

Корисна модель належить до сільського господарства, зокрема рослинництва, ґрунтознавства, агрохімії, екології, землеробства, ґрунтової мікробіології, та може бути застосована для ефективного підвищення врожайності зернової та силосної кукурудзи, поліпшення якості отримуваної продукції з розширенням спектру напрямків її використання, збереження і накопичення органічного вуглецю у ґрунті для відновлення його родючості; покращення агрономічно-цінних властивостей.

Вирощування продукції рослинництва істотно залежить від показників родючості ґрунтів, особливо від вмісту органічної частини, більшою мірою представлена вуглецевмісними сполуками. Можливість зв'язування вуглецю у вигляді вуглекислого газу в ґрунті дозволяє вирішувати питання глобального потепління, оскільки оксид вуглецю є одним із найбільш поширених парникових газів. Крім того, збільшення кількості вуглецю у ґрунті (особливе в ґумусі) сприяє покращенню його агрономічно-цінних властивостей та забезпечує зростання рівня продуктивності сільськогосподарських культур. У 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, ґумусовий та інші. Сполуки вуглецю за фракційним складом відрізняються за складом, розмірами, періодом обігу в ґрунті, розчинністю і т. д.

Однією із найбільш важливих ознак стабільності та функціонування едафічної системи є вміст органічної речовини (ґумусу). Дуже часто зустрічається ототожнення двох термінів "ґумус" та "органічна речовина ґрунту". Відповідно до національного стандарту ДСТУ ISO 11074:2009 Якість ґрунту. Словник термінів (ISO 11074:2005, IDT), ґумусом вважають вміст усіх рослинних та тваринних решток та продуктів їх перетворення і органічні компоненти внесені людиною, це можна і сказати про органічну речовину [1, 2].

ґумус є основним чинником реалізації генетичного потенціалу продуктивності сільськогосподарських культур, що визначає родючість ґрунту. Показник вмісту ґумусу досить актуальний в умовах зростання дефіциту продуктів харчування і концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері для оцінки ефективності систем обробітку та удобрення ґрунтів [3].

До складу ґумусу належить 58 % вуглецю та існує коефіцієнт перерахунку вмісту ґумусу у вміст органічного вуглецю 1,724. Але варто відмітити, що ґумус складається не лише з гумінових, але з фульвокислот, що містять менше 50 % вуглецю. Через це виник диференційований метод перерахунку органічного вуглецю на ґумус, який враховує різні типи ґрунтових відмін та знаходиться в межах 1,724-2,5 [2, 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]. В світі краще сприймається термін "вміст органічного вуглецю" порівняно з показником "вміст ґумусу" [2].

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

Нагромадження ґумусу 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 і мікробіологічної активності [3].

Використання дигестату як високоякісного добрива з високим вмістом азоту, отриманого шляхом метанового бродіння, запатентоване ще в 2016 році (Патент України № 105080, опубл. 10.03.2016, бюл. № 5). Під час отримання дигестату в реакторі відбувається розклад органічної речовини, а амонійний азот, який є продуктом розкладу та інгібітором процесу, поглинається нелетким сорбентом, який розміщений безпосередньо у реакторі, однак не контактує з субстратом [8].

Дигестат буває із різними властивостями залежно від субстрату, з якого він отриманий, та режиму зброджування. Досить поширеним є запатентований спосіб отримання дигестату з свинячого гною [9, 10].

Найближчим аналогом до корисної моделі є спосіб застосування дигестату в технологіях вирощування кукурудзи (Патент України № 158328, опубл. 22.01.2025, бюл. № 4) [11], який передбачає внесення дигестату в передпосівну культивуацію у нормі 55 т/га, отриманого на основі анаеробного зброджування свинячого гною у біогазовій станції, яке має фізіологічно лужну реакцію - pH 8,2-8,5, та містить у своєму складі корисні мікроорганізми, а також макроелементи - азот, фосфор, калій, сірку, кальцій, магній і мікроелементи - мідь, цинк, марганець, залізо та молібден. Недоліком запропонованої моделі є відсутність вивчення можливості застосування дигестату в різні строки внесення та відсутність опису впливу дигестату на рівень родючості ґрунтів і показники накопичення у ньому органічного вуглецю.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити спосіб застосування дигестату в процесі накопичення органічного вуглецю у ґрунті.

Поставлена задача вирішується тим, що за способом застосування дигестату в процесі накопичення

органічного вуглецю у ґрунті дигестат, отриманий на основі анаеробного зброджування свинячого гною у біогазовій станції, який має фізіологічно лужну реакцію рН 8,2-8,5 і містить у своєму складі макро- та мікроелементи і корисну мікрофлору, додатково вносять в основне удобрення та підживлення у нормі 60 т/га.

Внесення дигестату здійснюють в різні строки з обов'язковою заробкою у ґрунт. 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 [9, 10]. За агрохімічним складом дигестат із свинячого гною характеризується лужною реакцією сольового розчину рН<sub>сольове</sub> 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 %, макроелементи: 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<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - 0,9-1,3 кг/т, калію (K<sub>2</sub>O) - 1,8-3,2 кг/т, сірки у формі SO<sub>3</sub> - 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 [12].

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

Дигестат за своїми властивостями можна характеризують, як найбільш повне біоорганічне добриво, що містить макро-, мікроелементи та корисні мікроорганізми, що позитивно впливають на показники нагромадження вуглецю у ґрунті та формування генетично закладеного рівня продуктивності сільськогосподарських культур.

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

Вміст азоту в різних формах за внесення дигестату істотно збільшується, що має тенденцію до зростання в декілька разів, наприклад, для амонійного азоту (NH<sub>4</sub>) із 14,13 мг/кг на контролі до 41,20 мг/кг на варіанті з дворічним внесенням дигестату, для нітратного азоту NO<sub>3</sub> із 1,37 до 47,50 мг/кг, амонійно-нітратного (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>) із 15,50 до 88,70 мг/кг, відповідно. Відмічається зростання рухомих форм і інших елементів живлення, наприклад, фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - із 75,77 до 100,70 мг/кг, калію (K<sub>2</sub>O) - із 103,33 до 230,40 мг/кг та сірки (S) - із 2,4 до 9,0 мг/кг.

Важливим для росту і розвитку сільськогосподарських культур є не лише 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 приводиться в таблиці 1.

Таблиця 1

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<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>). Визначення проводили агрономічно цінних властивостей проводили сканером ґрунту Soil Scanner.

Із даних таблиці 1, видно що удобрення дигестатом впливає на значення органічної речовини в ґрунті. Зокрема, на контрольному варіанті (без внесення дигестату) вміст органічної речовини становить 2,3 %, на варіанті з внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) він складає 2,9 %; на варіанті з підживленням дигестатом (60 т/га) - 2,7 %; передпосівним удобренням дигестатом (60 т/га) - 2,5 %; основним удобренням дигестатом (60 т/га) - 2,4 %; за внесення мінеральних добрив (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) - 2,3 %. Аналогічна тенденція стосується

також і вмісту органічного вуглецю - 1,23 %; 1,54 %; 1,40 %; 1,31 %; 1,26 % та 1,21 %. В цілому по досліді внесення дигестату забезпечує зростання вмісту органічного вуглецю на 0,148 % порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Ємність катіонного обміну виявилася найвищою на варіанті з 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 складає 147 ммоль+/кг ґрунту.

Варто також відмітити і позитивний вплив внесення дигестату на відсоток вмісту фізичної глини та вологості ґрунту. Зокрема, на варіанті з внесенням дигестату в основне удобрення (60 т/га) + передпосівне (60 т/га) та підживлення (60 т/га) вміст глинистої фракції складає 19 %, а на контрольному варіанті - 16 %.

Вплив внесення дигестату на запаси органічного вуглецю у ґрунті приводиться в таблиці 2.

Таблиця 2

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 <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>                                                              | 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                                                |

Оцінка запасів органічного вуглецю у орному шарі ґрунту (табл. 2) показує, що найвищий вміст даного показника відмічають на варіанті з 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 у орному шарі ґрунту складають 138,38 т/га, відповідно зростання становить 34,88 т/га. Варто відмітити зростання запасів вуглецю в середньому по досліді на варіантах із внесенням дигестату у різні строки на 16,59 т/га порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

Внесення у ґрунт дигестату, який отримують шляхом 14-денного збродження в біогазовій станції свинячого гною, що має лужну реакцію розчину, значну кількість макро- і мікроелементів та корисні мікроорганізми сприяє нагромадженню вуглецю у ґрунті з 1,03 до 1,50 %, зниженню кислотності рН<sub>обмінна</sub> із 4,68 до 5,7, збільшенню у ґрунті макроелементів: амонійного азоту (NH<sub>4</sub>) із 14,13 мг/кг на контролі до 41,20 мг/кг на варіанті з дворічним внесенням дигестату, для нітратного азоту NO<sub>3</sub> із 1,37 до 47,50 мг/кг, амонійно-нітратного (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>) із 15,50 до 88,70 мг/кг, фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - із 75,77 до 100,70 мг/кг, калію (K<sub>2</sub>O) - 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 сприяє зростанню вмісту органічного вуглецю на 0,148 % порівняно з контрольним варіантом (без внесення дигестату).

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

Найвищий вміст органічного вуглецю у орному шарі ґрунту відмічають на варіанті з 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 у орному шарі ґрунту складають 138,38 т/га, відповідно зростання становить 34,88 т/га.

Джерела інформації:

1. ДСТУ ISO 11074:2009 Якість ґрунту. Словник термінів (ISO 11074:2005, IDT). К: Держспоживстандарт України, 2015. 77 с.

2. Скрильник Є.В., Гетманенко В.А. Оцінка підходів до перерахунку органічного вуглецю на ґумус 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 2017р. Київ - 2017. С. 44-45.

3. Ткачук В.П., Трофименко П.І. Вміст ґумусу за різного використання дерново-підзолистого супіщаного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO<sub>2</sub>. Наукові доповіді НУБіП України. 2020. № 2 (84). [Електронне наукове фахове видання]. Режим доступу: URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/issue/view/559>. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.007> (дата звернення 13.07.2025 р.).

4. Венгліньський М.О., Грищенко О.М., Годинчук Н.В., Романова С.А., Гаврилюк В.Б. Оцінка методик визначення вмісту органічної речовини (ґумусу) 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 ґумусу та лабільних органічних речовин за різного використання чорнозему типового. Plant and soil science. 2018. №. 286. С. 173-179. URL: <https://agriculturalscience.com.ua/uk/journals/286-2018/vmist-gumusu-ta-labilnikh-organichnikh-ryechovin-za-riznogo-vikoristannya-chornozyemu-tipovogo> (дата звернення 13.07.2025 р.).

7. Паламарчук В.Д., Колісник О.М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ТОВ Друк, 2022. 372 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=31508> (дата звернення 13.07.2025 р.).

8. Спосіб отримання біогазу та добрива з відходів з високим вмістом азоту: пат. 105080 Україна: C05F 3/00. № u201505811, заявл.: 12.06.2015; Бюл. № 5 від 10.03.2016. 2 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/846108/> (дата звернення 13.07.2025 р.).

9. Спосіб отримання біоорганічного добрива "Ефлюент": патент 143495 У України, МПК 2006 C05F 3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01); № u202002033; заявл. 25.03.2020; Бюл. № 14. 2 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1445491/> (дата звернення 13.07.2025 р.).

10. Біоорганічне добриво "Ефлюент": патент 144732 У України, МПК 2006 C05F 3/00, C05F 11/08 (2006.01), C05F 17/60 (2020.01); № u202002032; заявл. 25.03.2020; опубл. 26.10.2020 р. Бюл. 20/2020. 2 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1460725/> (дата звернення 13.07.2025 р.).

11. Спосіб застосування дигестату в технологіях вирощування кукурудзи: патент 158328 У України, МПК (2025.01), A01C 21/00, C05F 3/00; № u202402109; заявл. 22.01.2025; Бюл. № 4. 2 с URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1837846/> (дата звернення 13.07.2025 р.).

12. Калетнік Г.М., Паламарчук В.Д., Гончарук І.В., Ємчик Т.В., Телекало Н.В. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю.В., 2021. 260 с. <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=31069>.