

УДК 631.5:631.43
© 2026

ТВЕРДІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ В АГРОЦЕНОЗІ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ

О.В. Демиденко

*доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник
Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція
Національного наукового центру «Інститут землеробства
Національної академії аграрних наук України»
вул. Докучаєва, 13, м. Сміла, 20700, Україна
e-mail: agrogumys23@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5334-1154*

Надійшла 10.04.2026. Рецензована 23.04.2026. Прийнята до друку 03.06.2026

Мета. Виявити закономірності профільного розподілу твердості ґрунту, провести типізацію її значень і встановити кореляційні зв'язки з вологістю чорнозему опідзоленого сильнореградованого під впливом систематичної оранки, поверхневого обробітку на глибину 10–12 см упродовж 10 років, а також за переходу на No-till після оранки впродовж 5 років і поверхневого обробітку впродовж 5 років в агроценозі 5-пільної зернової сівозміни в умовах Центрального Лісостепу. **Методи.** Польовий (встановлення впливу різних систем обробітку на вміст органічної речовини в чорноземі опідзоленому), аналітичний (визначення вмісту гумусу за методом Тюріна), розрахунковий (розрахунок балансу гумусу в 5-пільній сівозміні) та статистично-дисперсійний аналіз із використанням комп'ютерної програми Statistica 10. **Результати.** Дослідження проводили у 2021–2025 рр. на експериментальній базі Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» в умовах польового стаціонарного досліді, закладеного у 2010 р. Географічні координати с-ща Холоднянського (Черкаська обл.) — 49°11'14" пн. ш. та 31°51'58" сх. д. Ґрунтовий покрив поля — чорнозем опідзолений сильнореградований малогумусний середньосуглинковий на карбонатному лесі. У весняний період (максимальний рівень зволоженості) твердість ґрунту в товщі ґрунту 0–20 см за оранки і No-till після оранки була < 10 кг/см², водночас за поверхневого обробітку та No-till після поверхневого обробітку вона сягала верхньої межі оптимального значення. У товщі ґрунту 0–40 см твердість ґрунту незалежно від способу обробітку була в межах оптимальних значень — 11,5–16,7 кг/см². На глибині 35–60 і 0–60 см за поверхневого обробітку і No-till твердість відповідала задовільним умовам росту (20–21 кг/см²), за оранки — несприятливим умовам росту рослин

($> 21,0 \text{ кг/см}^2$). У липні за найнижчого рівня зволоженості в шарі ґрунту 0–20 см за оранки твердість відповідала оптимальним умовам росту рослин, а за поверхневого обробітку і No-till умови росту були задовільними ($> 21,0 \text{ кг/см}^2$). У товщі ґрунту 0–40 см незалежно від способу обробітку умови росту були незадовільними, його твердість сягала критичних значень ($> 30,0 \text{ кг/см}^2$), як і на глибині 35–60 та 0–60 см 47,5–54,2 та 41,2–44,0 кг/см^2 відповідно. Розрахунок показав, що між твердістю й вологістю ґрунту в товщі ґрунту 0–30 см виявлено обернений кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції незалежно від способу обробітку ґрунту: $R = -0,74 \dots 0,79 \pm 0,02$, $R^2 = 0,55 - 0,62$. За оранки та поверхневого обробітку зростання на одиницю вологості ґрунту відповідало збільшення або зменшення його твердості на 0,21 кг/см^2 . За No-till після оранки та No-till після поверхневого обробітку зменшенню на одиницю вологості ґрунту відповідало 0,25 кг/см^2 його твердості, що в 1,19 рази вище, ніж за оранки. **Висновки.** Із застосуванням No-till після оранки та поверхневого обробітку порівняно з оранкою і поверхневим обробітком у напівтовщах ґрунту 0–30 см, 30–60 та 0–60 см твердість ґрунту перебуває в інтервалі оптимальних і задовільних значень за високих показників його вологості. У весняний період із застосуванням No-till як за оранки, так і за поверхневого обробітку формуються оптимальні умови для росту рослин, у літній період умови росту культур за твердістю є незадовільними за всіх систем обробітку ґрунту. Найбільше вони погіршуються за поверхневого обробітку.

Ключові слова: вологість ґрунту, No-till, оптимальні умови росту рослин, оранка, поверхневий період, початковий період, твердомір.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-04>

Твердість — незамінний показник для оцінювання умов проростання насіння і його розвитку на перших етапах онтогенезу, зокрема здатності кореневих волосків освоювати не лише між-агрегатний, а й внутрішньоагрегатний простір. За допомогою показника твердості можна оцінити міцність ґрунтового агрегату та якість його складу [1, 2]. Отримання достовірних відомостей про твердість ґрунту має особливе значення, оскільки на його ущільнення значною мірою впливають багаторазові проходи полем тракторів, комбайнів та іншої сучасної мобільної техніки [3].

У землеробстві механічна дія різних сільськогосподарських машин і ґрунтообробної техніки позначається на агрофі-

зичних властивостях та стані відповідних шарів ґрунту, що визначає інтенсивність надходження та перерозподілу атмосферних опадів у кореневмісному профілі й ефективність їх використання польовими культурами [4]. Висока твердість ґрунту часто призводить до зниження схожості висіяного насіння, погіршення водного, повітряного та теплового режимів ґрунту, а також чинить механічний опір розвитку кореневої системи рослин [5, 6]. Вона залежить від гранулометричного складу, структури, вмісту органічної речовини, вологості, виду й строку попереднього обробітку. У чорноземів, насичених кальцієм, твердість ґрунту в 10–15 разів менша, ніж у солонців, які містять значну кількість обмінного натрію.

Для успішного проростання насіння та розвитку корінців 1-го порядку бажано, щоб твердість не перевищувала 10 кг/см^2 , для дрібнонасієних культур — $5\text{--}7 \text{ кг/см}^2$ [7, 8]. Дослідженнями встановлено, що за твердості ґрунту в плужній підшві понад $35\text{--}40 \text{ кг/см}^2$ виникають істотні перешкоди для росту коріння культурних рослин. Водночас твердість до $20\text{--}25 \text{ кг/см}^2$ вважається допустимою [9]. Оптимальне її значення для зернових колосових культур варіює в діапазоні $20\text{--}25 \text{ кг/см}^2$, просапних і коренеплодів — $5\text{--}10 \text{ кг/см}^2$ [10].

Формування показників твердості ґрунту на рівні $35\text{--}40 \text{ кг/см}^2$ є однією з характерних ознак наявності плужної підшви, яка різко гальмує проникнення коренів у нижні шари ґрунту [11]. Дослідженнями встановлено, що за полицевої оранки на глибині $0\text{--}30 \text{ см}$ показник твердості ґрунту був мінімальним і становив $8,7 \text{ кг/см}^2$, а за використання для обробітки знарядь чизельного та дискового типів він підвищився, відповідно, до $11,9$ і $13,3 \text{ кг/см}^2$ [12, 13]. За допомогою показника твердості можна оцінити не тільки міцність ґрунтового агрегату, а й якість його складу [14–18].

Подальший розвиток вчення про екоморфні особливості ґрунту доповнить наші знання про просторову неоднорідність ґрунтових екологічних умов, сприятиме побудові повноцінних прогнозів ґрунтоутворення в технозомах, розробленню ефективних й адекватних технологічних методів для оптимізації просторової неоднорідності [19]. Встановлено, якщо ґрунт не обробляють (технологія No-till), твердість зростає, особливо це помітно у верхньому шарі, де показник не перевищує критичного рівня — $20\text{--}25 \text{ кг/см}^2$ (для ґрунтів середнього гранулометричного складу в умовах Дакоти, США) [20, 21].

Зміну врожайності в межах поля розглядають як наслідок перерозподілу поживних елементів у ґрунті, проте іноді надзвичайно широку амплітуду

врожайних даних (від $4,0$ до $11,5 \text{ т/га}$ зерна) пояснюють варіабельністю твердості ґрунту.

Мета досліджень — виявити закономірності профільного розподілу твердості ґрунту, провести типізацію її значень і встановити кореляційні зв'язки з вологістю чорнозему опідзоленого під впливом систематичної оранки, поверхневого обробітку на глибину $10\text{--}12 \text{ см}$ упродовж 10 років, а також за переходу на технологію No-till після оранки впродовж 5 років і поверхневого обробітку впродовж 5 років в агроценозі 5-пільної зернової сівозміни в умовах Центрального Лісостепу.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили у $2021\text{--}2025$ рр. на експериментальній базі Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» в умовах польового стаціонарного досліду, закладеного у 2010 р. Географічні координати с-ща Холоднянського (Черкаська обл.) — $49^\circ 11' 14''$ пн. ш. і $31^\circ 51' 58''$ сх. д. Ґрунтовий покрив поля — чорнозем опідзолений сильнореградований малогумусний середньосуглинковий на карбонатному лесі. Уміст гумусу в орному горизонті — $2,58\text{--}2,99\%$, він поступово зменшувався і на глибині 1 м становив $0,96\%$. За ґрунтово-екологічним районуванням лісостепової підвищено зволоженої зони ($9,7\%$) чорноземів опідзолених із кількістю опадів за холодний період року $140\text{--}160 \text{ мм}$ та їх засвоєнням на рівні $55\text{--}58\%$ за травень – липень ГТК = $1,10\text{--}1,20$, за серпень – вересень ГТК = $0,91\text{--}1,00$.

Дослідження здійснювали в польовому стаціонарному досліді з вивчення продуктивності 5-пільної зернової сівозміни: ячмінь ярий – горох – пшениця озима – соя – пшениця яра. Структура сівозміни: зернові — 60% , зокрема: пшениця озима — 20 , ярі колосові — 40 , зернобобові (горох) — 20 , технічні (соя) — 20% . Вивчали вплив довготривалого застосування різних систем

обробітку чорнозему опідзоленого за переходу на систему No-till через мінімальний обробіток і перехідну спеціалізовану зернову сівозміну після систематичної оранки та поверхневого обробітку. Встановлено вплив перехідних ґрунтових умов на продуктивність і якість зернових культур 5-пільної сівозміни.

Система обробітку містила: систематичну оранку на глибину 22–25 см; нульовий обробіток (5-й рік виконання) після систематичної оранки на 22–25 см (початковий період); нульовий обробіток (5-й рік виконання) після поверхневого обробітку на глибину 10–12 см упродовж 5 років (початковий період); поверхневий обробіток на глибину 10–12 см упродовж 10 років (довгострокове виконання).

Система удобрення — $N_{75}P_{65}K_{82}$ на 1 га сівозмінної площі.

Аналізи зразків ґрунту, облік та розрахунок проводили відповідно до спеціальних методик: вологість визначали термогравіметричним методом за основними періодами росту культур (ДСТУ ISO 11465:2001); щільність складення (будови) — методом різальних кілець у модифікації Н.А. Качинського в періоди інтенсивного росту культур і формування врожаю (ДСТУ ISO 11272:2001). Твердість ґрунту визначали щільноміром «ЛАН-М PRO», призначеним для вимірювання ущільнення ґрунту (опору ґрунту під час введення щільноміра) згідно зі стандартом ASAE S313.3. Одиниці вимірювання — см і $\text{кг}/\text{см}^2$, діапазон вимірювання — 0–70 см, діапазон вимірювання зусилля — 0–78 $\text{кг}/\text{см}^2$ для малого наконечника, дискретність вимірювання глибини — 2,5 см, зусилля — 0,1 $\text{кг}/\text{см}^2$, тип наконечника — 1,27 см для твердих ґрунтів.

Шкала зміни зусиль щільноміра складається з 3 діапазонів: зеленого (сприятливі умови для росту рослин) — 0–14 $\text{кг}/\text{см}^2$ (0–200 psi), жовтого (задовільні умови для росту рослин) — 14–21 $\text{кг}/\text{см}^2$ (0–300 psi), червоного (незадовільні

умови для росту рослин) — понад 21 $\text{кг}/\text{см}^2$ (більше 300 psi), критичні умови твердості — 30–50 $\text{кг}/\text{см}^2$. Твердість ґрунту вимірювали під кожною культурою в 5-пільній сівозміні за 4-разової повторності (20 проколів щільноміром) двічі за вегетацію (травень і липень). Усього — 40 повторень. Розраховували середню (4 дискретних значення по 2,5 см) твердість для кожного шару ґрунту 10 см до глибини 70 см за 4 способів обробітку ґрунту відповідно до систем обробітку. Статистичні розрахунки результатів досліджень здійснювали методом дисперсійного аналізу з використанням програми Statistica 10 непараметричними методами статистики й кореляційного аналізу.

Результати досліджень. У товщі ґрунту 0–70 см середня його твердість незалежно від способу обробітку становила 16,6–20,1 $\text{кг}/\text{см}^2$, що відповідає задовільним умовам росту культур у сівозміні. За амплітудним розмахом максимальне значення твердості незалежно від способу обробітку перевищувало 21 $\text{кг}/\text{см}^2$ (несприятливі умови), а за максимальним типовим значенням твердість становила 19,5–22,1 $\text{кг}/\text{см}^2$, що відповідає задовільним умовам росту культур у сівозміні. За амплітудним розмахом незалежно від способу обробітку інтервал зміни щільності становив $\Delta_a = 14,1–17,1 \text{ кг}/\text{см}^2$, за нормованим розмахом за оранки та No-till після оранки — $\Delta_n = 6,3–6,4 \text{ кг}/\text{см}^2$, за поверхневого обробітку та No-till $\Delta_n = 4,5–5,9 \text{ кг}/\text{см}^2$. Коефіцієнт варіації (C_v) мав найвище значення за оранки та No-till після оранки (29,9–32,2%), за поверхневого обробітку та No-till після поверхневого обробітку C_v був в 1,25–1,44 раза меншим (табл. 1).

У липні в товщі ґрунту 0–60 см середня його твердість становила 41,2–47,0 $\text{кг}/\text{см}^2$. За максимального значення твердості стан ґрунту відповідав дуже щільним умовам, за мінімального — ущільненим, набуваючи найнижчого

1. Типізація значень профільного розподілу пошарової твердості залежно від способу обробітку чорнозему опідзоленого (травень), кг/см²

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє	Медіана	Амплітудний розмах $\Delta_a = \text{max} - \text{min}$		Нормований розмах $\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25}$		Розмах		C _v , %
			Min	Max	L _{0,25}	L _{0,75}	Δ_a	Δ_n	
Оранка	16,6	16,5	9,9	24,0	13,3	19,7	14,1	6,4	32,2
Оранка + No-till після оранки	16,2	15,9	8,3	25,4	13,1	19,5	17,1	6,3	29,9
Поверхневий	20,1	19,6	13,4	29,1	17,6	22,2	15,7	4,5	21,7
Поверхневий обробіток + No-till після поверхневого обробітку	17,6	17,7	9,8	24,9	14,8	20,7	15,0	5,9	24,9

значення твердості за поверхневого обробітку.

За нормованим розмахом за L_{0,75} незалежно від обробітку твердість ґрунту відповідала дуже щільному стану, за L_{0,25} — щільному стану. Амплітудний розмах незалежно від способу обробітку був у межах $\Delta_a = 28,0-37,1$ кг/см², набуваючи найвищого значення ($\Delta_a = 37,1$ кг/см²) за поверхневого обробітку, а найнижчого ($\Delta_a = 28$ кг/см²) — за оранки. Нормований розмах твердості змінювався в інтервалі від 12,4 (оранка) до 16,4 кг/см² (поверхневий обробіток), а за використання No-till $\Delta_n = 14-15$ кг/см² (табл. 2).

Коефіцієнт варіації твердості в товщі ґрунту 5–60 см був найвищим за поверхневого обробітку (33,2%), за оранки і No-till — меншим в 1,2 раза.

За порівняння пошарової середньої твердості ґрунту після збирання озимих і ярих колосових виявлено, що в товщі ґрунту 0–20 см за оранки твердість збільшилася на 7,3 кг/см² (в 1,87 раза), за поверхневого обробітку — на 9,4 кг/см² (в 1,65 раза), за використання No-till — на 8,7–10,2 кг/см² (в 1,69–1,81 раза).

На глибині 15–35 см цей показник за оранки підвищився на 31,7 кг/см², за поверхневого обробітку — на 35,3 кг/см², за No-till — на 31,5–34,7 кг/см². У товщі ґрунту 35–60 см його твердість зросла, відповідно, на 28,8 кг/см², 30,7 та 26,2–

29,6 кг/см², що, відповідно, у 2,29 раза, 2,31 та 2,26–2,41 раза більше залежно від обробітку.

На глибині 0–40 см твердість ґрунту за оранки збільшилася на 22,6 кг/см², за поверхневого обробітку — на 25,3 кг/см², за No-till — на 21,2–24,8 кг/см². Цей показник порівняно з весняними значеннями зріс: за оранки — у 2,46 раза, за поверхневого обробітку — в 1,31, за використання No-till — у 2,31–2,47 раза. Загалом у товщі ґрунту 0–60 см за оранки твердість становила 25,8 кг/см², за поверхневого обробітку — 26,9 кг/см², за No-till — 23,6–26,4 кг/см². Порівняно з весняними значеннями вона зросла, відповідно, у 2,55 раза, 2,34 та 2,34–2,50 раза залежно від обробітку.

Згідно з розрахунками між твердістю та вологістю ґрунту на глибині 0–30 см виявлено обернений кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції незалежно від способу обробітку ґрунту: $R = -0,74 \dots 0,79 \pm \pm 0,02$, $R^2 = 0,55-0,62$. За оранки зростання на одиницю вологості ґрунту відповідало збільшення або зменшення його твердості на 0,21 кг/см², як і за поверхневого обробітку та No-till після поверхневого обробітку ($-0,20 \dots 0,22$ кг/см²). Водночас за No-till після оранки збільшенню або зменшенню на одиницю вологості ґрунту відповідало 0,25 кг/см² його твердості, що в 1,19 раза більше, ніж за оранки.

2. Типізація значень профільного розподілу пошарової твердості залежно від способу обробітку чорнозему опідзоленого (липень), кг/см²

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє	Медіана	Амплітудний розмах $\Delta_a = \text{max} - \text{min}$		Нормований розмах $\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25}$		Розмах		$C_v, \%$
			Min	Max	$L_{0,25}$	$L_{0,75}$	Δ_a	Δ_n	
<i>0–60 см</i>									
Оранка	42,4	40,7	29,3	57,3	36,1	48,5	28,0	12,4	27,9
Оранка + No-till після оранки	44,0	44,7	27,7	58,3	36,6	50,6	30,6	14,0	27,4
Поверхневий	41,2	40,5	22,4	59,5	34,0	50,4	37,1	16,4	29,2
Поверхневий обробіток + No-till після поверхневого обробітку	47,0	47,9	28,3	62,4	40,4	55,4	34,1	15,0	27,9

Оцінювання кореляційного співвідношення між твердістю і вологістю ґрунту свідчить про те, що за оранки збільшення або зменшення вологості на 2,75% сприяє зміні твердості на 1 кг/см², тоді як за поверхневого обробітку цей показник в 1,12 раза менший, за No-till після оранки — в 1,2 раза менший, за No-till після поверхневого обробітку — в 1,3 раза більший. У товщі ґрунту 35–60 см залежність між твердістю і вологістю була оберненою ($R = -0,93 \dots 0,97 \pm 0,03$, $R^2 = 0,86 - 0,94$) незалежно від обробітку ґрунту. За оранки в разі збільшення чи зменшення твердості на 0,27 кг/см² вологість змінювалася на 1%, як і за No-till після поверхневого обробітку. Водночас у разі поверхневого обробітку і No-till після оранки коефіцієнти регресії зростали в 1,15–1,22 раза за вищих значень вільного члена в лінійних рівняннях. У товщі ґрунту 15–35 см за оранки та поверхневого обробітку твердість становила 47,2–48,6 кг/см² (щільний стан ґрунту), тоді як за No-till вона була вищою на 3,9–8,3 кг/см² і відповідала дуже щільному стану ґрунту.

Оцінювання показало, що одиниці (1 кг/см²) зміни твердості ґрунту відповідала певна зміна його вологості: за оранки — 3,26%, поверхневого обробітку — 3,17, No-till після поверхневого

обробітку — 3,67, за використання No-till після оранки — 2,99%. На глибині 0–60 см коефіцієнт кореляції між твердістю та вологістю ґрунту за оранки, поверхневого обробітку і No-till після оранки становив $R = -0,73 - 0,79 \pm \pm 0,02$, $R^2 = 0,53 - 0,62$, за No-till після поверхневого обробітку — $R = -0,86 \pm \pm 0,02$, $R^2 = 0,74$. Збільшенню або зменшенню на одиницю вологості ґрунту відповідала зміна його твердості: 0,19 кг/см² за оранки, 0,21–0,23 кг/см² за поверхневого обробітку і No-till після поверхневого обробітку та 0,25 кг/см² за No-till після оранки. Зміна твердості на 1 кг/см² за оранки відповідала зміні вологості на 2,99%, за поверхневого обробітку — на 2,80, за No-till після оранки — на 2,56%, за No-till після поверхневого обробітку — на 3,48%.

Установлено, що в товщі ґрунту 0–30 см за інтервалу оптимальної твердості (5,0–13,7 кг/см²) під час оранки вологість становила 17,6–19,5%, за поверхневого обробітку — 18–19%, водночас за No-till інтервал вологості ґрунту варіював у межах 18,4–22,0%. За оранки задовільна для росту рослин твердість (20,2–30,2 кг/см²) формувалася в інтервалі вологості 16,1–16,8%, за поверхневого обробітку — 16,6–17,3%, за No-till після

3. Вплив різних способів обробітку чорнозему опідзоленого на польову вологість за критичних значень твердості в товщі ґрунту 0–60 см

Спосіб обробітку ґрунту	Твердість ґрунту за критичними точками, кг/см ²							
	5,0	13,7	17,2	20,2	30,2	40,2	50,2	60,2
	Твердість ґрунту за критичними точками, МПа/см ²							
	0,49	1,34	1,16	1,98	2,94	3,94	4,92	5,89
<i>0–30 см</i>								
Оранка	19,5	17,6	16,8	16,1	14,2	12,1	10,1	7,9
No-till + оранка впродовж 5 років	20,7	18,4	17,6	16,8	14,2	12,1	10,0	7,9
Поверхневий обробіток упродовж 10 років	19,0	18,0	17,3	16,6	14,4	11,9	9,4	6,9
No-till + поверхневий обробіток упродовж 5 років	22,0	20,0	19,3	18,7	16,8	14,8	11,9	10,6
<i>30–60 см</i>								
Оранка	24,5	22,0	21,2	20,3	17,7	15,0	12,3	9,6
No-till + оранка впродовж 5 років	26,8	23,8	22,8	21,7	18,6	15,3	12,0	8,7
Поверхневий обробіток упродовж 10 років	24,6	21,7	20,7	19,8	16,8	13,7	10,6	7,5
No-till + поверхневий обробіток упродовж 5 років	25,4	23,0	22,2	21,4	18,9	16,3	13,7	11,1
<i>0–60 см</i>								
Оранка	22,0	19,8	19,0	18,2	16,0	13,6	11,2	8,8
No-till + оранка впродовж 5 років	23,8	21,1	20,2	19,3	16,4	13,7	11,0	8,3
Поверхневий обробіток упродовж 10 років	21,8	19,9	19,0	18,2	15,6	12,8	10,0	7,2
No-till + поверхневий обробіток упродовж 5 років	23,7	21,5	20,8	20,1	17,9	15,6	12,8	10,9

поверхневого обробітку — 18,7–19,3%, за No-till після оранки вологість зростає до 16,8–17,6%. Твердість ґрунту, яка негативно впливала на ріст рослин (> 20,2 кг/см²), за оранки формувалася в інтервалі вологості 7,9–14,2%, за поверхневого обробітку — 6,9–14,4%, за No-till після оранки — 7,9–14,2%, а за No-till після поверхневого обробітку — 10,6–16,8% (табл. 3).

У товщі ґрунту 30–60 см за оранки й поверхневого обробітку оптимальна твердість відповідала вологості 22,0–24,5% і 21,7–24,6%, тоді як за No-till після оранки та поверхневого обробітку вологість зростає до 23,8–26,8% і 23,0–25,4% відповідно. Вологість аналогічно підвищувалася в інтервалі задовільної твердості в товщі ґрунту 30–60 см за системи No-till. Якщо за оранки й поверхневого обробітку вологість

становила, відповідно, 20,3–21,2 та 19,8–20,7%, то за No-till після оранки і поверхневого обробітку зростає до 21,7–22,8 та 21,4–22,4% відповідно (див табл. 3).

Негативні значення в інтервалі твердості ґрунту за оранки та поверхневого обробітку відповідали низькій вологості: 9,6–17,7 і 7,5–16,8% проти 8,7–18,6 й 11,1–18,9%, відповідно, за No-till після оранки та поверхневого обробітку. Загалом у товщі ґрунту 0–60 см інтервал вологості, у межах якої проявилася оптимальна твердість, за No-till був вищим: 21,1–23,8% — після оранки, 21,5–23,8% — після поверхневого обробітку проти 19,8–22,0 і 19,9–21,8%, відповідно, за оранки й поверхневого обробітку. Аналогічна закономірність проявлялась і в інтервалі задовільної щільності: за No-till після оранки та

поверхневого обробітку вологість становила 19,3–20,2 і 20,1–20,8% проти 18,2–20,0% за оранки та поверхневого обробітку. Неприятливий інтервал значень твердості в шарі ґрунту 0–60 см

за оранки, поверхневого обробітку й No-till після оранки формувався в межах вологості від 7,2 до 16,4%, водночас за No-till після поверхневого обробітку інтервал вологості зростав до 10,9–17,9%.

Висновки

У весняний період (максимальний рівень зволоженості) твердість ґрунту в товщі 0–20 см за оранки та No-till після оранки була меншою за 10 кг/см², тоді як за поверхневого обробітку й No-till після поверхневого обробітку вона сягала верхньої межі оптимального значення. За оранки коефіцієнт варіації твердості ґрунту становив 61,8%, за поверхневого обробітку та No-till — 28,2–33,2%. В товщі ґрунту 0–40 см твердість незалежно від способу обробітку була в межах оптимальних значень (11,5–16,7 кг/см²). У товщі 35–60 см, як і в товщі 0–60 см, твердість ґрунту відповідала задовільним умовам росту за поверхневого обробітку й No-till (20–21 кг/см²), а за оранки — несприятливим (> 21,0 кг/см²).

У липні в період найнижчого рівня зволоженості в шарі ґрунту 0–20 см за оранки твердість відповідала оптимальним умовам росту рослин, за поверхневого обробітку й No-till умови росту були задовільними (> 21,0 кг/см²). У товщі ґрунту 0–40 см незалежно від

способу обробітку умови росту були незадовільними та сягали критичних значень (> 30,0 кг/см²), як і в товщах 35–60 см (47,5–54,2 кг/см²) та 0–60 см (41,2–44,0 кг/см²). Найвищий коефіцієнт варіації твердості ґрунту було зафіксовано у товщах 0–20 см і 0–40 см (30,7–47,0%), в товщах 35–60 см та 0–60 см цей показник був меншим за 30%.

У товщі 0–30 см між твердістю та вологістю ґрунту виявлено обернений кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції незалежно від способу обробітку ґрунту: $R = -0,74 \dots 0,79 \pm 0,02$, $R^2 = 0,55 - 0,62$.

За оранки та поверхневого обробітку одиниці зростання вологості ґрунту відповідало збільшення або зменшення його твердості на 0,21 кг/см², а за No-till після оранки та No-till після поверхневого обробітку одиниці збільшення або зменшення вологості ґрунту відповідало збільшення або зменшення на 0,25 кг/см² його твердості, що в 1,19 раза вище, ніж за оранки.

Demydenko O.

Cherkasy State Agricultural Research Station of the National Scientific Centre «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine», 13 Dokuchaiev Str., Smila, 20700, Ukraine; e-mail: agrogumys23@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5334-1154

Hardness of podzolized chernozem under different cultivation methods in the agrocenosis of short-term crop rotation

Goal. To identify the regularities of the profile distribution of soil hardness, to conduct a typology of its values, and to establish correlation links with the moisture content of podzolized chernozem under the influence of systematic

ploughing, surface tillage to a depth of 10–12 cm for 10 years, as well as for the transition to No-till after ploughing for 5 years and surface tillage for 5 years in the agrocenosis of 5-field grain rotation in the conditions of Central Forest-Steppe. **Methods.** Field (establishing the influence of different cultivation systems on the content of organic matter in the podzolized chernozem), analytical (determination of humus content by the Tiurin method), calculation (calculation of humus balance in the 5-field crop rotation), and statistical dispersion analysis using the Statistica 10 computer program. **Results.** The study was conducted in 2021–2025 on an experimental basis at the Cherkasy State

Agricultural Experimental Station of the NSC «Institute of Agriculture of the NAAS» in the conditions of a field stationary experiment laid down in 2010. The geographical coordinates of the vil. Kholodnianske (Cherkasy oblast) are 49°11'14"N and 31°51'58"E. The soil cover of the field is strongly graded low-humus middle carbonaceous on carbonate loess podzolized chernozem. In the spring period (maximum moisture level), the soil hardness in the soil thickness of 0–20 cm for ploughing and No-till after ploughing was < 10 kg/cm². At the same time, for surface tillage and No-till after surface tillage, it reached the upper limit of the optimal value. In the soil thickness of 0–40 cm, the soil hardness, regardless of the method of tillage, was within the optimal values, 11.5–16.7 kg/cm². At a depth of 35–60 and 0–60 cm for surface tillage and No-till, the hardness met satisfactory growth conditions (20–21 kg/cm²), for ploughing, unfavorable plant growth conditions (> 21.0 kg/cm²). In July, at the lowest level of moisture in the soil layer of 0–20 cm for ploughing, the hardness corresponded to the optimal conditions for plant growth, and for surface tillage and No-till, the growth conditions were satisfactory (> 21.0 kg/cm²). In the soil thickness of 0–40 cm, regardless of the method of cultivation, the growth conditions were unsatisfactory, its hardness reached critical values (> 30.0 kg/cm²), as well as at

a depth of 35–60 and 0–60 cm, 47.5–54.2 and 41.2–44.0 kg/cm², respectively. The calculation showed that between the hardness and humidity of the soil in the soil thickness of 0–30 cm, an inverse correlation was found at the level of strong correlation, regardless of the method of soil tillage: $R = -0.74...0.79 \pm \pm 0.02$, $R_2 = 0.55-0.62$. For ploughing and surface tillage, an increase per unit of soil moisture corresponded to an increase or decrease in its hardness by 0.21 kg/cm². At the use of No-till after ploughing and No-till after surface tillage, a decrease per unit of soil moisture corresponded to 0.25 kg/cm² of its hardness, which was 1.19 times higher than for ploughing. **Conclusions.** With the use of No-till after ploughing and surface tillage, compared with ploughing and surface tillage in the semi-thickness of the soil 0–30 cm, 30–60, and 0–60 cm, the hardness of the soil was in the range of optimal and satisfactory values for high indicators of its humidity. In the spring period, with the use of No-till, both for ploughing and for surface tillage, optimal conditions for plant growth were formed, and in the summer period, the conditions for the growth of crops by hardness were unsatisfactory for all soil tillage systems. Most of all, they deteriorate during surface tillage.

Key words: hardness, soil moisture, No-till, optimal conditions for plant growth, ploughing, initial period, surface period.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-04>

Бібліографія

1. Медведєв В.В. Твердість ґрунту. Харків: КП «Городская типография», 2009. 152.
2. Циліурік О.І., Судак В.М., Шапка В.П. Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту на фоні суцільного мульчування післяживними рештками. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН України*. 2015. № 8. С. 66–72.
3. Комісар Е.О., Зубко В.М. Твердість ґрунту: огляд методів та пристроїв. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2020. Вип. 4 (42). С. 26–31.
4. Gao W., Hodgkinson L., Jin K. et al. Deep roots and soil structure. *Plant, Cell and Environment*. 2016. 39(8). p. 1662–1668. Doi:10.1111/pce.12684
5. Іванюк Г. Вплив неоднорідності ґрунтового покриву і сільськогосподарських культур на твердість ґрунту. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2020. № 24. С. 33–37. http://nbuv.gov.ua/UJRN/VInau_act_2020_24_8
6. Центило Л.В., Цюк О.А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. *Вісник ПДАА*. 2019. № 1. С. 147–153. doi: 10.31210/visnyk2019.01.16
7. Цизь І.С., Голій В.О. Результати дослідження твердості ґрунту полів ДПЕДГ «Еліта». *Сільськогосподарські машини*. 2024. Вип. 50. С. 25–36. http://nbuv.gov.ua/UJRN/silmah_2024_50_5.

8. Bengough A.G., McKenzie B.M., Hallet P.D., Valentine T.A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*. 2011. 62. P. 59–68.

9. Bolenius E., Rogstrand G., Arvidsson J. et al. On-the-go measurements of soil penetration resistance on a Swedish Eutric Cambisol. *International Soil Tillage Research Organization 17-th Triennial Conference*. Kiel, Germany, 2006. P. 867–870.

10. Медведєв В.В. Неоднородність як закономірне проявлення горизонтальної структури ґрунтового покрива. *Ґрунтознавство*. 2010. Т. 11. № 1–2. С. 6–15.

11. Войтовик М.В., Панченко О.Б., Пριαмак І.Д., Цюк О.А. Порівняльна оцінка агрофізичних властивостей за різних технологій обробітку ґрунту в сівозміні. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2023. № 6 (106). С. 53–76. doi: 10.31548/dopovid6(106).2023.004

12. Гаєрилов С. Проблема плужної підшви у ґрунті та шляхи її вирішення. *Пропозиція*. 2017. № 8. <https://propozitsiya.com/ua/problema-pluzhnoyipidoshvi-u-gruntita-shlyahi-yiyi-virishennya>

13. Матвійчук Б.В., Матвійчук Н.Г., Корево Н.І. Щільність будови і твердість ґрунту за вирощування пшениці озимої. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 3. С. 167–175.

14. Гангур В.В., Гангур М.В. Варіювання твердості ґрунту за різних систем його обробітку під ячмінь ярий. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 130. С. 29–35. doi: 10.32851/2226-0099.2023.130.5

15. Жуков А.В., Кунах О.М. Твердість дерново-літогенних ґрунтів на лесовидних

суглинках. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2011. № 1. С. 63–69.

16. Кунах О.Н., Балдин А.А. Екологічний аспект твердості ґрунту в пристепої дубраві. *Вісник Дніпропетровського університету*. 2011. Т. 1. Вип. 19. С. 65–74.

17. Жуков А.В., Задорожня Г.А. Оцінка екоморфогенеза педозема і чорнозема звичайного на основі показателів твердості. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 84. С. 72–80.

18. Жуков А.В., Задорожня Г.А. Пространственная изменчивость твердості педозем. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*. 2013. Вип. 3. № 1. С. 34–49. doi: 10.15421/20133_03

19. Жуков А.В., Задорожня Г.А., Демидов А.А., Рысина Е.В. Экологическое значение пространственной изменчивости твердості ґрунту в условиях природного земледелия. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 84. С. 21–37.

20. Alvarez C.R., Taboada M.A., Boem F.H.G. et al. Topsoil Properties as Affected by Tillage Systems in the Rollin Pampa Region of Argentina. *Soil Science Society America Journal*. 2009. 73(4). P. 1242–1250.

21. Reinert D.J., Suzuki L.E.A.S., Reichert J.M. Interrelation of mechanical and physical soil properties of six south brazilian soils under no-tillage. *Sustainability — its impact on soil management and environmet*. 2006. P. 358–363.