

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-1-3

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.434:631.445.2:631.8

**МІКРОАГРЕГАТНИЙ СКЛАД ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО
ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕЄНОГО ҐРУНТУ ТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ
ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ
ТА ПЕРІОДИЧНОГО ВАПНУВАННЯ****О. С. Гавришко, Ю. М. Оліфір, Т. В. Партика, Н. І. Козак**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Олег ГАВРИШКО,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Юрій ОЛІФІР,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Тетяна ПАРТИКА,
кандидат біологічних наук
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Надія КОЗАК,
доктор філософії
ORCID: 0000-0002-2809-2432

Для листування:

Олег ГАВРИШКО
e-mail: havryshko0@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних наук
України

Отримано:

14 липня 2025 р.

Погоджено до друку:

21 липня 2025 р.

Опубліковано:

30 вересня 2025 р.

Дослідженнями встановлено, що у варіантах органічного удобрення (10 т/га сівозмінної площі гною), без добрив (контроль) та лише вапнуванням (1,0 н СаСО₃ за Нг) спостерігалось значне збільшення частки мікроагрегатів (< 0,25 мм) після змочування (до 29,44; 25,95 і 25,63 % відповідно), зі статистично значущою ($p < 0,05$) різницею мокре-сухе. Натомість у комбінованих системах (органо-мінеральна система удобрення повною (N₆₅P₆₈K₆₈) і половинною (N₃₀P₃₄K₃₄) дозами на фоні періодичного вапнування 1,0 н за Нг), та за внесення лише мінеральних добрив (N₆₅P₆₈K₆₈) зростання фракції < 0,25 мм після змочування було незначним (+1,77; +7,12; +8,97 % відповідно). Коефіцієнт варіації засвідчив, що для сухого просіювання варіабельність невелика (8,32 %), тоді як для різниці між мокрим і сухим – дуже висока (57,47 %). Довірчий інтервал (95 %) середньої різниці становив від 4,47 до 18,07 %, що підкреслює широку невизначеність цієї оцінки. Для сухого просіювання довірчий інтервал досить вузький (9,80–11,68 %), натомість для мокрого він значно ширший (15,35–28,68 %), що відображає більшу гетерогенність даних. При цьому парний t тест ($p = 0,0080 < 0,05$), і непараметричний тест Вілкоксона ($p = 0,0312 < 0,05$) підтвердили статистично значущу відмінність між мокрим і сухим просіюванням, незалежно від розподілу даних.

Ключові слова: ґрунт, удобрення, вапнування, варіант, мікроагрегати, просіювання, різниця.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Гавришко О. С., Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Козак Н. І., 2025

Microaggregate composition of Albic Stagnic Luvisol of long-term use under various fertilization and periodic liming systems

Institute of Agriculture of Carpathian
Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region, 81115

About authors:

Oleh HAVRYSHKO
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Yurii OLIFIR
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Tetiana PARTYKA
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Nadia KOZAK
ORCID: 0000-0002-2809-2432

For corresponding:
Oleh HAVRYSHKO
e-mail: havryshko0@gmail.com

Funding information:
National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine

Received:
July 14, 2025
Accepted:
July 21, 2025
Published:
September 30, 2025

The studies have shown that in the variants of organic fertilization (10 t of manure on ha of crop rotation area), without fertilizers (control) and only liming (1.0 n CaCO_3 by hydrolytic acidity) a significant increase in the proportion of microaggregates (< 0.25 mm) was observed after wetting (up to 29.44; 25.95 and 25.63 %, respectively), with a statistically significant ($p < 0.05$) wet-dry difference. On the other hand, in combined systems (organo-mineral fertilization system with full ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$) and half ($\text{N}_{30}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$) doses on the background of periodic liming of 1.0 n by hydrolytic acidity), and with the application of only mineral fertilizers ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$), the growth of the < 0.25 mm fraction after wetting was insignificant (+1.77; +7.12; +8.97 %, respectively). The coefficient of variation showed that by dry sieving the variability was small (8.32 %), while by the wet-dry sieving difference was very high (57.47 %). The confidence interval (95 %) of the mean difference was from 4.47 to 18.07 %, highlighting the wide uncertainty of this estimate. For dry sieving, the confidence interval is quite narrow (9.80–11.68 %), while for wet sieving it is much wider (15.35–28.68 %), reflecting greater heterogeneity of the data. In this case, the paired t-test ($p = 0.0080 < 0.05$) and the nonparametric Wilcoxon test ($p = 0.0312 < 0.05$) confirmed a statistically significant difference between wet and dry sieving, regardless of the data distribution.

Keywords: soil, fertilizer, liming, variant, microaggregates, sieving, difference.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Ясно-сірі лісові поверхнево оглеєні ґрунти є надзвичайно важливим природним ресурсом для підтримки сталого сільського господарства Карпатського регіону, оскільки вони забезпечують стабільний рівень родючості та відіграють ключову роль у регулюванні водного балансу агроєкосистеми [2, 9]. Однак, тривале агрогенне навантаження спричиняє значні зміни мікроагрегатного складу цих ґрунтів, що призводить до їхньої деградації, зниження продуктивності та посилення негативних гідрологічних процесів [1, 3, 12, 18].

Функції ґрунтів тісно пов'язані з їхнім тривимірним пористим простором та пов'язаними з ним біогеохімічними

інтерфейсами, що відображається у складній структурі, що розвинулася під час педогенезу [21].

Мікроагрегати є одними із основних структурних елементів у ґрунтовому покриві, які забезпечують його водостійкість, здатність утримувати поживні речовини та покращують аерацію. Сучасні дослідження Totsche et al. та Biesgen, D. et al. засвідчили, що найважливішими в якості мікроагрегатоутворюючих матеріалів вважаються мінерали глини і оксиди Fe- і Al-гідроксиди. У мікроагрегатах мінерали пов'язані між собою головним чином фізико-хімічними та хімічними взаємодіями за участю цементуючих і

склеювальних агентів. До перших належать, зокрема, карбонати та короткодіапазонні впорядковані фази Fe, Mn та Al. Останні містять органічні матеріали різноманітного походження і, ймовірно, включають макромолекули та макромолекулярні суміші [15, 17].

Водночас внесення органічних добрив значно покращує мікроагрегатний склад та запобігає деградації ґрунту навіть у регіонах із підвищеним антропогенним навантаженням [11]. При цьому, стабільність мікроагрегатів прямо залежить від рівня органічної речовини, який впливає на збереження ґрунтової вологи та запобігає оглеєнню [22]. Наприклад, дослідження, проведені в Україні [7, 8] показали, що використання добрив та хімічних меліорантів, зокрема, вапняку впродовж 10 років призвело до збільшення розмірів мікроагрегатів та їх кількості, що пов'язане зі підвищенням вмісту органічної речовини в ґрунті. Використання вапняку з різними рН значеннями має різний вплив на мікроагрегатний склад ґрунту, знижуючи кількість мікроагрегатів при використанні вапняку з високим рН значенням та збільшуючи їх кількість при використанні вапняку з нижчим значенням рН.

Ґрунти з добре розвиненим мікроагрегатним станом мають значно кращий баланс вологи, оскільки вони містять оптимальну кількість капілярних ($< 0,1$ мм) та некапілярних ($> 0,1$ мм) пор, що сприяє рівномірному розподілу води в профілі [19, 20].

Оскільки, Карпатський регіон характеризується складними гідрологічними умовами: частими опадами, значними коливаннями вологості та високим ризиком глеєутворення, то тривалий вплив антропогенного навантаження на мікроагрегатний склад ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів безпосередньо визначає їхню здатність до інфільтрації, водоутримуючу здатність та стійкість до подальших деградаційних процесів [4, 10].

Об'єктивну інформацію про стан і зміни властивостей ґрунтів, під впливом

різних антропогенних навантажень в умовах сучасних кліматичних змін можна отримати тільки в базових тривалих стаціонарних дослідках [14].

Метою нашого дослідження було – в умовах класичного польового дослідження встановити зміни мікроагрегатної ($< 0,25$ мм) структури кислого ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту у взаємозв'язку з його фізико-хімічними та агрохімічними властивостями для оцінки наслідків тривалого сільськогосподарського навантаження.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на довготривалому стаціонарному досліді ($49^{\circ}47'54.3''N$ $23^{\circ}52'26.9''E$) відділу агрохімії та ґрунтознавства Інституту сільського господарства Карпатського регіону (НААН), закладеному в 1965 р. Тип ґрунту місця дослідження ясно-сірий лісовий поверхнево оглеєний класифікується згідно з WRB (2022) як *Albic Pantostagnic Luvisol* [16].

Стаціонарний дослід розміщений в натурі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів однарусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м^2 , облікова – 100 м^2 . Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Західного Лісостепу України. У 2023 р. дослід занесено в Глобальну мережу довготривалих сільськогосподарських експериментів *GLTEN* [5, 6].

На найбільш характерних варіантах з різними співвідношеннями органічних, мінеральних добрив і періодичного вапнування висвітлювались проблеми, які полягали у недостатній вивченості змін мікроагрегатів ($< 0,25$ мм) та їх взаємозв'язку з фізико-хімічними властивостями ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під впливом тривалого сільськогосподарського використання, що ускладнює об'єктивну оцінку його агровиробничого стану та

ефективне управління ґрунтовими ресурсами.

З часу закладки досліду пройшло п'ять семипільних ротацій (1965–2001 рр.) з наступним чергуванням культур, а саме: картопля – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза на силос – пшениця озима. По теперішній час дослідження проводяться у чотирипільній ротації: кукурудза на зерно – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима.

Дослідження на початку XII чотирипільної ротації (2024 р.) проводили у варіантах: без добрив (контроль) (вар. 1); лише періодичного вапнування (1,0 н CaCO_3 за Нг) (вар. 2); органічного удобрення (внесення 10 т/га сівозмінної площі гною) (вар. 3); органо-мінеральної системи удобрення однією ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$) та половинною дозою ($\text{N}_{30}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$) на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг (вар. 7 і 9); та систематичного внесення лише $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ (вар. 15). Крім того, з метою збереження агроєкосистеми та ефективності використання агроресурсного потенціалу, наведено вихідні дані 1965 р. з верхнього (0–20 см) гумусово-елювіального шару HEgl.

Аналітичні роботи виконували в атестованій агрохімічній лабораторії (свідоцтво № РЛ 009/22 від 07.02.2022 р., видане ДП «Львівстандартметрологія») Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН за загальноприйнятими стандартизованими в Україні методиками. Зразки ґрунту відбирали та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Фізико-хімічні, агрохімічні та агрофізичні аналізи ґрунту проводили за такими методами: вміст загального гумусу за Тюріним в модифікації Б. А. Нікітіна (ДСТУ 4289:2004); pH_{KCl} – потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390-2001); визначення гідролітичної кислотності (Нг) – за Каппеном (ДСТУ 7537:2014); обмінна кислотність та рухомий алюміній (Al^{3+}) (за

Соколовим); вміст легкогідролізного азоту (N) – за Корнфілдом (ДСТУ 7863:2015); легкодоступний фосфор (P_2O_5) та обмінний калій (K_2O) за Чиріковим (ДСТУ 4115-2002).

Сприятливий фізичний режим в ґрунті створюється завдяки наявності не тільки макро-, але й мікроструктури. Тому з одночасною характеристикою макроструктури велике значення для оцінки агрофізичних властивостей ґрунту має його мікроструктура. Вона також повинна бути водостійкою та шпаруватою. В ієрархії ґрунтової структури мікроагрегати відносять до агрегатів першого порядку. Вони утворені безпосередньо елементарними гранулометричними елементами, розмір яких менше ніж 0,25 мм.

Для агрономічної та меліоративної оцінки ґрунту важливо знати не тільки ступінь мікроструктурності, але і якість мікроагрегатів в ньому. Це дає змогу виявити, як елементарні ґрунтові частинки (ЕГЧ) з'єднані між собою у мікроагрегати й наскільки водостійкі ці агрегати. Характеризуючи мікроструктуру, можна оцінити й макроструктуру ґрунту. За результатами мікроагрегатного та гранулометричного аналізів оцінюють оструктуреність і розпиленість ґрунтів, судять про потенційну здатність ґрунтів до оструктурення. Для визначення загального вмісту структурних агрегатів і розподілу їх за розмірами зразки ґрунту фракціонують на ситах, виконуючи так зване сухе просіювання у модифікації Н. І. Савінова (ДСТУ 4744). Перед фракціонуванням послідовно складають набір сит, діаметр отворів яких 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5 і 0,25 мм. Верхнє сито в наборі має найбільший розмір отворів (10 мм), нижнє – найменший (0,25 мм). Під нижнім ситом є піддон для збирання фракцій < 0,25 мм, а на верхньому – кришка для запобігання розпушування ґрунту при просіюванні. Вміст фракції < 0,25 мм розраховують за різницею між взятою для аналізу наважкою і сумою вмісту фракцій > 0,25 мм. За 100 % вважають взятую для аналізу наважку.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою програмного забезпечення STATISTICA 10 та MS Excel 2021. У роботі прийнято 5 % рівень значущості ($p < 0,05$).

Результати та обговорення.
Отримані результати у довготривалому

стаціонарному досліді показали, що фізико-хімічні та агрохімічні показники ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів знаходяться у тісному зв'язку із системою удобрення та періодичного вапнування (табл. 1).

1. Фізико-хімічні та агрохімічні показники ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різних систем удобрення і вапнування (XII ротація)

№ вар.	Системи удобрення тривалого стаціонарного досліді	рН _{KCl}	Кислотність		Гумус, %	Al ³⁺	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			Нг	обмінна					
			мг-екв/100 г ґрунту						
			шар ґрунту 0–20 см						
-	Вихідні дані (1965 р.)	4,2	4,5	0,6	1,41	60,0	98,5	36,0	50,0
1, 10	Без добрив (контроль)	4,40	4,38	0,83	1,47	32,0	84,4	40,6	46,0
2	СаСО ₃ , 1,0 н за Нг	5,60	2,36	0,34	1,58	12,6	87,2	29,3	31,4
3	Гній, 10 т/га	5,04	3,81	0,36	1,70	9,9	88,2	32,3	38,7
7	Гній, 10 т/га+ N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ + СаСО ₃ , 1,0 н за Нг	4,91	3,15	0,30	1,92	7,2	96,6	157,8	166,1
9	Гній, 10 т/га+ N ₃₀ P ₃₄ K ₃₄ + СаСО ₃ , 1,0 н за Нг	5,03	2,98	0,28	1,79	10,8	93,8	135,6	122,9
15	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈	4,11	4,29	1,55	1,62	36,9	94,0	155,6	126,6

Встановлено, що найефективнішим агрозаходом оптимізації фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту на початку XII ротації є застосування органо-мінеральної системи удобрення в сівозміні, яка передбачає внесення 10 т/га гною, однієї (N₆₅P₆₈K₆₈) та половинної (N₃₀P₃₄K₃₄) норми мінеральних добрив на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO₃ за Нг (вар. 7 і 9). При цьому, в шарі ґрунту 0–20 см формується оптимальний поживний режим (зростання гумусу, збільшення вмісту легкодоступних азоту –

96,6 мг/кг ґрунту, рухомого P₂O₅ – 157,8 мг/кг ґрунту та обмінного K₂O – 166,1 мг/кг ґрунту), що створює сприятливі умови для росту та розвитку культур вирощування.

За результатами сухого просіювання встановлено, що частка дрібних агрегатів (< 0,25 мм) у ґрунті змінювалась залежно від системи удобрення. Найменше значення зафіксовано у варіанті з гноєм (10 т/га) (вар. 3) – 9,98 %, тоді як максимальне – при застосуванні лише мінеральних добрив повною дозою N₆₅P₆₈K₆₈ (вар. 15) – 12,50 % (табл. 2).

2. Порівняльний аналіз значущості різниць мікроагрегатної фракції (< 0,25 мм) ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різних систем удобрення та періодичного вапнування

№ вар.	Системи удобрення тривалого стаціонарного досліді	Просіювання, %		S = b/a	Різниця (мокре – сухе)	
		сухе (a)	мокре (b)		$\Delta = (b-a),$ %	значуща (p < 0,05)
		шар ґрунту 0–20 см				
1	2	3	4	5	6	7
3	Гній, 10 т/га	9,98	29,44	2,95	+19,46	Так
1, 10	Без добрив (контроль)	10,54	25,95	2,46	+15,40	Так
2	1,0 н CaCO ₃ за Нг	10,74	25,63	2,39	+14,88	Так

1	2	3	4	5	6	7
15	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ (вар. 15)	12,50	21,47	1,72	+8,97	Ні
9	Гній, 10 т/га + N ₃₀ P ₃₄ K ₃₄ + 1,0 н CaCO ₃ за Нг	10,28	17,40	1,69	+7,12	Ні
7	Гній, 10 т/га + N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ + 1,0 н CaCO ₃ за Нг	10,43	12,20	1,17	+1,77	Ні

Примітка: $S = b/a$ – частка від “сухих” агрегатів, які витримали вплив води (1 % = усі, >1 % = з’явились нових дрібних часток); $\Delta = (b-a)$ – різниця просіювання (мокре-сухе) часточок, які витримали вплив води.

Після змочування частка фракції < 0,25 мм у більшості варіантів значно зросла, що свідчить про зрушення мікроагрегатної структури ґрунту. Найбільше зростання зафіксовано у варіанті з внесенням лише гною – до 29,44 %, у контрольному варіанті без добрив (вар. 1, 10) – до 25,95 % та при вапнуванні (1,0 н CaCO₃ за Нг) (вар. 2) – до 25,63 %. У цих варіантах різниця між мокрим та сухим просіюванням становила відповідно +19,46; +15,40 та +14,80 %, що є статистично значущим ($p < 0,05$) показником. Натомість у варіантах з комбінованими системами удобрення (гній + мінеральні добрива + вапнування), зокрема у варіантах 7 та 9, частина

мікроагрегатів після змочування було значно нижчою, а саме: +1,77 та +7,12 % відповідно. Це свідчить про відсутність статистично значущих змін агрегатної структури під дією води. Аналогічна ситуація спостерігалася у варіанті з мінеральними добривами N₆₅P₆₈K₆₈, де приріст становив лише +8,97 % (табл. 2).

Тим самим описова статистична обробка результатів досліджень показала, що в середньому по досліді сухе просіювання становить $10,75 \pm 0,37$ % ($\sigma = 0,89$), а мокре – $22,01 \pm 2,59$ % ($\sigma = 6,35$). Середня різниця між мокрим і сухим просіюванням – $11,27 \pm 2,65$ % ($\sigma = 6,48$) (табл. 3).

3. Показники варіації та довірчі інтервали для трьох змінних (n = 6)

Показник	Просіювання, %		Різниця, % (мокре – сухе)
	сухе	мокре	
Середнє по досліді: ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	$10,75 \pm 0,37$	$22,01 \pm 2,59$	$11,27 \pm 2,65$
Стандартне відхилення (S)	0,89	6,35	6,48
Коефіцієнт варіації (V)	8,32	28,84	57,47
95 % ДІ нижня межа	9,80	15,35	4,47
95 % ДІ верхня межа	11,68	28,68	18,07

Коефіцієнт варіації свідчить, що для сухого просіювання варіабельність невелика (8,32 %), тоді як для різниці між мокрим і сухим – дуже висока (57,47 %). Довірчий інтервал (95 %) середньої різниці становить від 4,47 % до 18,07 %, що підкреслює широку невизначеність цієї оцінки. Для сухого просіювання довірчий інтервал досить вузький (9,80–11,68 %), натомість для мокрого він значно ширший (15,35–28,68 %), що відображає більшу гетерогенність даних.

Натомість розподіл даних парного порівняння відсотка мокрого і сухого

просіювання мікроагрегатів за однаково різних умов і незначній вибірці (n = 6) та t-тест показав статистично значущу різницю між мокрим та сухим просіюванням ($p = 0,0080 < 0,05$), що підтверджує зростання по досліді фракції < 0,25 мм під впливом вологи. Непараметричний тест Вілкоксона, який не вимагає нормальності, також свідчить про значущу відмінність ($p = 0,0312 < 0,05$). Тому, незалежно від припущень про розподіл даних, різниця між мокрим і сухим просіюванням є статистично значущою (табл. 4).

4. Результати про розподіл даних парного порівняння відсотка мокрого і сухого просіювання мікроагрегатів ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту (n = 6)

Тест	Статистика	p-значення (<0,05)
Парний t-тест	4,262	0,0080
Критерій Вілкоксона	0,000	0,0312

Висновки. Таким чином, органо-мінеральна система удобрення (10 т/га гною + повною ($N_{65}P_{68}K_{68}$) і половинною ($N_{30}P_{34}K_{34}$) дозами на фоні періодичного вапнування 1,0 н за Нг), забезпечує найкращий поживний режим орного шару (0–20 см) ґрунту з мінімальними змінами мікроструктури (< 1,8 % приріст фракції < 0,25 мм після змочування). Проте у варіантах без добрив (контроль) та тривалого внесення самих

мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) приріст мікроагрегатів після змочування був значущим (25,95–29,4 % відповідно). Тим самим, парний t-тест ($p = 0,0080$) і тест Вілкоксона ($p = 0,0312$) підтвердили статистично значущу ($p < 0,05$) різницю між сухим і мокрим просіюванням ґрунту, що вказує на тенденцію до зростання у досліді фракції < 0,25 мм під впливом вологи.

Список використаної літератури

1. Баланс гумусу в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому під впливом курячого посліду і компостів на його основі / Є. В. Скрильник та ін. *Вісник аграрної наук.* 2020. №. 4. С. 21–27. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-03.
2. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Ґрунтознавство в Україні: досягнення, пріоритети та перспективи. *Вісник аграрної науки.* 2021. №. 12 (825). С. 18–27. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02.
3. Вплив систем удобрення на динаміку нестабільних гумусових речовин у короткоротаційних сівозмінах / О. Й. Качмар та ін. *Вісник ЛНАУ: Агрономія.* 2019. №. 23. С. 234–237. DOI: doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234.
4. Габриєль А. Й., Оліфір Ю. М. Тривалий стаціонарний дослід Інституту сільського господарства Карпатського регіону в контексті його 50-річного функціонування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2015. Вип. 58. С. 30–40.
5. Гавришко О. С. Роль глобальної мережі тривалих польових сільськогосподарських дослідів (GLTEN) у практичній підготовці здобувачів вищої освіти в галузі сучасних аграрних наук. Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (July 3 – August 13, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. P. 9–12.
6. Електронний ресурс: URL: <https://www.rothamsted.ac.uk/facilities-and-resources/glten-global-long-term-agricultural-experiment-network>.
7. Мінькова, О. Г. Шляхи та способи переходу від традиційного аграрного виробництва до органічного.

References

1. Humus balance in podzolized heavy loamy chernozem under the influence of chicken manure and composts based on it / Ye. V. Skrylnyk et al. *Visnyk ahrarnoi nauk.* 2020. No. 4. P. 21–27. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-03.
2. Baliuk S. A., Truskavetskyi R. S. Soil science in Ukraine: achievements, priorities and prospects. *Visnyk ahrarnoi nauky.* 2021. No. 12 (825). P. 18–27. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02.
3. The influence of fertilizer systems on the dynamics of unstable humic substances in short-rotation crop rotations / O. Y. Kachmar et al. *Visnyk LNAU: Ahronomiia.* 2019. No. 23. P. 234–237. DOI: doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234.
4. Habryiel A. Y., Olifir Yu. M. Long-term stationary experiment of the Institute of Agriculture of the Carpathian Region in the context of its 50-year operation. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo.* 2015. Issue 58. P. 30–40.
5. Havryshko O. S. The role of the Global Long-Term Agricultural Field Experiments Network (GLTEN) in the practical training of higher education students in the field of modern agricultural sciences Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (July 3 – August 13, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. P. 9–12.
6. Electronic resource: URL: <https://www.rothamsted.ac.uk/facilities-and-resources/glten-global-long-term-agricultural-experiment-network>.
7. Minkova, O. H. Ways and methods of transition from traditional agricultural production to organic. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva.* 2016. 1. P. 3–10.

Вісник Уманського національного університету садівництва. 2016. 1. С. 3–10.

8. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні : монографія / за ред. Я. М. Гадзала, В. Ф. Камінського. К. : Аграрна наука, 2016. 592 с.

9. Позняк С. П., Гнатишин М. А. Глобальна ініціатива «4 PER 1000» та можливості її реалізації в Україні. *Український географічний журнал*. 2021. No. 2 (114). С. 11–19. DOI: doi.org/10.15407/ugz2021.02.011.

10. Стационарні польові дослідження України. Реєстр атестатів / за ред. А. С. Заришняка, С. А. Балука, М. В. Лісового. К. : Аграрна наука, 2014. 146 с.

11. Ткаченко М. А., Борис Н. Є. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99 № 1. С. 15–22. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02.

12. Фракційний та груповий склад гумусу ясносірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за тривалих агрогенних навантажень / Ю. М. Оліфір та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74 (2). С. 96–106. DOI: doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-9.

13. Architecture of soil microaggregates: Advanced methodologies to explore properties and functions / W. Amelung et al. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2023. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300149>.

14. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonald et al. *Long-Term Farming Systems Research*. Academic Press, 2020. P. 15–36. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3.

15. Clay content modulates differences in bacterial community structure in soil aggregates of different size / D. Biesgen et al. *Geoderma*, 2020. Vol. 376. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114544>.

16. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf.

17. Microaggregates in Soils / K. U. Totsche et al. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2018. 181 (1), 104–136. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>.

18. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019 P. 1–9. DOI: doi.org/10.1155/2019/5794869.

19. Soil organic matter is stabilized by organo-mineral associations through two key processes: The role of the carbon to nitrogen ratio / P. M. Kopittke et al. *Geoderma*, 2020. Vol. 357. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113974>.

20. Spatial organization of soil microaggregates / E. Lehdorff et al. *Geoderma*, 2021. Vol. 386. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114915>.

8. Scientific foundations of organic production in Ukraine : monograph / za red. Ya. M. Hadzala, V. F. Kaminskoho. K. : Ahrarna nauka, 2016. 592 p.

9. Pozniak S. P., Hnatyshyn M. A. The global initiative «4 PER 1000» and the possibilities of its implementation in Ukraine. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2021. No. 2 (114). P. 11–19. DOI: doi.org/10.15407/ugz2021.02.011.

10. Stationary field experiments of Ukraine. Register of certificates / za red. A. S. Zaryshniaka, S. A. Baliuka, M. V. Lisovoho. K. : Ahrarna nauka, 2014. 146 p.

11. Tkachenko M. A., Borys N. Ye. Optimization of crop nutrition during physicochemical degradation of acidic soils. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99. No. 1. P. 15–22. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02.

12. Fractional and group composition of humus of light-gray forest superficially gleyed soil under prolonged agrogenic loads / Yu. M. Olifir et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2023. Issue 74 (2). P. 96–106. DOI: doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-9.

13. Architecture of soil microaggregates: Advanced methodologies to explore properties and functions / W. Amelung et al. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2023. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300149>.

14. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonald et al. *Long-Term Farming Systems Research*. Academic Press, 2020. P. 15–36. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3.

15. Clay content modulates differences in bacterial community structure in soil aggregates of different size / D. Biesgen et al. *Geoderma*, 2020. Vol. 376. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114544>.

16. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf.

17. Microaggregates in Soils / K. U. Totsche et al. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2018. 181 (1), 104–136. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>.

18. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019 P. 1–9. DOI: doi.org/10.1155/2019/5794869.

19. Soil organic matter is stabilized by organo-mineral associations through two key processes: The role of the carbon to nitrogen ratio / P. M. Kopittke et al. *Geoderma*, 2020. Vol. 357. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113974>.

20. Spatial organization of soil microaggregates / E. Lehdorff et al. *Geoderma*, 2021. Vol. 386. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114915>.

21. State of water-stable soil structure in the Central Forest-Steppe under agrogenic and postagrogenic

21. State of water-stable soil structure in the Central Forest-Steppe under agrogenic and postagrogenic maintenance / S. Bulyhin et al. *Agricultural Science and Practice*. 2022. 9 (2), 3–22. <https://doi.org/10.15407/agrisp9.02.003>.

22. Wet sieving versus dry crushing: Soil microaggregates reveal different physical structure, bacterial diversity and organic matter composition in a clay gradient / V. J. Felde et al. *Eur J Soil Sci*. 2021. Vol. 72 (2). P. 810–828. <https://doi.org/10.1111/ejss.13014>.

maintenance / S. Bulyhin et al. *Agricultural Science and Practice*. 2022. 9 (2), 3–22. <https://doi.org/10.15407/agrisp9.02.003>.

22. Wet sieving versus dry crushing: Soil microaggregates reveal different physical structure, bacterial diversity and organic matter composition in a clay gradient / V. J. Felde et al. *Eur J Soil Sci*. 2021. Vol. 72 (2). P. 810–828. <https://doi.org/10.1111/ejss.13014>.