

УДК 631.816:631.417.1

© 2020

ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ЗМІН УМІСТУ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

А.В. Ревтьє-Уварова¹, В.М. Ніконенко²,
О.В. Карацюба³, О.І. Сліденко⁴

¹ кандидат сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹alina_rev@meta.ua, ²nikonenko_slava@ukr.net,

³380977360876elena@gmail.com, ⁴kasanka17@meta.ua

ORCID: ¹0000-0002-6838-5440, ²0000-0002-4842-2283,

³0000-0002-5584-6797, ⁴0000-0002-3948-0668

Надійшла 28.07.2020

Мета. Визначити параметри змін умісту органічного вуглецю в чорноземі типовому залежно від тривалого застосування різних систем удобрення культур польової сівозміни в Лісостепу Лівобережному високому України. **Методи.** Польовий — для встановлення впливу систем застосування добрив на гумусний стан чорнозему типового, лабораторно-аналітичний — для визначення умісту органічного вуглецю у ґрунті, розрахунковий — для розрахунку запасів органічного вуглецю та гумусу, математико-статистичний — для оцінки достовірності отриманих даних. **Результати.** Визначено, що перед закладанням стаціонарного польового дослідження вміст органічного вуглецю (C_{org}) в орному шарі ґрунту в середньому становив 2,89%. Коефіцієнт варіації параметрів цього показника — 8%, проте розмах варіації отриманих результатів становить 1,03 абс. %. Установлено, що за 28 років унесення мінеральних і органічних добрив відбувається повільне депонування C_{org} . За мінеральної системи удобрення з унесенням одинарних і подвійних норм повного добрива вміст C_{org} збільшується з 2,94 – 2,96 до 3,09 – 3,10%. За органічної системи, якою передбачено періодичне внесення гною під просапні культури сівозміни, вміст C_{org} зростає з 2,80 до 3,09%, тоді як поєднане внесення гною і мінеральних добрив зумовлює збільшення C_{org} з 2,71 – 2,79 до 3,09 – 3,16%. Запаси C_{org} зростають із 5 за мінеральної до 10 та 13 т/га за органічної та органо-мінеральної систем удобрення відповідно. **Висновки.** Установлено збільшення умісту C_{org} в чорноземі типовому за впровадження систем удобрення у ряду: мінеральна — +0,14 – 0,15 абс. %, органічна — +0,29, органо-мінеральна — +0,37 – 0,38 абс. %. Найбільше сприяє депонуванню вуглецю у ґрунтах систематичне застосування мінеральних і періодичне — органічних добрив.

Ключові слова: ґрунтова органічна речовина, мінеральні та органічні добрива, стаціонарний польовий дослід, чорнозем типовий.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202011-02>

З індикаторів якісного стану ґрунтів найбільшу увагу приділяють умісту та запасам ґрунтового органічного вуглецю, які

визначають рівень родючості ґрунту (продуктивна функція), його здоров'я та здатність до реалізації екосистемних послуг [1, 2].

У зв'язку з масштабним розвитком деґуміфікаційних процесів у березні 2017 р. науковцями було проведено Глобальний симпозиум по ґрунтовому органічному вуглецю під егідою ФАО, у якому взяло участь понад 450 учасників зі 111-ти країн світу. Особливу увагу було приділено 3-м ключовим напрямкам потенційної діяльності, деякі положення з яких спрямовані на реалізацію Глобальних Цілей сталого розвитку, що є актуальними й для України: вимірювання, картографування, контроль і звітування про зміну запасів ґрунтового органічного вуглецю; сприяння накопиченню ґрунтового органічного вуглецю для адаптації до зміни клімату та пом'якшення його наслідків, досягнення нейтральної деградації земель; збереження/відновлення запасів органічного вуглецю у ґрунті в особливо уразливих локаціях [3].

Важливу роль у визначенні вектора змін органічного вуглецю у ґрунті відіграє антропогенний чинник, під впливом якого змінюється перебіг таких ґрунтових процесів, як гуміфікація, гуміфікація і мінералізація гумусу [4], а ступінь цих змін залежить від генетичних особливостей ґрунту та гідротермічних умов території. Так, уміст органічного вуглецю у ґрунтах змінюється від конкретного елементу технології вирощування культурних рослин, будь-то обробіток ґрунту, система удобрення чи сівозмінна, і від впровадження системи землекористування загалом [5–9].

Для компенсації втрат органічної речовини, зокрема й через зменшення надходження рослинних решток, що відповідає господарському виносу, рекомендовано вносити органічні добрива, які відіграють важливу роль у збереженні та підвищенні родючості ґрунтів [10–12]. Щодо впливу мінеральних добрив є суперечливі, діаметрально протилежні точки зору. Деякі дослідники відзначають, що їх унесення, особливо у високих дозах, спричиняє деґуміфікацію за рахунок збільшення умісту рухомих фракцій гумусу [13]. Із застосуванням збалансованих доз фактично не відбувається істотних змін у бік зниження [14, 15]. Інші дослідження свідчать про збільшення загального вмісту гумусу за впровадження мінеральної системи удобрення, особливо в комплексі з органічною [16, 17]. Також зазначається, що за

тривалого внесення добрив відбуваються зміни кількісного і якісного складу системи гумусних речовин ґрунту [18].

Дискусії щодо неоднозначності впливу мінеральних добрив на вміст та запаси органічного вуглецю викликають постійний інтерес до цього питання, враховуючи строкатість ґрунтового покриву, відмінності погодно-кліматичних умов і систем землеробства України.

Мета досліджень — визначити параметри змін умісту органічного вуглецю у чорноземі типовому залежно від тривалого застосування різних систем удобрення культур польової сівозміни в Лісостепу Лівобережного високому України.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили в 1990–2018 рр. у стаціонарному польовому досліді «Агро-екологічний моніторинг» у межах ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІІґА імені О.Н. Соколовського», яке територіально розташоване поблизу с. Дослідного Чугуївського р-ну Харківської обл. Дослід закладено в 1990 р. на 3-х полях по 3,5 га кожне після вирівнювального посіву ячменю за математично обґрунтованою схемою. Розмір елементарної дослідної ділянки — 120 м² (20 м × 6 м), повторність варіантів у просторі — 4-разова. Результати досліджень наведено по першому полю.

У межах поля сформовано фони, спрямовані на створення моделі родючості ґрунту з різною енергоємністю. У межах кожного фону виділено 15 варіантів із комбінаціями норм мінеральних добрив за 3-ма градаціями: 0 — без добрив, 1 — одинарна, 2 — подвійна, які диференційовано за культурами сівозміни. Скажімо, для пшениці озимої N = 0–45–90, P = 0–45–90, K = 0–45–90; для кукурудзи на силос N = 0–90–180, P = 0–60–120, K = 0–45–90; для соняшнику N = 0–45–90, P = 0–55–110, K = 0–5–90.

Із загальної сукупності варіантів досліді для реалізації поставленої мети виокремлено такі варіанти: без застосування добрив: I фон (без унесення органічних добрив) + 000; мінеральна система удобрення: I фон (без унесення органічних добрив) + 111, 222; органічна система удобрення: II фон (унесення ґною) + 000; органо-мінеральна

система удобрення: II фон (унесення ґною) + 111, 222.

Сумарна кількість елементів живлення, унесених із мінеральними добривами за період 1990–2018 рр., з одинарною нормою (111) становить $N_{1395}P_{1340}K_{1170}$, з подвійною (222) — $N_{2790}P_{2680}K_{2340}$. Сумарно внесено 230 т/га ґною.

З 1991 р. дослідження проводили в 12- (I ротація) та 10-пільних (II ротація) польових сівозмінах. З 2013 р. почалася III ротація 9-пільної сівозміни: соняшник, чорний пар, пшениця озима, ячмінь, соя, пшениця озима, кукурудза МВС, овес голозерний, пшениця озима.

Ґрунтовий покрив території проведення досліджень представлений чорноземом типовим важкосуглинковим, який перед закладанням дослідів характеризувався дуже високим ступенем насиченості основами — 96–98%. Сума обмінно-увібраних основ на ділянках під майбутньою мінеральною системою удобрення у середньому становила 46,5 мг-екв/100 ґрунту, органо-мінеральною — 48,8 мг-екв/100 ґрунту, із них частка обмінного кальцію — 89 та 90% відповідно. Обмінна кислотність (pH_{KCl}) ґрунту відповідала нейтральному рівню. За вмістом рухомих сполук фосфору ґрунт характеризувався середнім рівнем забезпеченості. Уміст рухомих сполук калію відповідав підвищеній забезпеченості.

Проби ґрунту для аналізування відбирали з орного шару 0–30 см за ДСТУ 4287:2007 перед закладанням дослідів в 1990 р., наприкінці II ротації після сої у 2011 р. та в середині III ротації після пшениці в 2018 р. У підготовлених зразках ґрунту вміст органічного вуглецю (C_{org}) визначено за ДСТУ 4289:2004.

Опрацювання та узагальнення результатів досліджень проведено з використанням програм STATISTICA та Microsoft EXCEL.

Результати досліджень. Вважається, що достовірно визначити зміни щодо інтенсивності накопичення і мінералізації C_{org} в ґрунті можна лише в тривалих польових дослідях [19]. Проте при узагальненні результатів довгострокових досліджень на таких високобуферних ґрунтах, як чорноземи, головне не сплутати природну часову

динаміку досліджуваного показника з його безпосередніми змінами під впливом певного антропогенного чинника.

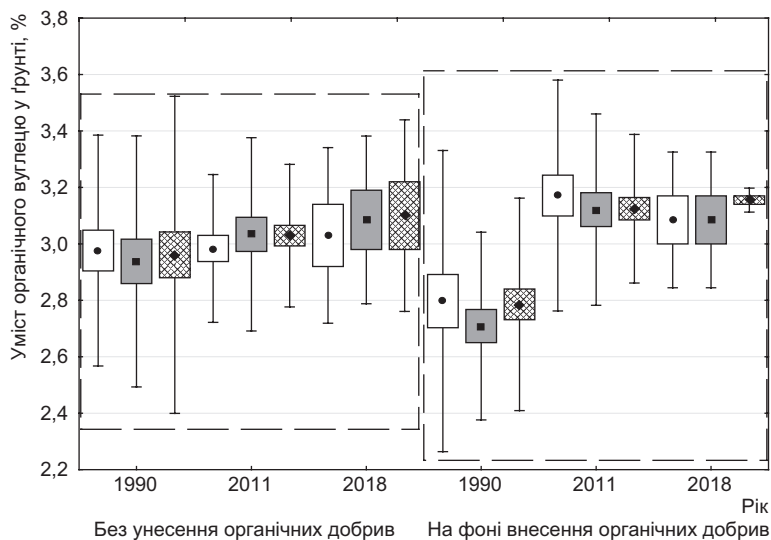
На видовому рівні чорнозем типовий важкосуглинковий на час закладання дослідів характеризувався як середньогумусний. Уміст C_{org} в орному шарі ґрунту 0–30 см під майбутньою мінеральною системою удобрення становив у середньому 2,96%. На площі, де передбачено внесення органічних добрив, — 2,49–3,24%, у середньому — 2,83%. Загалом на площі 2 га, що охоплює I та II фони, установлено низьку неоднорідність цього параметра — коефіцієнт варіації не перевищує 8% (табл. 1). Проте за однакових якісних характеристик, що відповідно до вітчизняного групування ґрунтів за вмістом гумусу оцінюються як високі (4,1–5,0%), розмах варіації усереднених даних за варіантами (4-разова повторність у просторі) становить 1,03 абс. %. Це дає підставу говорити про наявність латеральної неоднорідності ґрунтового покриву в межах елементарного ґрунтового ареалу (1 ґрунтового виділу) [20], що потрібно враховувати за встановлення змін параметрів ґрунтових показників у просторовому та часовому розрізах для уникнення можливості невірної інтерпретації результатів у тривалій перспективі.

Упродовж 28-річного (1990–2018) регулярного застосування мінеральних добрив і періодичного внесення ґною простежується чітка тенденція до поступового депонування C_{org} у чорноземі типовому (рисунок), що підтверджується попередніми дослідженнями змін гумусного стану в 19-річному інтервалі [21].

Зокрема, у контрольному варіанті зафіксовано збільшення умісту C_{org} на 1,7%, тоді як за внесення одинарних норм мінеральних добрив сумарною кількістю $N_{1395}P_{1340}K_{1170}$ його вміст зріс на 5,1%, із застосуванням подвійних норм, з якими до ґрунту надійшло $N_{2790}P_{2680}K_{2340}$ — на 4,7%. За суто органічної системи удобрення, де за 28 років унесено 230 т/га ґною, уміст C_{org} зріс на 10,4%, тоді як поєднання внесення ґною і мінеральних добрив зумовлює збільшення на 13,3–14,0%, досягаючи 3,09–3,16% C_{org} у складі органічної речовини ґрунту. Різниця умісту C_{org} у ґрунті між неудобреною ріплею

1. Статистичні параметри вмісту органічного вуглецю ґрунту, визначеного перед закладанням дослідів (1990 р.)

Статистичний параметр	Без унесення органічних добрив (I фон)	На фоні внесення органічних добрив (II фон)	Загалом під I та II фонами
Кількість змішаних зразків, шт.	76	76	152
% придатних визначень	100	100	100
Середнє	2,96	2,83	2,89
Мінімум	2,37	2,49	2,37
Максимум	3,39	3,24	3,39
Розмах	1,03	0,75	1,03
Медіана	3,01	2,85	2,89
Стандартна помилка	0,03	0,02	0,02
Стандартне відхилення	0,24	0,20	0,23
Нижній кuartиль (25%)	2,78	2,67	2,69
Верхній кuartиль (75%)	3,15	2,98	3,07
Коефіцієнт варіації	8,20	6,97	7,93



Зміни вмісту $C_{\text{орг}}$ у чорноземі типовому за внесення мінеральних та органічних добрив упродовж 28-ми років: ■ — середнє; □ — середнє \pm станд. помилка; I — середнє $\pm 2 \times$ станд. відхилення; □ — 000; ■ — 111; ▨ — 222

та за орґано-мінеральної системи удобрення становить 0,32–0,33 абс. % (табл. 2).

Зберігаються зазначені вище закономірності й у збільшенні запасів $C_{\text{орг}}$, які сягають максимуму 105–107 т/га у шарі ґрунту 0–30 см за орґанічної та орґано-мінеральної систем удобрення. З урахуванням наявної прямої залежності між $C_{\text{орг}}$ і загальним

гумусом слід зазначити, що відбувається зростання умісту і запасів загального гумусу, що зумовлено застосуванням науково обґрунтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур у сівозміні, серед яких ключовим фактором впливу на депонування орґанічної речовини є саме впроваджена система застосування добрив

(див. табл. 2). Крім того, запобігання втра-там $C_{\text{орг}}$ забезпечує стійкість ґрунту до і-с-тотних змін реакції ґрунтового середовища та опосередковано впливає на формування високих агрофонів.

Слід зазначити, що за впровадження аналогічних систем удобрення упродовж 26-ти років, але на чорноземі типовому, що характеризується як підвищенозво-ложений глибококарбонатний (відповідно до ґрунтового обстеження території ДП «ДГ «Граківське» відділом ґрунтових ресур-сів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» у 2017 р.), не зафіксовано змін основних параметрів якості гумусу. Тип гумусу ха-рактеризується як чисто гуматний, ступінь гуміфікації — як високий [22].

Отже, втрат $C_{\text{орг}}$ за 28-річного система-тичного внесення одинарних і подвійних норм мінеральних добрив під культури польової сівозміни не відбувається. Порівняно з вихідними параметрами умісту $C_{\text{орг}}$ у чорноземі типовому простежується тенденція до його зростання за впровадження систем удобрення в ряду: мінеральна — органі-чна — орґано-мінеральна. Найефективнішим заходом поліпшення гумусного стану ґрунту та збільшення обсягів депонування $C_{\text{орг}}$ є орґано-мінеральна система удобрення, що передбачає регулярне внесення мінераль-них і періодичне — органічних добрив. До подібних висновків за узагальнення резуль-татів довготривалих експериментів, опускаю-чи різницю абсолютних кількісних величин, дійшли наші зарубіжні колеги [16, 17, 23, 24].

Це свідчить про те, що збалансоване вне-сення мінеральних та органічних добрив сприятиме підтриманню і поліпшенню якості ґрунтів у довготривалій перспективі [17].

Дослідженнями, присвяченими вивченню гумусного стану та вуглецю у складі орґа-нічної речовини ґрунту, встановлено і-с-тотне посилення мінералізаційних процесів за тривалого впровадження мінеральної сис-теми удобрення [25, 26]. У нашому випадку відсутність прояву дегуміфікації пояснюєть-ся особливостями еволюційних змін у ста-роорних ґрунтах, для ідентифікації яких потрібний досить значний час. Найістотніші зміни якісних і кількісних показників від-буваються у перші десятиріччя після ро-зоровання цілинних ґрунтів [25, 27, 28]. Потім через певний проміжок часу ґрунт переходить у стан невизначено тривалої динамічної рівноваги (квазірівноваги) з навколишнім середовищем, стійкість якої забезпечується у широкому діапазоні варі-ювання зовнішніх умов (навантаження) [29].

З урахуванням того, що на чорноземі типовому, де закладено стаціонарний польовий дослід, більш ніж 73 роки велося екстенсивне землеробство, то після розо-рювання цілини і наступного екстенсивного використання відбулося найбільше знижен-ня умісту $C_{\text{орг}}$. Так, у 1990 р. загальний уміст гумусу становив 4,9–5,1% (або 2,83–2,96% $C_{\text{орг}}$), що характеризує квазірівноважний стан ґрунту, тоді як у чорноземі типовому прилеглих територій під природною рос-линністю — 6,3% [30] (або 3,65% $C_{\text{орг}}$), що

2. Зростання умісту і запасів $C_{\text{орг}}$ та загального гумусу в чорноземі типовому за 1990–2018 рр.

Фон	Варіант	Зростання умісту за період 1990–2018 рр., абс. %		Запаси $C_{\text{орг}}$ у шарі ґрунту 0–30 см, т/га		Збільшення запасів гумусу за 28 років, т/га
		$C_{\text{орг}}$	загального гумусу	1990	2018	
Без унесення орґанічних добрив	000	0,05	0,09	101	103	3,1
	111	0,15	0,25	100	105	8,6
	222	0,14	0,24	100	105	8,1
На фоні внесення орґанічних добрив	000	0,29	0,50	95	105	16,8
	111	0,38	0,65	92	105	22,0
	222	0,37	0,64	95	107	21,6

можна прийняти за вміст загального гумусу в цілнинному ґрунті. За час сільськогосподарського використання ґрунту до 1990 р. вміст C_{org} зменшився на 19–22%, або 0,69–0,82 абсолютних одиниць і стабілізувався на зазначеному рівні.

Після заміни екстенсивних технологій на науково обґрунтоване вирощування

сільськогосподарських культур з унесенням добрив відбувається перехід ґрунту на вищий енергетичний рівень — ґрунт став «окультуреним», про що свідчить тенденція до збільшення умісту гумусу, тоді як нераціональне землекористування знижує енергію ґрунтової системи, спричиняючи розвиток деградаційних процесів [31].

Висновки

В умовах стаціонарного польового досліджу встановлено зміни параметрів умісту C_{org} у чорноземі типовому, які залежать від системи удобрення культур польової сівозміни. У 28-річній ретроспективі фіксується чітка тенденція до поступової акумуляції C_{org} , уміст якого зростає за

впровадження систем удобрення у ряду: мінеральна — +0,14–0,15 абс. %, органічна — +0,29, органо-мінеральна — +0,37–0,38 абс. %. Найбільше сприяє депонуванню вуглецю у ґрунті систематичне застосування мінеральних і періодичне внесення органічних добрив.

Revte-Uvarova A.¹, Nikonenko V.², Karatsiuba O.³, Slidenko O.⁴

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovskiy», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹alina_rev@meta.ua, ²nikonenko_slava@ukr.net, ³380977360876elena@gmail.com, ⁴kasanka17@meta.ua; ORCID: ¹0000-0002-6838-5440, ²0000-0002-4842-2283, ³0000-0002-5584-6797, ⁴0000-0002-3948-0668.

Parametrization of changes in organic carbon content depending on the fertilizer system

Goal. To determine the parameters of changes in the content of organic carbon in typical chernozem depending on the long-term use of different fertilizer systems for field crop rotation in the High Forest-Steppe of the Left Bank of Ukraine.

Methods. Field — to determine the impact of fertilizer application systems on the humus state of typical chernozem, laboratory — to determine the content of organic carbon in the soil, calculation — to calculate the reserves of organic carbon and humus, mathematical — to assess the reliability of the data.

Results. It was determined that before the establishment of a stationary field experiment, the content of organic carbon (Corg) in the arable soil layer averaged 2.89%. The coefficient of variation of the

parameters of this indicator was 8%, but the scope of variation of the obtained results was 1.03 abs. %. It was established that for 28 years of application of mineral and organic fertilizers there was a slow deposition of Corg. Under the mineral fertilizer system with the introduction of single and double doses of complete fertilizer, the Corg content increased from 2.94–2.96 to 3.09–3.10%. Under the organic system, which provided the periodic application of manure under row crops, the Corg content increased from 2.80 to 3.09%, while the combined application of manure and mineral fertilizers caused an increase in Corg from 2.71–2.79 to 3.09–3.16%. Corg reserves increased from 5 for the mineral to 10 and 13 t/ha for organic and organomineral fertilizer systems, respectively. **Conclusions.** An increase in the Corg content in typical chernozem was established with the introduction of fertilizer systems in a row: mineral — +0.14–0.15 abs.%, organic — +0.29, organomineral — +0.37–0.38 abs.%. The systematic application of mineral and periodic of organic fertilizers contributes the most to carbon deposition in soils.

Key words: soil organic matter, mineral and organic fertilizers, stationary field experiment, typical chernozem.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-02>

Бібліографія

1. Cardoso E.J.B.N., Vasconcellos R.L.F., Bini D. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects

of use and management on soil health? *Scientia Agricola*. 2013. № 70(4). P. 219–303. doi: 10.1590/S0103-90162013000400009

2. Lal R. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*. 2016. № 5(4). P. 212–222. doi: 10.1002/fes3.96
3. *Unlocking the Potential of Soil Organic Carbon — Outcome Document of the Global Symposium on Soil Organic Carbon*, 21–23 March 2017. Rome : FAO, 2017. 36 p. URL: <http://www.fao.org/3/I7268EN/i7268en.pdf>
4. Дегтярев В.В., Моргунова О.И., Недбаев В.Н. Изменение содержания гумуса и азота в черноземах Украины в зависимости от антропогенного воздействия на почвы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. № 6. С. 9–15.
5. Hao Y.J., Wang Y.H., Chang Q.R., Wei X.R. Effects of long-term fertilization on soil organic carbon and nitrogen in a highland agroecosystem. 2017. *Pedosphere*. 2017. V. 27, Is. 4. P. 725–736. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60386-2
6. Ghimire R., Lamichhane S., Acharya B. S. et al. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon in rice-based cropping systems: A review. *J. of Integrative Agriculture*. 2017. № 16(1). P. 1–15. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61337-0
7. Mehra P., Baker J., Sojka R.E. et al. A Review of Tillage Practices and Their Potential to Impact the Soil Carbon Dynamics. *Advances in Agronomy*. 2018. V. 150. P. 185–230. doi: 10.1016/bs.agron.2018.03.002
8. Zuber S. M., Behnke G. D., Nafziger E. D., Villamil M. B. Carbon and nitrogen content of soil organic matter and microbial biomass under long-term crop rotation and tillage in Illinois, USA. *Agriculture*. 2018. V. 8. Is. 3. Art. № 37. 12 p. doi: 10.3390/agriculture8030037
9. Шацман Д.О., Пінчук В.О., Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С. Зміна показників родючості чорнозему типового за беззмінного вирощування кукурудзи. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 3. С. 43–52. doi: 10.33730/2310-4678.3.2019.185882
10. Скрильник Є.В., Кутова А.М., Гетманенко В.А., Товстий Ю.М. Якість місцевої сировини різного походження та шляхи їх раціонального використання у сільському господарстві. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 7. С. 12–16. doi: 10.31073/agrovissnyk201607-02
11. Li S., Li J., Li G. et al. Effect of Different Organic Fertilizers Application on Soil Organic Matter Properties. *Compost Science and Utilization*. 2017. V. 25, Is. 1. P. 31–36. doi: 10.1080/1065657X.2017.1344160
12. Zhao Z., Zhang C., Li F. et al. Effect of compost and inorganic fertilizer on organic carbon and activities of carbon cycle enzymes in aggregates of an intensively cultivated Vertisol. *PLoS ONE*. 2020. № 15(3). Art. № e0229644. doi: 10.1371/journal.pone.0229644
13. Чекарчев П.А., Обущенко С.В., Троц Н.М. Влияние системного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в черноземе обыкновенном. *Достижения науки и техники АПК*. 2013. № 6. С. 32–34.
14. Мірошніченко М.М., Гладких Є.Ю., Ревтьєв А.В. Зміни якості та родючості ґрунту за застосування безводного аміаку в землеробстві. *Теорія і практика ґрунтоохоронного моніторингу*; за ред. М.М. Мірошніченка. Харків: ФОРМ, 2016. С. 247–282.
15. Singh B. Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? *Agronomy*. 2018. V. 8. Is. 48. 19 p. doi: 10.3390/agronomy8040048
16. Wei W., Yana Y., Cao J. et al. Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2016. V. 225. P. 86–92. doi: 10.1016/j.agee.2016.04.004
17. Mensik L., Hlisnikovsky L., Kunzova E. The state of the soil organic matter and nutrients in the long-term field experiments with application of organic and mineral fertilizers in different soil-climate conditions in the view of expecting climate change. *Organic fertilizers — history, production and applications*; ed. M.L. Larramendy, S. Soloneski. 2019. doi: 10.5772/intechopen.86716
18. Skrylnik Ye.V. The impact of different fertilization systems on content, composition, energy intensity of organic matter in chernozem soil. *Agricultural science and practice*. 2016. № 2. С. 49–55. doi: 10.15407/agrisp3.02.049
19. Janzen H.H. Long-term ecological sites: musings on the future, as seen (dimly) from the past. *Global Change Biology*. 2009. № 15. P. 2770–2778. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01971.x
20. Медведев В.В. Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова. *Грунтознавство*. 2010. Т. 11, № 1–2. С. 6–15.
21. Скрильник Є.В. Трансформація гумусового стану ґрунтів та їх енергоємності під впливом різних систем удобрення. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ у Харківській області*. 2010. Вип. 7. С. 184–194.
22. Скрильник Є.В., Кутова А.М., Гетманенко В.А. та ін. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 74–78. doi: 10.31073/acss88-10
23. Парамонов А.В., Федюшкин А.В., Пасько С.В., Медведева В.И. Влияние систематического применения удобрений в девятипольном зернопаропропашном севообороте на баланс гумуса в черноземе обыкновенном. *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32, № 9. С. 9–11. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10902

24. Guo Z., Zhang Z., Zhou H. et al. The effect of 34-year continuous fertilization on the SOC physical fractions and its chemical composition in a Vertisol. *Scientific Reports*. 2019. № 9. Art. № 2505. doi: 10.1038/s41598-019-38952-6

25. Муха В.Д. Основные закономерности культурного почвообразования. *Вісник ХНАУ*. 2004. № 1. С. 39–44.

26. Mensik L., Hlisenkovsky L., Pospisilova L. et al. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *J. of Soils and Sediments*. 2018. V. 18. P. 2813–2822. doi: 10.1007/s11368-018-1933-3

27. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: «13 типографія», 2006. 239 с.

28. Тихоненко Д.Г. Еволюція і класифікація агрогенних ґрунтів України. *Біологічні системи*. 2012. Т. 4. Вип. 1. С. 96–99.

29. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В. и др. Моделирование динамики органического вещества почв. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 120 с.

30. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т. 1: экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты; под. ред. Н.И. Полупана. Киев: Урожай, 1988. С. 94–103.

31. Ramesh T., Bolan N.S., Kirkham M.B. et al. Soil Organic Carbon Dynamics: Impact of Land Use Changes and Management Practices: a Review. *Advances in Agronomy*. 2019. V. 156. P. 1–107. doi: 10.1016/bs.agron.2019.02.001