг/кг на контролі до 41,20 мг/кг у варіанті із дворічним внесенням дигестату, для нітратного азоту NO₃ із 1,37 до 47,50 мг/кг, амонійно-нітратного (NH₄+NO₃) із 15,50 до 88,70 мг/кг відповідно. Помітне зростання рухомих форм та інших елементів живлення, наприклад фосфору (P₂O₅) – із 75,77 до 100,70 мг/кг, калію (K₂O) – із 103,33 до 230,40 мг/кг та сірки (S) – із 2,4 до 9,0 мг/кг.

Отже, застосування дигестату, отриманого шляхом зброджування в біогазових станціях свинячого гною, призводить до зниження кислотності ґрунтів та поліпшення їх забезпеченості рухомими формами основних елементів живлення.

Дигестат за своїм хімічним складом може містити також і мікроелементи, такі як мідь, цинк та марганець, які за внесення даного добрива істотно можуть поповнювати запаси цих елементів у ґрунті та доступність їх для рослин під час формування продуктивності сільськогосподарських культур. Ми встановили вплив внесення дигестату на вміст мікроелементів у ґрунті (табл. 2).

Таблиця 2

**Вплив внесення дигестату на вміст у ґрунті мікроелементів,
(за 2019-2020 рр.)**

Дата відбору зразків ґрунту	Cu, мг/ кг	Zn, мг/ кг	Mn, мг/кг
28.11.2019 (після внесення дигестату)	0,29	3,98	27,82
26.03.2020 (друге визначення після внесення дигестату)	0,13	1,32	7,16

Джерело: за даними Сервісно-аналітичного центру Відокремленого структурного підрозділу ТОВ «ФАБРИКА АГРОХІМІКАТІВ» «ІНСТИТУТ ЗДОРОВ'Я РОСЛИН»

Із даних таблиці 2, видно що після внесення дигестату вміст міді (Cu) склав 0,13 мг/ кг, цинку (Zn) 1,32 мг/ кг та марганцю (Mn) – 7,16 мг/ кг, що за повідомленнями Інституту живлення рослин відповідає середньому забезпеченню міддю – 0,1-0,20 мг/ кг. Вміст цинку на рівні 1,32 мг/ кг є низьким, а 3,98 мг/ кг середнім та потребує врахування забезпеченості рослин сільськогосподарських культур цим елементом шляхом використання позакоренових підживлень цинковмісними мікродобривами, особливо культур дуже чутливих до дефіциту цього мікроелементу. Вміст марганцю на рівні 7,16 мг/кг є середнім і 27,82 мг/кг дуже високим, який не потребує додаткового внесення такого мікроелемента у вигляді мікродобрив.

Важливим для росту і розвитку сільськогосподарських культур є не тільки задовільний загальний вміст мікроелементів, але і їх доступність, яка визначається кислотністю ґрунту та вмістом інших елементів мінерального живлення.

Вплив дигестату на вміст органічної речовини та органічного вуглецю, глини та вологості ґрунту наведено в таблиці 3.

Із даних таблиці 3 видно, що удобрення дигестатом впливає на значення органічної речовини в ґрунті. Зокрема у контрольному варіанті (без внесення дигестату) вміст органічної речовини становив 2,3 %, у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) він склав 2,9%; у варіанті із підживленням дигестатом (60 т/га) – 2,7 %; передпосівним удобренням дигестатом (60 т/га) – 2,5 %; основним удобренням дигестатом (60 т/га) – 2,4 %; із внесенням мінеральних добрив (N₉₀P₉₀K₉₀) – 2,3 %. Аналогічна тенденція стосується також і вмісту органічного вуглецю – 1,23%; 1,54 %; 1,40 %; 1,31 %; 1,26 % та 1,21 %.

Загалом по досліді внесення дигестату забезпечило зростання вмісту органічного вуглецю на 0,148% порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Таблиця 3

Агрономічно-цінні властивості сірого лісового ґрунту залежно від застосування дигестату, за 2024 р.

Показники	Варіанти удобрення дигестатом*					
	1	2	3	4	5	6
рН (водне)	7,3	7,2	7,2	7,2	7,1	7
Органічні речовини, %	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,3
Органічний вуглець, %	1,54	1,40	1,31	1,26	1,23	1,21
Ємність катіонного обміну, ммоль+/кг	176	174	153	151	147	138
Глина, %	19	18	17	16	16	13

Примітка: * – Варіант 1. Основне удобрення дигестатом (60 т/га) + передпосівне внесення дигестату (60 т/га) + підживлення дигестатом (60 т/га); Варіант 2. Підживлення дигестатом (60 т/га); Варіант 3. Передпосівне удобрення дигестатом (60 т/га); Варіант 4. Основне удобрення дигестатом (60 т/га); Варіант 5. Контроль (без добрив); Варіант 6. Внесення мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$). Визначення проводили агрономічно цінних властивостей проводили сканером ґрунту Soil Scanner.

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень

Місткість катіонного обміну виявилася найвищою на варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) – 176 ммоль+/кг ґрунту, тоді як у контрольному варіанті вона склала 147 ммоль+/кг ґрунту. Варто також відзначити позитивний вплив внесення дигестату на відсоток вмісту фізичної глини та вологості ґрунту. Зокрема у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) вміст глинистої фракції склав 19 %, а в контрольному варіанті – 16 %.

Вплив внесення дигестату на запаси органічного вуглецю у ґрунті наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Накопичення органічного вуглецю в ґрунтах залежно від застосування дигестату, (за 2019-2024 р.)

Варіант удобрення	Вміст органічних речовин, %	Вміст органічного вуглецю, %	Запаси органічного вуглецю у орному шарі ґрунту, т/га
Контроль (без внесення дигестату)	2,3	1,23	138,38
Внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$	2,3	1,21	136,13
Основне удобрення дигестатом (60 т/га) + передпосівне внесення дигестату (60 т/га) + підживлення дигестатом (60 т/га)	2,9	1,54	173,25
Підживлення дигестатом (60 т/га)	2,7	1,40	157,50
Передпосівне удобрення дигестатом (60 т/га)	2,5	1,31	147,38
Основне удобрення дигестатом (60 т/га)	2,4	1,26	141,75

Джерело: сформовано на основі власних результатів досліджень

Оцінка запасів органічного вуглецю в орному шарі ґрунту (табл. 4) показала, що найвищий вміст цього показника помічено у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне (60 т/га), передпосівне (60 т/га) удобрення та підживлення (60 т/га) – 173,25 т/га, тоді як на контрольному варіанті запаси органічного вуглецю в орному шарі ґрунту склали 138,38 т/га, відповідно зростання становило 34,88 т/га. Варто відзначити зростання запасів вуглецю в середньому по досліді у варіантах із внесенням дигестату в різні строки на 16,59 т/га порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Отже, внесення дигестату позитивно впливає на основні показники родючості сірих лісових ґрунтів, збільшуючи при цьому значення органічної речовини в ґрунті та вміст запасів органічного вуглецю.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Внесення у ґрунт дигестату, отриманого шляхом 14-денного збродження в біогазовій станції свинячого гною, який має лужну реакцію розчину, значну кількість макро- і мікроелементів та корисні мікроорганізми позитивно впливає на показники нагромадження вуглецю у ґрунті із 1,03 до 1,50%, зниження кислотності рН_{обмінна} із 4,68 до 5,7, збільшення у ґрунті макроелементів: амонійного азоту (NH₄) із 14,13 мг/кг на контролі до 41,20 мг/кг у варіанті із дворічним внесенням дигестату, для нітратного азоту NO₃ із 1,37 до 47,50 мг/кг, амонійно-нітратного (NH₄+NO₃) із 15,50 до 88,70 мг/кг, фосфору (P₂O₅) – із 75,77 до 100,70 мг/кг, калію (K₂O) – із 103,33 до 230,40 мг/кг та сірки (S) – із 2,4 до 9,0 мг/кг і мікроелементів (мідь (Cu) – 0,13 мг/кг, цинк (Zn) 1,32 мг/кг та марганець (Mn) – 7,16 мг/кг). Загалом по досліді внесення дигестату забезпечило зростання вмісту органічного вуглецю на 0,148% порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Місткість катіонного обміну виявилася найвищою у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) – 176 ммоль+/кг ґрунту, тоді як у контрольному варіанті вона складала 147 ммоль+/кг ґрунту. Внесення дигестату позитивно впливає також на вміст у ґрунті фізичної глини, зокрема у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) вміст глинистої фракції склав 19 %, а в контрольному варіанті – 16 %.

Найвищий вміст органічного вуглецю в орному шарі ґрунту помітно у варіанті із триразовим внесенням дигестату в основне (60 т/га), передпосівне (60 т/га) удобрення та підживлення (60 т/га) – 173,25 т/га, тоді як у контрольному варіанті запаси органічного вуглецю в орному шарі ґрунту склали 138,38 т/га, відповідно зростання становило 34,88 т/га.

Список використаної літератури

1. Скрильник Є.В., Гетманенко В.А. Оцінка підходів до перерахунку органічного вуглецю на гумус у ґрунтових зразках. *Збірник наукових праць «Охорона ґрунтів». Спеціальний випуск. Матеріали всеукраїнської науково-*

практичної конференції «Моніторинг ґрунтів – основа створення бази даних їх якісного стану» м. Вінниця 10-11 серпня 2017 р. Київ-2017. С. 44–45.

2. Паламарчук В. Д., Кричковський В.Ю., Рудська Н.О., Колісник О. М. Новітні технології вирощування овочевих культур та кукурудзи за використання дигестату біогазових станцій: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк-Плюс», 2023. 296 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/33725.pdf>.

3. Ткачук В.П., Трофименко П.І. Вміст гумусу за різного використання дерново-підзолистого супіщаного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO₂. *Наукові доповіді НУБіП України. Агрономія*. 2020. № 2 (84). URL : <https://doi.org/10.31548/dopovid2020.02.007>. URL : <http://journals.nubip.edu.ua>.

4. Венглінський М.О., Грищенко О.М., Годинчук Н.В., Романова С.А., Гаврилюк В.Б. Оцінка методик визначення вмісту органічної речовини (гумусу) в ґрунті. *Ґрунтознавство. Серія: Біологічні системи*. 2015. Т. 7. Вип. 1. С. 97–101.

5. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.

6. Балаєв А., Піковська О., Тонха О. Вміст гумусу та лабільних органічних речовин за різного використання чорнозему типового. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2018. Vol. 1. № 286. С. 173–179.

7. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк-Плюс», 2022. 372 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=31508>.

8. Кричковський В.Ю. Патент України на корисну модель. Спосіб отримання біоорганічного добрива «Ефлюент». № 143495 U України, МКП 2006 C05F 3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01). № u202002033, заявл. 25.03.2020; Бюл. № 14 URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>

9. Кричковський В.Ю. Патент України на корисну модель. Біоорганічне добриво «Ефлюент». № 144732 U України, МКП 2006 C05F 3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01). № u202002032, заяв. 25.03.2020; опубл. 26.10.2020 р. Бюл. 20/2020 URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=271964>

10. Калетнік Г.М., Паламарчук В.Д., Гончарук І.В., Ємчик Т.В., Телекало Н.В. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю.В., 2021. 260 с.

11. Gastrignano A., Wong M. T. F., Stelluti M., De Benedetto D., Sollitto D. Use of EMI, gamma-ray emission and GPS height as multi-sensor data for soil characterization. *Geodema*. 2012. P. 78-89. URL : <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.013>.

12. Dennerley C., Huang J., Nielson R., Sefton M., Triantafilis J. Identifying soil management zones in a sugarcane field using proximal sensed electromagnetic induction and gamma-ray spectrometry data. *Soil use and management*. 2018. Vol. 34. Issue 2. P. 219–235. DOI: 10.1111/sum.12410.

Список використаної літератури / References

1. Skrylnyk Ye.V., Hetmanenko V.A. (2017). Otsinka pidkhodiv do pererakhunku orhanichnoho vuhletsu na humus u gruntovykh zrazkakh [*Evaluation of Approaches for Converting Organic Carbon to Humus in Soil Samples*]. Zbirnyk naukovykh prats «Okhorona gruntiv». Spetsialnyi vypusk. Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Monitorynh gruntiv – osnova stvorennia bazy danykh yikh yakisnoho stanu» m. Vinnytsia 10-11 serpnia 2017 r – Collection of Scientific Papers "Soil Protection". Special Issue. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Soil Monitoring as the Basis for Creating a Database on Their Quality Status" Vinnytsia, August 10-11, 2017.]. 44–45. [in Ukrainian].
2. Palamarchuk V.D., Krychkovskyi V.Iu., Rudska N.O., Kolisnyk O.M. (2023). Novitni tekhnolohii vyroshchuvannia ovochevykh kultur ta kukurudzy za vykorystannia dyhestatu biohazovykh stantsii: monohrafiia [*Innovative technologies for growing vegetable crops and corn using biogas plant digestate: monograph*]. Vinnytsia: TOV «Druk-Plius», [in Ukrainian].
3. Tkachuk V.P., Trofymenko P.I. (2020). Vmist humusu za riznoho vykorystannia dernovo-pidzolystoho supishchanoho gruntu ta obsiahy emisiinykh vtrat CO₂ [Humus content under different uses of sod-podzolic sandy loam soil and volumes of CO₂ emission losses]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy. Ahronomiia – Scientific reports of NUBiP of Ukraine. Agronomy. № 2 (84). URL : <http://journals.nubip.edu.ua> [in Ukrainian].
4. Venhliynskyi M.O., Hryshchenko O.M., Hodynchuk N.V., Romanova S.A., Havryliuk V.B. (2015). Otsinka metodyk vyznachennia vmistu orhanichnoi rehovyny (humusu) v grunti [*Evaluation of methods for determining the content of organic matter (humus) in soil*]. Gruntoznavstvo. Serii: Biologichni systemy – Soil science. series: Biological systems. Issue 7. Vol. 1. 97–101. [in Ukrainian].
5. DSTU 4289:2004. (2005). Yakist gruntu. Metody vyznachannia orhanichnoi rehovyny [*Soil quality. methods for determining organic matter*]. [in Ukrainian].
6. Balaev A., Pikovska O., Tonkha O. (2018). Vmist humusu ta labilnykh orhanichnykh rehovyn za riznoho vykorystannia chornozemu typovoho [*Humus content and labile organic substances under different uses of typical chernozem*]. Naukovi zhurnal «Roslynnnytstvo ta gruntoznavstvo» – Scientific journal "Crop production and soil science". Vol. 1. № 286. 173-179. [in Ukrainian].
7. Palamarchuk V.D., Kolisnyk O.M. (2022). Suchasna tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy dlia enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku silskykh terytorii: monohrafiia [*Modern technology for growing corn for energy-efficient and environmentally safe development of rural areas: monograph*]. Vinnytsia: TOV «Druk-Plius». [in Ukrainian].
8. Krychkovskyi V.Iu. (2020). Patent Ukrainy na korysnu model. Sposib otrymannia bioorhanichnoho dobryva «Efliuent» [*Patent of Ukraine for a utility model. method of producing bioorganic fertilizer "Effluent"*]. № 143495 U Ukrainy, MKP 2006 C05F

3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01). № u202002033, zaiavl. 25.03.2020; Biul. № 14 [in Ukrainian].

9. Krychkovskiy V.Iu. (2020). Patent Ukrainy na korysnu model. Bioorhanichne dobryvo «Effluent». [Patent of Ukraine for a utility model. bioorganic fertilizer "Effluent"]. № 144732 U Ukrainy, MKP 2006 C05F 3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01). № u202002032, zaiavl. 25.03.2020; opubl. 26.10.2020 r. Biul. 20/2020 [in Ukrainian].

10. Kaletnik H.M., Palamarchuk V.D., Honcharuk I.V., Yemchyk T.V., Telekalo N.V. (2021). Perspektyvy vykorystannia kukurudzy dlia enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku silskykh terytorii: monohrafiia [Prospects for using corn for energy-efficient and environmentally safe development of rural areas: monograph]. Vinnytsia: FOP Kushnir Yu.V. [in Ukrainian].

11. Gastrignano A., Wong M. T. F., Stelluti M., De Benedetto D., & Sollitto D. (2012). Use of EMI, gamma-ray emission and GPS height as multi-sensor data for soil characterization. *Geodema*. P. 78-89. [in English].

12. Dennerley C., Huang J., Nielson R., Sefton M. & Triantafyllis J. (2018). Identifying soil management zones in a sugarcane field using proximal sensed electromagnetic induction and gamma-ray spectrometry data. *Soil use and management*. Vol. 34. Issue 2. P. 219-235 [in English].

ANNOTATION

INFLUENCE OF DIGESTATE ON THE AGROCHEMICAL COMPOSITION OF SOIL AND CARBON ACCUMULATION IN IT

The article presents the results of studying the influence of digestate on soil fertility indicators and organic carbon accumulation in it. The research was conducted during 2019–2024 under the conditions of LLC "Organic-D" on gray forest soils of light loamy mechanical composition.

The results of the conducted studies established that the application of digestate, obtained by 14-day fermentation of pig manure in a biogas plant, which has an alkaline solution reaction, a significant amount of macro- and micronutrients, and beneficial microorganisms, positively affects the indicators of carbon accumulation in the soil from 1.03% to 1.50%, reduces acidity (exchangeable pH) from 4.68 to 5.7, and increases the content of macrolelements in the soil: ammonium nitrogen (NH_4^+) from 14.13 mg/kg in the control to 41.20 mg/kg in the variant with biennial digestate application; nitrate nitrogen (NO_3^-) from 1.37 mg/kg to 47.50 mg/kg; ammonium-nitrate nitrogen ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) from 15.50 mg/kg to 88.70 mg/kg; phosphorus (P_2O_5) from 75.77 mg/kg to 100.70 mg/kg; potassium (K_2O) from 103.33 mg/kg to 230.40 mg/kg; sulfur (S) from 2.4 mg/kg to 9.0 mg/kg. Additionally, the content of micronutrients increased: copper (Cu) to 0.13 mg/kg, zinc (Zn) to 1.32 mg/kg, manganese (Mn) to 7.16 mg/kg. Overall, in the experiment, the application of digestate ensured an increase in organic carbon content by 0.148% compared to the control variant (without digestate application).

The cation exchange capacity was highest in the variant with three-time digestate application: basal fertilization (60 t/ha), pre-sowing application (60 t/ha), and top dressing (60 t/ha), reaching 176 mmol+/kg of soil, while in the control variant, it was 147 mmol+/kg of soil. The application of digestate also positively influenced the content of physical clay in the soil. Specifically, in the variant with three-time digestate application: basal fertilization (60 t/ha), pre-sowing application (60 t/ha), and top dressing (60 t/ha), the clay fraction content was 19%, compared to 16% in the control variant.

The highest organic carbon content in the arable soil layer was recorded in the variant with three-time digestate application: basal fertilization (60 t/ha), pre-sowing application (60 t/ha), and top dressing (60 t/ha), reaching 173.25 t/ha. In comparison, the organic carbon stock in the arable soil layer of the control variant was 138.38 t/ha, resulting in an increase of 34.88 t/ha.

Key words: digestate, organic carbon, soil fertility, macronutrients, micronutrients, acidity, humus, fertilization system.

Table 4. Draw. 1. Lit. 12.

Відомості про авторів

Паламарчук Віталій Дмитрович – доктор сільськогосподарських наук, доцент кафедри рослинництва та садівництва, факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3. email: vd-palamarchuk@ukr.net).

Кричковський Вадим Юрійович – доктор філософії з агрономії, старший викладач кафедри рослинництва та садівництва факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3. email: 2112kv@gmail.com)

Скакун Михайло Васильович – аспірант кафедри рослинництва та садівництва факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3. email: mykhaylo.skakun@kws.com)

Palamarchuk Vitalii Dmytrovych – Doctor of agricultural sciences, associate professor of the department of plant production and horticulture, faculty of agronomy, horticulture and plant protection, educational and research institute of agricultural technologies and nature management, Vinnytsia national agrarian university (21008, Vinnytsia, Sonyachna st., 3 email: vd-palamarchuk@ukr.net).

Krychkovskyi Vadym – PhD in agronomy, senior lecturer at the department of plant growing and horticulture, faculty of agronomy, horticulture and plant protection, educational and research institute of agricultural technologies and nature management, Vinnytsia national agrarian university (21008, Vinnytsia, Sonyachna st., 3 email: 2112kv@gmail.com)

Skakun Mykhailo Vasylovych – a postgraduate student at the Department of Crop Production and Horticulture, Faculty of Agronomy, Horticulture, and Plant Protection, Educational and Scientific Institute of Agrotechnologies and Environmental Management, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, Sonyachna Street, 3. email: mykhaylo.skakun@kws.com).