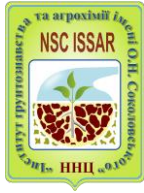




НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА та АГРОХІМІЇ
імені О. Н. СОКОЛОВСЬКОГО»

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

97

ХАРКІВ
2024

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 97. Харків: ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», 2024. 60 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 97. Kharkiv: NSC ISSAR, 2024. 60 p.

Збірник публікує наукові статті за результатами теоретичних, експериментальних та методичних досліджень з актуальних напрямів ґрунтознавства, агрохімії, агроєкології, землеробства та інших наук, які містять оригінальну інформацію та обґрунтовані висновки.

Згідно з наказом МОН України № 1643 від 28.12.2019 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарські та біологічні науки за спеціальностями:

201 – Агрономія і 091 – Біологія та включено до категорії «Б»

Мови видання: українська, англійська

Редакційна колегія:

С.А. Балюк д.с.-г.н. (відповідальний редактор); ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
А.Б. Ачасов д.с.-г.н.; Харківський національний аграрний ун-т ім. В. В. Докучаєва
А.О. Ачасова к.б.н.; Науково-досл. ін-т меліорації та охорони ґрунтів (Чеська Республіка)
А.Д. Балаєв д.с.-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с.-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с.-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; ЗВО "Подільський державний університет"
В.В. Іваніна д.с.-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с.-г.н. (відповідальний секретар); ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
М.В. Лісовий д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
Т.Г. Лях д.с.-г.н.; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо" (Республіка Молдова)
М.М. Мірошниченко д.б.н. (заст. відп. редактора); ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
О.Є. Найдьонова к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
І.Д. Пачев д.с.-г.н.; Інститут виноградарства та виноробства (Республіка Болгарія)
Є.В. Скрильник д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
Р.С. Трускавецький д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
Ю.Л. Цапко д.б.н.; ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського»
В.Р. Черлінка д.б.н.; Університет Павла Йозефа Шафарика в Кошицях (Словацька Республіка)
С.Г. Чорний д.с.-г.н.; Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Склад редакційної колегії затверджено Вченою радою ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», протокол № 7 від 05.04.2019 р. і доповнено згідно з рішенням Вченої ради, протокол № 10 від 07.06.2023 р.

Рік заснування: 1966

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20942-10742Пр

Засновник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (ННЦ ІГА). Адреса: вул. Михайля Семенка, 4, м. Харків, 61024.
Тел. +38(057) 704 16 69. E-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com

Вебсайт: agrochemsoilsci.org

Індексування та реферування:

База даних CrossRef; Реєстр наукових фахових видань України;
Портал Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
Загальнодержавна реферативна база даних (РБД) «Україніка наукова»;
УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРИ);
Пошукова система і база даних наукових цитувань «Open Ukrainian Citation Index (OUCI)»;
CiteFactor; Research Bible; WorldCat; ICI World of Journals database (Index Copernicus); Directory of Research Journal Indexing (DRJI)

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 20 від 18.12.2024 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
Media ID R30-02658
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss97>

© Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О. Н. Соколовського»

ЗМІСТ / CONTENT

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES and MODES

Соловей В. Б., Троценко О. О.

Порівняльна морфолого-генетична характеристика опідзолених ґрунтів
плакорного і схилених місцеположень

*Solovei V. B., Trotsenko O. O. Comparative morphological-genetic characteristics of
podzolized soils on plateau and slope locations 4–17*

Круглов О. В., Попов С. А.

Магнітна сприйнятливість ґрунту в околицях Придеснянської воднобалансової
станції

*Kruglov O. V., Popov S. A. Magnetic susceptibility of the soil near the Prydesnian water
balance station 18–24*

Чорний С. Г.

Кліматичний фактор вітрової ерозії ґрунту в Степу України: просторовий аналіз

Chornyy S. G. Climatic factor of soil wind erosion in the Steppe of Ukraine: spatial analysis... 25–30

ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТУ RESTORATION OF SOIL QUALITY

Скрильник Є. В., Кутова А. М., Волошенюк О. П., Криlach С. І., Попірний М. А

Емісія CO₂ з ґрунту за застосування органічних та органо-мінеральних
ґрунтополіпшувачів

*Skrylnyk Ye. V., Kutova A. M., Volosheniuk O. P., Krylach S. I., Popirny M. A. Soil CO₂
emission in response to organic and organo-mineral amendments 31–42*

Воротинцева Л. І., Панарін Р. В.

Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті

*Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. Effective agronomic practices to optimize humus content
and quality in soil 43–52*

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ STUDY OF YOUNG SCIENTISTS

Шовкун О. О., Попірний М. А.

Якість гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за різних систем
удобрення

*Shovkun O. O., Popirny M. A. Quality of humus substances in sod-podzolic soil under
different fertilization systems 53–60*

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES and MODES

УДК 631.4

Порівняльна морфолого-генетична характеристика опідзолених ґрунтів плакорного і схилових місцеположень

В. Б. Соловей^а, О. О. Троценко^{*б}

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 01.10.2024 Отримано після доопрацювання 04.11.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	У статті систематизовано результати порівняльних польових і камеральних досліджень і наведено детальний опис та розглянуто фактори впливу на морфологічні характеристики генетичних горизонтів опідзолених ґрунтів — темно-сірих опідзолених важкосуглинкових на лесі й лучного опідзоленого важкосуглинкового на делювії, у схилових і плакорному місцеположеннях. Дослідження вели на території Харківської області України у Лівобережному Лісостепу. У польових і лабораторних дослідженнях за нормативними процедурами та стандартизованими методами визначали такі показники: морфологічні характеристики ґрунту; вміст гумусу; гранулометричний склад; температура ґрунту. Встановлено, що досліджувані ґрунти мають спільні й відмінні ознаки, як за морфологічною будовою профілю, так і властивостями, на що впливає рельєф/мікрорельєф, клімат/мікроклімат, через різні рівні накопичення вологи та інсоляції на плакорних і схилових територіях. До спільних морфологічних ознак профілів опідзолених ґрунтів віднесено такі: текстурна диференційованість; ущільненість ілювійованих горизонтів; темно-сіре забарвлення; горіхувато-призмоподібна форма структурних окремоностей. Відмінності констатовано щодо загальної потужності профілю ґрунту, глибини гумусованої частини, характеру переходів між горизонтами, наявності новоутворень та глибини залягання карбонатів (за реакцією на 10 % HCl). Відмінності за потужністю гумусованої частини профілю визнано не істотними у профілях темно-сірих опідзолених ґрунтів (крім сильноксероморфного) із різним рівнем зволоженості, що вказує на однакову пріоритетну роль колишньої деревної рослинності у минулих етапах процесу ґрунтоутворення. У лучному опідзоленому ґрунті глибина гумусованості набагато більша, що є закономірним результатом дії, на додаток до доброї зволоженості, також лучної рослинності та процесів наміву. Абсолютні значення вмісту гумусу в окремих шарах ґрунтів підтверджують зроблені висновки. У всіх ґрунтах гранулометрична фракція мулу (< 0,001 мм), як і фракція фізичної глини (< 0,01 мм), перерозподілені з глибиною як внаслідок елювіально-ілювіальних процесів так і оглинювання в ілювіальних горизонтах, що призвело до формування текстурно диференційованих профілів. Виявлені відмінності у властивостях ґрунтів означено як такі, що зумовлені різницею у генетичних процесах ґрунтоутворення за різних гідротермічних режимів у схиловому і плакорному місцеположеннях, що відображається у профільних особливостях ґрунтів, які мають бути враховані для оцінювання їх якості за формування наукових і виробничих програм збереження і відновлення ґрунтів.

* E-mail: trea140981@gmail.com

ORCID: ^а 0000-0001-9820-1780; ^б 0009-0007-0317-2907

Форма цитування: Соловей В. Б., Троценко О. О. Порівняльна морфолого-генетична характеристика опідзолених ґрунтів плакорного і схилових місцеположень. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2024. Вип. 97. С. 4–17. doi: 10.31073/acss97-01

1. Вступ

Темно-сірі опідзолені ґрунти належать до категорії цінного аграрного ресурсу, використання якого вимагає ретельного врахування їхньої типологічної специфіки. Ці ґрунти характеризуються різноманіттям як у будові профілю, так і властивостях. Зміна типу ґрунтоутворення відбувається на порівняно малій відстані. Присутність у межах однієї природної зони різних типів ґрунтів лісового походження, які відрізняються за властивостями, ускладнює роботу з їх об'єктивного діагностування та класифікації. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом встановлення властивостей, що об'єктивно розкривають їх генетичний статус.

Темно-сірі ґрунти опідзоленого ряду, на плакорних і схилових місцеположеннях досліджувались за різних напрямів: розподіл мікроелементів по профілю сірих лісових і

темно-сірих опідзолених схилових ґрунтів лівобережного Лісостепу України [1]; природний механізм захисту схилових ґрунтів від водної ерозії через систему мікрорельєфних утворень [2]; розробка просторово-диференційованої системи управління якістю орних ґрунтів [3]; просторова неоднорідність ґрунтів і закономірності зміни їх властивостей в різних природно-кліматичних зонах [4, 5]. Темно-сірі опідзолені ґрунти демонструють гірший структурний склад на крутих схилах, з інтенсивними ерозійними процесами, що руйнують макроагрегати. У ввігнутих частинах схилів та у підніжжях відбувається накопичення водостійких агрегатів за рахунок змиву та перевідкладення ґрунтового матеріалу [6].

Положення про те, що поширення лісів у Лісостеповій зоні України визначається гідротермічними параметрами, тобто за умови, коли мінімальні значення ГТК в період з травня до жовтня становлять 0,9-1,0, ліси не формувалися/не формуються, за винятком окремих, більш зволжених місць, завдяки особливостям рельєфу, застосовано в класифікації ґрунтів [7]. Рельєф є одним із ключових факторів, який впливає на різноманіття опідзолених ґрунтів через перерозподіл гідротермічних ресурсів. У регіонах, де кліматичні умови в цілому не сприяють росту лісу, наприклад, у помірно зволоженої частині Лісостепу з ГТК менше 1,0, орографічний ефект може зумовлювати підвищення (порівняно з зональними нормами) кількості опадів (у V-VI місяцях на 15-35 мм) на підвищених правобережних схилах річкових долин, що є достатнім для успішного зростання лісів. Додаткове зволоження ($ГТК_{v-ix} = 1,05-1,16$) визначає гідротермічну сприятливість для лісу, підвищення щільності якого, до повноти зімкнення крони та відповідне зменшення частки трав'яного покриття (до 65-75 %), сприяє формуванню темно-сірих опідзолених ґрунтів.

Збільшення дренажності території, через наявність схилових земель, сприяє формуванню різноманітних опідзолених ґрунтів на схилах через перерозподіл вологи поверхневого стоку та відповідну диференціацію гідротермічних параметрів. На думку авторів [2] це призводить до виникнення посушливих (ксероморфних) видів опідзолених ґрунтів на «сухих» схилах, тоді як на місцях з більшою можливістю накопичування вологи формуються підвищено зволожені та аналогічні плакорні види опідзолених ґрунтів.

Формування ґрунту на схилах і плато відбувається в різних умовах. Схили, спрямовані на південь, отримують більше сонячного тепла [2, 8] залежно від їх крутості та геоморфологічної форми, порівняно зі схилами, що спрямовані на північ. Своєю чергою, північні схили отримують менше тепла, порівняно з рівнинними територіями. На південних схилах спостерігаються значні коливання температур протягом доби, що призводить до меншого накопичення снігу і частого його танення, надаючи цим територіям «теплі» характеристики. З іншого боку, «холодні» північні схили характеризуються більшим накопиченням вологи. Різноманітна будова схилів, їх крутість та експозиція визначають різні характеристики вологозабезпеченості, що виявляється у параметрах потужності профілю та відносної акумуляції гумусу.

Дослідженнями багатьох авторів підтверджено вплив рельєфу на інсоляцію і перерозподіл гідротермічних ресурсів. Температури ґрунту на південних схилах на 2-5 °C вищі ніж на північних, і спостерігається більша водопроникність ґрунту під час дощів на схилах з трав'янистою рослинністю [9]. Різниця в інсоляції на рівні 6,7 °C між південними і північними схилами зумовлює відмінність рослинних угруповань [10]. Регіональні відмінності клімату помітно впливають на просторово-часовий розподіл температури та вологості ґрунту, що пов'язано з особливостями поглинання вологи опадів ґрунтом на різних ділянках [11].

Рядом сучасних досліджень виявлено вплив циклів замерзання-відтаювання та зволоження-висихання на фізичні характеристики ґрунтів: структурну стабільність ґрунтових агрегатів [12], базові фізичні властивості ґрунту [13], щільність та структуру ґрунту на глибині від 0 до 30 см [14]. На структуру ґрунту впливає від 2 до 5 циклів замерзання-відтаювання і вплив кожного наступного циклу зменшується зі збільшенням їхньої кількості [15]. У ґрунтах з високим вмістом глини зміна рівня вологості призводить до утворення тріщин через нерівномірну усадку [16], а ґрунти з високим вмістом органічного вуглецю та глини мають міцніші агрегати [17].

Загальновідомим є наявність зв'язку між процесами ґрунтоутворення та гідротермічними коефіцієнтами, коефіцієнтом зволоження, періодом біологічної активності

та ін. Еволюція ґрунтоутворювальних процесів підпорядкована термічним режимам, в першу чергу, температурі ґрунту вище $+10^{\circ}\text{C}$ і сумі температур вищих цієї межі. Важливо відзначити, що вплив температури різниться залежно від рівня зволоженості ґрунту. Термічний фактор впливає на процеси ґрунтоутворення не тільки через загальну суму температур, а й через кількість днів з біологічно активною температурою (не менше $+10^{\circ}\text{C}$ для рослин та не менше $+5^{\circ}\text{C}$ для мікроорганізмів). Тобто, для рослин важливим є не тільки загальні кількості сонячної енергії та вологи, що надходять на поверхню, але й їх певне співвідношення в конкретні етапи розвитку рослин. Доведено, що різноманіття ґрунтів, які мають ознаки опідзолення, формується за різних пропорцій деревних та трав'яних елементів у лісових угрупованнях. Взаємодія між деревною та трав'яною рослинністю має антагоністичний характер і регулюється, головним чином, гідротермічними умовами, мікрокліматичними параметрами, рельєфом та дренажністю території. Різниця за рівнем вологості визначає різний рівень комфорту для деревних рослин, що має вплив на розвиток біомаси трав'янистої рослинності та формує характеристики органопрофілю ґрунту [7].

Мета статті — висвітлити результати порівняльних досліджень морфолого-генетичних характеристик, особливостей розподілу вмісту гумусу і гранулометричного складу у профілях опідзолених ґрунтів плакорних і схилових місцеположень за підтвердженої різниці гідротермічних параметрів.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проводили у лісостеповій частині Харківської області. Чотири профілі опідзолених ґрунтів описано поблизу с. Коротич на схилах південно-східної та північно-західної експозицій в одній балці, у днищі цієї балки та на рівнинній території (плакор). Характеристики місць, де закладено розрізи, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика місць закладання розрізів для опису профілів опідзолених ґрунтів

Профіль	Ґрунт	Тип земле- користування	Характеристики схилу		
			крутість	форма	експозиція
1	Темно-сірий опідзолений підвищено зволожений важкосуглинковий на лесі	Рілля	$2,5^{\circ} - 2,0^{\circ}$	пряма	північно-західна
2	Темно-сірий опідзолений сильно-ксероморфний (сильнозмитий) важкосуглинковий на лесі	Рілля	$5,0^{\circ} - 4,0^{\circ}$	опукла	південно-східна
3	Лучний опідзолений намитий важкосуглинковий на делювії	Рілля	плоске днище балки	—	—
4	Темно-сірий опідзолений важкосуглинковий на лесі	Рілля	$1,0^{\circ} - 0^{\circ}$ плакор	—	—

Обрані схили класифікували за такими морфологічними ознаками [18]: а) крутістю — відносяться до категорії пологих схилів ($\alpha = 5-1^{\circ}$); б) довжиною — середньої довжини ($l = 500-50$ м); в) формою — схил Пд-Сх експозиції є опуклим, схил Пн-Зх експозиції — прямий. Обидва схили мають екзогенний тип утворення. Плакор (плоский вододільний простір) — відносно рівнинна горизонтальна частина земної поверхні ($\alpha = 1-0^{\circ}$), майже відсутній ухил порівняно з обраними схилами. Обрана локація на дні балки, має плоску поверхню, на яку надходить вода поверхневого стоку під час сніготанення та сильних злив. Балка розглядається як елемент дренажування та орографічного перерозподілу тепла і вологи схилової території.

Загальна кліматична характеристика території дослідження. Згідно з положенням ґрунтово-екологічного районування, описаного в монографії [7], територія досліджень відноситься до підзони Лісостепової зволоженої (ПЛС-5) з ГТК_{V-IX} 1,00-1,20, але у межах цього періоду гідротермічні умови відрізняються — у період травень–липень підвищена зволоженість (ГТК_{V-VII} 1,10-1,20), у серпні-вересні — недостатня зволоженість (ГТК_{VIII-IX} 0,81-0,90); сумарна кількість опадів за листопад–березень — 160–180 мм.

Методи досліджень. Ґрунтові розрізи на кожній локації було закладено 24.04.2023 р., прив'язано у системі географічних координат за допомогою приладу супутникового геоопозиціонування (GPS датум WGS84) та відібрано всі необхідні проби ґрунту для виконання лабораторних досліджень.

Профілі ґрунтів діагностовано і морфологічні та інші генетичні особливості описано у польових умовах відповідно ДСТУ 7535:2014¹. Будову профілю описували з урахуванням традиційно використовуваних для цього морфологічних характеристик ґрунтів [19, 20].

Вміст гумусу визначали оксидиметричним методом, згідно з ДСТУ 4289:2005². Визначення гранулометричного складу ґрунту виконано методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського, згідно з ДСТУ 4730:2007³. Для відбирання проб застосовували методичні вказівки відповідно до ДСТУ 4287:2004⁴. Вимірювання температури ґрунту на різних глибинах і на поверхні здійснювали цілодобово впродовж усього періоду досліджень термосенсорами, розміщеними на кожному майданчику на відстані 1,0 м від ґрунтового розрізу. Кожен сенсор обладнаний 12 термодатчиками DS18B20 (з точністю вимірювання $\pm 0,5$ °C, в інтервалі від -55 до +125 °C), розміщеними вертикально на інструменті через кожні 10 см (на глибинах від 10 до 120 см), та одним датчиком температури DS18B20 на гнучкому дроті, для вимірювання температури на поверхні ґрунту (0 см). Інтервал вимірювань — кожні 30 хвилин впродовж доби.

3. Результати досліджень

3.1. Морфологічна будова ґрунтових профілів

Ґрунтовий профіль 1. Ґрунт — темно-сірий опідзолений підвищено зволожений важкосуглинковий на лесі (Рис. 1). Розріз закладено (Див. табл. 1) у нижній частині пологого (2,5°–2,0°), прямого схилу північно-західної експозиції, який поступово переходить у балку. Закипання від 10 % HCl не спостерігали. Поверхня ґрунту під різнотравною рослинністю, відносно суха.

¹ ДСТУ 7535:2014. Якість ґрунту. Морфолого-генетичний профіль. Правила та порядок описування. [Чинний від 01.04.2015]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2015.

² ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 8 с.

³ ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 19 с

⁴ ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб : [Чинний від 2004-30-04] Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 5 с.



Генетичні горизонти ґрунту:

He (0–25 см) — гумусовий слабоелювіюваний, орний; темно-сірий з білястим відтінком; вологий; важкосуглинковий; невиразно-грудкуватий, майже безструктурний; перехід не чіткий за лінією оранки;

HI (25–50 см) — гумусовий ілювіюваний; темно-сірий; вологий; важкосуглинковий; горіхувато-призмоподібний; ущільнений; перехід не ясний;

Ihp (50–80 см) — ілювіальний слабогумусований; бурий; свіжий; важкосуглинковий/легкоглинистий; призмоподібний; ущільнений, перехід поступовий;

Ip(h) (80–120 см) — ілювіальний; бурий із рудими затіканнями; свіжий; легкоглинистий; призмоподібний; ущільнений; перехід поступовий;

R(h)i/k (120–145 см) — перехідний ілювіюваний, темно-бурий, свіжий, грудкувато-призмоподібний, ущільнений.

Рис. 1. Темно-сірий опідзолений підвищено зволожений важкосуглинковий ґрунт на лесі (Фото автора)

Ґрунтовий профіль 2. Ґрунт — темно-сірий опідзолений сильноксероморфний (сильнозмитий) важкосуглинковий на лесі (Рис. 2), у верхній частині опуклого схилу 5,04,0° південно-східної експозиції, який за напрямом на схід закінчується крутим спуском за 12 м до днища балки. Закипання від 10 % HCl починається з поверхні ґрунту. Поверхня під різнотравною рослинністю, відносно суха.



Генетичні горизонти ґрунту:

Heіk (0–25 см) — гумусовий слабоелювіюваний (орний); темно-сірий з бурим відтінком; вологий; важкосуглинковий; пороховато-грудкуватий; пухкий; перехід різкий за межею орного шару;

Phi(e)k (25–35 см) — перехідний, гумусово-ілювіальний; сірувато-бурий, свіжий; важкосуглинковий; горіхуватий; ущільнений; перехід ясний;

Rk (35–70 см) — материнська порода — лес; палевий; важкосуглинковий; карбонатний; карбонати у вигляді прожилок і псевдоміцелію.

Рис. 2. Темно-сірий опідзолений сильноксероморфний (сильнозмитий) важкосуглинковий ґрунт на лесі (Фото автора)

Ґрунтовий профіль 3. Ґрунт — лучний опідзолений намитий важкосуглинковий на делювії (Рис. 3), у днищі балки. На глибині 163 см виявлено воду. Закипання від 10 % HCl не спостерігали. Поверхня під різнотравною рослинністю, відносно суха.



Рис. 3. Лучний опідзолений намитий важкосуглинковий ґрунт на делювії (Фото автора)

Генетичні горизонти ґрунту:

H(e) (0–30 см) — гумусовий, орний; темно-сірий, майже чорний, з глянцем; вологий; важкосуглинковий; призмоподібно-горіхувато-зернистий, неоднорідний; вмиви кремнеземистої присипки; перехід поступовий;

Hr(g) (30–82 см) — верхній перехідний; темно-сірий з коричневато-бурим відтінком і глянцем; вологий; горіхувато-призмоподібний з тенденцією до клиноподібності; окремі вмиви сизого оглеєного матеріалу; перехід ясний за структурою і щільністю; виражена візуальна шаруватість;

Hr(g) (82–115 см) — перехідний; бурувато-чорний, у нижній частині з вираженим коричневим відтінком; вологий; важкосуглинковий, донизу опіщанений; глянцеви блиск по гранях структурних окремостей; злитий, ущільнений; виражена візуальна шаруватість, перехід поступовий;

Ph(g) (115–163 см) — нижній перехідний; темнувато-сіро-коричневий; сирий; оглеєний; помірно ущільнений; виражена опіщаненість.

Ґрунтовий профіль 4. Ґрунт — темно-сірий опідзолений важкосуглинковий на лесі (Рис. 4), плакор. Закипання від 10 % HCl з 60 см від поверхні ґрунту. Поверхня під різнотравною рослинністю, відносно суха.



Генетичні горизонти ґрунту:

He (0–30 см) — гумусовий слабоелювіюваний, орний; темно-сірий з білястим відтінком; вологий; важкосуглинковий; пороховато-грудкуватий; пухкий; перехід ясний за межою орного шару;

H(e) (30–50 см) — гумусовий ілювіюваний; темно-сірий з глянсовим блиском; свіжий; важкосуглинковий; горіхуватий; ущільнений; перехід поступовий;

lhp/k (50–70 см) — ілювіальний слабогумусований; сірувато-бурий, неоднорідний; важкосуглинковий; призмоподібний; ущільнений; карбонати у формі псевдоміцелію; перехід поступовий;

P(i)k (70–95 см) — материнська порода — лес; палевий; важкосуглинковий; карбонатний; карбонати у вигляді прожилок.

Рис. 4. Темно-сірий опідзолений важкосуглинковий ґрунт на лесі (Фото автора)

Морфологічні ознаки профілів досліджуваних ґрунтів мають як спільні, так і відмінні характеристики, зумовлені генезисом відповідно дії мікрорельєфного чинника перерозподілу тепла і вологи.

Верхній горизонт цих ґрунтів переважно темно-сірого кольору з білесим відтінком завдяки кремнеземній присипці (SiO_2), проте інтенсивність цього забарвлення менша у розрізі 2, з'являється буруватий відтінок унаслідок меншого гумусонакопичення у посушливих (ксероморфних) умовах схилу «теплої» експозиції та пріорювання нижчих горизонтів.

Потужність гумусованої частини у профілях 1 і 4 (70–80 см) є закономірно більшою, порівняно з профілем 2 (35 см). Незважаючи на кращу вологозабезпеченість темно-сірого опідзоленого підвищено зволоженого ґрунту (п. 1), параметри гумусованої частини профілю не є істотно більшими, що вказує на пріоритет деревної рослинності у ґрунтоутворенні через наявність біологічного бар'єру для глибокого поширення коренів трав'янистої рослинності у вигляді ярусу скелетних коренів дубу з глибини 50 см. Натомість для лучного опідзоленого ґрунту (п. 3) притаманний глибокий профіль з візуально помітною гумусованістю у нижньому перехідному горизонті завдяки, на додаток до доброї зволоженості, переважанню лучної трав'янистої рослинності та періодичному наміву дрібнозему. Гідроморфний характер цього ґрунту проявляється у наявності ознак оглеєння у нижній частині профілю (починаючи з верхнього перехідного горизонту), опідзоленість — у наявності кремнеземної присипки, відсутності ознак скипання карбонатів у профілі та констатованої текстурної диференціації профілю. Намість діагностується через ознаки шаруватості у профілі.

Абсолютні значення вмісту гумусу в окремих шарах ґрунту підтверджують зроблені висновки стосовно потужності гумусованих частин профілів. Дані щодо вмісту гумусу в ґрунтах наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст гумусу в досліджуваних ґрунтах

Шар ґрунту, см	Вміст гумусу, % у профілях ґрунтів			
	п. 1.	п. 2.	п. 3.	п. 4.
0-10	3,49	1,77	2,46	2,80
15-25	2,80	1,52	2,26	2,60
30-40	2,80	0,74	1,62	1,72
50-60	1,92	0,59	3,07	0,74
70-80	1,52	-	1,13	0,74
90-100	1,47	-	1,42	0,84

Примітка. п.1 – Темно-сірий опідзолений підвищено зволожений важкосуглинковий на лесі; п.2 – Темно-сірий опідзолений сильно-ксероморфний (сильнозмитий) важкосуглинковий на лесі; п.3 – Лучний опідзолений намитий важкосуглинковий на делювії; п.4 – Темно-сірий опідзолений важкосуглинковий на лесі

Текстурна диференціація з наявністю гумусово-елювіального та ілювіального горизонтів різною мірою властива всім досліджуваним профілям, але найбільш виражена у темно-сірому опідзоленому підвищено зволоженому ґрунті (п. 1), а найменше — у темно-сірому опідзоленому сильноксероморфному, сильнозмитому ґрунті (п. 2).

Звертає на себе увагу морфологічно менш виражений ілювіальний горизонт у профілі 4, порівняно із найбільш поширеними темно-сірими опідзоленими ґрунтами у плакорних умовах. На нашу думку, це пояснюється глибоким підстиланням (1,5–2,0 м) пісками морського походження, що досить часто зустрічається на відгалуженнях Середньоруської височини і неодноразово виявлялось нами у районі досліджень.

Глибина закипання карбонатів (effervescent) у профілі — один із традиційних діагностичних атрибутів опідзолених ґрунтів, який є індикатором глибини низхідних рухів вологи, переважно у холодний період року. Темно-сірий опідзолений підвищено зволожений (п. 1) та лучний опідзолений намитий (п. 3) вилужені від карбонатів, темно-сірий опідзолений на плакорі (п. 4) слабо закипає з 60 см, а бурхливо — з 80 см. Відносно високий рівень залягання карбонатів, причому саме у рухливій псевдоміцелярній формі,

свідчить про їхню високу міграційну здатність у профілі ґрунту. Цьому сприяє, як вказано вище, глибоке підстелення пісками, що зумовлює утворення шару так званої «капілярно-підвищеної» вологи, та її висхідний рух у теплий період року. Найвище розташована лінія закипання карбонатів у темно-сірому опідзоленому сильноксероморфному (сильнозмитому) ґрунті (п. 2), що пояснюється особливими гідротермічними умовами на опуклому схилі південно-східної експозиції.

3.2. Гранулометричний склад ґрунтів

Параметри вмісту двох основних фракцій гранулометричного складу опідзолених темно-сірих і лучного опідзоленого ґрунтів, визначеного за методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського, наведено в таблиці 3.

Темно-сірий опідзолений підвищено зволожений важкосуглинковий на лесі (п. 1), темно-сірий опідзолений сильноксероморфний (сильнозмитий) важкосуглинковий на лесі (п. 2) та темно-сірий опідзолений важкосуглинковий на лесі (п. 4) виявляють властивості важких ґрунтів і є майже однотипними за гранулометричним складом.

Лучний опідзолений намитий важкосуглинковий ґрунт на делювії, у днищі балки (п. 3) відповідає загально прийнятим положенням стосовно делювіальних відкладів з характерною відносною сортованістю і шаруватістю, яка простежується за параметрами вмісту обох фракцій.

Вміст мулистої фракції (< 0,001 мм), для якого властива диференціація у профілі опідзолених ґрунтів, графічно зображено на рисунку 5.

В опідзолених ґрунтах спостерігається диференціація профілю за елювіально-ілювіальним типом. Гумусовий елювійований горизонт має мінімальні значення вмісту фракцій мулу і фізичної глини, ілювіальні горизонти — збільшені. Проте спостерігається невідповідність між параметрами гранскладу гумусового елювіального та ілювіальних горизонтів, що вказує на перебіг двох процесів — як вимивання-вмивання мулистих часток, так і оглинювання в ілювіальному горизонті.

Таблиця 3

Гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів

Профіль	Шар ґрунту, см	Вміст гранулометричних фракцій, %		Назва гранскладу [21]
		< 0,001 мм	< 0,01 мм	
1	0-25	35	53	важкосуглинковий
	30-40	36	55	важкосуглинковий
	50-60	35	55	важкосуглинковий
	70-80	38	56	легкоглинистий
	90-100	37	56	легкоглинистий
	110-120	39	57	легкоглинистий
2	0-25	35	55	важкосуглинковий
	30-40	33	53	важкосуглинковий
	50-60	32	53	важкосуглинковий
	70-80	35	58	легкоглинистий
	90-100	34	55	важкосуглинковий
	110-120	33	55	важкосуглинковий
3	0-25	32	46	легко важкосуглинковий
	30-40	32	47	легко важкосуглинковий
	50-60	27	43	важко середньосуглинковий
	70-80	24	35	легко середньосуглинковий
	90-100	23	37	середньосуглинковий
	110-120	24	37	середньосуглинковий
4	0-25	33	56	важкосуглинковий
	30-40	36	57	легкоглинистий
	50-60	36	58	легкоглинистий
	70-80	36	56	легкоглинистий
	90-100	36	57	легкоглинистий
	110-120	38	60	легкоглинистий

Примітка: назву ґранулометричного складу дано за класифікацією у [21]

Підтвердженням цього є збільшення вмісту фракцій мулу та фізичної глини саме у нижній частині ілювіального горизонту, а не у верхній, як слід було б очікувати у разі одного лише вмивання колоїдних часток. Крім того, це вказує на гідрогенний характер оглинювання — ґрунт у нижній частині профілю більш тривалий час залишається вологим.

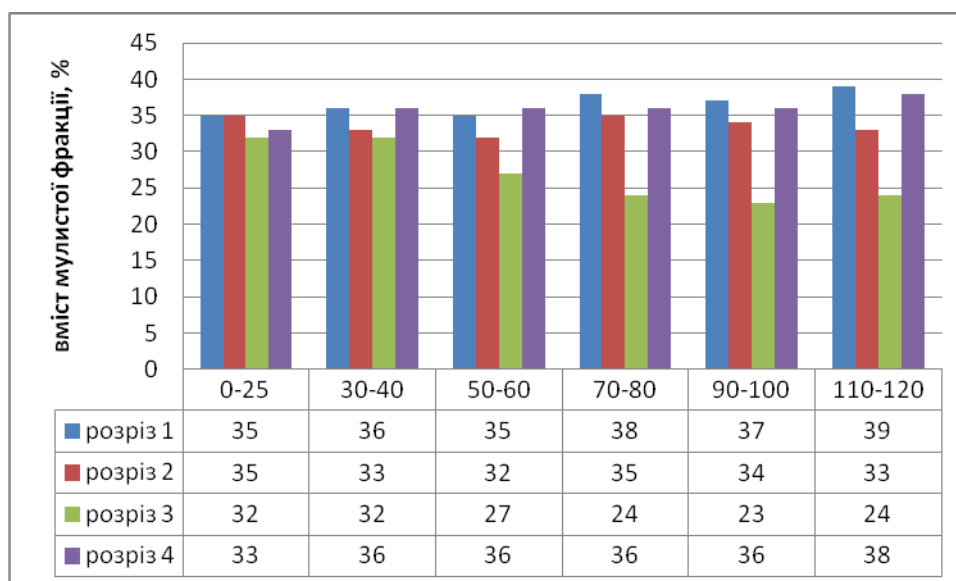


Рис. 5. Вміст гранулометричної фракції мулу (< 0,001 мм) у шарах (см) темно-сірих і лучного опідзолених ґрунтів

Явище оглинювання з текстурною метаморфізацією профілю закономірно, максимально виражене у профілях 1 і 4, які відносно добре забезпечені вологою.

Натомість у профілі 2, диференціація за гранулометричним складом практично не виражена, що зумовлено посушливістю цього схилового місцеположення і, частково, еродованістю.

Лучний опідзолений намитий ґрунт (п. 3), навпаки, характеризується меншим вмістом фракцій мулу та глини у верхньому горизонті, порівняно з іншими та полегшенням гранулометричного складу з глибиною. Це зумовлено пріоритетом процесів наміву у ґрунтоутворенні, що маскує вплив опідзолення.

3.3. Гідротермічні характеристики ґрунтів

Елементарні ґрунтові процеси на досліджуваних ділянках з різним рельєфом висвітлюють певні аспекти формування різноманітної морфології темно-сірих опідзолених ґрунтів, в контексті різних гідротермічних режимів, які спричиняють різні періоди (цикли) замерзання та відтавання, а також зволоження та висихання ґрунту.

Згідно з результатами наших спостережень, процеси теплообміну та вологообміну у досліджуваних ґрунтах на різних елементах рельєфу, є істотно різними, за однакових параметрів температури повітря і кількості атмосферних опадів, у тому числі, невеликій різниці (1-2 см) висоти снігового покриву. Найбільші різниці в термоциклах спостерігаються у зимовий та літній періоди, перш за все, через різну глибину промерзання або висихання ґрунту.

Результати автоматичного вимірювання температури (цілодобово, з інтервалом 30 хвилин) на різних глибинах у профілі ґрунту та на поверхні впродовж 2023 і 2024 років, дозволяють зробити деякі заключення щодо термічних умов, які складаються у найхолодніший та найтепліший періоди року (Табл. 4).

Таблиця 4

Характеристики температурного режиму ґрунтів за результатами вимірювань у 2023 і 2024 рр.

Локація	Зимовий період (грудень 2023 – лютий 2024 рр.)			Літній період		
	Максимальна глибина промерзання		Загальний час перебування ґрунту у мерзлому стані, діб	Мінімальна температура, °С		Максимальна температура, °С
	см	період, кількість діб		січень, 2024	липень, 2023	липень, 2024
1 Схил Пн-Зх	30	січень-лютий, 41	104	-9,6	55,6	60,2
2 Схил Пд-Сх	10	січень, 9	84	-5,6	65,9	65,3
3 Днище балки	20	січень-лютий, 31	91	-6,3	61,5	60,0
4 Плакор	20	січень, 13	65	-4,7	60,5	62,0

Примітка. Експозиція схилу: Пн-Зх — північно-західна; Пд-Сх — південно-східна.

Аналіз даних, представлених у таблиці 3, вказує на значну різницю в параметрах одного з ключових факторів ґрунтоутворення — температури ґрунту, яка істотно впливає на інші фактори та внутрішні процеси в ґрунті, направляючи їх динаміку.

Спостереження за динамікою температури ґрунту дозволило зафіксувати процес формування крижаних лінз у ґрунтах на всіх локаціях. Для прикладу, у таблиці 5 представлено фрагмент результатів вимірювання — температури ґрунту по днях (один із 48 замірів за добу — о 4.30 ранку) на глибинах до 40 см, на схилі північно-західної експозиції.

На основі даних таблиці 5 можна зробити висновок, що в шарі ґрунту 0–30 см існують умови для формування крижаних лінз. Утворення та зростання крижаних лінз призводить до збільшення об'єму ґрунту у вертикальному і горизонтальному напрямках. Вертикальний напрямок піднімає верхні шари ґрунту, а горизонтальний — призводить до зміщення частинок та створення тріщин, що особливо помітно в елювійованих горизонтах. Крижані лінзи та кріогенні тріщини призводять до педотурбації ґрунтового профілю, через кріотурбаційні елементарні ґрунтові процеси. Це явище сприяє горизонтальній профільованості в елювійованих горизонтах, тобто розшаруванню ґрунту та переміщенню частинок вниз по профілю, що, теоретично, може створювати характерну горизонтальну подільність структури.

Таблиця 5

Температура ґрунту на схилі північно-західної експозиції у січні – лютому 2024 (фрагмент)

Глибина розміщення сенсору, см	Температура ґрунту (°С) на 04.30 ранку по днях										
	24.01	25.01	27.01	29.01	30.01	31.01	01.02	02.02	03.02	04.02	05.02
0	-2,7	-1,2	-0,1	-0,2	-2,7	-3,4	-2,9	0,3	-1,9	0,3	-0,5
10	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
30	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	-0,1
40	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9

Кріогенні тріщини створюють преференційні шляхи для руху води та повітря. Це сприяє розвитку преференційної пористості в ілювіальних горизонтах, де накопичуються глинисті та органічні речовини. Ці шляхи сприяють швидкому переміщенню води та розчинених речовин у глибину профілю, що посилює процеси ілювіювання.

На нашу думку, крижані лінзи створюють тимчасові фізичні бар'єри для переміщення води, також вони сприяють горизонтальній стратифікації ґрунту (тобто формуванню шаруватості в ґрунтовому профілі). Незамерзлі шари, своєю чергою, залишаючись водопроникними, накопичують воду й утворюють перезволоження ґрунтових горизонтів.

За результатами моніторингу температури ґрунту і відбирання проб для визначення вмісту вологи, у літній період було зафіксовано елементарні ґрунтові процеси злітизації ґрунтів (або метаморфізації, тобто ущільнення ґрунту, що призводить до формування щільних горизонтів, які стають надзвичайно твердими та розтріскуються на великі брили у сухому стані), розтріскування та самомульчування. Метаморфізація ґрунту наприкінці липня 2024 року, у нижній частині схилу північно-західної експозиції була зафіксована у шарі від 10 до 51 см; ґрунту південно-східної експозиції, її опуклої частини, — від 10 до 37 см; у ґрунті плакорної території — з 10 до 25 см. Днище балки демонструвало ефект злітизації у першій декаді вересня з 10 до 20 см.

За результатами визначення вмісту в ґрунті польової вологи (22.07.2024), констатували практичне пересихання ґрунту до глибини 40–50 см, тобто ефект метаморфізації і розтріскування відбувається при рівні вмісту польової вологи 12 % та нижче і при температурі ґрунту більше 25 °C на глибинах до 50 см. Процес формування тонкого поверхневого пухкого горизонту, в результаті інтенсивного висихання злитих ґрунтів, тобто самомульчування ґрунту, відбувався на всіх об'єктах дослідження з поверхні (0 см) до глибини 10 см. За результатами дослідження зразків, відібраних з використанням ґрунтового бура, було встановлено, що пухкий горизонт чітко відокремлений від щільної зливої ґрунтової маси, розташованої нижче.

На нашу думку, різниця в прояві педотурбаційних елементарних ґрунтових процесів, призводить до змін у щільності будови ґрунту та процесі агрегації елементарних частинок, що, з часом, веде до утворення різниці в структурі ґрунту по горизонтах.

3.4. Вплив гідротермічних умов на формування структури ґрунту

Верхній горизонт (He) темно-сірих опідзолених та лучного опідзоленого ґрунту, найбільше піддається впливу температур через близькість до поверхні. Невиразно грудкувата структура ґрунту на схилі Пн-Зх експозиції (п. 1), порохувато-грудкувата — на схилі Пд-Сх (п. 2) і на плакорі (п. 4), загалом характерні для гумусового горизонту.

Високі літні температури (у липні 40,0–60,0 °C), що тримаються до 6-10 годин упродовж доби, та висушування ґрунту викликають метаморфізацію (зміну структурного стану) верхнього горизонту та руйнування грудок (через механізм розтріскування). Невиразність цієї структури (у ґрунті схилу Пн-Зх експозиції) зумовлена додатковим зволоженням у нижній частині схилу. Порохуватість структури ґрунту (на схилі Пд-Сх експозиції та плакорі) зумовлена фізичним руйнуванням найдрібніших агрегатів дією високих літніх температур до сипучого стану.

Для гумусового ілювійованого горизонту ґрунту на схилі Пн-Зх експозиції, гумусово-ілювіального (схил Пд-Сх експозиції) та гумусового ілювійованого (плакор) характерна горіхувата структура. Опідзолені ґрунти зберегли горіхувату структуру, як наслідок їх розвитку під лісовою та степовою рослинністю. Глибини 35–50 см зазнають менших термоколивань, але періодичного зволоження та висихання. Ці цикли, особливо висихання–розтріскування, підтримують гострореберність горіхуватих агрегатів.

Для ілювіального слабогумусованого горизонту ґрунтів на схилі Пн-Зх експозиції та на плакорі, глибше 50 см, характерні призмоподібні структури, що є класичним для ілювіальних горизонтів. Додатковий вертикальний тиск ґрунтової маси та її ущільнення під дією періодів (циклів) зволоження-висихання, замерзання-відтавання, формують вертикальні тріщини, підтримуючи призмоподібність структур.

Затікання на глибині 80-120 см (бурого із рудим кольором) в ілювіальному горизонті ґрунту Пн-Зх експозиції з призмоподібною структурою, характерні для періодично промерзаючих ґрунтів, або тих, які піддаються періодичному розтріскуванню, або коли гумус «затікає» по кореневих каналах. Термічні режими літнього періоду сприяли злитості горизонтів профілю на «холодній експозиції» у липні 2024 року до глибини 51 см. Зимовий період, для якого характерно формування кріогенних тріщин у ґрунті (як мінімум у шарі промерзання 0-30 см), розвиває преференційну пористість, що посилює процеси ілювіювання.

Глибші шари ґрунту (материнська порода) менш схильні до структурних змін через свою щільність і мінеральний склад, що підтримується меншими температурними коливаннями і відсутністю їх вираженої циклічності.

Хоча навесні та після зволоження структура ґрунту відновлюється, в довгостроковій перспективі сезонні термоцикли призводять до поступового руйнування ґрунтових агрегатів та ущільнення ґрунту. Ці цикли викликають зміни у морфології, в результаті чого, ґрунт не відновлюється до вихідної структури. Вихідною структурою, ми вважаємо ту, яка може бути представлена стабільними ґрунтовими агрегатами, з такими формами структури як горіхоподібна, призмоподібна або зерниста. Макроагрегати такої форми мають достатню пористість, пухкість і водопроникність, що забезпечує оптимальні умови для росту рослин та підтримки ґрунтової екосистеми. Однак, оскільки ґрунт – це відкрита система, то ґрунтові агрегати завжди піддаються впливу кліматичного фактору або механічній дії (антропогенний фактор).

Навіть якщо ґрунтові агрегати зберігають свою структуру протягом якогось часу, вони все одно схильні до поступового руйнування під впливом термічних циклів замерзання-відтавання та зволоження-висихання, втручання організмів та інших природних процесів. Тому в ґрунті, як у динамічній та відкритій системі, агрегати перебувають у стані постійної педотурбації, залежно від поточних умов.

4. Висновки

Опідзолені ґрунти плакорних і схилових місцеположень відрізняються гідротермічними умовами, що впливають на формування морфолого-генетичних особливостей, перш за все, на глибину гумусованої частини профілю, його текстурну диференціацію та глибину залягання карбонатів. У результаті дії рельєфного чинника перерозподілу тепла і вологи сформувалися різні види опідзолених ґрунтів.

Потужність гумусованої частини є найменшою у профілі ксероморфного еродованого ґрунту, порівняно з іншими, проте у всіх профілях не перевищує 70-80 см. Максимальну потужність гумусованої частини профілю зафіксовано у лучному опідзоленому намитому ґрунті завдяки акумуляції дрібнозему зі схилових територій.

Текстурна диференціація профілю опідзолених ґрунтів діагностується у польових умовах органолептично, за візуальними ознаками та за результатами лабораторно-аналітичних досліджень і проявляється через профільний перерозподіл гранулометричних фракцій мулу ($< 0,001$ мм) та фізичної глини ($< 0,01$ мм). Диференціація профілю більш виражена у підвищено зволжених видів, менше — у сильноксероморфному (сильнозмитому). У лучному опідзоленому намитому ґрунті, це явище не виражене внаслідок шаруватості та опіщаненості профілю, спричинених спорадичним наливом дрібнозему.

Гідротермічні умови, зумовлені рельєфом, впливають на наявність карбонатів, а саме, у лучного опідзоленого намитого та темно-сірого опідзоленого підвищено зволоженого ґрунтів закипання (від 10 % HCl) відсутнє, навіть у материнській породі, у темно-сірого опідзоленого сильноксероморфного (еродованого) ґрунту закипання помітно з поверхні, у темно-сірого опідзоленого ґрунту плакорного місцеположення — у нижній частині профілю. Відсутність закипання в умовах додаткового зволоження, свідчить про розчинення та вимивання карбонатів.

Різна глибина промерзання ґрунту, залежно від форми поверхні та експозиції схилів (Пн-Зх схил — від 0 до 30; Пд-Сх схил — від 0 до 10; плакор — від 0 до 20; днище балки — від 0 до 20 см), свідчить про зв'язок температурного режиму з положенням профілів у рельєфі. Утворення крижаних лінз на різних глибинах та у різний період, вказує на неоднорідність промерзання ґрунтів, що також залежить від рельєфу та експозиції.

Процеси метаморфізації відбуваються при польовій вологості ґрунту 12 % та нижче і при температурі ґрунту більше 25 °C на глибинах до 50 см, що є одним з факторів морфологічних змін у ґрунті.

Внесок авторів. План досліджень, інтерпретація отриманих даних, консультація з методологічних питань: В. Б. Соловей. Розробка методології, польові роботи, збір, аналіз, інтерпретація даних, підготовка рукопису: О. О. Троценко. Автори ознайомлені з опублікованою версією рукопису і згодні з нею.

Список використаних джерел

1. Мирошниченко Н. Н., Тertyшная А. В. Распределение микроэлементов в почвах оподзоленного ряда трансэлювиальных ландшафтов левобережной Лесостепи Украины. *Ґрунтознавство*. 2011. Т. 12, № 1-2. С. 5-11. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/fbem/program_56d5eca411372.pdf [in Ukrainian].
2. Полупан М. І., Балюк С. А., Соловей В. Б., Величко В. А., Волков П. О. *Природний механізм захисту схилів ґрунтів від водної ерозії*: монографія / за ред. М. І. Полупана. Київ: Фенікс, 2011. 144 с.
3. Плиско І. В. Пространственно-дифференцированная система управления качеством почв (на примере пашни Украины). *Почвоведение и агрохимия*. 2019. № 1(62). С. 59-72. https://soil.belal.by/jour/article/view/698/698?locale=en_US
4. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. *Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты)*. Харьков: Апостроф, 2011. 292 с.
5. Медведев В. В., Мельник А. И. Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и во времени. *Агрохимия*. 2010. №1. С. 20-26.
6. Пліско І. В., Куцова К. М. Просторова неоднорідність структурно-агрегатного складу ґрунтів у межах окремих агроценозів Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. «Агрономія і біологія»*. 2022. Вип. 2(48). С. 131-138. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.18>
7. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. *Класифікація ґрунтів України* / За ред. М. І. Полупана. Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
8. Шульгин А. М. *Климат почвы и его регулирование*. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. 302 с.
9. Nanda A., Sen S., Sharma A. N., Sudheer K. P. Soil temperature dynamics at hillslope scale—field observation and machine learning-based approach. *Water*. 2020. 12(3). 713. <https://doi.org/10.3390/w12030713>
10. Elizabeth G. S. Fraser I., Woolf H., Pearse W. D. Variation in near-surface soil temperature drives plant assemblage insurance potential. *bioRxiv. The preprint server for biology*. 2022. <https://doi.org/10.1101/2022.11.21.517364>
11. Chen, X., Li, Y., Chau, H. W., Zhao, H., Li, M., Lei, T., & Zou Y. The spatiotemporal variations of soil water content and soil temperature and the influences of precipitation and air temperature at the daily, monthly, and annual timescales in China. *Theoretical and applied climatology*. 2020. 140. P. 429-451. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03092-9>
12. Dagesse, D. F. Freezing cycle effects on water stability of soil aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*. 2013. 93. P. 473-483. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-046>
13. Ma Q., Zhang K., Jabro, J. D. et al. Freeze–thaw cycles effects on soil physical properties under different degraded conditions in Northeast China. *Environ Earth Sci* **78**, 321 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8323-z>
14. Jabro J. D., Iversen W. M., Evans R. G., Allen B. L., Stevens, W. B. Repeated freeze-thaw cycle effects on soil compaction in a clay loam in Northeastern Montana. *Soil Science Society of America Journal*. 2014. 78(3). P. 737-744. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0280>
15. Leuther F., Schlüter S. Impact of freeze–thaw cycles on soil structure and soil hydraulic properties. *Soil*. 2021. 7(1). P. 179–191. <https://doi.org/10.5194/soil-7-179-2021>
16. Hallett P. D., Newson T. A. Describing soil crack formation using elastic–plastic fracture mechanics. *European Journal of Soil Science*. Vol. 56 (1), 2004. P. 31-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00652.x>
17. Parvin N., Sandin M., Larsbo M. Seedbed consolidation and surface sealing for soils of different texture and soil organic carbon contents. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 206. 104849. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104849>
18. *Руководство по описанию почв*. Четвертое изд., исправл. и дополн. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2012. 101 с. <https://www.fao.org/4/a0541r/a0541r.pdf>
19. Гринь Г. С. *Полевая диагностика почв*. Харьков, 1974. 224 с.
20. *Полевой определитель почв* / под ред. Полупана Н.И., Носко Б.С., Кузьмичева В.П. Киев: Урожай, 1981. 320 с.
21. Полупан М. І., Соловей В. Б., Кисіль В. І., Величко В. А. *Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України*. Київ: Колодоби, 2005. 304 с.

UDC: 631.4

Comparative morphological-genetic characteristics of podzolized soils on plateau and slope locations

V. B. Solovei, O. O. Trotsenko*

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

* Corresponding author: trea140981@gmail.com

Received 01.10.2024, Revised 04.11.2024, Accepted 18.12.2019, Available online 27.12.2024

Abstract

The article systematizes the results of comparative field and office studies and provides a detailed description and considers the factors influencing the morphological characteristics of genetic horizons of podzolized soils – dark gray podzolized heavy loam on loess and meadow podzolized heavy loam on deluvium, in slopes and plakor. The research conducted in the territory of the Kharkiv region of Ukraine in the Left Bank Forest-Steppe. In field and laboratory studies, the following indicators were determined using regulatory procedures and standardized methods: morphological characteristics of the soil; humus content; granulometric composition; soil temperature. It established that the studied soils have common and distinctive features, both in terms of the morphological structure of the profile and in terms of properties, which influenced by relief/microrelief, climate/microclimate, due to different levels of moisture accumulation and insolation on plakor and slope areas. The following are common morphological features of podzolized soil profiles:

textural differentiation; compaction of illuvial horizons; dark gray color; nutty-prism-like shape of structural units. Differences were noted in the overall thickness of the soil profile, the depth of the humus part, the nature of the transitions between horizons, the presence of new formations and the depth of carbonate occurrence (by reaction to 10% HCl). Differences in the thickness of the humus part of the profile were found to be insignificant in the profiles of dark gray podzolized soils (except for strongly xeromorphic) with different levels of moisture, which indicates the same priority role of former woody vegetation in the previous stages of the soil formation process. In meadow podzolized soil, the depth of humus is much greater, which is a natural result of the action, in addition to good moisture, of meadow vegetation and alluvial processes. The absolute values of humus content in individual soil layers confirm the conclusions made. In all soils, the particle size fraction of silt (< 0.001 mm), as well as the physical clay fraction (< 0.01 mm), redistributed with depth because of both eluvial-illuvial processes and claying in illuvial horizons, which led to the formation of texturally differentiated profiles. The identified differences in soil properties defined as those that are due to the difference in genetic processes of soil formation under different hydrothermal regimes in slope and plateau locations, which reflected in the profile features of soils, which should be taken into account for assessing their quality when forming scientific and production programs for soil conservation and restoration.

Keywords: slope lands; dark gray podzolized soils; morphological structure; particle size distribution; microclimate.

Citing: Solovei, V. B., & Trotsenko, O. O. (2024). Comparative morphological-genetic characteristics of podzolized soils on plateau and slope locations. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 4-17. doi: 10.31073/acss97-01 [in Ukrainian]

References

1. Miroshnichenko, N. N., & Tertyshna, A. V. (2011). Distribution of trace elements in podzolized soils of transeluvial landscapes of Ukrainian Left-Bank Forest Steppe. *Soil Science*, 12(1-2), 5–11. Retrieved from https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/fbem/program_56d5eca411372.pdf [in Ukrainian].
2. Polupan, M. I., Balyuk, S. A., Solovei, V. B., Velichko, V. A., & Volkov, P. O. (2011). In M. I. Polupan (Ed.), *Natural mechanism of protection of slope soils from water erosion: monograph*. Kyiv: Fenix. [in Ukrainian].
3. Plisko, I. V. (2019). Spatially differentiated system of soil quality management (on the example of arable land in Ukraine). *Soil Science and Agrochemistry*, 1(62), 59-72. Retrieved from https://soil.belal.by/jour/article/view/698/698?locale=en_US [in Russian].
4. Medvedev, V. V., & Laktionova, T. N. (2011). *Texture of Ukrainian soils (genetic, environmental and agronomical aspects)*. Kharkiv: Apostrophe [in Russian].
5. Medvedev, V. V., & Melnyk, A. Y. (2010). Heterogeneity of agrochemical parameters of soil in space and time. *Agrochemistry*, 1, 20-26. [in Ukrainian].
6. Plisko, I. V., & Kutsova, K. M. (2022). Spatial heterogeneity of structural and aggregate composition of soils within separate agrocenoses of the left-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 48(2), 131-138. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.18> [in Ukrainian].
7. Polupan, M. I., Solovei, V. B., & Velichko, V. A. (2005). *Classification of Soils of Ukraine*. (M. I. Polupan, Ed.). Kyiv: Agrarian Science.
8. Shulgin, A. M. (1967). *Soil climate and its regulation*. Leningrad: Hydrometeorological publishing house. [in Russian].
9. Nanda, A., Sen, S., Sharma, A. N., & Sudheer, K. P. (2020). Soil temperature dynamics at hillslope scale—field observation and machine learning-based approach. *Water*, 12(3), 713. <https://doi.org/10.3390/w12030713>
10. Elizabeth, G. S., Fraser, I., Woolf, H., & Pearse, W. D. (2022). Variation in near-surface soil temperature drives plant assemblage insurance potential. *bioRxiv. The preprint server for biology*. <https://doi.org/10.1101/2022.11.21.517364>.
11. Chen, X., Li, Y., Chau, H. W., Zhao, H., Li, M., Lei, T., & Zou Y. (2020). The spatiotemporal variations of soil water content and soil temperature and the influences of precipitation and air temperature at the daily, monthly, and annual timescales in China. *Theoretical and applied climatology*, 140, 429-451. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03092-9>
12. Dagesse, D. F. (2013). Freezing cycle effects on water stability of soil aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*, 93, 473-483. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-046>
13. Ma Q., Zhang K., Jabro, J. D., Ren, L., & Liu, H. (2019). Freeze-thaw cycles effects on soil physical properties under different degraded conditions in Northeast China. *Environ Earth Sci*, 78, 321. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8323-z>...
14. Jabro, J. D., Iversen, W. M., Evans, R. G., Allen, B. L. & Stevens, W. B. (2014). Repeated freeze-thaw cycle effects on soil compaction in a clay loam in Northeastern Montana. *Soil Science Society of America Journal*, 78(3), 737-744. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0280>
15. Leuther, F., & Schlüter, S. (2021). Impact of freeze-thaw cycles on soil structure and soil hydraulic properties. *Soil*, 7(1), 179-191. <https://doi.org/10.5194/soil-7-179-2021>
16. Hallett, P. D., & Newson, T. A. (2004). Describing soil crack formation using elastic-plastic fracture mechanics. *European Journal of Soil Science*, 56(1), 31-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00652.x>
17. Parvin, N., Sandin, M., & Larsbo, M. (2021). Seedbed consolidation and surface sealing for soils of different texture and soil organic carbon contents. *Soil and Tillage Research*, 206, 104849. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104849>
18. *Guidelines for soil description. Fourth edition, corrected and supplemented*. (2012). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/4/a0541r/a0541r.pdf> [in Russian].
19. Grin, G. S. (1974). *Field diagnostics of soils*. Kharkiv. [in Russian].
20. Polupan, N. I., Nosko, B. S., & Kuzmichev, V. P. (Eds.). (1981). *Field guide of soils*. Kyiv: Urozhai. [in Russian].
21. Polupan, M. I., Solovei, V. B., Kysil, V. I., & Velychko, V. A. (2005). *Determinant of ecological and genetic status and soil fertility for Ukraine*. Kyiv: Koloobig. [in Ukrainian].

УДК 631.42:537.612.4(23)(477.41/.42)

Магнітна сприйнятливість ґрунту в околицях Придеснянської воднобалансової станції**О. В. Круглов^{1а*}, С. А. Попов^{2б}**¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна²ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.10.2024 Отримано після доопрацювання 04.11.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	ґрунтовий покрив є одним з основних джерел низькоамплітудних аномалій локального магнітного поля, що реєструються під час проведення високоточної детальної магнітної зйомки. Вплив ґрунту при цьому залежить від певних ландшафтних та літологічних особливостей та носить регіональний характер, і це зумовлює необхідність проведення циклу регіональних досліджень. Метою статті є висвітлення результатів дослідження особливостей просторового та профільного розподілу магнітної сприйнятливості ґрунту як одного з основних аномалієутворювальних чинників в умовах ускладненого рельєфу Лівобережного Полісся України. Для цього застосовано дослідження магнітної сприйнятливості (МС) у межах генетичних горизонтів профілів ґрунтів у різних ландшафтно-гідрологічних умовах. Методи визначення досліджуваних показників: питому магнітну сприйнятливість — за допомогою магнітометра MS 2B; об'ємну магнітну сприйнятливості — капометром КМ-7. Встановлено провідну роль властивостей ґрунотвірної породи у формуванні магнітних характеристик ґрунтового профіля. Максимальні значення магнітної сприйнятливості притаманні ґрунтам на вододільних плато та у верхніх частинах балок; зниження до 50 % відзначається на еродованих ґрунтах у середніх частинах балок. Максимальне зниження МС пов'язане з концентрацією вологи та високим рівнем підґрунтових вод — донна частина балок і локальні безстічні ділянки.
Ключові слова: ґрунт; ґрунотворна порода; магнітометрія; магнітна сприйнятливості; рельєф	

* E-mail: alex_kruglov@ukr.net

ORCID: ^a 0000-0003-2663-0935; ^b 0000-0002-3881-3723

Форма цитування: Круглов О. В., Попов С. А. Магнітна сприйнятливості ґрунту в околицях Придеснянської воднобалансової станції. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2024. Вип. 97. С. 18–24. doi: 10.31073/acss97-02

1. Вступ

Детальна магнітна зйомка території вже кілька десятиліть використовується як відносно дешевий маркер геологічної та екологічної структури території [1]. Такі дослідження та їх результати важливі як для екологів, так і для проведення геологорозвідувальних робіт та оцінювання деградованості ґрунтів через ерозію [2]. Ці роботи, завдяки експресності та низькій собівартості, широко застосовуються під час комплексних досліджень ґрунтового покриття з поєднанням геофізичних та агрохімічних методів [3].

Проведення та, головне, інтерпретація результатів такої комплексної зйомки території неможливе без урахування впливу всіх наявних аномалієутворювальних чинників. При заявленій точності вимірювання магнітного поля від 1,2 нанотесл (нТл) і нижче до складу таких чинників включаються особливості просторового розподілу магнітних характеристик ґрунтового покриття.

Вважається, що аномалії магнітних характеристик ґрунту мають розміри у кілька метрів з амплітудою значень у кілька нанотесл. Рекомендації їх ігнорувати, піднявши датчик магнітометра вище 2 м над денною поверхнею, не завжди прийнятні в аспекті збору даних нафтогазової геології [4].

У більшості ситуацій, незважаючи на відносно невисокі (порівняно з гірськими породами) значення магнітних характеристик ґрунтового покриття, їх просторові неоднорідності мають суттєвий вплив на значення локального магнітного поля і повинні враховуватись у результатах магнітної зйомки [5]. Такі характеристики, однак, мають певні закономірності їх просторового розподілу, що визначаються впливом окремих факторів ґрунтоутворення [6, 7]. Розуміння природи такого зв'язку дозволить точніше прогнозувати

та виділяти їх внесок. Крім того такі закономірності часто мають регіональний характер, тобто потребують окремих уточнень в конкретних кліматичних та ландшафтних ситуаціях [8].

У цій статті висвітлено частину результатів комплексного дослідження локальних аномалій магнітного поля, проведеного на ділянці зі складними рельєфними, літологічними та гідрологічними умовами, розташованій на території лівобережного Полісся України. Її метою є узагальнення особливостей просторового та профільного розподілу магнітної сприйнятливості ґрунту як одного з основних чинників утворення локацій аномальних магнітних характеристик земної поверхні.

2. Об'єкти та методи

Дослідження проводили на сильнорозчленованому плато між річками Студенка та Криски, розташованому на південь від села Покошичі у Понорницькій селищній громаді Новгород-Сіверського району Чернігівської області в околицях Придеснянської воднобалансової станції (ВБС). Ґрунтовий покрив плато представлений сірими та ясно-сірими лісовими ґрунтами, їх змитими відмінами та дерновими ґрунтами [9, 10]

Одним з основних методичних підходів у ґрунтознавстві є дослідження ґрунтових профілів, тобто вертикального розподілу властивостей ґрунту від денної поверхні до ґрунотвірної породи за генетичними горизонтами. В Україні найбільш поширеною є система маркування та класифікації таких горизонтів за О. Н. Соколовським [11], що і було використано у дослідженні. Опис профілів ґрунтів у 12-ти закладених розрізах виконано для визначення глибини залягання окремих генетичних горизонтів, у межах яких саме і було проведено вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунту. Типи та назви ґрунтів у статті не вказуються.

Було використано дані про два види магнітної сприйнятливості (МС): об'ємну та питому. Об'ємну МС ґрунту визначали в польових умовах капометром КМ-7. Визначення питомої МС проводили в лабораторних умовах за допомогою MS 2 (Bartington) за методикою, описаною Dearing J. A. [12].

Серед основних чинників ґрунтоутворення, що значною мірою визначають властивості ґрунту, в тому числі і магнітні, називають рельєф [13]. В умовах високої вертикальної та горизонтальної розчленованості території його вплив стає вирішальним. Тому в межах дослідної ділянки було закладено мережу ґрунтових розрізів, що розташовані в типових для даної місцевості ландшафтних ситуаціях. Схему розташування розрізів подано на рисунку 1.

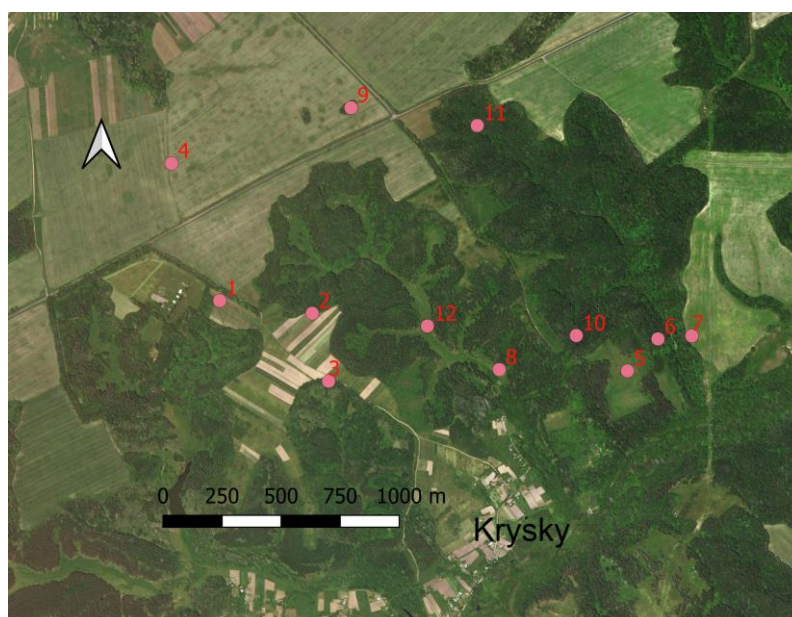


Рис. 1. Схема розташування досліджених ґрунтових профілів
(Створено авторами на базі фрагмента знімка Google)

3. Результати досліджень

Описані профілі охоплюють всі основні елементи ландшафту, представлені на території досліджень. Детальніше їх ландшафтне положення та господарське використання земель показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика місць закладення розрізів для дослідження ґрунтових профілів

Розріз (профіль)	Географічні координати	Опис ландшафтних умов	Тип землекористування
1	N 51.766167 E 32.963285	Схил корінного берега крутістю 3-4 %.	Оброблюване поле, рілля.
2	N 51.765727 E 32.968969	Схил корінного берега.	Межа (узлісся) мішаного лісу та обробленого поля.
3	N 51.763111 E 32.969968	Схил корінного берега. Відслонення молодого яру.	Мішаний ліс з рідким підліском.
4	N 51.772004 E 32.960395	Вододільне плато.	Необроблювана буферна ділянка поблизу об'єкта транспортної інфраструктури.
5	N 51.763439 E 32.968279	Верхня частина схилу балки.	Велика галявина в лісі. Сухі луки.
6	N 51.764709 E 32.990150	Нижня частина схилу балки, ускладнена зсувами.	Хвойний ліс з рідким підліском.
7	N 51.764824 E 32.992220	Неширокий вододіл (схил корінного берега) між двома балками.	Необроблювана ділянка поля (переліг).
8	N 51.763546 E 32.980418	Відслонення на середній частині схилу балки.	Чагарникова рослинність.
9	N 51.773487 E 32.971324	Локальна западина на вододільному плато.	Свіжа лісосіка.
10	N 51.764841 E 32.985144	Нижня частина схилу в середній частині балки.	Мішаний ліс з густим підліском.
11	N 51.772809 E 32.979085	Дно балки в її верхній частині.	Відсутні промоїни та інші ознаки постійних водних потоків.
12	N 51.765204 E 32.976020	Дно балки в її середній частині.	Сирі луки. Помітні ознаки заболювання.

У всіх генетичних горизонтах кожного з ґрунтових профілів було досліджено *in situ* об'ємну МС та відібрано проби ґрунту для визначення питомої МС в умовах лабораторії. Результати визначень подано в таблиці 2.

4. Обговорення результатів

Таким чином дослідження стосується всіх ландшафтних елементів катени: вододільне плато – схил корінного берега – верхня частина балки – схил балки – дно балки. Загальною рисою вертикального розподілу МС практично всіх досліджених профілів є існування максимуму в ілювіальному горизонті, що перевищує значення показника у верхньому горизонті. Питома МС верхнього горизонту ґрунтів приблизно однакова і лежить в межах $27,3\text{--}29,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, за винятком фацій з надлишковою вологістю (розрізи 9–12) що пов'язана з концентрацією атмосферних опадів. Значення МС лежать в межах, характерних для ґрунтів цього типу ґрунтоутворення [14].

МС ґрунтоутворної породи варіює в діапазоні $1,1\text{--}22,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. На нашу думку ці значення залежать як від водного режиму так і від гранулометричного складу. Характерна особливість дослідженої території (як і Полісся у цілому) полягає у переважанні нелесових материнських порід — давньоалювіальних, флювіогляціальних, моренних, крейдіано-мергельних. Майже усі ці породи легкого гранулометричного складу: давньоалювіальні переважно піщані, зв'язнопіщані та легкопіщані, флювіогляціальні — супіщані та іноді легкосуглинкові, моренні — від зв'язнопіщаних до легкосуглинкових з переважанням

останніх. Лесоподібні породи тут зустрічаються переважно у вигляді так званих «лесових островів» [9].

Таблиця 2

Магнітна сприйняливість (МС) ґрунту в генетичних горизонтах профілів

Профіль	Генетичний горизонт	Глибина, см	Об'ємна МС, 10^{-3} од. СІ	Питома МС, 10^{-8} м ³ /кг	Примітка
1	He	0-36	0,39	28,8	Помітні слабкі сліди оглеєння з глибини 45 – 50 см
	Eh	36-50	0,30	24,8	
	lph(gl)	50-63	0,45	33,3	
	lpe(gl)	63-75	0,48	—	
	Pi(gl)	75-105	0,29	29,9	
	P	105-120	0,20	17,1	
2	HE	0-38	0,25	23,2	—
	Hei	38-50	0,37	27,3	
	Pie	50-78	0,29	27,5	
	Pi	78-105	0,27	28,6	
	P	105-120	0,22	15,4	
3	H(p)e	0-27	0,30	28,8	Середньозмитий ґрунт
	Phe	27-41	0,30	31,2	
	P(i)	41-63	0,34	32,2	
	P	63-100	0,25	20,6	
4	He	0-26	0,29	24,7	Темно-сірий опідзолений ґрунт
	Hi	26-42	0,35	25,8	
	Pi(h)	42-61	0,27	22,8	
	Pi	61-84	0,37	31,6	
	P	84-100	0,24	22,6	
5	HE	0-23	0,27	31,1	Сліди оглеєння з глибини 30 см
	Eh(gl)	23-37	0,45	32,2	
	lhp(gl)	37-53	0,50	33,6	
	Pigl	53-75	0,51	36,0	
	P(i)	75-85	0,27	26,3	
	P	85-100	0,22	17,4	
6	HE	0-23	0,18	28,5	Сліди оглеєння з глибини 25 см
	E(h)(gl)	23-47	0,28	27,6	
	I(h)p(gl)	47-67	0,27	25,7	
	Pi(gl)	62-80	0,25	25,6	
	P	80-100	0,21	18,0	
7	HE	0-28	0,30	27,3	Сліди оглеєння з глибини 70 см
	E(h)	28-44	0,26	22,5	
	Pie(gl)	44-52	0,28	24,6	
	Pi(gl)	52-107	0,40	26,7	
	P	107-130	0,18	16,4	
8	HE	0-25	0,26	28,2	Піщаний гранулометричний склад
	Ph	25-30	0,15	—	
	P	30-100	0,06	9,4	
9	HE(t)	0-32	0,07	8,3	Помітні нерозкладені рослинні рештки
	Ieh(gl)	32-47	0,09	11,4	
	P(gl)	47-52	0,10	—	
	P	52-100	0,12	9,5	
10	HE	0-34	0,11	9,8	Піщаний гранулометричний склад
	E(h)	34-48	0,03	13,1	
	Pi	48-110	0,27	22,2	
	P	110-120	0,09	14,1	
11	HE	0-42	0,10	19,4	—
	Ei(gl)	42-56	0,06	3,3	
	Pi(gl)	56-132	0,09	7,3	
	P(i)(gl)	132-150	0,08	1,1	
12	AlHe	0-38	0,02	3,5	З глибини 40 см – ознаки оглеєння. З глибини 48 см похований ґрунт
	Ehi(gl)	38-48	0,02	2,5	
	H(gl)t	48-67	0,07	5,0	
	Peh(gl)	67-87	0,08	11,5	
	P(h)(gl)	87-99	0,11	—	
	Hegl	99-108	0,08	4,7	
	PEigl	108-130	0,08	8,0	
	Pgl	130-150	0,08	4,8	

Так найвище значення МС ґрунотворної породи спостерігається у профілі 4, що розташований на локації, яка має найвищу гіпсометричну позначку. Гранулометричний склад материнської породи тут помітно важчий, ніж на інших локаціях. Хоча в розрізі 9, що закладений в тих самих умовах, але в локальному замкнутому пониженні (з безстічним водним режимом та застоєм води), МС значно нижча та визначається режимом води. Чітка ж диференціація впливів некліматичних факторів педогенезу наразі є складною нетривіальною задачею [15]. У даному випадку спостерігається залежність між ландшафтним розташуванням фації та питомою МС ґрунотворної породи: вододіл (20,0–22,6 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$), схил корінного берега та верхня частина схилів балок (15,1–19,0 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$), дно балок (1,1–9,5 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$). Докладно діапазони значень питомої МС різних горизонтів ґрунтового профілю для різних ландшафтних елементів подано на рисунку 2.

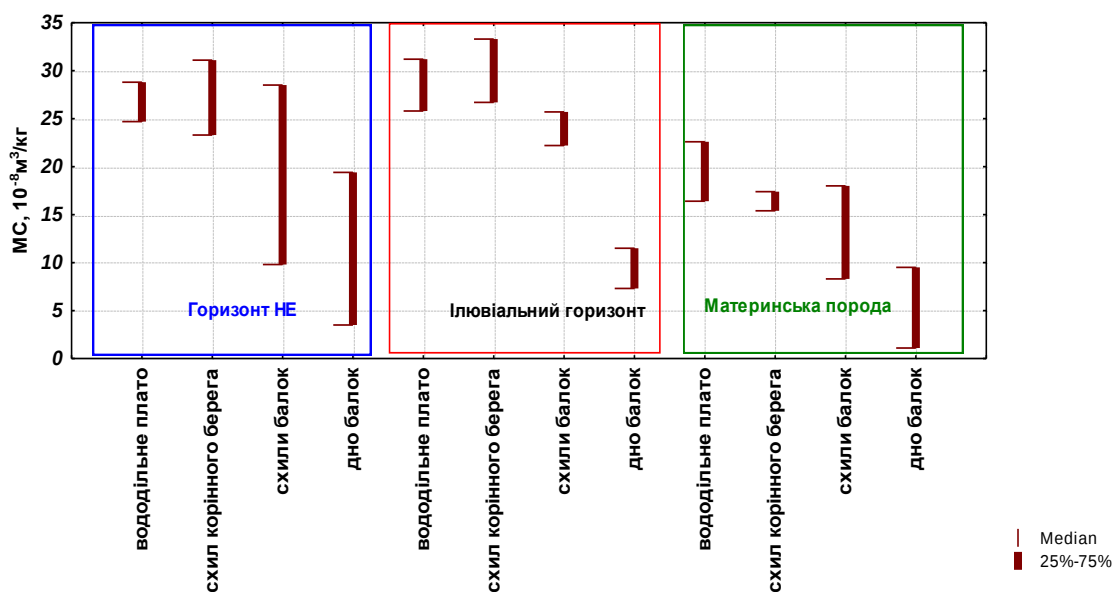


Рис 2. Діапазони значень питомої МС ґрунту у різних горизонтах профілю для різних ландшафтних елементів ділянки досліджень

Аналізуючи ландшафтне розташування опробуваних розрізів можна зробити висновок що вони розташовані на основних елементах ландшафту, що відрізняються водним режимом: вододільне плато — схил корінного берега — елементи балок, що його дрениують (схили та донна частина). Профільний розподіл значень МС подібний у всіх випадках, характеризуючись максимумом в ілювіальних горизонтах автоморфних ґрунтів, однак цей принцип дещо порушується за прояву змитості або гідроморфності. Верхні горизонти ґрунтів на схилах та в донних частинах балок характеризуються широким діапазоном значень МС, що пояснюється різним ступенем прояву ерозійних або гідроморфних процесів [3].

Ґрунт розрізу 8 має високе значення МС в горизонті HE та низьке у ґрунотворній породі, хоча прояви гідроморфних процесів тут виключаються. У цьому випадку основним фактором є піщаний гранулометричний склад материнської породи. Цей фактор, однак, у рамках даного дослідження не вивчався.

Ще одним діагностичним фактором для прогнозування МС ґрунту є видимі прояви оглеєння у профілі. Це було описано в семи профілях. У п'яти з них (крім 11 і 12) у видимій частині ґрунотворної породи оглеєння не спостерігалось, тобто його описано лише в ілювіальному горизонті. Можна зробити висновок, що оглеєння зумовлене виключно атмосферою вологою, а низька вологоємність піщаних та супіщаних материнських порід не сприяє поширенню цього явища на них.

МС таких ілювіальних горизонтів (крім профілів 11 і 12) відносно висока, найвища серед досліджених горизонтів. МС материнської породи займає проміжне значення.

Найнижчі ж значення МС ґрунту, як у гумусованих горизонтах, так і материнській породі, було виявлено в розрізах 9, 11 та 12. Ці фації є або локальним безстічним

ареалом або ж транзитними з високим заляганням підґрунтових вод. До схожих висновків свого часу ми прийшли досліджуючи МС ґрунтів катени у схожих ландшафтно-ґрунтових умовах, де було визначено тенденцію підвищення значень МС зі зниженням обводненості території [15]. Так у нашому випадку мінімальні значення МС ґрунту притаманні саме профілям, що знаходяться у більш вологих умовах (розрізи 9 і 12).

4. Висновки

Таким чином можна зробити висновок, що для дослідженої території визначальним фактором для значень МС ґрунту є магнітні властивості ґрунотвірної породи, які, своєю чергою, визначаються їх ландшафтним положенням. Максимальні значення МС характерні для вододільних плато та верхніх частин балок. Помітний спад, до 50 % відзначається на еродованих ділянках середніх частин балок. Максимальне зниження МС ґрунту (на 75–90 %) спостерігається для фацій, розвиток яких пов'язаний з концентрацією вологи та високим рівнем підґрунтових вод — донна частина балок, локальні безстічні ділянки.

Дослідження виконано в межах гранту NSEPEUR23002-1012 «Development and implementation of multitask magnetometer survey methodology» (EURIZON FELLOWSHIP PROGRAMME). Висловлюємо щирю подяку керівнику Придеснянської ВБС Олександру Васильовичу Надточому та всьому колективу станції за сприяння у проведенні досліджень.

Список використаних джерел

1. Меньшов О. Магнетизм верхньої частини розрізу земної кори: природна та техногенна складові. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. №1(60). С. 28-32. URL: <https://geology.bulletin.knu.ua/article/view/1841>
2. Jakšik O., Kodešová R., Kapička A., Klement A., Fér M., Nikodem A.. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*. 2016. № 11(2). С. 105-113. <https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR>
3. Круглов О., Меньшов О., Коляда В., Ачасова А., Андреева О. До питання комплексування геофізичних та агрохімічних методів досліджень схилів земель. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. № 3(94), С. 53-58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06>
4. Вижва С., Попов С., Бондар К., Хоменко Р., Івко А., Андрійчук Ю., Круглов Б., Круглов О., Поляченко Є. Удосконалена методика детальної магнітної зйомки для вирішення завдань нафтогазової геології. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. № 2(105). С. 29-36. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.04>
5. Сухорада А. В., Меньшов А. И. Суммарная и эффективная намагниченность почвенного покрова Украины и ее роль в магнитных съемках будущего. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Київ, 2005. С. 278-280.
6. Lecoanet H., Léveque F., Ambrosi J. P. Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil contamination sources (south France). *Environmental Pollution*. 2003. № 122(2). P. 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00299-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00299-3)
7. Круглов О. Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. Ґрунтознавство*. 2012. №4. С. 66-69.
8. Maxbauer D. P., Feinberg J. M., Fox D. L. Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific Reports*. 2017. № 7. 17575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>
9. *Атлас почв Української ССР*. Под ред. Крупского Н. К., Полупана Н. И. Киев: Урожай, 1979. 160 с.
10. *Многолетние характеристики гидрометеорологического режима малых водосборов Украины (материалы наблюдений Придеснянской ВБС, Богуславской ПЭГБ, Велико-Анадольской ВБС)* / под ред. Ю. В. Швейкина, Н. Д. Ещенко, И. И. Швейкиной. 1986. 612 с.
11. Соколовский А. Н. *Сельскохозяйственное почвоведение*. М.: Сельхозгиз, 1956. 335 с.
12. Dearing J. A. *Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System* (2nd ed.). Chi Publishing, 1999. 87 p.
13. Bouhlassa S., Bouhsane N.. Assessment of the impacts of land-use change and slope position on soil loss by magnetic susceptibility-based models. *International Journal of Sediment Research*. 2023. 38(3), P.455-468. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.11.006>
14. Jordanova N. *Soil Magnetism Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. Academic Press, Elsevier, 2017. 454 p.
15. Сухорада А. В., Бондар К. М., Круглов О. В., Матвіїшина Ж. М., Меньшов О. І. Магнітні властивості ґрунтів та їх положення в ландшафті. *Фізична географія та геоморфологія: міжвідомчий науковий збірник*. 2005. Вип. 49. С. 36-43.

UDC: 631.551.321

Magnetic susceptibility of the soil near the Prydesnian water balance station**O. V. Kruglov^{1*}, S. A. Popov²**¹National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine²Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

* Corresponding author: alex_kruglov@ukr.net

Received 29.10.2024, Revised 04.11.2024, Accepted 18.12.2019, Available online 27.12.2024

Abstract

Soil cover is one of the main sources of low-amplitude anomalies of the local magnetic field during high-precision detailed magnetic surveying. At the same time, the influence of the soil has certain landscape and lithological features and is of a regional nature, which requires a cycle of regional studies. The method of work is the study of the peculiarities of the spatial and profile distribution of the magnetic susceptibility of the soil as one of the main anomaly-forming factors in the conditions of the complicated topography of the Left Bank Polissia of Ukraine. For this, the study of magnetic susceptibility of soil sections in various landscape and hydrological conditions applied. Methods of determining the studied indicators: specific magnetic susceptibility - using a MS 2B magnetometer; volumetric magnetic susceptibility with a KM-7 capometer. The leading role of the properties of the geological rock in the formation of the magnetic properties of the soil profile has been established. The maximum values of magnetic susceptibility are characteristic of the watershed plateau and the upper parts of the streams. A decrease of up to 50 % noted on the eroded soils of the middle parts of the beams. The maximum reduction of MS is associated with the concentration of moisture and a high level of groundwater – the bottom part of the beams, local non-drainage areas.

Keywords: magnetometry; magnetic susceptibility; relief; soil; soil-forming rock

Citing: Kruglov, O. V., & Popov, S. A. (2024). Magnetic susceptibility of the soil near the Prydesnian water balance station. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 18-24. doi: 10.31073/acss97-02 [in Ukrainian]

References

1. Menshov, O. (2013). Magnetism of the earth's crust upper part: natural and technogenic components. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(60), 28-32. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.60.07> Retrieved from <https://geology.bulletin.knu.ua/article/view/1841> [In Ukrainian].
2. Jakšík, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., & Nikodem, A.. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105–113. <https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR>
3. Kruglov, O., Menshov, O., Kolada, V., Achasova, A., & Andreeva, O. (2023). Integrating of geophysical and agrochemical methods for slope lands studying. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(94), 53-58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06> [In Ukrainian].
4. Vyzhva, S., Popov, S., Bondar, K., Homenko, R., Ivko A., Andrichuk, Y., Kruhlov, B., Kruglov O., & Polyachenko, I. (2024). Improved methodology of detailed magnetometric survey to solve the problems of oil and gas geology. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(105), 29-36. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.04> [In Ukrainian].
5. Sukhorada, A., & Menshov, A. (2005). Total and effective magnetization of the soil cover of Ukraine and its role in magnetic surveys of the future. In *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*. (pp. 278-280). Kyiv, 2005. [In Russian]
6. Lecoanet, H., Léveque, F., & Ambrosi, J. P. (2003). Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil contamination sources (south France). *Environmental Pollution*, 122(2), 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00299-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00299-3)
7. Kruglov O. (2012). Peculiarities of the distribution of magnetic susceptibility of typical chernozem on slopes. *Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University. Ser. Soil Science*, 4, 66-69.
8. Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., & Fox, D. L. (2017). Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific Reports*, 7, 17575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>
9. Krupskiy N. K., & Polupan, M. I. (Eds.). (1979). *Soil Atlas of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Urozhai. [In Russian].
10. Shveykin, Yu. V., Eshchenko, N. D., & Shveykina, I. I. (Eds.). (1986). *Long-term characteristics of the hydrometeorological regime of small watersheds of Ukraine* (materials observed in the Prydesnian VBS, Bohuslav PEGB, Great Anadol VBS). [In Russian].
11. Sokolovsky, A. N. (1956). *Agricultural Soil Science*. Moscow: Selkhozgiz. [In Russian].
12. Dearing, J. A. (1999). *Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System* (2nd ed.). Chi Publishing.
13. Bouhlassa, S., & Bouhsane, N. (2023). Assessment of the impacts of land-use change and slope position on soil loss by magnetic susceptibility-based models. *International Journal of Sediment Research*, 38(3), 455-468. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.11.006>
14. Jordanova, N. (2016). *Soil Magnetism Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. Academic Press, Elsevier.
15. Sukhorada, A., Bondar, K., Kruhlov, O., Matviyishyna, Zh., & Menshov, O. (2005). Magnetic properties of soils and their position in the landscape. *Fizychna Heohrafiya ta Heomorfologiya: Mizhvidomchy Naukovyi-Zbirnyk*, 49, 36-43. [in Ukrainian].

УДК 631.459:551.585.55(251.1)(477.7)

Кліматичний фактор вітрової ерозії ґрунту в Степу України: просторовий аналіз

С. Г. Чорний

Чорноморський національний університет ім. П. Могили, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 15.11.2024 Отримано після доопрацювання 16.12.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	У статті представлено результати дослідження просторового розподілу кліматичного параметра вітрової ерозії ґрунту по всій території Степу України. Вітрова ерозія в степовій зоні України, реалізація якої залежить від низки природних та антропогенних факторів, значною мірою визначається кліматичними умовами, такими як швидкість та постійність вітру, а також температура повітря, кількість опадів і величина випаровування, що в сукупності формують водний баланс ґрунту. Вологі поверхні ґрунту достатньо стійкі, щоб протистояти сильному вітру, проте навіть невеликий сухий поверхневий шар може стати причиною початку вітрової ерозії. Для просторового аналізу небезпеки вітрової ерозії, застосовували кліматичний фактор (C) із математичної моделі Wind Erosion Equation (WEQ), який використовується для оцінки середніх багаторічних втрат ґрунту вітром. Для цього використовували дані спостережень за швидкістю вітру, температурою повітря та опадами, зібрані на метеорологічних станціях у зоні Степу України, а також узагальнені дані щодо середньорічної швидкості вітру, місячних опадів і температур. Оцінку кліматичного параметра вітрової ерозії проведено на основі даних 33 метеорологічних станцій в Україні, а також на прилеглих територіях Молдови та РФ. Розрахунки та картування кліматичного фактора за допомогою моделі WEQ показали, що його значення залежать від просторового розподілу його складових — середньої швидкості вітру та індексу «ефективних опадів» Торнтвейта. У північному Степу України, де значення індексу «ефективних опадів» максимальне, а швидкість вітру стабільна, в межах 3–5 м/с, кліматичний фактор вітрової ерозії є мінімальним (менше 10). У приморських регіонах Одеської, Миколаївської та Херсонської областей та степовому Криму, де індекс «ефективних опадів» максимальний (30–45), а середня багаторічна швидкість вітру сягає 6 м/с і більше, показник C коливається в межах 25–35. Найбільш небезпечними щодо вітрової ерозії є райони з дерновими піщаними та глинисто-піщаними ґрунтами та піщаними субстратами у пониззі Дніпра (Олешківські піски), де стійкість ґрунтів до дефляції найнижча на фоні високих значень кліматичного фактора C. Ці території є найбільш вразливими до вітрової ерозії у всьому українському Степу.

* E-mail: s.g.chornyy@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9764-677X

Форма цитування: Чорний С. Г. Кліматичний фактор вітрової ерозії ґрунту в Степу України: просторовий аналіз. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 97. С. 25–30. doi: 10.31073/acss97-03

1. Вступ

Вітрова ерозія відбувається на багатьох посушливих та напівпосушливих територіях по всьому Світу, і на її інтенсивність впливають ґрунтові, рослинні та кліматичні фактори, а також діяльність людини. Вітрова ерозія (або дефляція) — це процес відриву та переміщення часточок ґрунту під дією вітру. Вона починається в той момент, коли тиск вітру на ґрунтові окремість переважає силу тяжіння. Вітер переміщує більш-менш великі ґрунтові агрегати вздовж поверхні ґрунту серією стрибків (процес, який має назву «сальтація»), рухає ґрунтові частки по поверхні (так званий, «кріп»), а також виносить у високі шари атмосфери найбільш дрібні пилові окремість, які переміщуються повітряними потоками на сотні кілометрів. Часточки, які видуються з поверхні містять важливі елементи живлення, органічну речовину, що дозволяє відносити вітрову ерозію до провідних процесів, які ведуть до деградації родючості ґрунту.

Найбільш небезпечним є екстремальний прояв вітрової ерозії — пилові бурі, коли негодою охоплюються значні площі у сотні квадратних кілометрів. В Україні, за сучасними оцінками, площа земель з потенційною загрозою вітрової ерозії оцінюється приблизно у 20 млн га, у тому числі ріллі — 16–18 млн га [1].

Небезпека вітрової ерозії є функцією від стану поверхні ґрунту (наявність різного розміру, міцності та розташування борозн та гребнів відносно панівних напрямків вітрів), рослинного фактора (наявність достатньої кількості мульчі, ґрунтозахисної рослинності,

лінійних лісових насаджень, розташованих приблизно перпендикулярно панівним вітрам тощо), властивостей ґрунту (грудкуватість, вологість, наявність та міцність ґрунтової кірки). Але всі ці фактори вітрової ерозії можуть бути реалізовані лише за наявності сильного вітру, який постійно дме в одному напрямку.

Вітер є рушійною силою вітрової ерозії, якщо він перевищує задану порогову швидкість або швидкість тертя. Інші кліматичні фактори, які впливають на вітрову ерозію, це — температура, опади та величина випаровування. Вони визначають водний баланс ґрунту. Вологі поверхні досить стійкі, щоб протистояти силам вітру, а для початку вітрової ерозії достатньо наявності малопотужного сухого поверхневого шару ґрунту [2].

Кліматичний фактор вітрової ерозії був винайдений видатним американським вченим Чепілем зі співавторами [3] та застосований у математичній моделі Wind Erosion Equation (WEQ) для оцінки середніх багаторічних втрат ґрунту вітром. Він є однією з п'яти незалежних змінних цього рівняння, яке в канонічному та модифікованому варіантах широко використовується з початку 60-х років XX століття у США, Канаді, у європейських країнах, а також у Китаї та Монголії для розрахунку середніх багаторічних втрат ґрунту та планування ґрунтозахисних заходів [4, 5, 6, 7].

Згідно з WEQ втрати ґрунту (E , т/га за рік) є функцією від п'ятих параметрів [5, 8, 9]:

$$E = f(I, K, C, L, V), \quad (1)$$

де I — показник податливості ґрунту до дефляції, т/га за рік; K — показник шорсткості поверхні ґрунту; C — кліматичний параметр вітрової ерозії; L — величина незахищеної відстані, м; V — показник ґрунтозахисної ефективності рослинного покриву.

Метою цієї статті є висвітлення результатів дослідження кліматичного параметра вітрової ерозії ґрунту та його територіального розподілу для найбільш вітроерозійно-безпечної частини України — Степу.

2. Матеріали та методи

Кліматичним параметром (C) враховується середня багаторічна швидкість вітру та вологість ґрунту. Його величина пропорційна кубу середньорічної швидкості вітру (v) та обернено пропорційна квадрату індексу «ефективних опадів» американського кліматолога Ч. Торнсвайта (PE). Цей параметр розраховується за формулою [5, 9]:

$$C = 386 \cdot v^3 / (PE)^2, \quad (2)$$

де 386 — константа, яка використовується для приведення місцевих значень до базового показника 100, що є значенням кліматичного фактора C за даними метеорологічної станції Гарден-сіті в штаті Канзас, США [5, 8].

Індекс Торнтвейта, розроблений для оцінки «ефективності опадів» і який опосередковано показує на вологість ґрунту, розраховується як [5, 8]:

$$PE = 3,16 \cdot \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8 \cdot T_i + 22)} \right]^{\frac{10}{9}}, \quad (3)$$

де P_i — середні багаторічні опади кожного місяця року, мм; T_i — середні багаторічні температури кожного місяця року в градусах за Цельсієм.

Очевидно, що для розрахунку кліматичного параметра (C) необхідні стандартні дані спостережень за швидкістю вітру, температурами та опадами по метеорологічних станціях Степу України, або за вже розрахованими узагальненнями — середніми багаторічними величинами швидкості вітру та середніми багаторічними місячними значеннями опадів та температур. Для оцінки кліматичного параметра вітрової ерозії нами були використані саме такі узагальнення за даними з 33 метеорологічних станцій Степу України, а також прилеглих територій Молдови та РФ, які були опубліковані на сайтах Weatherbase (<https://www.weatherbase.com>), Meteoblue (<https://www.meteoblue.com>) та у «Методичних вказівках» [10].

3. Результати та обговорення

Отже було зроблено розрахунки показника C для низки метеорологічних станцій за формулою (2) та побудовано карту просторового розподілу кліматичного фактора вітрової ерозії по території Степу України (Рис. 1).

Що стосується середніх річних значень швидкості вітру, то для більшості метеостанцій регіону вони коливаються в межах 3,0–4,5 м/с. Винятком є деякі приморські метеорологічні станції, де швидкість вітру більше ніж 5 м/с. Це такі метеорологічні станції — Генічеськ — 5,2, Маріуполь — 6,1, Очаків — 5,1, Одеса — 5,4, Євпаторія 5,4 м/с. Окремим випадком є відносно високі значення середньої річної швидкості вітру за даними метеорологічної станції Луганськ (5,7 м/с).

Щодо індексу «ефективних опадів», то найбільші значення (від 60 до 85) спостерігаються по метеорологічних станціях північного Степу (Знаменка — 61, Дніпро — 61, Бобринець — 62, Павлоград — 62, Ізюм — 80, Куп'янськ — 85, Волноваха — 78, Донецьк — 70, Сватово — 80 та ін.). Водночас найменші значення притаманні найбільш посушливим південним приморським регіонам. Так, по метеорологічній станції Одеса індекс «ефективних опадів» дорівнює лише 40, Миколаїв — 44, Очаків — 43, Херсон — 37, Асканія-Нова — 39, Генічеськ — 37, Євпаторія — 42, Чорноморське — 29 (це найменше значення), Феодосія — 34 тощо.

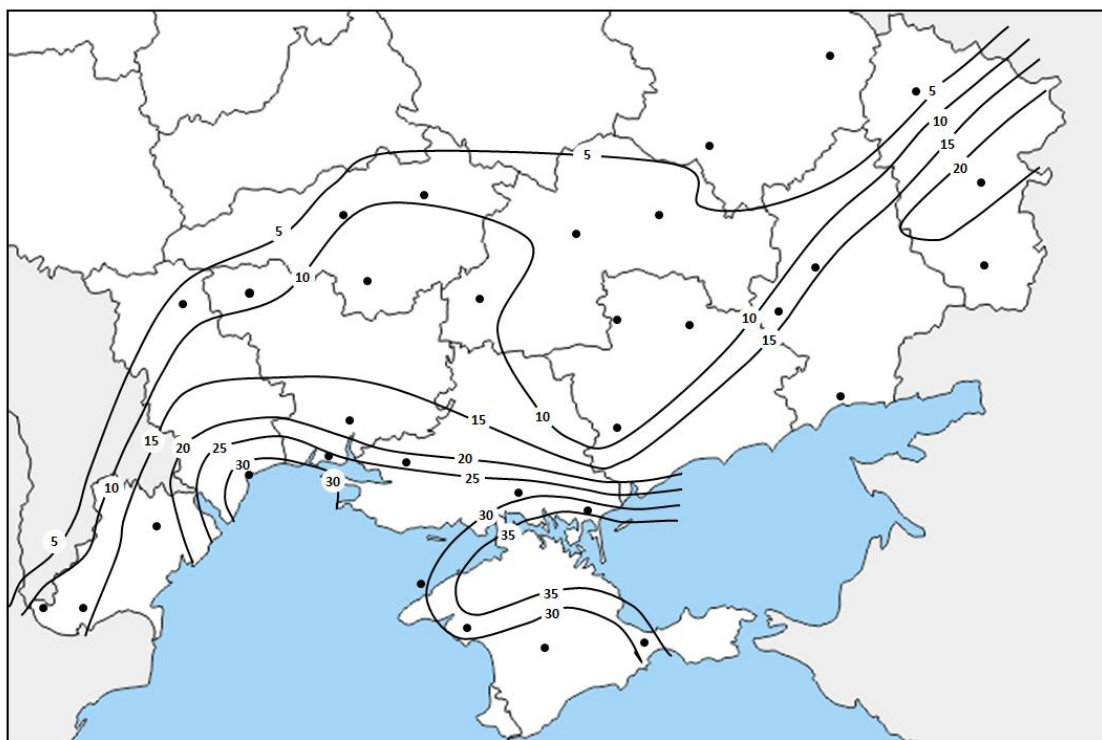


Рис. 1. Просторовий розподіл кліматичного фактора вітрової ерозії по території Степу України

Слід зазначити, що для регіону Степу України саме індекс «ефективних опадів» (PE) значною мірою визначає величину кліматичного фактора вітрової ерозії С. На рисунку 2 зображений графік зв'язку між PE та величиною кліматичного фактора вітрової ерозії С. Форма графіку показує, що існує досить тісна залежність між цими показниками ($r^2 = 0,61$). Характер залежності свідчить, що суттєвий вплив на величину кліматичного фактора вітрової ерозії С існує при великих значеннях індексу «ефективних опадів» (більше ніж 50), а при менших значеннях цього показника (30–50) величина С змінюється мало. Тобто в північних районах регіону, де спостерігаються значні величини індексу «ефективних опадів», його внесок у підсумкове значення кліматичного фактора вітрової ерозії є суттєвим, а в південних посушливих районах Степу, відносно незначним. У цій частині регіону, що вивчається, зростає внесок середньої річної швидкості вітру в підсумковий результат.

Але загальний просторовий розподіл показника С все одно залежить від просторового розподілу всіх його складників — середньої швидкості вітру та індексу «ефективних опадів». У північному Степу України, де значення індексу «ефективних опадів» максимальне, а швидкість вітру стабільна, в межах 3–5 м/с, значення кліматичного фактора вітрової ерозії мінімальне — менше ніж 10 (Рис. 1). У приморських регіонах — Одеській, Миколаївській та Херсонській областях та в степовому Криму, де

індекс «ефективних опадів» мінімальний (30–45), а середня багаторічна швидкість вітру досягає 6 і більше метрів за секунду, показник C коливається в межах 25–35 (Рис. 1).

Якщо порівнювати розраховані результати зі значеннями параметра C , розрахованими для різних частин Світу, то на Великих рівнинах США, а також у штатах Аризона, Невада, Юта та Каліфорнія величина кліматичного фактора вітрової ерозії коливається в широких межах від 0 до 150 [5]. У Словаччині, для території, яка розташована на Дунайській низовині, показник C дорівнює 10 [6]. У східній частині Австрії кліматичний фактор вітрової ерозії коливається в межах 5–7 [4]. У Монголії максимальне значення кліматичного фактора C коливається в межах 20–39 у південних напівпустельних та пустельних регіонах, а у північних лісистих регіонах цей показник дорівнює близько одиниці [7].

Повний аналіз просторового розподілу кліматичного показника вітрової ерозії неможливо зробити без урахування іншого складника вітрової ерозії з математичного виразу (2), а саме, показника податливості ґрунту до дефляції (I). Цей параметр, як і кліматичний параметр C , є суто природним фактором вітрової ерозії, який дуже незначно залежить від антропогенної діяльності.

Слід зазначити, що в південній частині Степу є кілька регіонів, де значення показника вітроерозійної стійкості ґрунту мінімальні, тобто величини податливості ґрунту до дефляції будуть максимальними. Це райони з дерново-піщаними ґрунтами, глинисто-

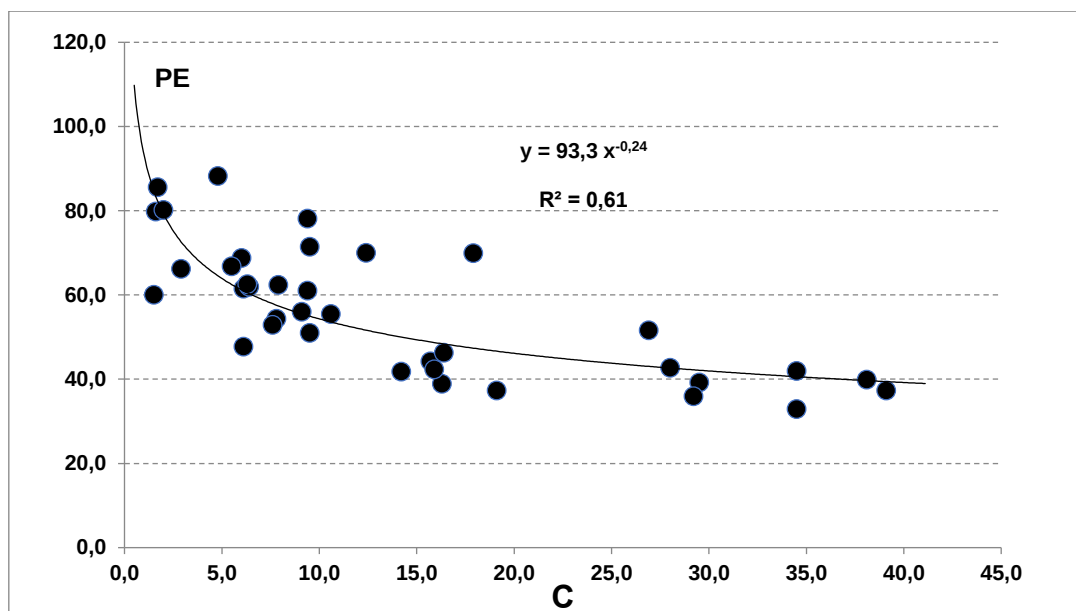


Рис. 2. Залежність між індексом «ефективних опадів» (PE) та величиною кліматичного фактора вітрової ерозії C

піщаними ґрунтами та слабо задернованими, слабогумусованими та негумусованими пісками в пониззі Дніпра (Олешківські піски). Результати спеціальних досліджень цих ґрунтів і ґрунтоподібних піщаних субстратів показали [11], що індекс податливості ґрунту до дефляції (I) тут змінюється в діапазоні 150–700 т/га. Це контрастує з важко- і середньосуглинковими чорноземами та темно-каштановими ґрунтами, які розташовані навколо цього ареалу піщаних ґрунтів, і для яких значення показника податливості ґрунту до дефляції не перевищує 50 т/га.

Значення кліматичного фактора C для цієї території з дефляційнонебезпечним станом ґрунтів відносно велике і становить 25–30, тобто ця територія, скоріш за все, найбільше потерпає від вітрової ерозії у всьому українському Степу.

Невеликі ареали піщаних ґрунтів з високим значенням показника податливості ґрунту до дефляції (I) є ще в долинах річок Південний Буг та Сіверський Донець, але, як правило, ці землі не є землями сільськогосподарського призначення, і зайняті лісами, а величини кліматичного показника для цих територій відносно невеликі.

4. Висновки

Якщо враховувати природні характеристики податливості ґрунту до дефляції, то винятково велика вітроерозійна небезпека існує у лівобережному пониззі Дніпра (в районі Олешківських пісків), де, при великих значеннях показника C (20–30), протидефляційна стійкість ґрунту мінімальна ($I = 150\text{--}700 \text{ т/га}$).

1. *Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні* : монографія / за ред. С. А. Балюка та Л. Л. Товажнянського. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. 460 с. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/16452/1/Naukovi_ta_prykladni_osnovy_zakhystu_gruntiv_vid_erozii_v_Ukraini.pdf

2. Skidmore E. L. Wind-erosion climatic erosivity. *Climate Change*. 1986. 9. P. 195–208. <https://doi.org/10.1007/BF00140536>

3. Chepil W. S., Siddoway F. H., & Armbrust, D. V. Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *Jour. Soil and Water Conserv.* 1962. №17(4). P.162–165. https://infosys.ars.usda.gov/WindErosion/publications/Andrew_pdf/752.pdf

4. Klik A. Wind erosion assessment in Austria using wind erosion equation and GIS. *Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis* edited by R. Francaviglia. Rome: Proceedings from an OECD Expert Meeting. 2004. P. 145–154. <https://www.researchgate.net/publication/228798188> Wind erosion assessment in Austria using wind erosion equation and GIS

5. Huffman R. L, Fangmeier D. D., Elliot W. J., Workman S. R. Chapter 20. Soil erosion by wind. In: *Soil and Water Conservation Engineering*. Seventh Edition. St. Joseph, Michigan: ASABE. 2013. P. 483–499.

6. Stredansky J., Lasckova L., Stredanska A., Varga V. Determination of soil endangerment by wind erosion with consideration of legislative changes in acceptable soil loss. *Ecologia (Bratislava)*. 2015. Vol. 34. No.1, P.1–6. <https://doi.org/10.1515/eko-2015-0001>

7. Mandakh N., Tsogtbaatar J., Dash D., Khudulmur S. Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *J. Geogr. Sci.* 2016. 26(4). P. 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>

8. *National Agronomy Manual*. 4th Ed., U.S. Department of Agriculture. February 2011. 250 p.
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/National-Agronomy-Manual.pdf>

9. Чорний С. Г. Кількісна оцінка вітрової ерозії ґрунту: можливості WEQ. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. 87. С. 23–28. <https://doi.org/10.31073/acss87-04>

10. Галік О. І., Басюк Т. О. *Методичні вказівки «Довідкові дані з клімату України»*. Рівне: НУВГП, 2014. 158 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/591/1/01-03-16.pdf>

11. Chornyy, S., & Pismenniy, O. Verification of the wind erosion equation on the Ukrainian Steppe. In: Dent, D., Boincean, B. (Eds.). *Regenerative Agriculture*. Springer, Cham, 2021. P. 319-327. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72224-1_29

12. National Soil Survey Handbook; Compiled 9/19/2022/ 618.79 Wind Erodibility Group and Index.
<https://directives.nrcs.usda.gov/sites/default/files2/1712932090/35155.pdf>

UDC 631.4

Climatic factor of soil wind erosion in the Steppe of Ukraine: spatial analysis**S. G. Chornyy****P. Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine**
s.g.chornyy@gmail.com

Received 15.11.2024, Revised 16.12.2024, Accepted 18.12.2024, Available online 27.12.2024

Abstract

Wind erosion in the Steppe of Ukraine, which depends on a number of natural and anthropogenic factors, is largely determined by specific climatic conditions. These conditions, in addition to wind strength and constancy, include air temperature, precipitation, and evaporation. These parameters collectively determine the water balance of the soil. Wet surfaces are stable enough to resist strong winds, while a dry soil layer with low moisture is enough to initiate wind erosion. To achieve the goal of the study – spatial analysis of wind erosion hazard – the climate factor (C) from the Wind Erosion Equation (WEQ) mathematical model used to estimate the average long-term soil loss by wind. For this purpose, we used standard data on wind speed, temperature, and precipitation from meteorological stations in the Ukrainian Steppe, as well as published generalizations of long-term average wind speed, monthly precipitation, and temperature. To estimate the climatic parameter for wind erosion, we used meteorological observation data from 33 stations in the Steppe of Ukraine, as well as from adjacent territories in Moldova and the Russian Federation. The calculations and mapping of the climate factor from the WEQ model showed that its values depend on the spatial distribution of all its components – the average wind speed and the Thornthwait "effective precipitation" index. In the northern Steppe of Ukraine, where the value of the effective precipitation index is highest and wind speed remains stable between 3 to 5 m/s, the climatic factor for wind erosion is minimal – less than 10. In the coastal regions of Odesa, Mykolaiv, and Kherson oblasts, as well as in the steppe Crimea, where the effective precipitation index is minimal (30 – 45) and the average long-term wind speed exceeds 6 m/s, the C index ranges from 25 to 35. Considering the anti-deflation resistance of the soil, the areas with sod-sandy soils, clay-sandy soils, and soil-like sandy substrates in the lower reaches of the Dnipro River (Oleshky Sands) are the most wind erosion-prone areas in the entire Ukrainian Steppe. These areas have the lowest resistance to strong winds and, despite their relatively high value of the climatic factor of wind erosion (C), are the most vulnerable to wind erosion.

Keywords: wind erosion; climatic parameter; effective precipitation index; Steppe of Ukraine**Citing:** Chornyy S. G. (2024). Climatic factor of soil wind erosion in the Steppe of Ukraine: spatial analysis. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 25-30. doi: 10.31073/acss97-03 [in Ukrainian]**References**

1. Balyuk, S. A. & Tovazhnianskyi, L. L. (Eds.). (2010). *Scientific and applied foundations of soil erosion protection in Ukraine: monograph*. Kharkiv: NTU "KhPI". https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/16452/1/Naukovi_ta_prykladni_osnovy_zakhystu_gruntiv_vid_erozii_v_Ukraini.pdf [In Ukrainian].
2. Skidmore, E. L. (1986). Wind erosion climatic erosivity. *Climatic Change*, 9, 195–208 <https://doi.org/10.1007/BF00140536>
3. Chepil, W. S., Siddoway, F. H., & Armbrust, D. V. (1962). Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *Jour. Soil and Water Conserv.*, 17(4), 162–165. https://infosys.ars.usda.gov/WindErosion/publications/Andrew_pdf/752.pdf
4. Klik, A. (2004). Wind erosion assessment in Austria using wind erosion equation and GIS. In: *Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis edited by R. Francaviglia*. Rome: Proceedings from an OECD Expert Meeting. 145–154. https://www.researchgate.net/publication/228798188_Wind_erosion_assessment_in_Austria_using_wind_erosion_equation_and_GIS
5. Huffman, R. L., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., & Workman, S. R. (2013). Chapter 20. Soil erosion by wind. Pages 459-481 in *Soil and Water Conservation Engineering*, 7th Edition. Copyright 2013 American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Mich. <https://doi.org/10.13031/swce.2013.20>
6. Stredansky, J., Lasckova, L., Stredanska, A., & Varga, V. (2015). Determination of soil endangerment by wind erosion with consideration of legislative changes in acceptable soil loss. *Ecologia (Bratislava)*, 34(1), 1–6. <https://doi.org/10.1515/eko-2015-0001>
7. Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., & Khudulmur, S. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *J. Geogr. Sci.*, 26(4), 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>
8. U.S. Department of Agriculture. (2011) *National Agronomy Manual*. 4th Ed., February <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/National-Agronomy-Manual.pdf>
9. Chornyy, S. G. (2018). Quantifying soil wind erosion: WEQ capabilities. *Agrochemistry and Soil Science*, 87, 23–28. <https://doi.org/10.31073/acss87-04> [In Ukrainian].
10. Galik, O. I., & Basyuk, T. O. (2014). *Methodological guidelines "Reference data on the climate of Ukraine"*. Rivne: NUVHP. <https://ep3.nuwm.edu.ua/591/1/01-03-16.pdf> [In Ukrainian].
11. Chornyy, S., Pismenniy, O. (2021). Verification of the Wind Erosion Equation on the Ukrainian Steppe. In: Dent, D., Boincean, B. (Eds.) *Regenerative Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72224-1_29
12. National Soil Survey Handbook; Compiled 9/19/2022/ 618.79 Wind Erodibility Group and Index. <https://directives.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2/1712932090/35155.pdf>

ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТУ RESTORATION OF SOIL QUALITY

УДК 631.433.53:631.895:631.42

Емісія CO₂ з ґрунту за застосування органічних та органо-мінеральних ґрунтополіпшувачів

Є. В. Скрильник^{а*}, А. М. Кутова^б, О. П. Волошенюк^с, С. І. Криlach^д, М. А. Попірний^е

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 31.10.2024 Отримано після доопрацювання 13.11.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	Описано результати польових досліджень щодо впливу внесення органічного та органо-мінерального ґрунтополіпшувачів на динаміку емісії CO ₂ за вегетаційний період кукурудзи, вирощуваної на зерно, та вміст органічного вуглецю у ґрунті. Довгостроковий (з 1989 р.) дрібноділянковий дослід розміщено на чорноземі опідзоленому малогумусному важкосуглинковому на лесоподібному суглинку (<i>Luvic Chernic Phaeozem</i>) у дослідному господарстві ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» у Харківській області в умовах Лівобережного Лісостепу. Варіанти досліді включують склад, спосіб і дози внесення органічного та органо-мінерального ґрунтополіпшувачів, розроблених на основі леонардиту з додаванням бентоніту, меліації і сірчано-кислого заліза, (та нітроаммофоски в органо-мінеральному); дози внесення — 30 і 60 кг/га за вмістом азоту. Впродовж вегетаційних періодів 2020 і 2021 рр. досліджували сезонну динаміку параметрів ґрунтових показників. Вимірювання емісії CO ₂ проводили 4 рази за допомогою портативного газоаналізатора testo 535 з ізоляцією від атмосферного повітря. У межах шару 0-20 см визначали: вміст органічного вуглецю оксидиметричним методом, вміст вологи — гравіметричним методом; температуру ґрунту вимірювали термометром Савінова. Погодні дані взято з метеостанції. За результатами досліджень встановлено чітку сезонну динаміку здатності ґрунту продукувати CO ₂ (від 0,1 до 2,0 кг/га за годину) з максимумом у весняний період та з поступовим послабленням до осені, що пояснюється впливом погодних умов і мікроклімату ґрунту. Запропоновано прогностичну модель залежності інтенсивності викидів CO ₂ від параметрів температури та вологості ґрунту. Порівняно із сезонними змінами емісії CO ₂ , відмінності, викликані застосуванням двох типів ґрунтополіпшувачів, значно менші і проявляються переважно протягом першої половини вегетаційного періоду кукурудзи. Найбільшою є емісія CO ₂ за локального внесення органічного ґрунтополіпшувача у дозі 30 кг/га. Щодо накопичення органічного вуглецю в ґрунті найбільш ефективним визнано локальний спосіб внесення гранульованого органо-мінерального ґрунтополіпшувача із відношенням C : N = 5, за якого емісія CO ₂ уповільнюється, порівняно з органічним ґрунтополіпшувачем, а загальний вміст органічного вуглецю у ґрунті є найвищим порівняно з іншими варіантами досліді. Доведено, що на секвестрацію вуглецю ґрунтом, крім гідротермічних умов навколишнього середовища, впливає склад та спосіб внесення ґрунтополіпшувача, що може слугувати рекомендацією для практичного використання меліоративних та удобрювальних засобів у землеробстві.

* E-mail: orgminlab@gmail.com

ORCID: ^а0000-0002-8642-8547, ^б0000-0003-2680-566X, ^с0000-0001-9521-4607, ^д0000-0002-3347-6561,
^е0009-0002-0651-9324

Форма цитування: Скрильник Є. В., Кутова А. М., Волошенюк О. П., Криlach С. І., Попірний М. А. Емісія CO₂ з ґрунту за застосування органічних та органо-мінеральних ґрунтополіпшувачів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2024. Вип. 97. С. 31–42. doi: 10.31073/acss97-04

1. Вступ

Зберігання вуглецю в ґрунті є одним із рішень щодо пом'якшення негативних впливів зміни клімату. Ґрунт може утримувати вуглець упродовж тривалого часу з повільною мінералізацією органічних речовин та виділенням у формі CO₂. У глобальному масштабі сільськогосподарська діяльність провокує понад 24 % загальних викидів парникових газів в атмосферу без урахування непрямих викидів, пов'язаних із виробництвом добрив [1]. Для країн Європейського Союзу (ЄС) сільськогосподарські викиди вважаються другим за величиною, після згоряння викопного палива, внеском парникових газів в атмосферу,

відповідно — 10 % від загального об'єму викидів який становить 4 300 млн тонн еквіваленту CO₂ [2]. Глобальне дихання ґрунту та процеси розкладання щорічно додають до атмосфери Землі загалом 220 млрд тонн вуглекислого газу [3]. Частка сільського господарства у глобальних викидах парникових газів у формі CO₂, N₂O та CH₄ становить близько 25–30 %. У той же час органічний вуглець ґрунту (ОВГ) має потенціал стати «депо» для поглинання атмосферного CO₂ [4]. Рослини поглинають вуглекислий газ із атмосфери у кількості, що відповідає приблизно одній третині того, що викидається в атмосферу в результаті діяльності людини; з цієї третини приблизно 10–15 % надходить у ґрунт. Водночас збільшення вмісту органічного вуглецю у ґрунті призвело б до підвищення його родючості.

Протягом XX століття спостерігалось постійне зниження вмісту ОВГ, що було зумовлено історичними змінами у землекористуванні й методах господарювання та зміною клімату. Розширення площі орних земель було, до середини XX століття, основним фактором втрати ОВГ. Тенденція до збільшення викидів CO₂ із ґрунту є важливим фактором, який провокує втрати ОВГ, що також спричинені ерозією ґрунтів та підвищенням температури повітря. Потоки вуглекислого газу з ґрунту змінюються залежно від багатьох екологічних та антропогенних факторів. Переважання процесів, спрямованих на поглинання чи виділення вуглецю, у ґрунтах сільськогосподарських земель є результатом балансу між надходженням та мінералізацією біогенного матеріалу [5]. Перше залежить від кількості та природи органічних речовин, що надходять [6], а друге — від педокліматичного контексту [4]. Ці умови корегуються такими сільськогосподарськими практиками, як удобрення та модернізація сільського господарства новітніми моделями виробництва продуктів харчування та кормів, а також історично-соціальними траєкторіями агропродовольчих систем країни, які й визначають поточну динаміку вмісту вуглецю у ґрунтах [7].

Компенсація втраченого ОВГ шляхом секвестрації пов'язана, перш за все, зі змінами землекористування та посиленням керованості агроєкосистем. Було встановлено, що за перетворення природних ландшафтів із цілининими ґрунтами на агропромислові об'єкти спостерігається зниження вмісту ОВГ на 15–40 % у шарі до одного метра протягом 2–8 років [8, 9]. Інколи, за тривалого сільськогосподарського використання, зниження емісії CO₂ з ґрунту залежало від внесення вуглецевмісних добрив [10, 11]. Наразі багато уваги приділяється вивченню механізму дії тривалого внесення добрив на динаміку емісії CO₂ з ґрунту. В науковій праці С. Хіао [12], було доведено можливість скоротити викиди CO₂ на 20 % за рахунок збільшення поглинання вуглецю орними ґрунтами. Органічні добрива є важливим засобом для підтримки динаміки дихання ґрунту, необхідним фактором формування і підтримування стабільного гумусового стану, а також регулятором мікробіологічних процесів. Однак секвестрація вуглецю також залежить від змін хімічних характеристик ґрунту, що відбуваються за різних сільськогосподарських практик [13]. Встановлено, що за збільшення доз органічних добрив або ґрунтополіпшувачів збільшується й емісія CO₂ з ґрунту [14, 15].

Отже, аналізуючи опубліковані результати численних досліджень, можемо констатувати, що потребує подальшого вивчення ефективність заходів, спрямованих на активізацію процесів закріплення, секвестрації у ґрунті вуглецю, який утворюється після розкладання органічних речовин.

Метою написання статті є оприлюднення результатів дослідження сезонної динаміки інтенсивності викидів вуглекислого газу з орного чорнозему опідзоленого протягом вегетаційного періоду кукурудзи, вирощуваної на зерно, за внесення різних доз органічного та органо-мінерального ґрунтополіпшувачів — комбінованих засобів для посилення закріплення органічного вуглецю у ґрунті.

Результатом дослідження є встановлення закономірностей секвестрації CO₂ чорноземом опідзоленим шляхом визначення зміни емісії CO₂ з ґрунту залежно від застосування різних доз та способів внесення спеціально створених органічного та органо-мінерального ґрунтополіпшувачів. Запропоновано прогностичну модель залежності інтенсивності викидів CO₂ від параметрів температури та вологості ґрунту.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Динаміку емісії CO₂ за внесення різних доз органічних та органо-мінеральних ґрунтополіпшувачів (ҐП) вивчали протягом вегетаційного періоду кукурудзи, вирощуваної на зерно у довгостроковому стаціонарному досліді «Вплив різних рівнів біологізації землеробства на родючість ґрунту» (зареєстрований за № 07 у Реєстрі «Стаціонарні польові досліді України») на дослідному полі ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», ДП «ДГ «Граківське». Дослід було закладено у 1989 році поблизу с. Новий Коротич Харківського району Харківської області. Природно-кліматична зона — Лівобережний Лісостеп. Метеорологічні умови на території дослідного поля наведено в таблиці 1 за даними метеостанції у м. Мерефа Харківського району.

Таблиця 1

Метеорологічні умови у 2020-2021 роках (за даними метеостанції у м. Мерефа)

Місяць	Температура, °C		Опади, мм		Швидкість вітру, м/с		Атмосферний тиск, мм. рт. ст.	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Січень	-0,1	-2,5	27	70	4	4,3	749,5	746,6
Лютий	0,2	-5	67	60	4,2	3,8	744,3	749,5
Березень	6,2	1,1	18	18	4,5	4	749,2	748,6
Квітень	14	8,3	22	42	7,4	4,5	743,7	747,5
Травень	13,5	15,8	137	52	3,7	3,9	745,6	745,6
Червень	22,1	20,6	68	68	3,9	3,6	745,4	745,9
Липень	22,7	24,8	107	7,3	2,8	3	746,1	746
Серпень	20,9	23,8	6,3	21	2,7	3,1	746,9	745,9
Вересень	18,4	13,3	0,6	22	4,6	2,9	750,1	748,5

Ґрунт дослідного поля — чорнозем опідзолений малогумусний (*Luvic Chernic Phaeozem*) важкосуглинковий на лесоподібному суглинку. Вміст органічного вуглецю у ґрунті в шарі 0–20 см — 2,37 % (за методом Тюріна), гумусу — 4,1 %, мінерального азоту (N-NH₄ + N-NO₃) — 24 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору — 111 мг/кг ґрунту, рухомих сполук калію — 90 мг/кг ґрунту (за методом Чирикова).

У схемі дрібноділянкового досліді (Табл. 2) передбачено сім варіантів; повторність — чотирикратна. Облікова площа однієї ділянки — 4 м². Сільськогосподарська культура — кукурудза, вирощувана до повної стиглості, на зерно. Глибина внесення мінеральних добрив і ҐП — 20 см.

Органічний і органо-мінеральний ґрунтополіпшувачі були розроблені на основі леонардиту з такими його характеристиками: вологість 55,8 %, вміст вуглецю 48,3 %, загальний вміст азоту — 0,06 %, фосфору — 0,001 %, калію 0,02 % на суху речовину, pH 5,3.

Леонардит — матеріал, який видобувають у близьких до поверхні шарах покладів бурого вугілля; має високі ознаки окиснення та вмісту органічних речовин, і перебуває у процесі мінералізації. Для посилення удобрювальних якостей леонардиту застосовували бентоніт, мелясу та сірчаноокисле залізо (FeSO₄). Бентоніт (Si₈Al₄O₂(OH)₄ × nH₂O) — природний глинистий мінерал, складається в основному з мінералів групи монтморилоніту; меляса — побічний продукт виробництва цукру з цукрових буряків; сірчаноокисле залізо — хімічний препарат.

За результатами попередньо проведеного спеціального модельного експерименту було визначено найефективніші масові співвідношення компонентів у складі ґрунтополіпшувачів з огляду на їхні фізико-хімічні характеристики, що й застосовано у досліді.

В органічному ҐП (варіанти 4 і 5) співвідношення маси компонентів було таким: 1,0 леонардит : 0,5 бентоніт : 0,5 меляса : 0,01 FeSO₄; співвідношення C : N = 35; загальний вміст азоту становить 1,6 %; співвідношення макроелементів — 1,0 N : 0,1 P : 2,7 K.

Таблиця 2

Схема дрібноділянкового дослідю

Варіант	Ґрунтополіпшувач (ҐП)		Спосіб внесення	Доза	
	тип	склад		за масою	за вмістом азоту,
1	Без добрив і ҐП – контроль	—	—	—	—
2	Мінеральне добриво	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	врозкид	375 кг/га (0,15 кг/4 м ²)	N ₆₀
3	Мінеральне добриво	(нітроамофоска)	локально	187 кг/га (0,08 кг/4 м ²)	N ₃₀
4	Органічний ҐП	леонардит; бентоніт;	врозкид	3,7 т/га (1,48 кг/4 м ²)	N ₆₀
5	Органічний ҐП	меляса; FeSO ₄	локально	1,8 т/га (0,72 кг/4 м ²)	N ₃₀
6	Органо-мінеральний ҐП	леонардит; бентоніт;	врозкид	3,7 т/га (1,48 кг/4 м ²)	N ₆₀
7	Органо-мінеральний ҐП	меляса; FeSO ₄ ; N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	локально	1,8 т/га (0,72 кг/4 м ²)	N ₃₀

У гранульованому органо-мінеральному ҐП (варіанти 6 і 7) співвідношення маси компонентів: 1,0 леонардит : 0,5 бентоніт : 0,7 меляса : 0,01 FeSO₄ : 0,7 нітроамофоска (N₁₆P₁₆K₁₆); співвідношення С : N = 5; загальний вміст азоту — 1,6 %; співвідношення макроелементів — 1,0 N : 0,86 P : 0,95 K.

Вимірювання емісії CO₂ з ґрунту проводили 4 рази кожного року (травень, червень, серпень і вересень 2020 і 2021 рр.) упродовж вегетаційного періоду кукурудзи на зерно. Інструментальний контроль інтенсивності виділення вуглекислого газу з ґрунту проводили за допомогою портативного газоаналізатора testo 535 з ізоляцією від атмосферного повітря за допомогою респіраційної камери. Для підвищення точності та об'єктивності результатів вимірювань обирали експозицію до 15 хвилин, робочу камеру із середнім об'ємом поглинання 2–3 дм³ із вертикальним закріпленням інфрачервоного зонду на відстані від поверхні ґрунту 1,5–2,0 см [16].

Камеру для визначення інтенсивності емісії CO₂ з ґрунту розміщували у міжрядді. На початку вимірювання фіксували початкові значення величин концентрації газу, температури повітря, атмосферного тиску всередині камери та температури самої камери. Наприкінці експозиції проводили повторне вимірювання параметрів концентрації газу, температури повітря та атмосферного тиску, врахування яких дозволяє визначити величину поправки α на значення інтенсивності дихання ґрунту. Одночасно фіксували час експозиції. Розрахунки проводили за формулами 1 або 2 [17]:

$$E = \mu \frac{H - h_z}{Rt} \left(\frac{P_2}{T_2} C_2 - \frac{P_1}{T_1} C_1 \right), \text{ якщо } \alpha \leq 0, \quad (1)$$

або

$$E = \mu \frac{(H - h_z) P_1}{Rt T_1} (C_2 - C_1), \text{ якщо } \alpha > 0, \quad (2)$$

де: E – інтенсивність емісії газів з ґрунту;

P₁, T₁ та P₂, T₂ – початкове та кінцеве значення тиску і температури повітря всередині респіраційної камери, відповідно;

μ – молярна маса газу;

H – висота камери;

h_z – глибина занурення камери в ґрунт;

C₁, C₂ – початкова та кінцева концентрації газу, (в одиницях ppm та ppb) відповідно;

R – універсальна газова стала;

t – час, за який проводиться вимірювання;

α – коефіцієнт, що відображає зміну початкового об'єму газу в камері в результаті зміни початкових величин тиску і температури та визначається як:

$$\alpha = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1 \quad (3)$$

Вимірювання інтенсивності виділення діоксиду вуглецю проводили 3–5 разів на день; одночасно визначали температуру повітря та вміст вологи у шарі ґрунту 0–20 см. Результати вимірювання були усереднені та оброблені за допомогою програми Statistica 10.0.

Проби ґрунту відбирали з шару 0–20 см за ДСТУ 4287:2004¹, попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу — за ДСТУ ISO 11464:2007². Вміст органічного вуглецю у ґрунті визначали оксидиметричним методом Тюріна за ДСТУ 4289:2004³, вміст вологи у ґрунті визначали гравіметричним методом — за ДСТУ ISO 11465:2001⁴, температуру ґрунту вимірювали термометром Савінова — за ДСТУ ISO 1771:2006⁵, аналізування проводили в атестованій лабораторії ННЦ ІГА (свідоцтво про атестацію № 01-0084/2020).

3. Результати досліджень

Кількість і якість внесених ҐП у ґрунт є важливим фактором для процесів мінералізації та гуміфікації. Органічний та органо-мінеральний ҐП впливали на зміни досліджуваних параметрів ґрунту впродовж вегетаційного періоду кукурудзи — емісію CO₂ та вміст органічного вуглецю. Співвідношення C і N у внесених у ґрунт ҐП є важливим параметром для прогнозування швидкості мінералізації органічного вуглецю та побудови динамічних моделей вивільнення поживних речовин. У середньому за період вимірювання з травня до вересня 2020 року об'єм емісії CO₂ за одну годину із ґрунту за локального внесення органічного ҐП в дозі 30 кг/га за вмістом азоту (варіант 5, з найбільшим співвідношенням C і N), був більшим на 0,335 кг/га порівняно з контролем та на 0,181 кг/га порівняно з мінеральним фоном з такою самою дозою за вмістом азоту (Рис. 1).

На фоні збільшення емісії CO₂ із ґрунту на варіантах (4 і 5) із внесенням органічного ҐП спостерігається підвищення вмісту в ґрунті органічного вуглецю на 0,04 і 0,08 % порівняно з мінеральним фоном і контролем. За локального внесення органо-мінерального ҐП з дозою азоту N₃₀ (варіант 7) емісія CO₂ з ґрунту була близькою до мінерального фону, але вміст органічного вуглецю був найбільшим серед досліджуваних варіантів.

Таким чином можна стверджувати, що леонардит, на основі якого створено органічний і органо-мінеральний ҐП, із високим вмістом органічного вуглецю (48,3 %) та доданим бентонітом (Si₈Al₄O₂(OH)₄ × nH₂O), позитивно впливають на формування органо-мінеральних комплексів у ґрунті, сприяючи збільшенню загального вмісту органічного вуглецю. За локального внесення гранульованого органо-мінерального ҐП, який має нижче відношення C : N (варіант 7), створюються умови для накопичення органічного вуглецю в ґрунті за помірної емісії CO₂.

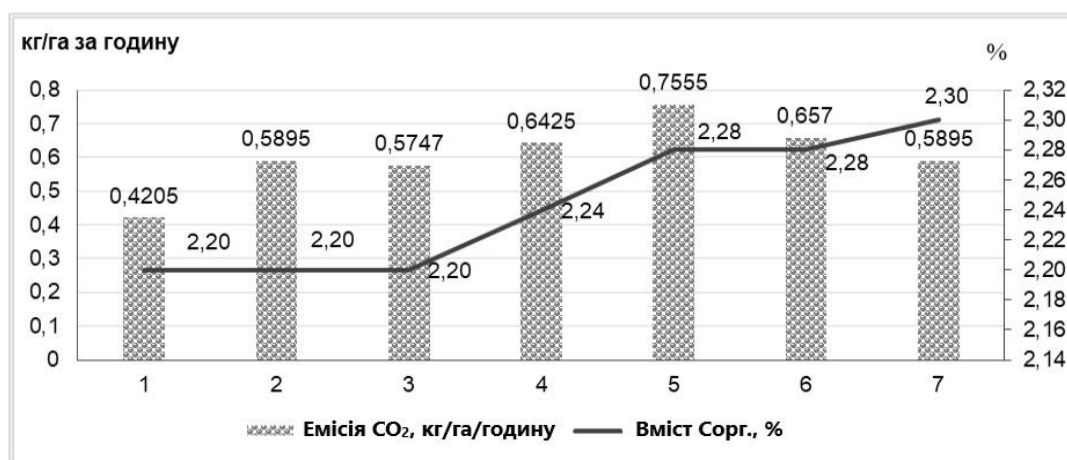
¹ ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб : [Чинний від 2004-30-04] Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 5 с.

² ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу: [Чинний від 2009-01-10] Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 12 с.

³ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 13 с.

⁴ ДСТУ ISO 11465:2001. Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод. [Чинний від 2001-12-28]. Київ: Держспоживстандарт України, 2001. 9 с.

⁵ ДСТУ ISO 1771:2006 Термометри загальної призначеності з вкладеною шкалою [Чинний від 2006-06-29]. Київ: : Держспоживстандарт України, 2001. 8 с.



Позначення варіантів досліджу: 1 — контроль (без добрив); 2 — мінеральне добриво (N₆₀) врозкид; 3 — мінеральне добриво (N₃₀) локально; 4 — органічний ґрунтополіпшувач (ГП) (N₆₀) врозкид; 5 — органічний ГП (N₃₀) локально; 6 — орґано-мінеральний ГП (N₆₀) врозкид; 7 — орґано-мінеральний ГП (N₃₀) локально.

Рис. 1. Емісія вуглекислого газу з чорнозему опідзоленого та вміст органічного вуглецю (середні значення за період вимірювання з травня до вересня 2020 р)

За нашими спостереженнями, виділення вуглекислого газу з ґрунту у 2020 р. було більшим ніж у 2021, чому сприяли метеорологічні умови (Табл. 1). Оскільки з наближенням холодного періоду року мікробіологічна активність у ґрунті згасає, негативний вплив низьких осінніх значень вологості та температури ґрунту виступають обмежувальними факторами «дихання ґрунту». Під час досліджень прослідковувалось зниження негативного впливу низьких значень вологості та температури ґрунту на виділення вуглекислого газу на всіх варіантах із внесенням ГП порівняно з контрольною ділянкою. Інтенсивність викидів CO₂ залежала також від норми внесення ГП, що так само було встановлено в науковій роботі [15]. Емісія CO₂ протікала з меншою інтенсивністю за внесення орґано-мінерального ГП порівняно з органічним. Незалежно від типу ГП та доз їх внесення емісія CO₂ була вищою на початку експерименту (2020 р.), а потім поступово знижувалася.

Кількість CO₂, що виділяється з ґрунту, зумовлюється як біологічними факторами (швидкістю росту рослин, активністю мікроорганізмів), так і гідротермічним фактором, який визначається, перш за все, погодними умовами [15, 18, 19]. Через залежність біологічних процесів від погоди викиди CO₂ із ґрунту мають добову та сезонну динаміку, зумовлену коливаннями температури та вологості ґрунту, змінами тиску, швидкості вітру, фізичного стану поверхні ґрунту тощо.

Вплив вологості та температури ґрунту позначається як на фізико-хімічних процесах у ґрунті, так і на інтенсивності біологічних процесів, збільшення температури стимулює кумулятивну частоту дихання [20]. Супутні спостереження за температурою та вологістю ґрунту показали, що вони є визначальними факторами значного посилення дихання ґрунту після дощів у травні-червні (Рис. 2), після чого вологість ґрунту знижується майже до критичної — тимчасове в'янення рослин ($\leq 20\%$).

Найвищі значення емісії CO₂, у зв'язку зі збільшенням вологості ґрунту, було простежено наприкінці весни 2020 р. після сильних дощів. Посилення посухи в останні літні місяці призвело до зменшення потоків CO₂ на всіх досліджуваних варіантах.

В умовах недостатнього зволоження ґрунту зв'язок між інтенсивністю емісії CO₂ і температурою був помітним і обернено пропорційним. У літній період емісія CO₂ з ґрунту знижувалася на всіх варіантах досліджу порівняно з весняним періодом, чому істотно сприяли високі літні температури. Слід зазначити, що найістотніші відмінності між варіантами досліджу щодо дихання ґрунту спостерігали переважно у першій половині вегетаційного періоду кукурудзи.

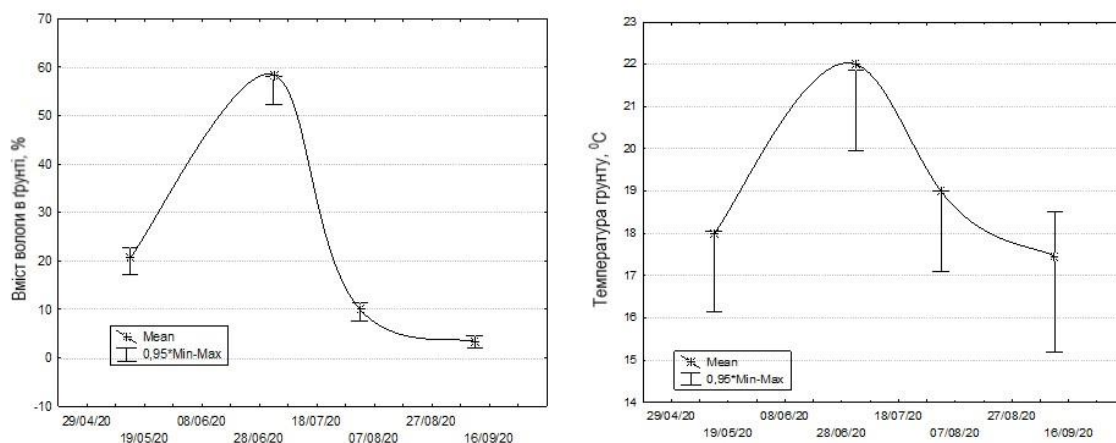
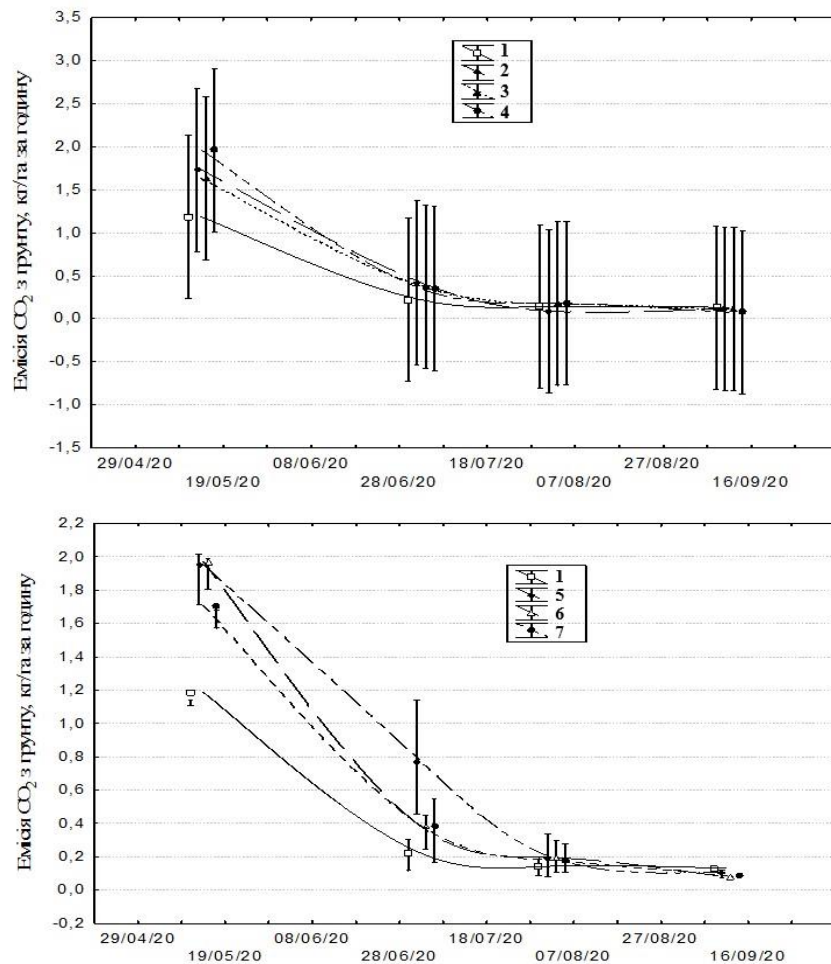


Рис. 2. Динаміка вологості і температури ґрунту в період вегетації кукурудзи на зерно у 2020 р. на варіанті 1 — контроль (без добрив) (шар 0-20 см)

Дані емісії CO_2 з чорнозему опідзоленого у сезонній динаміці (за вегетаційний період кукурудзи) демонструють істотну різницю варіантів із внесенням ГП та мінерального добрива порівняно з контролем (Рис. 3).



Позначення варіантів дослідів: 1 — контроль (без добрив); 2 — мінеральне добриво (N_{60}) врозкид; 3 — мінеральне добриво (N_{30}) локально; 4 — органічний ґрунтополіпшувач (ГП) (N_{60}) врозкид; 5 — органічний ГП (N_{30}) локально; 6 — органо-мінеральний ГП (N_{60}) врозкид; 7 — органо-мінеральний ГП (N_{30}) локально.

Рис. 3. Сезонна динаміка емісії вуглекислого газу з чорнозему опідзоленого

Максимум емісії CO₂ з ґрунту, за всіма строками вимірювання, демонструє варіант 5 із локальним внесенням органічного ГП в одинарній дозі N₃₀. Варіанти з органо-мінеральним ГП (6 і 7) поступаються за інтенсивністю емісійного потоку. На нашу думку, причина цього полягає у тому, що удобрення рослин мінеральними добривами пришвидшує інтенсивність розкладу органічних решток, що провокує швидку їх мінералізацію з поверхні, тим самим змінюючи емісійний потік. У наукових дослідженнях, опублікованих різними авторами, були виявлені відмінності в процесі гумусоутворення залежно від технології внесення мінеральних добрив [3, 17, 19]. Тривале систематичне внесення туків локальним способом активізує процеси мінералізації органічної речовини через підвищену мікробіологічну активність, в результаті чого загальний вміст органічного вуглецю у ґрунті знижується.

Результати досліджень вологості і температури ґрунту в орному шарі використано для побудови квадратичної моделі залежності інтенсивності викидів CO₂ від їхніх параметрів (Рис. 4).

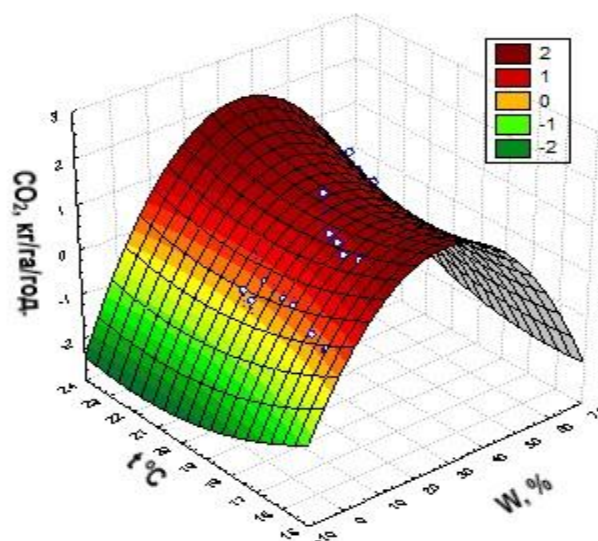


Рис. 4. Залежність викидів CO₂ з чорнозему опідзоленого від температури та вологості ґрунту в середньому за 2020-2021 рр.

Графічною моделлю прогнозується поступове збільшення потоків CO₂ за підвищення температури ґрунту, навіть на фоні низької вологості за рівнянням залежності:

$$z = \text{CO}_2 = -\text{CO}_2 = -11,8094 + 0,0055 \cdot x + 1,2206 \cdot y - 0,0017 \cdot x \cdot x + 0,0046 \cdot x \cdot y - 0,0312 \cdot y \cdot y \quad (4)$$

де z – Інтенсивність викидів CO₂, кг/га/год.;

x – вологість ґрунту, W, %;

y – температура ґрунту, t, °C.

У подальших дослідженнях математичну модель буде вдосконалено та доповнено новими даними (вплив добрив, способу обробітку ґрунту, врожаю), проте наразі її можна застосовувати для прогнозу емісії CO₂ з чорноземів опідзолених за різних гідротермічних умов.

4. Обговорення результатів досліджень

Ґрунтовий покрив із сільськогосподарськими культурами відіграє важливу роль у динаміці емісії CO₂, що є часткою глобального вуглецевого циклу [7, 9]. В умовах мінливого клімату викиди парникових газів, включаючи емісію CO₂, швидко збільшуються через підвищення температури. Фізіологічні процеси, що відбуваються в рослинах (фотосинтез) також впливають на викиди та поглинання вуглецю залежно від добових та сезонних коливань погодних параметрів, а також від гідрологічних та кліматичних змін (сонячної енергії, температури ґрунту та повітря, вологості ґрунту). Результати досліджень, проведених нами упродовж двох вегетаційних періодів кукурудзи вказують на сезонну динаміку викидів CO₂ з

максимумом у весняний період з поступовим послабленням до осені, від 2,0 до 0,1 кг/га за годину. Результати наших досліджень узгоджуються з даними, опублікованими іншими авторами, стосовно застосуванням органічних ГП за вирощування овочевих культур [11, 15].

Збалансована система застосування добрив позитивно впливає на функціонування мікробіологічної складової ґрунту, яка, своєю чергою, впливає на ґрунтове дихання в цілому [19]. У будь-якому разі виділення ґрунтом CO₂ може слугувати своєрідним індикатором інтенсивності малого біологічного кругообігу речовин, який здебільшого пришвидшується за застосування добрив. Процеси ґрунтового дихання також тісно пов'язані з активністю та чисельністю мікробіоти і структурою мікробіоценозу, які змінюються протягом року. Визначено, що в чорноземних ґрунтах присутні мікроорганізми, які окиснюють CO₂, або метанотрофи, які періодично споживають CO₂ [18]. Зміни трофічного режиму, інтенсивності кореневих виділень та накопичення мікробної біомаси протягом першої половини вегетаційного періоду є не менш важливими факторами сезонної динаміки викидів CO₂ ніж метеорологічні умови.

Органічні добрива, або органічні та органо-мінеральні ГП є особливо значущими для динаміки дихання ґрунту у зв'язку з тим, що вони впливають на загальний вміст органічного вуглецю ґрунту через зміну мікробіологічних процесів, виступаючи джерелом живлення для мікроорганізмів [11, 18, 20]. Показники біологічної активності ґрунту, не будучи прямими чинниками формування врожаю, характеризують сприятливість ґрунтових умов для живлення та розвитку сільськогосподарських рослин. Процеси продукування CO₂ ґрунтом можуть посилюватися не тільки за рахунок розкладу більшого об'єму кореневих і пожнивних решток вищих рослин та посилення загальної мікробіологічної активності, але й за рахунок внесення органічних та мінеральних добрив. Контрольовані та адаптивні способи ведення сільського господарства, що базуються на знаннях про обсяги викидів CO₂ з орних ґрунтів, допоможуть підвищити врожай вирощуваних культур та знизити відсоток загальних викидів парникових газів у атмосферу. Наукові дослідження, що проведені, вказують на посилення емісії CO₂ з чорнозему опідзоленого, як відповідь на внесення органічних та органо-мінеральних компонентів у ґрунт, що важливо для розвитку сучасних методів в управлінні родючістю ґрунтів, особливо в частині контролю вмісту у ґрунті органічного вуглецю. Швидкість розкладання органічних речовин у ґрунті пов'язана з умістом азоту, оскільки низький вміст цього макроелементу обмежує засвоєння вуглецю мікроорганізмами, а також впливає на співвідношення лабільних і стійких органічних сполук. У наукових працях інших дослідників наголошено про накопичення загального органічного вуглецю ґрунтом за підвищеного надходження азоту [6, 14, 18]. Нашими дослідженнями також підтверджено, що за внесення органо-мінерального ГП, із співвідношенням C : N – 5, емісія CO₂ з ґрунту уповільнюється, що сприяє секвестрації вуглецю ґрунтом.

Встановлено чітку сезонну динаміку здатності ґрунту продукувати CO₂ з максимумом у весняний період та з поступовим послабленням до осені. Порівняно із сезонними змінами емісії CO₂, відмінності, викликані застосуванням двох типів ґрунтополіпшувачів, значно менші і проявляються переважно протягом першої половини вегетаційного періоду кукурудзи.

Внесення органічного та органо-мінерального ГП позитивно впливало на накопичення органічного вуглецю в ґрунті. Найбільш ефективним визнано локальний спосіб внесення гранульованого органо-мінерального ґрунтополіпшувача із відношенням C/N = 5, за якого рівень емісії CO₂ уповільнюється і збільшується загальний вміст органічного вуглецю ґрунту порівняно з іншими варіантами дослідів.

5. Висновки

Гідротермічні чинники відіграють значну роль у змінах динаміки емісії вуглекислого газу з ґрунту, що зафіксовано протягом двох вегетаційних періодів кукурудзи, вирощуваної на зерно. Встановлено чітку сезонну динаміку потенційної здатності ґрунту продукувати CO₂ з максимумом у весняний період та з поступовим послабленням до осені. Запропонована математична модель дозволяє прогнозувати обсяги викидів CO₂ з чорноземних ґрунтів за

різних погодних умов упродовж теплого періоду з внесенням змін у систему удобрення сільськогосподарських культур.

Застосування органічних ГП у комплексі з мінеральними добривами суттєво впливає на динаміку емісії CO₂ з ґрунту. Порівняно із сезонними змінами емісії CO₂, ці відмінності значно менші і проявляються переважно протягом першої половини вегетаційного періоду кукурудзи на зерно, коли спостерігається чітка тенденція до збільшення інтенсивності дихання ґрунту. Внесення органічного та органо-мінерального ГП позитивно впливало на накопичення органічного вуглецю в орному шарі чорнозему опідзоленого. Інтенсивність акумуляції вуглецю залежала від складу, дози та способу внесення ГП. Найвищою ефективністю відзначається локальний спосіб внесення гранульованого органо-мінерального ГП із співвідношенням C : N = 5 за якого рівень емісії CO₂ уповільнюється, що сприяє збільшенню загального вмісту органічного вуглецю в ґрунті.

Для максимізації поглинання вуглецю орними чорноземами в метеорологічних умовах Лівобережного Лісостепу України ефективним є впровадження в систему удобрення кукурудзи на зерно органо-мінерального ГП із таким співвідношенням компонентів: 1,0 леонардит : 0,5 бентоніт : 0,7 меляса : 0,01 FeSO₄ : 0,7 NPK в дозі 30 кг N/га локальним способом внесення на глибину 20 см.

Оскільки емісія CO₂ з ґрунту була найвищою на варіантах із застосуванням органічних ГП, пропонується проведення подальших досліджень зі збільшення глибини їх загортання у ґрунт з 20 см до 30–40 см. Рекомендується оцінити вплив органічних та органо-мінеральних ГП за різних доз внесення на врожайність олійних та овочевих культур із одночасним проведенням вимірювання інтенсивності емісії CO₂ та активності мікробіологічної діяльності в різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Фінансування. Дослідження фінансувалися спеціальними коштами в рамках проекту «Технологія виробництва та застосування органічних та органо-мінеральних ґрунтополіпшувачів для управління ґрунтовим вуглецем» для Плану впровадження Євразійського ґрунтового партнерства GSP/GLO/853 між Продовольчою та Сільськогосподарською Організацією Об'єднаних Націй («ФАО») та Національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського».

Подяка. Автори висловлюють подяку Секретаріату GSP, Міжурядовій технічній групі експертів з ґрунтознавства (ITPS) та Євразійському центру безпеки харчових продуктів (ECFS), членам Наукового комітету за технічну та наукову підтримку надану на етапах підготовки та реалізації наукових досліджень.

Список використаних джерел

1. Allen M. R., Babiker M., Chen Y., de Coninck H., Connors S., van Diemen R., ... K. Zickfeld. Global Warming of 1.5 °C. Summary for Policymakers, approved at the First Joint Session of Working Groups I, II and III of the IPCC and accepted by the 48th Session of the IPCC, Incheon, Republic of Korea, 6 October 2018. 33 p. ISBN 978-92-9169-151-7. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
2. European Environment Agency. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2016 and inventory report 2018 Submission to the UNFCCC Secretariat. 27 May 2018:955. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018>
3. Mátyás B., Lowy D. A., Singla A., Melendez J., Zsolt S. Comparison of effects exerted by bio-fertilizers, NPK fertilizers, and cultivation methods on soil respiration in Chernozem soil. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 2020. 32(2). P. 7-17. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>
4. Stockmann U., Adams M. A., Crawford J. W., Field D. J., Henakaarchchi N., Jenkins M., ... Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2013. 164. P. 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
5. Poulton P., Johnston J., Macdonald A., White R., Powlson D. Limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*. 2018. 24. P. 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
6. Autret B., Mary B., Chenu C., Balabane M., Girardin C., Bertrand M., ... Beaudoin N. Alternative arable cropping systems: a key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. 232. P. 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008>
7. Le Noë J., Billen G., Mary B., Garnier J. Drivers of long-term carbon dynamics in cropland: a bio-political history (France, 1852-2014). *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. 93. P. 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.027>
8. Ingram J. S. I., Fernandes E. C. M. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2001. 87(1). P. 111-117. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00145-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00145-1)
9. Lal R. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Bio Science*. 2010. 60(9). P. 708-721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>

10. Lamptey S., Xie J., Li L., Coulter J. A., Jagadabhi P. S. Influence of organic amendment on soil respiration and maize productivity in a semi-arid environment. *Agronomy*. 2019. 9(10). P. 611. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100611>
11. Luan H., Gao W., Huang S., Tang J., Li M., Zhang H., ... Masiliūnas D. Organic amendment increases soil respiration in a greenhouse vegetable production system through decreasing soil organic carbon recalcitrance and increasing carbon-degrading microbial activity. *Journal of Soils and Sediments*. 2020. 20. P. 2877–2892. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02625-z>
12. Xiao C. Soil Organic Carbon Storage (Sequestration) Principles and Management. Potential Role for Recycled Organic Materials in Agricultural Soils of Washington State. *Waste 2 Resources Program Washington State Department of Ecology Olympia*, Washington, 2015. 90 p.
13. Chaker R., Gargouri K., Mbarek H. B. Maktouf S., Palese A. M., Celani G., Bouzid J. Carbon and nitrogen balances and CO₂ emission after exogenous organic matter application in arid soil. *Carbon Management*. 2019. 10(1). P. 23-36. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1544829>
14. Brenzinger K., Drost S. M., Korthals G., Bodelieret P. L. E. Organic residue amendments to modulate greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*. 2018. 9. P. 3035. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03035>
15. Ray R. L., Griffin R. W., Fares A. Elhassan A., Awal R., Woldeesenbet S., Risch E. Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*. 2020. 10. 5849. P. 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6>
16. Трофименко П., Сябрук О., Борисов Ф., Веремеєнко С. *Метод визначення інтенсивності виділення газів із ґрунту (на прикладі CO₂)*. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2019. 29 с.
17. Трофименко П., Трофименко Н., Веремеєнко С., Борисов Ф. Методологія визначення інтенсивності дихання ґрунтів та емісійні втрати вуглецю агроландшафтами Лівобережного Полісся наприкінці періоду вегетації рослин. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія: Агрономія*. 2019. 90. С. 238-243. <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.238>
18. Bautista G., Mátyás B., Carpio I., Vilches R., Pazmino K. Unexpected results in Chernozem soil respiration while measuring the effect of a bio-fertilizer on soil microbial activity. *F1000Research*. 2017. 6:1950. P. 195-207. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12936.2>
19. Гаврилюк В. А., Мелимука Р. Я. Емісія вуглекислого газу та мікробіологічна активність ґрунтів за різного сільськогосподарського призначення в умовах Західного Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія*. 2022. 47(1). С. 42-47. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.6>
20. Ali R. S., Poll C., Kandeler E. Dynamics of soil respiration and microbial communities: Interactive controls of temperature and substrate quality. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. 127. P. 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.010>

UDC 631.433.53:631.895:631.42

Soil CO₂ emission in response to organic and organo-mineral amendments**Ye. V. Skrylnyk*, A. M. Kutova, O. P. Volosheniuk, S. I. Krylach, M. A. Popirny****National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine***Corresponding author: orgminlab@gmail.com

Received 31.10.2024, Revised 13.11.2024, Accepted 18.12.2024, Available online 27.12.2024

Abstract

The results of field studies on the impact of applying organic and organo-mineral amendments on the dynamics of CO₂ emissions during the growing season of grain corn and the content of organic carbon in the soil are described. A long-term (since 1989) small-plot experiment was conducted on podzolized low-humus heavy loamy chernozem on loess-like loam (Luvic Chernic Phaeozem) in the experimental farm of the National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after O. N. Sokolovsky" in the Kharkiv region in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe. The experimental options include the composition, method, and doses of organic and organo-mineral amendments developed on the basis of leonardite with the addition of bentonite, molasses, and iron sulfate (and nitroammosfoska in the organo-mineral) - 30 and 60 kg/ha in terms of nitrogen content. During the growing seasons of 2020 and 2021, we studied the seasonal dynamics of the following soil parameters: carbon dioxide emission intensity; organic carbon content; moisture content; temperature. Weather data taken from a weather station. CO₂ emission measurements were carried out 4 times each year during the growing season using a portable testo 535 gas analyzer with isolation from atmospheric air. Within the arable layer (0-20 cm), the following were determined: the content of organic carbon in the soil by the oxidimetric method, the moisture content by the gravimetric method; the soil temperature measured with a Savinov thermometer. The results of the research have established a clear seasonal dynamics of the soil's ability to produce CO₂ (from 0.1 to 2.0 kg/ha per hour) with a maximum in the spring and a gradual weakening by autumn, which is explained by the influence of weather conditions and the soil microclimate. A predictive model of the dependence of the intensity of CO₂ emissions on the parameters of soil temperature and humidity is proposed. Compared to seasonal changes in CO₂ emissions, the differences caused by the use of the two types of amendments are much smaller and manifest themselves mainly during the first half of the corn-growing season. The highest CO₂ emission is with local application of organic amendment at a dose of 30 kg N/ha. The application of organic and organo-mineral amendment had a positive effect on the accumulation of organic carbon in the soil. The most effective method was recognized as the local method of applying a granular organo-mineral amendment with a C/N ratio of 5, in which the level of CO₂ emission slows down compared to an organic amendment, and the total organic carbon content of the soil is the highest compared to other experimental options. It has been proven that carbon sequestration by soil, in addition to hydrothermal environmental conditions, is influenced by the composition and method of amendment, which can serve as a recommendation for the practical use of land improvement and fertilization agents in agriculture.

Keywords: amendments; podzolized chernozem; CO₂ emission; hydrothermal factors; seasonal dynamics; organic carbon.

Citing: Skrylnyk Ye. V., Kutova A. M., Volosheniuk O. P., Krylach S. I., Popirny M. A. (2024). Soil CO₂ emission in response to organic and organo-mineral amendments. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 31-42. doi: 10.31073/acss97-04 [in Ukrainian]

References

1. Allen, M. R., Babiker, M., Chen, Y. de Coninck, H., Connors, S., van Diemen, R., ... Zickfeld, K. (2018). Global Warming of 1.5 °C. *Summary for Policymakers, approved at the First Joint Session of Working Groups I, II and III of the IPCC and accepted by the 48th Session of the IPCC*, Incheon, Republic of Korea, 6 October 2018. 33 p. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
2. European Environment Agency. (2018). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2016 and inventory report 2018* Submission to the UNFCCC Secretariat. 27 May 2018:955. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018>
3. Mátyás, B., Lowy, D. A., Singla, A., Melendez, J., & Zsolt, S. (2020). Comparison of effects exerted by bio-fertilizers, NPK fertilizers, and cultivation methods on soil respiration in Chernozem soil. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 7-17. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>
4. Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., ... Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
5. Poulton P., Johnston J., Macdonald A., White R., & Powlson D. (2018). Limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*, 24, 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
6. Autret, B., Mary, B., Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., ... Beaudoin, N. Alternative arable cropping systems: a key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008>
7. Le Noë, J., Billen, G., Mary, B., & Garnier, J. (2019). Drivers of long-term carbon dynamics in cropland: a bio-political history (France, 1852-2014). *Environmental Science and Pollution Research*, 93, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.027>
8. Ingram, J. S. I., & Fernandes, E. C. M. (2001). Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1), 111-117. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00145-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00145-1)
9. Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Bio Science*, 60(9), 708-721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>
10. Lampitey, S., Xie, J., Li, L., Coulter, J. A., & Jagadabhi, P. S. (2019). Influence of organic amendment on soil respiration and maize productivity in a semi-arid environment. *Agronomy*, 9(10), 611. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100611>
11. Luan, H., Gao, W., Huang, S., Tang, J., Li, M., Zhang, H., ... Masiliūnas, D. (2020). Organic amendment increases soil respiration in a greenhouse vegetable production system through decreasing soil organic carbon recalcitrance and increasing carbon-degrading microbial activity. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 2877–2892. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02625-z>
12. Xiao, C. (2015). *Soil Organic Carbon Storage (Sequestration) Principles and Management. Potential Role for Recycled Organic Materials in Agricultural Soils of Washington State*. Waste 2 Resources Program Washington State Department of Ecology Olympia, Washington.
13. Chaker, R., Gargouri, K., Mbarek, H. B., Maktouf, S., Palese, A. M., Celani, G., & Bouzid, J. (2019). Carbon and nitrogen balances and CO₂ emission after exogenous organic matter application in arid soil. *Carbon Management*, 10(1), 23-36. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1544829>
14. Brenzinger, K., Drost, S. M., Korthals, G., & Bodeliet, P. L. E. (2018). Organic residue amendments to modulate greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 9, 3035. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03035>
15. Ray, R. L., Griffin, R. W., Fares, A., Elhassan, A., Awal, R., Woldesenbet, S., & Risch, E. (2020). Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*, 10, 5849, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6>
16. Trofymenko, P., Syabruk, O., Borysov, F., & Veremeyenko, S. (2019). *The method of determining the intensity of emission of gases from the soil (on the example of CO₂)*. Kharkiv: NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Resrarch named after O. N. Sokolovsky" [in Ukrainian].
17. Trofymenko, P., Trofimenko, N., Veremeyenko, S., & Borysov, F. (2019). Methodology of determination of intensity of soil burial and emission loss of carbon agro-landscapes of left bank in Polissya the event of a plane vegetation period. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series «Agronomy»*. 2019. 90. P. 238-243. <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.238> [in Ukrainian].
18. Bautista, G., Mátyás, B., Carpio, I., Vilches, R., & Pazmino, K. (2017). Unexpected results in Chernozem soil respiration while measuring the effect of a bio-fertilizer on soil microbial activity. *F1000Research*, 6:1950, 195-207. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12936.2>
19. Gavryliuk, V. A., & Melymuka, R. Y. (2022). Carbon gas emissions and microbiological activity of soils under different agricultural purposes of Western Polissia. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 47(1), 42-47. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.6> [in Ukrainian].
20. Ali, R. S., Poll, C., & Kandeler, E. (2018). Dynamics of soil respiration and microbial communities: Interactive controls of temperature and substrate quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.010>

УДК 631.4:631.67

Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті

Л. І. Воротинцева^{а*}, Р. В. Панарін^бНаціональний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського",
Харків, Україна

*E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 7.11.2024 Отримано після доопрацювання 17.12.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	У статті висвітлено результати дослідження кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) чорнозему типового (Haplic Chernozem), зрошуваного придатною водою, за різних систем удобрення сільськогосподарських культур в овочево-кормовій сівозміні у межах багаторічного польового досліді. Вміст органічного вуглецю є одним із головних дескрипторів здоров'я ґрунту і відіграє важливу роль у гарантуванні продовольчої безпеки, досягненні кліматичної нейтральності та запобіганні втрати біорізноманіття. Встановлено, що за роки ведення стаціонарного досліді (1967–2024) на неудобрюваному зрошуваному варіанті відбулося зменшення вмісту гумусу в орному та підорному шарах ґрунту порівняно з незрошуваним контролем з традиційною системою удобрення. Застосування різних систем удобрення — сидеральної, мінеральної, органічної, органо-мінеральної та біологічної, за зрошення сприяло поліпшенню вуглецевого балансу і збільшенню вмісту гумусу в орному та підорному шарах ґрунту порівняно з контролем без добрив. Так, у ґрунті шару 0–30 см відносне підвищення вмісту гумусу на різних варіантах становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 %. Застосування агрономічної практики оптимізації вмісту гумусу через удобрення вплинуло також на зміни якості органічної речовини (гумусу). Результати спектроскопічного аналізу показали, що спектри поглинання гумусових речовин ґрунту на різних варіантах досліді представлені типовою похилою лінією, що свідчить про подібність структурної організації гумусових речовин. Основні зміни спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами. Найбільш високий вміст ароматичних структур у препаратах гумусових речовин виявлено на варіантах з орно-мінеральною та мінеральною системами удобрення та у незрошуваному ґрунті.

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ORCID: ^а0000-0003-0643-8823, ^б0000-0003-4266-721X

Форма цитування: Воротинцева Л. І., Панарін Р. В. Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 97 С. 43–52.
doi: 10.31073/acss97-05

1. Вступ

Питання якості та здоров'я ґрунту є на сьогодні актуальним на міжнародному рівні. Здорові ґрунти відіграють важливу роль у гарантуванні продовольчої безпеки, досягненні кліматичної нейтральності та припиненні втрати біорізноманіття [1]. Відповідно, здорові ґрунти є запорукою сталого розвитку аграрного виробництва та забезпечують здоров'я людини.

В Європейському Союзі та в Україні прийнято низку стратегічних документів, що спрямовані на захист ґрунтів і поліпшення їх стану. Так, основними цілями Ґрунтової стратегії Європейського Союзу до 2030 року (EU Soil Strategy for 2030) є забезпечення здоров'я ґрунтів та їх сталий менеджмент, захист ґрунтів та досягнення нейтрального рівня деградації земель. В рамках Європейського *зеленого курсу*, який упроваджується з 2019 року, Єврокомісія відводить захисту ґрунтів провідне місце в політичному порядку денному, оскільки лише здорові ґрунти можуть забезпечити досягнення кліматичної нейтральності, нульового забруднення і сталості продовольчої безпеки [2].

Прийнятий Закон про моніторинг ґрунтів (Soil monitoring law) має вивести Євросоюз на шлях до здорових ґрунтів до 2050 року — за даними про стан і здоров'я ґрунтів за переліком визначених дескрипторів у подальшому має бути визначено практики сталого управління ґрунтами та прийнято управлінські рішення. Відповідно до Європейського законодавства вміст органічного вуглецю є одним з основних дескрипторів оцінювання стану здоров'я ґрунту. Важливим є введення гармонізованої для всіх країн методології моніторингу та оцінювання здоров'я ґрунту. Зв'язок між здоровим ґрунтом, його

продуктивністю і стратегіями сталого управління свідчить про важливість цілісного підходу до управління станом ґрунтів за допомогою кількісного оцінювання за показниками їх родючості [3].

Рішенням Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 р. № 848 затверджено Порядок проведення моніторингу земель і ґрунтів, яким визначено механізм проведення моніторингу з метою своєчасного виявлення зміни стану земель, забруднення і властивостей ґрунтів, оцінювання здійснених заходів з охорони земель, збереження та відтворення родючості ґрунтів, запобігання впливу негативних процесів і ліквідації наслідків такого впливу [4]. Важливим наступним кроком є гармонізація національних підходів до створення баз даних за результатами моніторингу та оцінювання стану й здоров'я ґрунтів з європейськими підходами.

Однією із загроз для здоров'я ґрунту як в Європі, так і в Україні є втрата органічної речовини (гумусу) [5, 6, 7]. Органічний вуглець, як основний компонент гумусу, відіграє важливу роль у всіх процесах, що відбуваються у ґрунті, визначає його фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні властивості, екологічні функції, рівень надання екосистемних послуг, стійкість ґрунту до дії зовнішніх чинників та ін. Вміст гумусу опосередковано впливає на продуктивність сільськогосподарських культур та є одним із найважливіших показників родючості ґрунту [8]. Введення ґрунтів у сільськогосподарське використання зумовило різкі зміни практично всіх ґрунтових процесів і властивостей, зокрема надходження у ґрунт органічних речовин та їх мінералізацію, що впливає на вміст гумусу та його якісний склад [7]. Тому важливим є питання нормативного, технологічного забезпечення управління органічним вуглецем у системі землекористування [6].

Чорнозем є ґрунтом з високим рівнем потенційної родючості і цінність його визначається вмістом, якістю та запасами гумусу у ґрунтовому профілі. Але у зв'язку з сільськогосподарським використанням та незбалансованим землекористуванням відбуваються втрати гумусу, що потребує застосування дієвих управлінських рішень та агро меліоративних заходів зі стабілізації та підвищення його концентрації.

Співставлення вмісту гумусу в ґрунтах за часів В. В. Докучаєва і в теперішній час показує, що його втрати за 130-річний період становили в Лісостепу 22 %, в Степу — 19,5 % і в Поліссі України — близько 19 %. Щорічні втрати гумусу в орних ґрунтах становлять 550–600 кг/га [8]. Аналіз динаміки вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах за 133-річний період свідчить про те, що він поступово знижувався, починаючи з 1883 р. і до 60-70-х років 20-го століття. Потім відмічалось поступове уповільнення цього процесу (1980–2000 рр.) і стабілізація [9]. Згідно з прогностичними розрахунками можливі такі сценарії: стабілізація вмісту органічного вуглецю за умов простого відтворення родючості ґрунту або подальше зменшення за незбалансованого землекористування [10].

Більш широке застосування практик сталого управління ґрунтами сприятиме збільшенню секвестрації вуглецю. Одним із напрямів є вуглецеве землеробство, спрямоване на підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті та зменшення викидів парникових газів. В Україні запущено вуглецеву програму «Carbon Credit Ukraine», за якою передбачено безвідсоткове кредитування фермерів та стимулювання переходу на відновлювальні методи ведення господарювання для підвищення й збереження вмісту у ґрунті органічного вуглецю на відповідному рівні.

У роботі Дегтярьова В. В. і Щербакова О. Ю. [11] проаналізовано вплив глобальних змін клімату на загальний вміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу.

Однією із агрономічних практик підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті та зміни його якості є застосування різних систем удобрення. Дослідженнями Резнік С. В., Гавва Д. В. [12] встановлено, що в умовах органічного землеробства на полях, де періодично застосовують сидерати або вносять компост із гноєм великої рогатої худоби, спостерігається накопичення у ґрунті органічних решток, що сприяє зростанню і загального вмісту вуглецю, і вмісту нерозчинного залишку.

Дослідженнями на чорноземі типовому, у сівозміні з двома полями просапних культур (цукрові буряки і кукурудза), встановлено, що головним чинником регулювання балансу гумусу є органічні добрива: внесення гною (в середньому 8 т на 1 га сівозмінної площі), особливо за сукупного застосування його з мінеральними добривами, на кінець 5-ї ротації забезпечили приріст вмісту гумусу [7].

Дослідженнями Ревтьє-Уварової А. В. із співавторами [13] встановлено зміни параметрів вмісту органічного вуглецю (Сорг) у чорноземі типовому, які залежать від системи удобрення культур польової сівозміни. У 28-річній ретроспективі фіксується чітка тенденція до поступової акумуляції Сорг, абсолютний вміст якого зростає за впровадження систем удобрення у ряду: мінеральна — +0,14–0,15 %; органічна — +0,29; органо-мінеральна — +0,37–0,38 %. Найбільше сприяє депонуванню вуглецю у ґрунті систематичне застосування мінеральних і періодичне внесення органічних добрив.

Метааналіз дослідників з Китаю [14] показав, що вміст органічного вуглецю за використання органічних добрив підвищився на 16,2 %, органічних сукупно з мінеральними — на 19,6 %, але без удобрення значно знижувався — на 3,9 % порівняно з вихідним ґрунтом. Роботою Bohoussou Y. та ін. [15] встановлено, що застосування гною і гною сукупно з мінеральним азотом є більш ефективним щодо зв'язування органічного вуглецю у ґрунті порівняно із застосуванням лише мінерального азоту. Актуальними є також дослідження з вивчення впливу різних систем удобрення на якісний склад гумусу [16, 17].

Отже, питанню стабілізації вмісту органічного вуглецю, як одному із важливих дескрипторів здорового ґрунту, що забезпечує його стале функціонування, приділяється значна увага як на міжнародному, так і на національному рівнях.

Мета статті — висвітлення результатів досліджень з визначення кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) зрошуваного чорнозему типового за різних систем удобрення у межах польового стаціонарного досліді.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проведено у тривалому стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у Харківській області у межах зони Лісостепу Лівобережного. Ґрунт дослідної ділянки представлено чорноземом типовим важкосуглинкового гранулометричного складу (Haplic Chernozem).

Ґрунт досліді з 1967 року використовується спочатку в 4-пільній овочевій сівозміні, а після реконструкції досліді — в овочево-кормовій сівозміні. Зараз досліді включає 9 культур овочево-кормової сівозміни з таким чергуванням: ячмінь з підсівом люцерни – люцерна першого та другого років використання – огірок – озима пшениця – цибуля ріпчаста – томат – капуста білоголова – буряк столовий.

Загальна площа дослідної ділянки — 58,3 м² (8,33×7,0 м), облікова — 36,4 м² (5,6×6,5 м); повторність — 4-разова; розміщення ділянок — систематичне у два яруси. Ґрунт на всіх досліджуваних варіантах досліді тривалий час зрошується прісною водою з р. Мжа.

Дослідження проводили у 2022-2024 рр. на 8 ключових варіантах 9-пільного польового досліді з різними системами удобрення: сидеральною, органо-мінеральною, органічною, мінеральною, інтенсивною та біологічною (Табл. 1) у ланці сівозміни: буряк столовий – ячмінь з підсівом люцерни – люцерна 1 року використання. У 2024 році за вирощування люцерни 1 року використання добрива не застосовували. Сидеральна та біологічна системи удобрення передбачали внесення мікробних препаратів, а інтенсивна система – внесення мікродобрив у ґрунт. Для порівняння впливу зрошення на вміст органічної речовини було взято незрошувану ділянку ріллі у безпосередній близькості до стаціонарного досліді.

Проби ґрунту на визначення вмісту органічного вуглецю відбирали кожного року наприкінці вегетаційного періоду з шарів 0–30, 30-50, 50-75, 75-100 см, але у цій статті ми зосередили увагу на показниках орного (0–30 см) та підорного (30–50 см) шарів ґрунту.

Для оцінювання кількісних та якісних змін гумусових речовин чорнозему типового використовували такі методи аналітичних досліджень:

- визначення вмісту гумусу згідно з ДСТУ 4289:2004¹;
- дослідження електронних спектрів поглинання гумусових речовин в ультрафіолетовому (УФ) і видимому діапазонах.

УФ/видиму спектроскопію препаратів гумусових речовин проводили на спектрофотометрі SF0171 в діапазоні вимірювання від 220 до 500 нм в кварцових кюветах.

¹ ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с

За еталон порівняння брали дистильовану воду. Гумусові речовини із підготовлених ґрунтових зразків виділяли за допомогою 0,1 н розчину NaOH. Аналіз виконано в лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського».

Таблиця 1

Схема досліду (2022 і 2023 рр.)

Варі- ант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній ¹ (післядія)	Мікробні препарати; мікродобрива	Спосіб; доза; строк внесення
Буряк столовий (2022 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе; 2 л/га; 3 строки
3	Органо- мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	14 т/га	—	—
4	Органічна	—	21 т/га	—	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₃₉₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	—	Нутрівант плюс універсальний	2 кг/га; 3 строки
12	Біологічна	—	9 т/га + сидерати	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе, 2 л/га; 3 строки
Ячмінь з підсівом люцерни (2023 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Органік баланс	обробка насіння, 1 л/т
3	Органо- мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14 т/га	—	—
4	Органічна	—	21 т/га	—	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₁₁₀ P ₁₃₀ K ₆₀	—	—	—
12	Біологічна	—	9 т/га	Органік баланс	обробка насіння, 1 л/т

¹ На 1 га сівозмінної площі

¹ На 1 га сівозміної площі

Для аналізу кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) чорнозему типового під впливом багаторічного зрошення й удобрення було використано дані досліджень Інституту овочівництва та баштанництва НААН та лабораторії родючості зрошуваних і солонцевих ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [18].

Обробку результатів аналізування проводили з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Результати досліджень

3.1. Вміст гумусу у чорноземі типовому за різних систем удобрення та зрошення

Аналіз фондових матеріалів лабораторії та публікацій вчених, що проводили дослідження на даному стаціонарі, свідчать, що за тривалого сільськогосподарського використання й інтенсивного вирощування овочевих культур у досліджуваному ґрунті виявлено ознаки розвитку деградаційних процесів, одним із яких було зменшення вмісту гумусу. Тому для припинення погіршення властивостей ґрунту і зниження його родючості після четвертої ротації (у 1984 році) було проведено реконструкцію дослідів — включення до сівозміни багаторічних трав та зернових культур. Структура сівозміни є одним із важливих чинників, що впливає на баланс гумусу, поживних речовин у ґрунті та родючість ґрунту, особливо за інтенсивного вирощування овочевих культур в умовах зрошення.

Однією із агрономічних практик забезпечення додатного балансу гумусу і підтримання або збільшення вмісту органічного вуглецю у ґрунті є удобрення. В

стаціонарному досліді вивчали вплив та порівняльну ефективність тривалого застосування різних систем удобрення на вміст органічної речовини (гумусу) у зрошуваному чорноземі типовому.

Результати досліджень свідчать, що за інтенсивного сільськогосподарського використання чорнозему типового із застосуванням та без застосування різних систем удобрення у ґрунті відбулися зміни вмісту гумусу в орному та підорному шарах порівняно з ґрунтом до закладки досліді [18].

Аналіз визначення сучасного вмісту гумусу у зрошуваному чорноземі типовому свідчить, що за застосування сидеральної, органо-мінеральної, мінеральної та біологічної систем удобрення відбувається його поступове підвищення за рахунок збільшення надходження рослинних решток. На всіх варіантах із системами удобрення вміст гумусу був достовірно вищим, ніж на контролі без застосування добрив. На контрольному варіанті (без удобрення) в орному шарі 0–30 см він становив 3,68 % ($\pm 0,13$ %), а на варіантах із системами удобрення достовірно зріс до 3,90–4,22 % (Рис. 1). Найменша істотна різниця ($HI_{P_{05}}$) між варіантами становила 0,13 %. Порівняно з ґрунтом контрольного варіанту відносно підвищення вмісту гумусу на удобрюваних варіантах у шарі 0–30 см становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 %. Найбільш високими значення вмісту гумусу були на варіанті з біологічною системою удобрення (вар. 12), що включала застосування гною (9 т/га сівозмінної площі), сидератів і мікробних препаратів відповідно до схеми досліді (див. табл. 1). На варіанті з сидеральною системою удобрення, що включала застосування мікробних препаратів, але без застосування гною, ефект був слабшим.

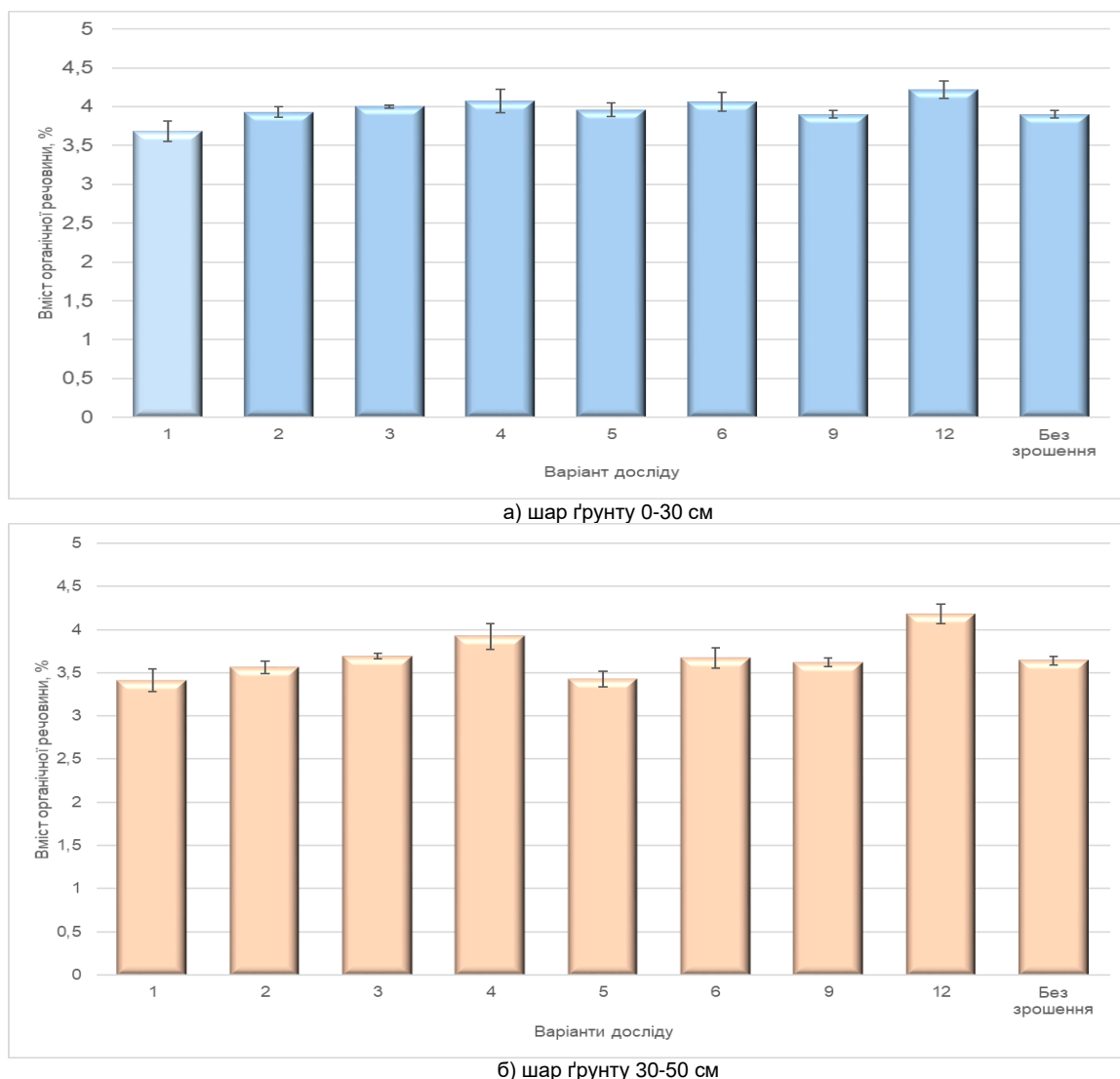


Рис. 1. Вміст органічної речовини (гумусу) у ґрунті варіантів досліді
Примітка. $HI_{P_{05}}$ для шару ґрунту 0-30 см – 0,13 %, 30-50 см – 0,22 %. Опис варіантів — у табл. 1

Слід відмітити, що на варіантах з органічною (вар. 4 і 6) та органо-мінеральною (вар. 3) системами удобрення вміст гумусу був дещо вищим, ніж на варіантах з мінеральною (вар. 5 і 9) та сидеральною (вар. 2) системами, що узгоджується з результатами інших досліджень [7]. Згідно з ДСТУ 4362:2004² вміст гумусу у ґрунті різних варіантів досліді оцінювався як підвищений і високий.

Отже, встановлено ефективність різних агрономічних практик в оптимізації вмісту гумусу в чорноземі типовому, що використовується в овочево-кормовій сівозміні. У незрошуваному ґрунті із традиційною системою удобрення сільськогосподарських культур вміст гумусу був вищим порівняно з тривало зрошуваним контролем без внесення добрив і у шарі 0–30 см становив 3,90 % ($\pm 0,05$ %). Це свідчить про позитивну роль традиційної системи удобрення, навіть без зрошення, у підвищенні вмісту гумусу, а отже, і родючості ґрунту.

Вниз за профілем чорнозему типового відбувається поступове зниження вмісту гумусу, що пов'язано з генетичними особливостями формування та зі зменшенням надходження рослинних решток у більш глибокі шари. Особливо помітним воно є з глибини 50–75 см.

Застосування різних систем удобрення в овочево-кормовій сівозміні, вирощування багаторічних трав позитивно вплинуло на вміст гумусу. Відмічається достовірне його підвищення порівняно з контролем, особливо на варіантах з внесенням гною та мінеральних добрив (вар. 3), інтенсивною системою удобрення (вар. 9) та біологічною із застосуванням гною, сидератів та мікробних препаратів (вар. 12).

3.2. Електронні спектри поглинання розчинів гумусових речовин в ультрафіолетовому (УФ) та видимому діапазонах

На рисунку 2 представлено електронні спектри поглинання в УФ та видимому діапазонах розчинів фракцій гумусових речовин за досліджуваними варіантами, що загалом відрізняються за інтенсивністю поглинання. Спектри поглинання представлені невизначеною похилою лінією, інтенсивність якої зменшується за збільшення довжини хвиль, що є характерним для гумусових речовин. Метод електронної спектроскопії поглинання в УФ та видимому діапазонах дозволяє виявити зміни гумусових речовин. Основні зміни спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами.

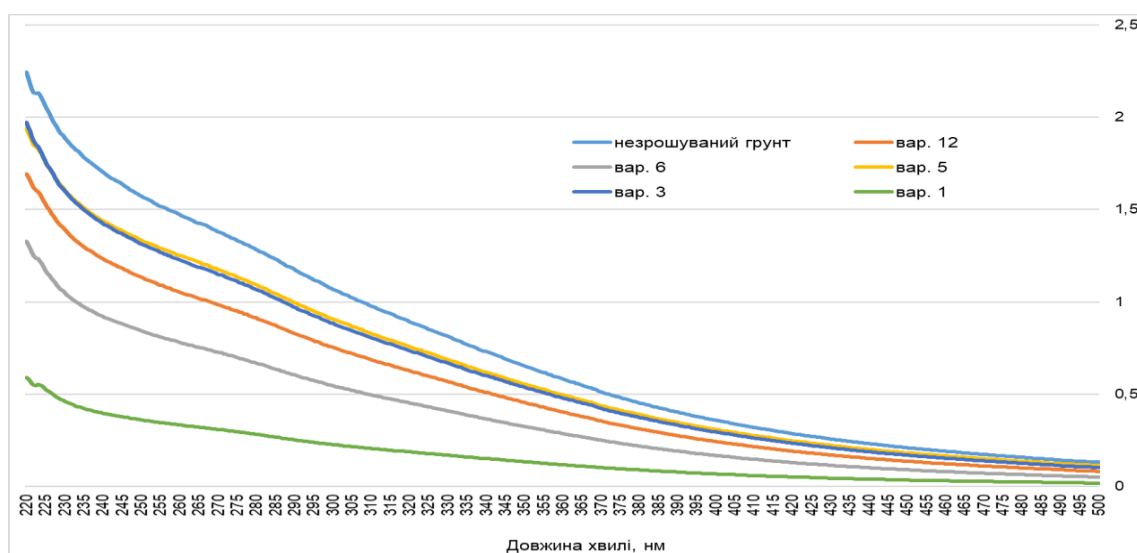


Рис. 2. Електронні спектри поглинання препаратів гумусових речовин в УФ та видимому діапазонах (шар ґрунту 0–30 см)

² ДСТУ 4362:2004^в Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2006–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 30 с.

Поглинання в УФ спектрі розчинами гумусових речовин зумовлено наявністю хромофорних зв'язків, а саме π-π електронною системою спряжених подвійних зав'язків ароматичних структур, що зумовлюють інтенсивність забарвлення розчину [19]. Інтенсивне поглинання в УФ діапазоні гумусовими речовинами пов'язане зі збільшенням концентрації низькомолекулярних ароматичних структур з подвійними вуглецевими зв'язками (C=C), що збільшує інтенсивність забарвлення гумусового розчину.

За результатами досліджень виявлено підвищення інтенсивності поглинання в УФ спектрі за довжини хвилі в діапазоні 200-470 нм розчинами препаратів гумусових речовин ґрунту варіантів 3, 5, 6, 12 та незрошуваного ґрунту порівняно з контролем (без застосування добрив). Спостерігається найвища амплітуда поглинання для незрошуваного ґрунту, а для варіанту 3 з органо-мінеральною та варіанту 5 з мінеральною системою вони були практично однакові. На варіанті 6 з органічною системою відмічена найменша інтенсивність УФ поглинання серед досліджуваних варіантів, окрім контролю.

Показник SUVA 254 nm (specific ultraviolet absorbtion – специфічне ультрафіолетове поглинання) за довжини хвилі 254 нм вказує на загальне поглинання розчинених органічних речовин ароматичної природи у розчині гумусових речовин. Дані таблиці 2 свідчать, що SUVA 254 nm збільшується на варіантах 3, 5, 6, 12 та незрошуваному ґрунті, що підтверджує достовірне підвищення концентрації ароматичних структур в розчині гумусових речовин ґрунту цих варіантів порівняно з ґрунтом контролю без добрив. Найбільш високе значення SUVA 254 nm розчинів відмічено на варіанті 5 з мінеральною системою та незрошуваному ґрунті, найменше – на варіанті 6 з органічною системою. У таблиці 2 наведено показники кольоровості (A300/A500nm) розчинів фракцій гумусових речовин досліджуваних варіантів. Звуження значення кольоровості або ступеню конденсації свідчить про підвищення інтенсивності забарвлення розчину гумусових речовин через збільшення вмісту хромофорних спряжених подвійних зав'язків вуглецю в ароматичних структурах.

Таблиця 2

Спектральні показники SUVA 254 nm та ступінь кольоровості A300/A500 розчинів фракцій гумусових речовин лабільної частини органічної речовини

Варіант досліджу	SUVA 254 nm	Амплітуда поглинання 300 nm	Амплітуда поглинання 500 nm	Ступінь кольоровості A300/A500
1	0,349	0,227	0,019	11,95
3	1,278	0,883	0,103	8,57
5	1,300	0,906	0,113	8,02
6	0,816	0,546	0,051	10,71
12	1,099	0,753	0,082	9,18
Незрошуваний ґрунт	1,529	1,069	0,131	8,16

Таким чином, підвищення вмісту ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками та інтенсивності забарвлення витяжок фракції гумусових речовин лабільної органічної речовини ґрунту відбувається на варіантах з системами удобрення та на незрошуваному ґрунті. Найбільший вміст ароматичних структур розчинів витяжок гумусових речовин виявлено у розчинах з варіантів з органо-мінеральною, мінеральною системами та незрошуваному ґрунті. Збільшення концентрації ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками, лабільної частини органічної речовини ймовірно пов'язано з активним новоутворенням молодих гумусових речовин, тобто інтенсивним термодинамічним відбором найбільш стійких органічних структур в результаті підвищення активності трансформації свіжої органічної речовини, що зумовлено дією систем удобрення. Тому незначні зміни вмісту загального вуглецю у ґрунті варіантів 3, 5 та у незрошуваному ґрунті можуть пояснюватися активною трансформацією лише лабільної частини органічної речовини, яка швидко розкладається (та вивільнює поживні речовини) і компенсується свіжим органічним матеріалом (за рахунок внесених добрив), але слабо стабілізується у більш зрілі гумінові структури, які впливають на загальний вміст вуглецю у ґрунті.

4. Висновки

На підставі аналізу літературних джерел доведено актуальність питання стабілізації вмісту органічного вуглецю, як одного із важливих дескрипторів здоров'я ґрунту, що забезпечує його стає функціонування. На прикладі чорнозему типового, що використовується у зрошуваній овочево-кормовій сівоzmіні, встановлено ефективність різних агрономічних практик в оптимізації вмісту гумусу зокрема різних систем удобрення та типу сівоzmіні. Внаслідок зміни сівоzmіні на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, а також за застосування різних систем удобрення відмічається позитивний ефект — підвищення вмісту гумусу у зрошуваному чорноземі типовому. У ґрунті шару 0–30 см відносно підвищення вмісту гумусу за застосування різних систем удобрення становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 % порівно з контрольним варіантом без добрив.

На варіантах з органічною та органо-мінеральною системами удобрення вміст гумусу був дещо вищим, ніж на варіантах з мінеральною та сидеральною системами. Найвищими значення цього показника були на варіанті з біологічною системою удобрення, що включала застосування гною (9 т/га сівоzmінної площі), сидератів і мікробних препаратів відповідно до схеми досліду.

За результатами спектроскопічного аналізу, основні зміни в складі гумусових речовин спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами. Підвищення вмісту ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками та посилення інтенсивності забарвлення витяжок фракції гумусових речовин лабільної органічної речовин ґрунту відбувається на досліджуваних варіантах з системами удобрення та в незрошуваному ґрунті. Найбільш високий вміст ароматичних структур у гумусових речовинах виявлено на варіантах з органо-мінеральною і мінеральною системами удобрення та у незрошуваному ґрунті.

Подяка. Автори висловлюють слова вдячності співробітникам Інституту овочівництва і баштанництва НААН за надану можливість проведення досліджень у стаціонарному польовому досліді і співробітникам лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» за допомогу у визначенні електронних спектрів поглинання препаратів гумусових речовин ґрунту.

Список використаних джерел

1. Panagos P., Broothaerts N., Ballabio C., Orgiazzi A., Rosa D., Borrelli P., ... Jones A. How the EU Soil Observatory is providing solid science for healthy soils. *European Journal of Soil Science*. 2024. Vol. 75, Is. 3. Article No. e13507. <https://doi.org/10.1111/ejss.13507>
2. Montanarella L., Panagos P. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy*. 2021. Vol. 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
3. Handayani I. P., Hale C. Healthy Soils for Productivity and Sustainable Development in Agriculture. 1st International Conference on Agriculture, Food, and Environment. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1018. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012038>
4. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів: постанова Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 р. № 848. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>
5. Chaplot V., Smith P. Cropping leads to loss of soil organic matter: How can we prevent it? *Pedosphere*. 2022. Vol. 33(1). P. 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.002>
6. Балюк С. А., Шимель В. В. Про стан та завдання управління органічним вуглецем ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2024. 102(6). С. 5-13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01>
7. Балюк С. А., Носко Б. С., Скрильчик Є. В. Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості. *Вісник аграрної науки*. 2016. 94(1). С. 11-17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-02>
8. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України; за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва. Київ: Аграрна наука, 2012. 239 с.
9. Медведєв В. В., Пліско І. В. Чорноземи як передумова сталого розвитку України. *Посібник українського хлібороба «Українські чорноземи на початку третього тисячоліття»*. 2016. Том 1. С. 65-70.
10. Балюк С. А., Медведєв В. В., Соловей В. Б., Воротинцева Л. І., Янєс Л. А. *Український чорнозем – 140 років після В. В. Докучаєва: сучасний стан, еволюція та управління*. Наукова монографія. Харків, 2021. 191 с.
11. Дегтярьов В. В., Щербаків О. Ю. Уміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальними змінами клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». С. 60-68. <https://doi.org/10.31073/acss95-06>
12. Резнік С. В., Гавва Д. В. Гумусовий стан чорнозему типового глибокого середньосуглинкового в умовах органічного й традиційного землеробства. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія*. 2023. 53(3). С. 65-69. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.9>

13. Ревтьє-Уварова А. В., Ніконенко В. М., Карацуба О. В., Сліденко О. І. Параметризація змін умісту органічного вуглецю залежно від системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2020. 98(11) С. 16-23. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-02>
14. Zhang N., Chen X., Wang J., Dong H., Han X., Lu X., ... Zou W. Anthropogenic soil management performs an important role in increasing soil organic carbon content in northeastern China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023. 350. 108481. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108481>
15. Bohoussou Y., Kou Y.-H., Yu W.-B., Lin B., Virk A., Zhao X., ... Zhang H.-L. Impacts of the components of conservation agriculture on soil organic carbon and total nitrogen storage: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 2022. 842. 156822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156822>
16. Voitovyk M., Prymak I., Tsyuk O., Melnyk V. Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system. *Plant and Soil Science*. 2023. 14(1), 9-21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>
17. Feng H., Han X., Zhu Y., Zhang M., Ji Y., Lu X., ... Zou W. Effects of long-term application of organic materials on soilwater extractable organic matter, fulvic acid, humic acid structure and microbial driving mechanisms. *Plant & Soil*. 2024. 501:323–341. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06522-z>
18. Балюк С. А. Зрошувані чорноземи Лісостепу і Північного Степу України: оцінка стану, охорона і підвищення родючості: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.03. Харків, 1995. 39 с.
19. Kudeyarova A. Yu. On the Information Capacity of the Electronic Spectra of Humic Substances. *Eurasian Soil Science*. 2021. 34(11). P. 1180-1187.

UDC 631.4:631.67

Effective agronomic practices to optimize humus content and quality in soil**L. I. Vorotyntseva*, R. V. Panarin****National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine**

* Corresponding author: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Received 7.11.2024, Revised 17.12.2024, Accepted 18.12.2024, Available online 27.12.2024

Abstract

The results of the study of quantitative and qualitative changes in organic matter (humus) of typical chernozem (Haplic Chernozem) irrigated with suitable water under different fertilization systems in vegetable-forage crop rotation within the framework of a field experiment are presented. The content of soil organic carbon is one of the main descriptors of soil health, and plays an important role in ensuring food security, achieving climate neutrality and preventing biodiversity loss. During the conducting the stationary experiment (1967–2024) on the non-fertilized irrigated variant a decrease of the humus content in the arable and subsoil layers of the soil compared to the non-irrigated control with a traditional fertilization system was established. The different fertilization systems — sideral, mineral, organic, organo-mineral and biological under irrigation contributed to the improvement of the carbon balance and the increase of humus content in the arable and subsoil layers of the soil compared to the control without fertilizers. Thus, in the soil of the 0–30 cm layer the increase of humus content in different variants was 6.0–14.7 %, and in the 30–50 cm layer it was 4.4–22.6 %. The application of agronomic practice of optimizing the content of humus through fertilization also affected changes in the quality of organic matter (humus). According to the results of the spectroscopic analysis, the absorption spectra of humic substances of the soil in the different variants of the experiment are represented by a typical sloping line. This indicates the similarity of the structural organization of humic substances. The main changes are observed in the UV range. This is due to aromatic structures and polyphenolic functional groups. The highest content of aromatic structures in preparations of humic substances was found in variants with organo-mineral and mineral fertilization systems and in non-irrigated soil.

Key words: humus; organic matter; irrigation; fertilizer system; absorption spectra; typical chernozem.**Citing:** Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. (2024). Effective agronomic practices to optimize humus content and quality in soil. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 43-52 doi: 10.31073/acss97-05 [in Ukrainian]**References**

1. Panagos, P., Broothaerts, N., Ballabio, C., Orgiazzi, A., Rosa, D., Borrelli, P... Jones A. (2024). How the EU Soil Observatory is providing solid science for healthy soils. *European Journal of Soil Science?* 75(3), Article No. e13507. <https://doi.org/10.1111/ejss.13507>
2. Montanarella, L., & Panagos, P. (2021). The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy*, 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
3. Handayani, I. P., & Hale, C. (2022). Healthy Soils for Productivity and Sustainable Development in Agriculture. In *1st International Conference on Agriculture, Food, and Environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1018 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012038>
4. On the approval of the Procedure for conducting land and soil monitoring: resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07/23/2024, No. 848. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> [In Ukrainian]
5. Chaplot, V., & Smith, P. (2022). Cropping leads to loss of soil organic matter: How can we prevent it? *Pedosphere*, 33(1), 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.002>
6. Baliuk, S., & Shymel, V. (2024). On the state and tasks of soil organic carbon management. *Bulletin of Agricultural Science*, 102(6), 5-13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01> [In Ukrainian]

7. Baliuk, S., Nosko, B., & Skrylnyk, Ye. (2016). Modern problems of biological degradation of black earth and ways of preserving their fertility. *Bulletin of Agricultural Science*, 94(1), 11-17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-02> [In Ukrainian]
8. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V. (Eds). (2012). Strategy of balanced use, reproduction and management of soil resources of Ukraine. Kyiv: Agrarna nauka. [In Ukrainian].
9. Medvedev, V. V., & Plisko, I. V. (2016). Chernozems as a prerequisite for the sustainable development of Ukraine. *Ukrainian farmer's guide "Ukrainian black earth at the beginning of the third millennium"*, 1, 65-70. [In Ukrainian].
10. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V., Solovey, V. B., Vorotyntseva, L. I., & Janse, L. A. (2021). *Ukrainian Chernozem – 140 years after V. V. Dokuchaev: state, evolution and management*. Scientific monograph. Kharkiv. [In Ukrainian].
11. Dehtiarov, V. V., & Shcherbakov, O. Yu. (2023). Humus content in chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 60-68. <https://doi.org/10.31073/acss95-06> [In Ukrainian].
12. Rieznik, S. V., & Havva, D. V. (2023). Humus state of deep typical chernozem loam under organic and traditional agriculture. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology*, 53(3), 65-69. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.9> [In Ukrainian].
13. Revtie-Uvarova, A., Nikonenko, V., Karatsiuba, O., & Slidenko, O. (2020). Parameterization of changes in soil organic carbon content depending on the fertilization system. *Bulletin of Agricultural Science*, 98(11), 16-23. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-02>
14. Zhang, N., Chen, X., Wang, J., Dong, H., Han, X., Lu, X., ... Zou, W. (2023). Anthropogenic soil management performs an important role in increasing soil organic carbon content in northeastern China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 350, 108481. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108481>
15. Bohoussou, Y., Kou, Y.-H., Yu, W.-B., Lin, B., Virk, A., Zhao, X., ... Zhang, H.-L. (2022). Impacts of the components of conservation agriculture on soil organic carbon and total nitrogen storage: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 842, 156822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156822>
16. Voitovyk, M., Prymak, I., Tsyuk, O., & Melnyk, V. (2023). Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system. *Plant and Soil Science*, 14(1), 9-21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>.
17. Feng, H., Han, X., Zhu, Y., Zhang, M., Ji, Y., Lu, X., ... Zou, W. (2024). Effects of long-term application of organic materials on soilwater extractable organic matter, fulvic acid, humic acid structure and microbial driving mechanisms. *Plant & Soil*, 501, 323–341. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06522-z>
18. Baliuk, S. A. (1995). Irrigated chernozems of the Forest-Steppe and Northern Steppe of Ukraine: assessment of condition, protection and increase of fertility: abstract. diss. ... Dr. Agricultural Sciences : 06.01.03. Kharkiv [In Ukrainian].
19. Kudayarova, A. Yu. (2021). On the Information Capacity of the Electronic Spectra of Humic Substances. *Eurasian Soil Science*, 34(11), 1180-1187.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ STUDY OF YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.43:631.84

Якість гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення¹

О. О. Шовкун^{а*}, М. А. Попірний^б

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 9.11.2024 Отримано після доопрацювання 17.12.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	У статті представлено результати аналітичних досліджень якості гумусових речовин у дерново-підзолистому ґрунті залежно від системи удобрення. Актуальність роботи зумовлена необхідністю розробки ефективних підходів до підвищення родючості ґрунту шляхом управління трансформаціями якості складників його органічної речовини (гумусу). Проби ґрунту, відібрано у польовому досліді, закладеному у 1990 році на території Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції у Волинській області в зоні Полісся. Ґрунт дослідної ділянки — дерново-слабопідзолистий глинисто-піщаний (Albic Agrenosols). Варіанти дослідів, обрані для досліджень: контроль (без добрив); гній 10 т/га; гній у поєднанні з мінеральними добривами або сидератами; сидерати. Методи дослідження гумусових речовин: (1) електронна спектроскопія в ультра-фіолетовому і видимому діапазонах (200–600 нм) для оцінки трансформацій ароматичних структур гумінових кислот; (2) проникаюча гель-хроматографія для вивчення молекулярної дисперсності та структурної організації гумусових речовин. Результати спектроскопічного аналізу показали, що гумінові кислоти у ґрунті з різних варіантів удобрення графічно характеризуються однотипною похилою лінією поглинання, що свідчить про подібність структурної організації гумусових речовин. Найвища інтенсивність поглинання спостерігається в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами. Органічна та орґано-мінеральна системи удобрення сприяли підвищенню концентрації стійких ароматичних сполук у гумінових кислотах. Хроматографічний аналіз виявив бімодальний розподіл молекулярних фракцій гумінових речовин. Системи удобрення сидерат та сидерат+гній знижували вміст низькомолекулярних ароматичних структур у гумусових речовинах, що вказує на їхню значущість для підвищення стабільності органічної речовини. Встановлено, що системи удобрення значно впливають на якість гумусових речовин змінюючи співвідношення ароматичних і гідрофільних структур. Особливості молекулярної гетерогенності гумусових речовин визначають їхню стабільність у ґрунті. Для поліпшення якості органічної речовини (гумусу) необхідно враховувати трансформації низькомолекулярних ароматичних сполук і впроваджувати підходи, які сприятимуть акумуляції орґанічного вуглецю.

* E-mail: as131296123@gmail.com

ORCID: ^а0009-0008-4350-1071, ^б0009-0002-0651-9324

Форма цитування: Шовкун О. О., Попірний М. А. Якість гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 97 С. 53–60. doi: 10.31073/acss97-06

1. Вступ

Сучасне уявлення про структурну організацію та розуміння властивостей гумусових речовин (ГР) базується на принципах ієрархічної самоорганізації гідрофільно-гідрофобних міцелярних частинок різного розміру, що існують у динамічній рівновазі, які за певних умов можуть зазнавати перетворень, змінюючи баланс якості органічної речовини та структури ґрунту [1]. Міцелярні частинки гумінових кислот (ГК) утворюються в результаті молекулярної або надмолекулярної асоціації низькомолекулярних амфіфільних дуже малого розміру різноманітних біомолекул, утворених в результаті біодеградації органічного матеріалу [1, 2]. Уявлення про ГР у ґрунті як гідрофобно-гідрофільні міцелярні

¹Роботу виконано під керівництвом д. с.-г. н., проф. Є. В. Скрильника

агрегати дає важливу інформацію щодо розуміння якості органічної речовини та структуроутворення у ґрунті: накопичення органічної речовини в ґрунті зумовлено гідрофобними взаємодіями; гумінова надмолекулярна структура може зазнавати процесів зміни з гідрофільними молекулами, що утворюються в результаті розкладу біологічних тканин; гідрофобні зв'язки також призводять до наступної стабілізації орґано-мінеральних комплексів і загальної структури ґрунту [2, 3, 4]. Зазначається що, фрактальні структури ГР у ґрунті є наслідком складних взаємодій на молекулярному рівні, що сприяють утворенню гомогенних агрегатів [5, 6].

Добре відомо, що збільшення кількості гідрофобних мотивів в ГК викликає підвищення коефіцієнта агрегації та появу великих агрегатів ГК, що закріплюються у ґрунті [5, 7, 8]. Процес прогресуючої акумуляції гідрофобних молекул ГК та їх агрегації у великі міцелярні агрегати призводить до утворення мікроагрегатів, гідрофобність яких підвищує структурну стабільність ґрунту та подовжує час перебування пулів органічного вуглецю ґрунту.

Гель-хроматографія є одним з основних інструментів для аналізу гумусових речовин, дозволяючи розділити фракції за молекулярною масою та структурою. Вона дає змогу визначити їхню роль у формуванні орґано-мінеральних комплексів та стабільності ґрунтових властивостей. Електронна спектроскопія дозволяє визначати характерні піки поглинання в ультрафіолетовому (UV) та видимому діапазонах, що пов'язано з різними типами електронних переходів у гумусових речовинах. Це допомагає ідентифікувати їх хімічні групи, такі як ароматичні ядра, альдегіди, карбоксильні та фенольні групи [3, 9].

Комбінація цих методів забезпечує поглиблене дослідження гумусових речовин. Гель-хроматографія дозволяє визначити фракції за молекулярною масою, тоді як спектроскопічні методи аналізують їхні функціональні групи та молекулярні зв'язки. Цей підхід сприяє детальному аналізу змін у гумусових речовинах під впливом різних факторів [2].

Актуальність вивчення змін якості ГР у дерново-підзолистих ґрунтах зумовлена поширенням цих ґрунтів у зоні Полісся та їх низькою природною родючістю. Одним із ключових чинників, що впливає на гумусові речовини, є система удобрення, якою можуть бути викликані зміни кількісних та якісних характеристик органічних речовин у ґрунті. Вивчення впливу органічного, мінерального і комбінованого удобрення на гумусові речовини дозволяє не лише оцінити інтенсивність дії, а й сприяє розробці ефективних підходів до підвищення родючості ґрунтів.

Таким чином, дослідження особливостей змін якості гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення є актуальним завданням, що має як наукове, так і практичне значення.

Метою статті є оприлюднення результатів дослідження якості гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за умов використання різних систем удобрення у польовому багаторічному досліді. Результати роботи дозволять оцінити ефективність органічної, мінеральної і комбінованої систем удобрення з огляду на їх вплив на органічну речовину ґрунту — гумус, що є ключовим фактором у забезпеченні сталого агропродукування.

2. Об'єкт та методи досліджень

Дослідження проводили в лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» в пробах ґрунту, відібраних у багаторічному польовому досліді, на території Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН України, що розташована в селищі Рокині Луцького району Волинської області в природно-кліматичній зоні Полісся.

Ґрунт дослідної ділянки — дерново-слабопідзолистий глинисто-піщаний (Albic Arenosols). Дослід було закладено у 1990 р. і для досліджень обрано п'ять варіантів: 1 — без добрив; 3 — гній 10 т/га + $N_{60}P_{37}K_{50}$; 5 — гній 10 т/га; 7 — гній 10 т/га + сидерат; 11 — сидерат.

Для детального вивчення якості гумусових речовин і процесів їх самоорганізації за різних систем удобрення було проведено виділення гумусових речовин з ґрунту та подальше їх екстрагування для виділення гумінових кислот (ГК) згідно з методикою Тюріна

в модифікації Пономарьової та Плотникової за ДСТУ 7828-2015². ГК виділяли із лужного екстракту ГР осадженням за стандартними методами лугово-кислотної екстракції [10]. Для дослідження розчинів ГР та ГК було застосовано методи, які дозволяють виявити особливості якості гумусових речовин і процеси їх самоорганізації в умовах різних систем удобрення.

1. Метод електронної спектроскопії у видимому та УФ спектрах довжин хвиль застосовували для аналізування препаратів ГК, отриманих після процедури групового фракціонування органічної речовини дерново-підзолистого ґрунту. Електронні спектри поглинання препаратів ГК були отримані на спектрофотометрі UIT SF-0171 у спектральному діапазоні 200–600 нм. Вимірювання проводили у кварцових кюветах з оптичним шляхом 1 см, використовуючи розчин 0,1-н NaOH як стандарт для виключення впливу спектра поглинання лугового розчинника, який застосовували для виділення ГК.

2. Проникаюча гель-хроматографія препаратів ГК і ГР виконувалась відповідно до класичного методу Остермана [11] із модифікаціями Познера, Сфіфта та Пиколо, розробленими спеціально для аналізу гумусових речовин [12, 13].

У проникаючій гель-хроматографії розділення відбувається завдяки різній здатності молекул проникати в пори сорбенту, який зазвичай є гелем з пористою структурою. Молекули з великими розмірами не проникають у пори і рухаються швидше, в той час як молекули з меншими розмірами проникають у пори і затримуються, що призводить до їх повільнішого руху. Таким чином, компоненти суміші виходять з колонки в порядку зменшення їхніх розмірів.

Гель-хроматографію препаратів ГР та ГК виконано з гранульованим гелем Сефадекс G-25. Для фракціонування препаратів використовували стандартну хроматографічну колонку об'ємом 200 мл, заповнену Сефадексом G-25 (діапазон розміру гранул 20-80 мкм, об'єм поглинання 4-6 мл на 1 г гелю).

Вилучення з колонки (елюцію) ГР та ГК виконували за допомогою дистильованої води як елюента, і окремі різномолекулярні фракції вимитих ГК (гумінові фракції) збирали в пробірки об'ємом 3 мл. Реєстрацію гумінових фракцій після проведення хроматографічного розділення здійснювали за допомогою того ж спектрофотометра UIT SF-0171. Вимірювання проводили при довжині хвилі 270 нм, яка відповідає характеристичному поглинанню поліфенольних кетонних груп ароматичних структур, властивих гуміновим кислотам.

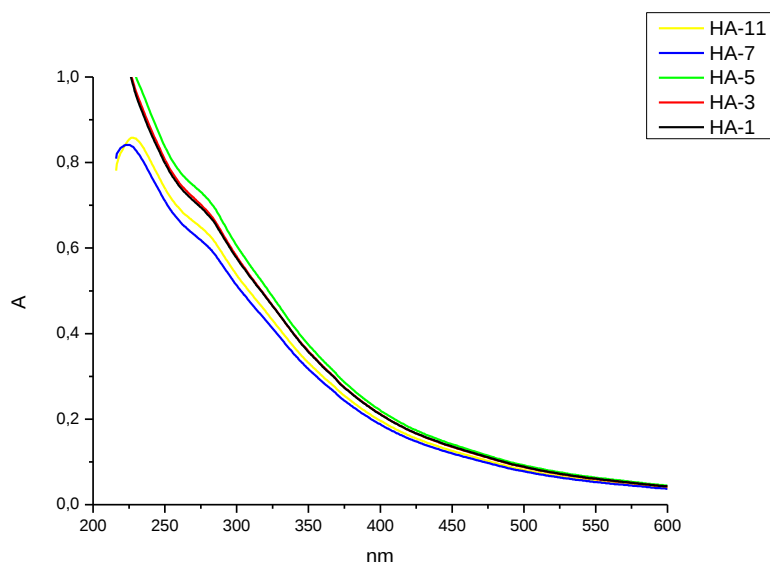
3. Результати дослідження

3.1. Електронні спектри препаратів ГК у видимому та УФ діапазонах довжин хвиль

На рисунку 1 представлено спектри поглинання препаратів ГК, виділених із ґрунту методом лугово-кислотної екстракції. На різних варіантах досліду лінії спектру відрізняються за амплітудою і нахилом. Загалом спектри демонструють похилу лінію з інтенсивністю поглинання, яка зменшується зі збільшенням довжини хвиль. Це є типовою ознакою загалом всіх гумусових речовин — складних гетерогенних полідисперсних систем з варіативним складом та відсутністю чіткої структури. Подібність форм спектральних кривих свідчить про однакову структурну організацію ГК у виділених препаратах, що відповідає відомим з літератури характеристикам гумусоподібних речовин. Метод електронної спектроскопії поглинання в УФ/видимому діапазонах дозволив виявити трансформаційні зміни ГК під впливом різних систем удобрення. Основні зміни спостерігаються в УФ-діапазоні довжини хвиль (200–400 нм), що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами.

Найбільш висока інтенсивність поглинання спостерігається в УФ-діапазоні, що зумовлено значною кількістю ароматичних вуглецевих структур. Це пов'язано з наявністю подвійних зв'язків (C=C) в ароматичних кільцях, які поглинають у діапазоні 220–240 нм, а також з поліфенольними системами, кетонами (C=O) і карбоксильними групами, що забезпечують поглинання у смузі 270–280 нм.

² ДСТУ 7828:2015. Якість ґрунту. Визначення групового та фракційного складу гумусу за методом Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотникової [Чинний від 2015-22-06] Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 9 с.



Позначення. Варіанти дослідів: HA-1 — без добрив (контроль), HA-3 — органо-мінеральна система удобрення; HA-5 — органічна система удобрення; HA-7 — сидерати сукупно з гноєм; HA-11 — сидерати.
A — інтенсивність амплітуди поглинання; *nm* — довжина хвилі у нанометрах

Рис. 1. Спектри поглинання препаратів ГК в УФ і видимому діапазонах

У спектрах в УФ діапазоні було зафіксовано значні зміни амплітуди поглинання препаратами ГК, що свідчить про різну концентрацію ароматичних структур у досліджуваних зразках.

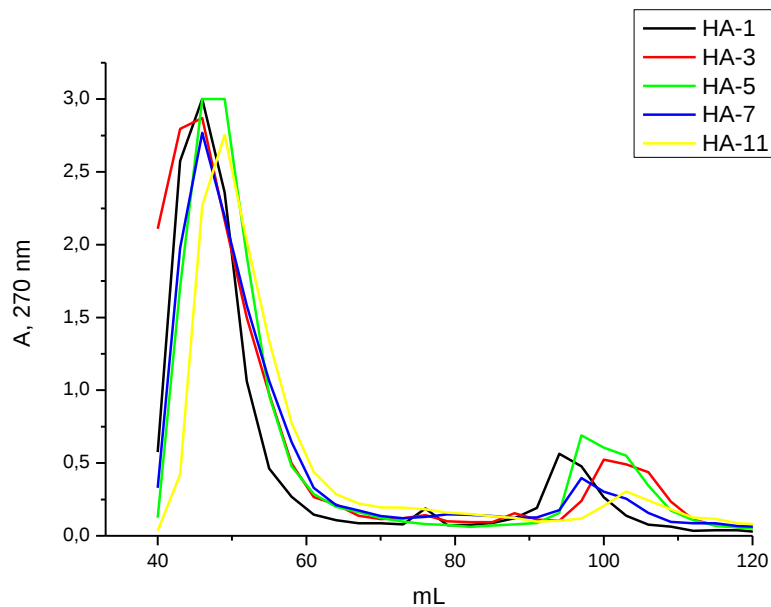
У той же час спостерігається підвищення амплітуди (інтенсивності) УФ-поглинання ГК у варіантах з органічною (№ 5) та органо-мінеральною (№ 3) системами удобрення. Це вказує на вплив типу удобрення на вміст і концентрацію стійких ароматичних структур у гумінових кислотах, що може бути наслідком трансформацій якості гумусу за різного удобрення.

Системи удобрення, такі як сидерат (№ 11) та сидерат + гній (№ 7), на дерново-підзолистому ґрунті знижують концентрацію ароматичного вуглецю у ГК, виділених після декальціювання ґрунту. Це вказує на зменшення вмісту термодинамічно стійких органічних сполук у новоутворених рухомих і стабільних гумінових кислотах ґрунту, що може впливати на стабільність та якість органічної речовини ґрунту загалом.

3.4. Хроматографічні профілі препаратів ГК і ГР

На рисунках 2 і 3 показано хроматографічні профілі розділення препаратів гумінових кислот (ГК) і гумусових речовин (ГР) на фракції. Як видно на рисунку 2, всі хроматографічні профілі ГР, екстрагованих із ґрунту на різних варіантах дослідів за вищенаведеним методом мають однакову форму кривих, що вказує на подібність молекулярного складу та структурної організації гумусових речовин як дуже полідисперсних, молекулярно-гетерогенних і складних колоїдних систем. Профілі характеризуються бімодальним розподілом, що є типовим для гумусоподібних речовин.

Усі хроматографічні профілі ГР поділяються на дві чітко виражені високомолекулярну та низькомолекулярну гумусові фракції з більшим об'ємом утримання. Низькомолекулярні фракції мають більш виражений гідрофільний характер, що зумовлений наявністю низькомолекулярних полярних структур [3, 11]. Форма кривих та інтенсивність поглинання високомолекулярної фракції залишаються однаковими для всіх варіантів, що свідчить про стабільність структури та властивостей цієї фракції незалежно від змін. Друга — низькомолекулярна фракція гумусових речовин має низьку інтенсивність поглинання та менший об'єм елюції порівняно з першою фракцією.



Позначення. Варіанти досліджу: НА-1 — без добрив (контроль), НА-3 — органо-мінеральна система удобрення; НА-5 — органічна система удобрення; НА-7 — сидерати сукупно з гноєм; НА-11 — сидерати.
А — інтенсивність амплітуди поглинання, mL — об'єм елюції, мл

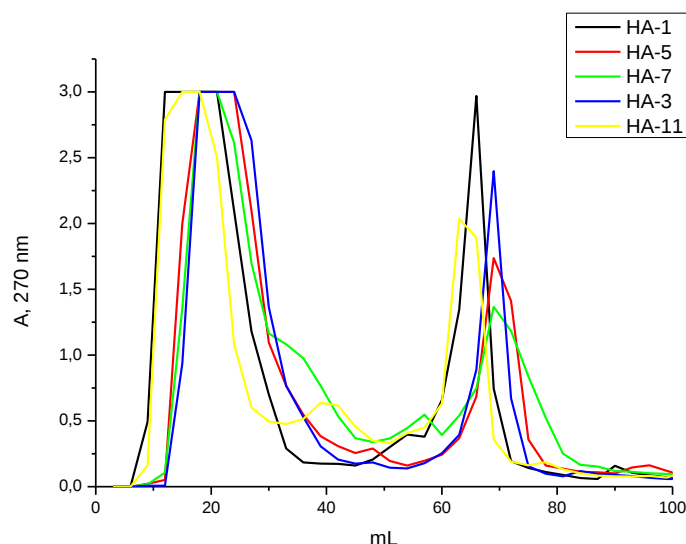
Рис. 2. Хроматографічний профіль фракціонування зразків препаратів ГР

Профілі другої фракції ГР на всіх варіантах мають подібні форми кривих, що відрізняються лише інтенсивністю. Спостерігається зниження інтенсивності поглинання низькомолекулярної фракції ГР ґрунту з варіантів удобрення сидерат (№ 11) і сидерат+гній (№ 7), що вказує на зниження кількості низькомолекулярних ароматичних сполук у гумусових речовинах.

Виявлено (Рис. 3), що хроматографічний профіль препарату гумінових кислот (ГК) на контрольному варіанті без удобрення (№ 1) демонструє виражену другу фракцію низькомолекулярних органічних сполук. Це свідчить про більшу молекулярну гетерогенність гумінової фракції порівняно з іншими варіантами, де можливе додавання мінеральних добрив або інших чинників, які сприяють стабілізації молекулярної структури. Високий вміст низькомолекулярних сполук може впливати на властивості препарату, зокрема його розчинність, біологічну активність та здатність взаємодіяти з поживними речовинами. Таким чином, контрольний варіант демонструє суттєву гетерогенність гумінової фракції, яка може мати вплив на ефективність застосування препарату.

Для характеристики цієї другої фракції було додатково проведено спектроскопічний аналіз в УФ та видимому діапазонах, за результатами якого було виявлено поглинання в області 400-500 нм, що відповідає поглинанню пігменту хлорофілу b, а також інших низькомолекулярних ароматичних структур, таких як флавоноїди (похідні фенольних структур), що підвищують гідрофільність гумінової системи.

Таким чином, результати хроматографічного розділення препаратів ГК і ГР показують, що всі досліджувані системи удобрення призвели до зниження вмісту низькомолекулярних фракцій ароматичних структур у ГК. Разом з тим, на хроматографічному профілі ГК ґрунту під сидератом (№ 11) спостерігається наявність незначної фракції низькомолекулярних сполук, що, ймовірно, пов'язано із включенням рослинних пігментів сидерату до складу гумінової молекулярної системи.



Позначення. Варіанти дослідів: HA-1 — без добрив (контроль), HA-3 — органо-мінеральна система удобрення; HA-5 — органічна система удобрення; HA-7 — сидерати сукупно з гноєм; HA-11 — сидерати. A — інтенсивність амплітуди поглинання, mL — об'єм елюції, мл

Рис. 3. Хроматографічний профіль розділення зразків препаратів ГК

4. Висновки

В результаті проведених досліджень препаратів гумусових речовин ґрунту за різних систем удобрення встановлено, що їхній якісний склад визначається низькомолекулярними сполуками ароматичної природи, включаючи пігменти. Системи удобрення впливають на молекулярний розподіл у фракціях ГК, що призводить до збільшення молекулярної дисперсності але зниження молекулярної гетерогенності порівняно з неудобреним варіантом дослідів, особливо в ГК ґрунту під сидератом та сидерат + гній. Ці трансформації складу впливають на якість гуминової системи та ґрунту, що, своєю чергою, викликає перерозподіл фракційного складу гумусу, що змінює його якість.

Таким чином, необхідно звернути увагу на зміни низькомолекулярних ароматичних сполук у ГК, а також розробляти методи стабілізації менших за розмірами амфіфільних і низькомолекулярних органічних сполук у ґрунті, щоб підвищити стабільність, якість органічної речовини (гумусу) та сприяти акумуляції органічного вуглецю.

Список використаних джерел

1. Angelico R., Colombo C., Di Iorio E., Brtnický M., Fojt J., Conte P. Humic substances: from supramolecular aggregation to fractal conformation — is there time for a new paradigm? *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(4). 2236. <https://doi.org/10.3390/app13042236>
2. Baveye P. C., Wander M. The (Bio)Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the “New View” Still Considered Novel After More Than 80 Years? *Frontiers in Environmental Science*. 2019. Vol. 7. 27. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027>
3. Piccolo A., Drosos M. Chapter Seven - The supramolecular structure of the soil humeome and the significance of humification. *Advances in Agronomy*. 2024. Vol. 188. P. 405–455. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.06.006>
4. Escalona Y., Petrov D., Galicia-Andrés E., Oostenbrink C. Exploring the macroscopic properties of humic substances using modeling and molecular simulations. *Agronomy*. 2023. Vol. 13(4). 1044. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041044>
5. Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: the new view. *Environmental science & technology*. 2005. Vol. 39(23). 9009-9015. <https://doi.org/10.1021/ES050778Q>
6. Janoš P., Tokarová V. Characterization of coal-derived humic substances with the aid of low-pressure gel permeation chromatography. *Fuel*. 2002. Vol. 81(8). P. 1025-1031. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00010-8)
7. Esfahani M. R., Stretz H. A., Wells M. J. M. Abiotic reversible self-assembly of fulvic and humic acid aggregates in low electrolytic conductivity solutions by dynamic light scattering and zeta potential investigation. *Sci. Total Environ*. 2015. Vol. 537. P. 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.001>

8. Jovanovic U. D., Marcovic M. M., Čokeša Đ. M., Živković N. V., Radmanović S. B. Self-aggregation of soil humic acids with respect to their structural characteristics. *J. Serb. Chem. Soc.* 2022. Vol. 87(6). P. 761–773. <https://doi.org/10.2298/JSC211125010J>
9. Mignone R., Martin M., Vieyra F., Palazzi V., De Mishima B., Mártire D., Borsarelli C. (). Modulation of Optical Properties of Dissolved Humic Substances by their Molecular Complexity †. *Photochemistry and Photobiology*. 2012. 88(4). P. 792-800. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2012.01135.x>
10. Piccolo A. Characteristics of soil humic extracts obtained by some organic and inorganic solvents and purified by HCl-HF treatment. *Soil Science*. 1988. 146(6). P. 418–426. <https://doi.org/10.1097/00010694-198812000-00003>
11. Osterman L. A. *Chromatography of proteins and nucleic acids*. Nauka, 1985. 536 p.
12. Swift R. S., Posner A. M. Gel chromatography of humic acid. *Journal of Soil Science*. 1971. 22. P. 237–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1971.tb01610.x>
13. Piccolo A., Nardi S., Concheri G. Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size-exclusion chromatography. *Chemosphere*. 1996. 33(4). P. 595–602. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00210-x](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00210-x)

UDC 631.43:631.84

Quality of humus substances in sod-podzolic soil under different fertilization systems

O. O. Shovkun*, M. A. Popirny

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

* Corresponding author: as131296123@gmail.com

Received 9.11.2024, Revised 17.12.2024, Accepted 18.12.2024, Available online 27.12.2024

Abstract

The article presents the results of analytical studies of the quality of humus substances in sod-podzolic soil depending on the fertilization system. The relevance of the work is due to the need to develop effective approaches to increasing soil fertility by managing transformations of the quality of its organic matter (humus) components. Soil samples were taken in a field experiment established in 1990 on the territory of the Volyn State Agricultural Experiment Station in the Volyn region in the Polissya zone. The soil of the experimental site is sod-weakly podzolic clayey-sandy (Albic Arenosols). Experiment options selected for research: control (without fertilizers); manure 10 t/ha; manure in combination with mineral fertilizers or green manure; green manure. Methods for studying humic substances: (1) electron spectroscopy in the ultraviolet and visible ranges (200–600 nm) to assess the transformations of aromatic structures of humic acids; (2) gel permeation chromatography to study the molecular dispersion and structural organization of humic substances. The results of spectroscopic analysis showed that humic acids in soil from different fertilizer options are graphically characterized by the same type of inclined absorption line, which indicates the similarity of the structural organization of humic substances. The highest absorption intensity is observed in the UV range, which is associated with aromatic structures. Organic and organo-mineral fertilizer systems contributed to an increase in the concentration of stable aromatic compounds in humic acids. Chromatographic analysis revealed a bimodal distribution of molecular fractions of humic substances. The siderate and siderate+manure fertilization systems reduced the content of low-molecular aromatic structures in humic substances, which indicates their importance for increasing the stability of organic matter. It was established that fertilization systems significantly affect the quality of humic substances by changing the ratio of aromatic and hydrophilic structures. The features of the molecular heterogeneity of humic substances determine their stability in the soil. To improve the quality of organic matter (humus), it is necessary to take into account the transformations of low-molecular aromatic compounds and implement approaches that will contribute to the accumulation of organic carbon

Keywords: humic substances; sod-podzolic soil; fertilization systems; gel chromatography; UV spectroscopy; aromatic structures

Citing: Shovkun, O. O., Popirny, M. A. (2024). Quality of humus substances in sod-podzolic soil under different fertilization systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 53-60. [doi: 10.31073/acss97-06](https://doi.org/10.31073/acss97-06) [in Ukrainian]

References

1. Angelico, R., Colombo, C., Di Iorio, E., Brtnický, M., Fojt, J., & Conte, P. (2023). Humic substances: from supramolecular aggregation to fractal conformation — is there time for a new paradigm? *Applied Sciences*, 13(4), 2236. <https://doi.org/10.3390/app13042236>
2. Baveye, P. C., & Wander, M. (2019). The (bio)chemistry of soil humus and humic substances: why is the “new view” still considered novel after more than 80 years? *Frontiers in Environmental Science*, 7, 27. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027>
3. Piccolo, A., & Drosos, M. (2024). Chapter Seven – The supramolecular structure of the soil humeome and the significance of humification. *Advances in Agronomy*, 188, 405–455. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.06.006>
4. Escalona, Y., Petrov, D., Galicia-Andrés, E. & Oostenbrink, C. (2023). Exploring the macroscopic properties of humic substances using modeling and molecular simulations. *Agronomy*, 13(4), 1044. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041044>
5. Sutton, R., & Sposito, G. (2005). Molecular structure in soil humic substances: the new view. *Environmental science & technology*, 39(23), 9009-9015. <https://doi.org/10.1021/ES050778Q>
6. Janoš, P., & Tokarová, V. (2002). Characterization of coal-derived humic substances with the aid of low-pressure gel permeation chromatography. *Fuel*, 81(8), 1025-1031. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00010-8)

7. Esfahani, M. R., Stretz, H. A., & Wells, M. J. M. (2015). Abiotic reversible self-assembly of fulvic and humic acid aggregates in low electrolytic conductivity solutions by dynamic light scattering and zeta potential investigation. *Sci. Total Environ*, 537, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.001>
8. Jovanovic, U. D., & Marcovic, M. M., Čokeša, Đ. M., Živković, N. V., & Radmanović, S. B. (2022). Self-aggregation of soil humic acids with respect to their structural characteristics. *J. Serb. Chem. Soc.*, 87(6), 761–773. <https://doi.org/10.2298/JSC211125010J>
9. Mignone, R., Martin, M., Vieyra, F., Palazzi, V., De Mishima, B., Mártire, D., & Borsarelli, C. (2012). Modulation of Optical Properties of Dissolved Humic Substances by their Molecular Complexity †. *Photochemistry and Photobiology*, 88(4), 792-800. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2012.01135.x>.
10. Piccolo, A. (1988). Characteristics of soil humic extracts obtained by some organic and inorganic solvents and purified by HCl-HF treatment. *Soil Science*, 146(6), 418–426. <https://doi.org/10.1097/00010694-198812000-00003>
11. Osterman, L. A. (1985). *Chromatography of proteins and nucleic acids*. Nauka.
12. Swift, R. S., & Posner, A. M. (1971). Gel chromatography of humic acid. *Journal of Soil Science*, 22, 237–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1971.tb01610.x>
13. Piccolo, A., Nardi, S., & Concheri, G. (1996). Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size-exclusion chromatography. *Chemosphere*, 33(4). 595–602. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00210-x](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00210-x)

Шановні колеги!

Наш Інститут, незважаючи на важкі обставини, зумовлені повномасштабною агресією російської федерації, продовжує здійснювати науково-дослідні роботи і публікувати результати досліджень. Одним із основних наукових періодичних видань є рецензований науковий збірник статей «Агрохімія і ґрунтознавство». Згідно з наказом МОН України №1643 від 28.12.2019 збірник включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора філософії і доктора сільськогосподарських наук (спеціальність «201 Агрономія») та біологічних наук (спеціальність «091 Біологія»). Збірник індексується у CrossRef і кожній статті присвоюється цифровий ідентифікатор DOI. Повні тексти статей доступні на сайті збірника (<http://agrochemsoilsci.org/>) і на порталі Національної бібліотеки України ім. В. І. Вернадського.

Запрошуємо Вас опублікувати у збірнику «Агрохімія і ґрунтознавство» результати Ваших наукових досліджень, поділитися з товариством науковців України своїми висновками і пропозиціями з усіх проблем ґрунтознавства, агрохімії, меліорації й охорони ґрунтів. Ми намагаємося розширити географію авторського колективу збірника для якомога більшого поширення наукових ідей, втілених у дослідницькі успіхи. Надсилайте Ваші рукописи до Редколегії збірника, запрошуйте також Ваших колег і аспірантів.

*З повагою,
головний редактор,
професор, академік НААН,
директор інституту
Святослав БАЛЮК*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**АГРОХІМІЯ і
ҐРУНТОЗНАВСТВО**

міжвідомчий тематичний науковий збірник

2024
Випуск 97

Відповідальний за випуск канд. с.-г. наук Т. М. Лактіонова

Адреса редакції: 61024, Харків, вул. Михайля Семенка, 4,
тел.: (057) 704-16-69
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com;

[www. agrochemsoilsci.org](http://www.agrochemsoilsci.org)

Підписано до друку 18.12.2024. Формат 60×90/8.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура «Arial».
Ум. друк. арк. 3,875. Наклад 100 прим. Зам. № 0824

Виготовлювач ФОП Рубашкін Д. Ю.
вул. Маршала Бажанова, 28, м. Харків, 61002
Тел. (057) 701-0-701
Свідотцтво суб'єкта видавничої справи №6157 від 25.04.2018 р.