

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ STUDY OF YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.445.2:631.465:631.86(477.82)

Вплив органічних систем удобрення на ферментативну активність дерново-підзолистого ґрунту¹

О. О. Шовкун

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 28.10.2025 Отримано після доопрацювання 08.12.2025 Затверджено до видання 26.12.2025 Доступно онлайн 30.12.2025 <i>Ключові слова:</i> дерново-підзолистий ґрунт; ферментативна активність; дегідрогеназа; поліфенолоксидаза; інвертаза; органічне добриво; сидерат	Дослідження ферментативної активності ґрунтів є важливим інструментом для оцінювання їхнього екологічного стану та родючості, оскільки ферменти виступають чутливими індикаторами біологічних процесів трансформації органічної речовини. Особливого значення це набуває для дерново-підзолистих ґрунтів (Albic Arenosols) Західного Полісся, які характеризуються низьким умістом гумусу, підвищеною кислотністю та нестабільністю поживного режиму. Оптимізація систем удобрення в таких умовах є одним із ключових завдань для забезпечення сталого землеробства. У статті представлено результати вивчення впливу різних систем удобрення у чотирьох варіантах польового досліді (гній, сидерат, їх поєднання і без удобрення) на активність основних ґрунтових ферментів — дегідрогенази, поліфенолоксидази та інвертази. Дослідження проведено у багаторічному польовому досліді, закладеному у 1990 р. на дерново-слабопідзолистому глинисто-піщаному ґрунті на території Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції ІСГ Західного Полісся НААН України. Сівозміна після другої реконструкції включає чотири культури: однорічні трави, озиме жито, кукурудза на силос та овес. Активність ферментів визначали за стандартизованими методиками (ДСТУ 7928:2015, ДСТУ 7929:2015) і методом Хазієва. Результати показали, що загальний рівень ферментативної активності дерново-підзолистого ґрунту залишається відносно низьким, однак комбінація гною та сидератів сприяла найвищим показникам ферментативної активності, що свідчить про активізацію мікробіологічних і гуміфікаційних процесів, посилення кругообігу органічних речовин та зміни біологічних характеристик ґрунту. Здобуті результати підтверджують важливість поєднаного використання органічних добрив і сидератів для підвищення біологічної активності та родючості ґрунтів Полісся.

✉ as131296123@gmail.com

ORCID: 0009-0008-4350-1071

Форма цитування: Шовкун О. О. Вплив органічних систем удобрення на ферментативну активність дерново-підзолистого ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2025. Вип. 99. С. 64–69. doi: 10.31073/acss99-07

1. Вступ

Якість ґрунту — це поєднання його хімічних, фізичних та біологічних характеристик, які дозволяють виконувати широкий спектр функцій. Вона залежить від біології ґрунту, в якій мікроорганізми відіграють активну роль у його родючості та живленні рослин завдяки ферментативній активності, розкладанню органічних речовин та кругообігу поживних речовин.

Використання біоіндикаторів, таких як активність ґрунтових ферментів, є ефективним інструментом моніторингу стану ґрунту та оцінювання впливу органічних добрив, зокрема гною [1].

Ферментативна активність ґрунту є потужним біоіндикатором його родючості та біологічного стану, оскільки ферменти каталізують ключові реакції, що забезпечують кругообіг поживних речовин, трансформацію органічної речовини та процеси гуміфікації. Зокрема, дегідрогеназа відповідає за загальний окисно-

¹ Науковий керівник — д-р с.-г. наук, професор Є. В. Скрильник

відновний потенціал ґрунту та активність мікроорганізмів, поліфенолоксидаза бере участь у розкладанні фенольних сполук і лігніну, сприяючи утворенню проміжних продуктів, необхідних для синтезу гумусових речовин, а також відіграє важливу роль у стабілізації органічної речовини. Інвертаза каталізує гідроліз сахарозних сполук, забезпечуючи мікроорганізми легкодоступними вуглецевими джерелами енергії та підтримуючи загальну мікробіологічну активність ґрунту.

Дослідження показують, що у межах органічних систем землеробства, де застосовують органічні або ферментовані компостні добрива, активність зазначених ферментів істотно вища порівняно з мінеральними системами удобрення. Таке підвищення ферментативної активності свідчить про активізацію мікробіоценозу, збільшення кількості рухомих форм поживних елементів та стабілізацію гумусового стану ґрунту, що позитивно впливає на його продуктивність та здатність до саморегуляції [2].

У дерново-слабопідзолистих ґрунтах Західного Полісся, зазвичай зв'язно-піщаних, застосування ферментованих органічних добрив у сівозміні «картопля—овес—люпин» сприяло стабілізації гумусового стану, збільшенню вмісту рухомих форм поживних елементів та активації мікробіоценозу, що позитивно позначилося на ферментативній активності ґрунту [2].

Істотні зміни активності досліджуваних ферментів у дерново-підзолистому ґрунті викликає внесення навіть невисоких доз добрив. Так, норма внесення NPK 60 кг/га на фоні сидерації сприяє зростанню дегідрогеназної та інвертазної активностей ґрунту в 1,4–2,3 раза, що зумовлює формування більш сприятливого трофічного режиму ґрунту та поступове підвищення його родючості [3].

Досліджено, що комбіноване застосування вапнування та внесення органічних і мінеральних добрив стимулює накопичення гумінових кислот у дерново-підзолистому ґрунті, що опосередковано підтримує активність ключових ферментів, пов'язаних із органічним обміном і біологічною активністю ґрунту [4, 5].

У сучасних дослідженнях вплив органічних та біологічних систем удобрення на родючість і стан ґрунтів акцентується на органіці, біодеструкторах та сидератах. Це підтверджено польовими даними з досліджень на дерново-підзолистих ґрунтах, які демонструють підвищення продуктивності, вмісту гумусу та посилення мікробної активності саме за біологізованих систем удобрення [6, 7].

Таким чином, накопичені наукові дані свідчать, що застосування органічних та органо-мінеральних добрив і біопрепаратів на дерново-підзолистих ґрунтах є ефективним інструментом підвищення ферментативної активності, гумусового стану та загальної родючості. Це формує обґрунтовану мотивацію для дослідження ферментативної активності цих ґрунтів за різних систем удобрення.

2. Об'єкт і методи

Дослідження проводили у багаторічному польовому досліді, закладеному у 1990 р. на території Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН України, що розташована в селищі Рокині Луцького району Волинської області, у природно-кліматичній зоні Полісся. Район досліджень характеризується помірно континентальним кліматом із середньорічною температурою повітря +7,3 °С та середньорічною кількістю опадів 600–650 мм, з яких 65–70 % припадає на теплий період року [7].

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлено дерново-слабопідзолистим глинисто-піщаним ґрунтом (Albic Arenosols), який характеризується невисоким вмістом гумусу (1,14–1,41 %), кислою реакцією

ґрунтового розчину (рНсол 6,2–7,0) і середнім рівнем забезпеченості рухомими формами елементів живлення.

Для дослідження ферментативної активності ґрунту обрано чотири варіанти досліду: 1 — без добрив; 2 — гній 10 т/га; 3 — гній 10 т/га + сидерат; 4 — сидерат.

Розмір обстежуваної ділянки — 76,5 м². Відбір проб ґрунту здійснювали в травні 2023 року із шару 0–20 см за допомогою бурового зонда. Проби ґрунту з кожної ділянки об'єднували формуючи середній зразок, який, після транспортування, очищали від рослинних решток і висушували до повітряно-сухого стану.

Активність дегідрогенази визначали відповідно до вимог ДСТУ 7929:2015²; метод ґрунтується на відновленні 2,3,5-трифенілтетразолію хлориду з утворенням трифенілформазану (ТФФ). Результат виражали у мг ТФФ на 100 г ґрунту за 24 год, що характеризує загальну біологічну активність ґрунтової мікрофлори.

Активність поліфенолоксидази оцінювали за ДСТУ 7928:2015³ методом окиснення пірокатехіну з подальшим визначенням утвореного 1,4-п-бензохінону. Результат подавали у мг на 100 г ґрунту за 1 год, що відображає здатність ґрунту до трансформації фенольних сполук.

Активність інвертази визначали модифікованим колориметричним методом Ф. Х. Хазієва, що базується на кількісному визначенні глюкози, яка утворюється під час гідролізу сахарози. Активність виражали у мг глюкози на 1 г ґрунту за 24 год [8], що дозволяє оцінити потенціал ґрунту стосовно розщеплення вуглеводів.

Сидератом у досліді слугувала сільськогосподарська культура «пелюшка олійна», яка цінується за скоростиглість (одна з найвищих серед бобових), що дає можливість використовувати її у проміжних посівах (перед озимими або після озимих і ранніх ярових зернових та овочів). Після розкладання в ґрунті біомаса стає добривом, яке легко засвоюють рослини. Завдяки бульбочковим бактеріям, які розвиваються на коренях, пелюшка олійна видобуває з повітря азот і накопичує його. Заглиблена біологічна маса рослин дренує ґрунт, підвищує його повітря- і вологоємність, поліпшує стан структури. Тим самим поліпшує умови життєдіяльності черв'яків і ґрунтових мікроорганізмів, а під час і після розкладання служить їм поживою. Все це призводить до зменшення захворюваності рослин і підвищення врожайності [9].

3. Результати досліджень

Ферментний пул ґрунту є складним комплексом ферментів різного походження, які надходять із мікроорганізмів, рослин та ґрунтової фауни. На його активність впливають численні фактори, що можуть як стимулювати, так і пригнічувати біохімічні процеси, фізико-хімічні властивості ґрунту, рівень кислотності [4, 7].

Сидерати можуть підтримувати сільськогосподарське виробництво, зберігати біорізноманіття та пом'якшувати деградацію ґрунту, спричинену тривалим застосуванням хімічних добрив. Крім того, застосування сидератів може покращити здоров'я ґрунту завдяки підвищенню його біологічної активності [10].

Одним із загальноприйнятих біохімічних індикаторів екологічного стану ґрунту є його дегідрогеназна активність, яка слугує показником наявності в ґрунті органічних решток і свідчить про інтенсивність дегідрування органічної речовини та фізіологічну активність мікробного пулу ґрунту [11].

² ДСТУ 7929:2015. Якість ґрунту. Визначення активності ґрунтового ферменту дегідрогенази фотоелектроколориметричним методом [Чинний від 2016-09-01]. Київ, 2016. 11 с.

³ ДСТУ 7928:2015. Якість ґрунту. Визначення активності ґрунтового ферменту поліфенолоксидази фотоелектроколориметричним методом [Чинний від 2016-09-01]. Київ, 2016. 11 с.

Активність дегідрогенази в орному шарі ґрунту (0–20 см) є істотно вищою на варіантах застосування систем удобрення, що поєднують внесення гною та сидератів, порівняно з контролем (Табл.). Це свідчить про більш високий рівень мікробіологічної активності та інтенсивності процесів мінералізації органічної речовини. Аналогічні результати отримано й іншими дослідниками, які зазначають, що підвищена дегідрогеназна активність спостерігається переважно у ґрунтах із значними надходженнями свіжих органічних решток, зокрема рослинних, що характеризуються вузьким відношенням вуглецю до азоту (C : N). У такому разі у ґрунті створюються оптимальні умови для розвитку мікробної біоти, активізуються процеси дихання та окисно-відновні реакції, що, своєю чергою, сприяє підвищенню біологічної складової родючості дерново-підзолистого ґрунту.

Таблиця

Ферментативна активність дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення

Варіант	Поліфенолоксидаза, мг 1,4-п-бензохінону в 100 г ґрунту за 1 годину	Дегідрогеназа, мг ТФФ у 100 г ґрунту за 24 години	Інвертаза, мг глюкози в 1 г ґрунту за 24 години
Без добрив (контроль)	370,00	26,25	0,92
Гній 10 т/га	396,85	34,69	1,12
Гній 10 т/га + сидерат	430,00	39,83	1,14
Сидерат	385,00	31,88	1,12
НІР 0,5	50,77	11,71	0,06

Ґрунтовий фермент поліфенолоксидаза бере участь у формуванні гумусових речовин і є показником, за яким оцінюють інтенсивність окиснювальних процесів конденсаційного синтезу. Найнижчий рівень поліфенолоксидазної активності зафіксовано у варіанті без добрив — 370,0 мг 1,4-п-бензохінону на 100 г ґрунту за 24 год, а також у варіанті із застосуванням лише сидерату — 385,0 мг/100 г. Це свідчить про відносне переважання процесів мінералізації органічної речовини над гуміфікаційними, що характерно для ґрунтів із недостатнім надходженням легкодоступного вуглецю. Натомість внесення органічних добрив у вигляді гною в дозі 10 т/га в поєднанні з сидератом зумовило найвищу активність поліфенолоксидази. Такий результат відображає активацію процесів полімеризації фенольних сполук і синтезу гумінових кислот, тобто посилення гуміфікації органічної речовини. Подібні закономірності відзначаються й у дослідженнях, проведених на чорноземах і сірих лісових ґрунтах, де застосування органічних добрив стимулює утворення стійких гумусових сполук і сприяє поліпшенню структурно-агрегатного стану ґрунту [5, 12].

Інвертаза каталізує гідроліз сахарози на глюкозу та фруктозу — прості цукри, які легко засвоюються мікроорганізмами і кореневими системами рослин, забезпечуючи їх доступним джерелом енергії. Наші дослідження показали істотне підвищення інвертазної активності за використання різних систем удобрення порівняно з контрольним (без удобрення) варіантом досліду, що свідчить про посилення мікробіологічних процесів у ґрунті. Найвищу активність інвертази відзначено у варіанті з внесенням гною в поєднанні з сидератом — 1,14 мг глюкози/г ґрунту за 24 год, тоді як на контролі цей показник становив лише 0,92 мг. Це підтверджує наявність прямолінійної залежності між активністю інвертази, дегідрогенази та вмістом гумусу в дерново-підзолистому ґрунті, сформульовану іншими авторами [8]. Така закономірність зумовлена тим, що підвищений рівень органічної речовини створює сприятливі умови для розвитку мікрофлори, яка продукує гідролітичні ферменти. Подібні результати отримано й при вивченні агроценозів Західного Полісся, де комбіноване застосування органічних добрив і

сидератів забезпечувало вищу ферментативну активність порівняно з їх окремим використанням, сприяючи активнішому кругообігу органічного вуглецю та зростанню родючості дерново-підзолистого ґрунту [6].

Отже, здобуті нами дані свідчать, що органічні системи удобрення, у яких поєднано внесення гною та вирощування сидератів, забезпечують найвищий рівень ферментативної активності дерново-підзолистого ґрунту. Така система сприяє балансу між мінералізацією й гуміфікацією органічної речовини, що в довгостроковій перспективі позитивно впливає на гумусовий стан і загальну родючість ґрунтів Полісся. Підвищення активності дегідрогенази, поліфенолоксидази та інвертази свідчить про активізацію мікробіологічних і гуміфікаційних процесів, посилення кругообігу органічної речовини та зростання біологічної родючості ґрунту.

4. Висновки

За умов тривалого (35 років) застосування різних систем удобрення дерново-підзолистий ґрунт Західного Полісся зберігає загалом невисокий рівень ферментативної активності, що зумовлено його природними властивостями — кислою реакцією середовища, низьким вмістом гумусу та слабкою буферністю. Водночас використання органічних систем удобрення, особливо поєднання гною з сидератами, істотно підвищує активність основних ферментів — дегідрогенази, поліфенолоксидази та інвертази порівняно з неудобреним варіантом. Це свідчить про активізацію мікробіологічних процесів, посилення гуміфікації та формування стабільних гумусових сполук.

Найвищі значення ферментативної активності спостерігали саме у варіанті «гній + сидерат», що відображає синергійний ефект органічних добрив, які забезпечують збалансоване надходження вуглецевих і поживних сполук. Отже, комбіновані органічні системи удобрення сприяють відновленню біологічної активності дерново-підзолистих ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Antonious G. F., Turley E. T., Dawood M. H. Monitoring Soil Enzymes Activity before and after Animal Manure Application. *Agriculture*. 2020. Vol. 10, No. 5. Art. 166. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050166>
2. Єгоров О. В., Жидок Н. П., Грищенко О. М., Шабанова І. І. Вплив добрив на показники родючості дерново-підзолистих ґрунтів та продуктивність короткоротаційних сівозмін Полісся. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 119–126. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240329>
3. Чебанова В. В., Мірошніченко М. М. Зрушення біохімічної активності ґрунту за систематичного удобрення в різних ґрунтово-кліматичних умовах. *Агрохімія і ґрунтознавство міжвідом. темат. наук. зб./ ННЦ ІГА. Харків*, 2018. Спецвип. до XI з'їзду ґрунтознавців та агрохіміків України (17–21 вер. 2018 р., м. Харків). Кн. 2. С. 318–319.
4. Дацько М. О. Зміна вмісту і запасів гумусу дерново-підзолистого осушуваного ґрунту за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 8. С. 63–66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2016_8_14
5. Скрильник Є. В., Кутова А. М., Гетманенко В. А., Герасименко Я. О. Вплив систем удобрення на кількісний і якісний склад гумусу дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 8. С. 14–19. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-02>
6. Потапенко Л. В., Горбаченко Н. І. Вплив систем удобрення і мікробних препаратів на формування поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2021. № 34. С. 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.53-60>
7. Савчук О. І., Приймачук Т. Ю., Кошицька Н. А., Штанько Т. А., Меша К. В. Родючість осушуваного дерново-підзолистого ґрунту в органічній сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 3. С. 67–73. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202403-10>
8. Хазієв Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1976. 189 с.
9. Цицюра Я. Г., Неїлик М. М., Дідур І. М., Поліщук М. І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства : монографія. Вінниця: Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с. URL: <https://repository.vsau.gov/getfile.php/31996.pdf>
10. Asghar W., Kataoka R. Green manure incorporation accelerates enzyme activity, plant growth, and changes in the fungal community of soil. *Archives of Microbiology*. 2022. Vol. 204(1). P. 7. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02614-x>
11. Чебанова В. В. Динаміка ферментативної активності чорнозему типового за використання різних видів добрив. *Екологічні науки*. 2019. Вип. 1(24). Т. 1. С. 82–86. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-14>

12. Центилю Л. В. Ферментативна активність чорнозему типового залежно від основного обробітку ґрунту і удобрення. *Подільський вісник*. 2019. № 30. С. 66–71.
URL: https://journals.pdu.khmelniyskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/130

UDC 631.445.2:631.465:631.86(477.82)

Effect of organic fertilization systems on the enzymatic activity of sod-podzolic soil

O. O. Shovkun

National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine

✉ as131296123@gmail.com

ORCID: 0009-0008-4350-1071

Received 28.10.2025; Revised 08.12.2025; Accepted 26.12.2025; Available online 30.12.2025

Abstract. The study of soil enzymatic activity is an important tool for assessing its ecological condition and fertility, as enzymes serve as sensitive indicators of biological processes involved in the transformation of organic matter. This is especially relevant for sod-podzolic soils of the Western Polissia region, which are characterized by low humus content, increased acidity, and unstable nutrient regimes. Optimizing fertilization systems under such conditions is one of the key tasks for ensuring sustainable agriculture. The article presents the results of studying the effect of different fertilization systems (manure, green manure crops, and their combination) on the activity of the main soil enzymes—dehydrogenase, polyphenol oxidase, and invertase. The research was conducted in a long-term field experiment established in 1990 at the Volyn State Agricultural Research Station of the Institute of Agriculture of the Western Polissia of NAAS of Ukraine. After the second reconstruction, the crop rotation includes four crops: annual grasses, winter rye, silage maize, and oats. Enzyme activity was determined using standardized methods (DSTU 7928:2015, DSTU 7929:2015, Haziev's method). The results showed that the overall level of enzymatic activity in sod-podzolic soil remains relatively low; however, the combination of manure and green manure crops contributed to the highest enzymatic activity values. This indicates the activation of microbiological and humification processes, an enhanced cycle of organic matter, and changes in the biological properties of the soil. The obtained results confirm the importance of combined use of organic fertilizers and green manure crops for improving biological activity and increasing soil fertility in the Polissia region.

Keywords: soil enzymatic activity, sod-podzolic soil, dehydrogenase, polyphenol oxidase, invertase, organic fertilizers, green manure.

Citing: Shovkun, O. O. (2025). Effect of organic fertilization systems on the enzymatic activity of sod-podzolic soil. *AgroChemistry and Soil Science*, 99, 64–69. doi: 10.31073/acss99-07 [in Ukrainian].

References

1. Antonious, G. F., Turley, E. T., & Dawood, M. H. (2020). Monitoring soil enzyme activity before and after animal manure application. *Agriculture*, 10(5), 166. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050166>
2. Yehorov, O. V., Zhydok, N. P., Hryshchenko, O. M., & Shabanova, I. I. (2021). Influence of fertilizers on fertility indicators of sod-podzolic soils and productivity of short-rotation crop rotations in Polissia. *Agroecological Journal*, 3, 119–126. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240329> [in Ukrainian].
3. Chebanova, V. V., & Miroshnychenko, M. M. (2018). Shifts in biochemical activity of soil under systematic fertilization in different soil-climatic conditions (pp. 318–319). In *Agrochemistry and Soil Science*. Special Issue. Proceeding of the XI Congress of Soil Scientists and Agrochemists of Ukraine, Vol. 2. ISSAR, Kharkiv. [in Ukrainian].
4. Datsko, M. O. (2016). Changes in the content and stocks of humus in drained sod-podzolic soil under different fertilization systems. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 63–66. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2016_8_14 [in Ukrainian].
5. Skrylnyk, Ye. V., Kutova, A. M., Hetmanenko, V. A., & Herasymenko, Ya. O. (2020). Influence of fertilization systems on the quantitative and qualitative composition of humus in sod-podzolic soil. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 14–19. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-02> [in Ukrainian].
6. Potapenko, L. V., & Horbachenko, N. I. (2021). Influence of fertilization systems and microbial preparations on the formation of the nutrient regime of sod-podzolic soil. *Agricultural Microbiology*, 34, 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.53-60> [in Ukrainian] [in Ukrainian].
7. Savchuk, O. I., Prymachuk, T. Yu., Koshytska, N. A., Shtanko, T. A., & Mesha, K. V. (2024). Fertility of drained sod-podzolic soil in an organic crop rotation. *Bulletin of Agricultural Science*, 3, 67–73. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202403-10> [in Ukrainian].
8. Khaziev, F. Kh. (1976). *Methods of soil enzymology*. Moscow: Nauka. [in Russian].
9. Tsytsiura, Ya. H., Neilyk, M. M., Didur, I. M., & Polishchuk, M. I. (2022). *Green manuring as a basic component of the biologization of modern farming systems* (Monograph). Vinnytsia: Druk Publishing. <https://repository.vsau.org/getfile.php/31996.pdf> [in Ukrainian].
10. Asghar, W., & Kataoka, R. (2022). Green manure incorporation accelerates enzyme activity, plant growth, and changes in the fungal community of soil. *Archives of Microbiology*, 204(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02614-x>
11. Chebanova, V. V. (2019). Dynamics of enzymatic activity of typical chernozem under the use of different types of fertilizers. *Ecological Sciences*, 1(24)(1), 82–86. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-14> [in Ukrainian].
12. Tsentylo, L. V. (2019). Enzymatic activity of typical chernozem depending on primary tillage and fertilization. *Podilian Bulletin*, 30, 66–71. https://journals.pdu.khmelniyskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/130 [in Ukrainian].