



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.434

© 2020

## СТРУКТУРНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМІВ ЛІСОСТЕПУ ЗА АГРОГЕННОГО ВПЛИВУ

О.В. Демиденко

доктор сільськогосподарських наук

Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Докучаєва, 13, с. Холоднянське Смілянського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна

e-mail: smilachiarv@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5334-1154

Надійшла 02.03.2020

**Мета.** Виявити основні закономірності трансформації структурного стану чорноземів Лісостепової зони в умовах довгострокової агрогенної трансформації. **Методи.** Польовий та лабораторний експерименти (сухе структурне розсіювання ґрунту). Статистично-аналітичний метод, факторний аналіз (метод головних компонент), кластерний аналіз, непараметричні методи аналізу отриманих даних структурного стану. **Результати.** При посиленні агрогенного і техногенного навантажень на чорноземі більшою мірою утворюються фракції структурних окремостей  $>7$  мм, а меншою мірою  $<0,25$  мм і зменшується кількість найбільш цінної в агрономічному розумінні фракції —  $3,0-0,5$  мм. За систематичної оранки цей процес значно виражений. Застосування безполіцевого обробітку сприяє відновленню структури ґрунту і утворенню окремостей проміжних фракцій  $7-5$  мм та  $5-3$  мм і незначному зростанню кількості окремостей  $3-0,5$  мм. Під його впливом руйнуються великогрудкуваті фракції із поступовим наростанням кількості більш цінних фракцій ( $7-5$  мм і  $5-3$  мм), що і приводить до незначного зростання щільності будови шару ґрунту  $0-30$  см у перші  $3-5$  років. Розпушення починається, коли зростає уміст окремостей  $5-3$  мм при подальшій консолідації ґрунтової структури навколо утворення структурних окремостей розміром  $3-0,5$  мм, яка підпорядковує собі зменшення вмісту окремостей  $<0,25$  мм. **Висновки.** Отже, розмірна фракція  $10-7$  мм є важливою характеристикою оброблюваних чорноземів Лісостепу, за якою можна визначити спрямованість структуроутворення чорноземів в агроценозах під впливом агрогенного навантаження. Виявлено загальну закономірність: незалежно від стану чорнозему частка окремостей  $3-0,5$  мм у сумі агрономічно цінних ( $7-0,25$  мм) окремостей, незалежно від їхньої кількості, становить  $51-54\%$ , а посилення агрогенного навантаження прискорює утворення великогрудкуватої фракції ( $>7$  мм) до  $30\%$ , агрономічно нецінних окремостей — до  $35,6\%$ , на частку окремостей  $<0,25$  мм припадає  $6-10\%$ .

**Ключові слова:** кластерний аналіз, факторний аналіз, цілина, оранка, безполицевий обробіток, щільність ґрунту.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202004-01>

Параметри фізичної будови відносяться до основних швидкомінливих властивостей чорноземів. Уже в перші роки після розорювання відбувається різка зміна структурного стану, щільності будови і водно-фізичних властивостей чорноземів [1]. Проведені дослідження дали можливість установити нормативи змін фізичних властивостей орних чорноземів і граничні значення параметрів їх показників, спрогнозувати втрати продуктивності сільськогосподарських культур при погіршенні структурного стану та ущільненні [2–4]. Згідно з численними дослідженнями встановлено, що продуктивність сільськогосподарських культур знижується при численних проходах важкої техніки [5, 6]. Оптимальна рівноважна щільність для основних підтипів чорноземів становить 1,0–1,25 г/см<sup>3</sup> за вмісту агрономічно цінних агрегатів >70%. За таких агрофізичних параметрів можна використовувати мінімальні технології основного їх обробітку [9]. Варіювання фізичних властивостей орного шару чорноземів Лісостепової зони пов'язано не тільки з генетичними особливостями, а й значною мірою — з тривалістю і характером їх використання, а також рівнем культури землеробства загалом [7, 8]. Для оптимізації фізичних властивостей (структурного стану) необхідно вживати заходів зі створення позитивного балансу гумусу, а після досягнення оптимуму — з підтримання його на бездефіцитному рівні [9]. Під деградацією фізичного стану чорноземів розуміють стійке погіршення їх фізичних властивостей, насамперед, структурного стану і щільності складення, що призводить до погіршення водного, повітряного, поживного режимів і врешті — до зниження родючості [10].

У агрогенних чорноземах при погіршенні структурного стану рівноважна щільність будови істотно зростає порівняно з природними чорноземами-аналогами, виникає нове явище — консолідація структурних агрегатів і зниження внутрішньоагрегатної шпаруватості, яка погіршує умови водно-мінерального живлення рослин [11]. У

безструктурних та ущільнених чорноземах, навіть за помірних навантажень, можуть виникати горизонтально витягнуті макрошпарини, характерні для плитчастої або субплитчастої ґрунтової структури, що додатково змінює агрофізичні властивості орного шару [12, 13]. На думку В.В. Медведєва [14, 15], зменшення глибини і кількості обробітків або відмова від їхнього проведення, висока культура землеробства і внесення органічних добрив або залишення на полі рослинних решток поступово покращують структурний склад чорноземів у інтенсивному обробітку, а за безполицевого обробітку процес відтворення їх структури набуває активної форми.

Дослідження параметрів і спрямованості трансформації структурного стану чорноземів, які змінюються за умов сучасного довгострокового агрогенного впливу, є важливим для наукового обґрунтування процесу агрофізичної деградації. Вирішення цього питання актуально для виробничих потреб обробітку ґрунту, встановлення біопродуктивності та розробки заходів із запобігання подальшій агрофізичній деградації чорноземів у агроценозах Лівобережного Лісостепу.

Новизна проведених досліджень полягає в тому, що за використання сучасних методів статистичного аналізу даних повітряно-сухого просіювання при вивченні структурного стану чорноземів під час агрогенного навантаження вдається виявити більш глибокий зміст спрямованості структуроутворення. Також виявлено, що при посиленні агрогенного впливу відбувається активне розбалансування стану ґрунтової структури, тоді як при зниженні інтенсивності агрогенного впливу, навпаки, відтворюються механізми посилення стійкості структурного стану в напрямі утримання перелогів і цілини.

**Мета досліджень** — виявити основні закономірності трансформації структурного стану чорноземів Лісостепової зони в умовах довгострокової агрогенної трансформації.

**Матеріали та методи досліджень.** Застосовано методи польового та лабораторного експериментів (сухе структурне розсіювання ґрунту), статистично-аналітичний метод, метод факторного аналізу (метод головних компонент), кластерного аналізу, непараметричні методи аналізу отриманих даних структурного стану.

У 1990–1996 рр. вивчено довгостроковий вплив обробітку ґрунту на відновлення структурного стану чорноземів типових в агроценозах Східного Лісостепу фізико-географічної зони України в Південно-Полтавському агроекологічному районі [16]. Ґрунтовий покрив представлено чорноземами типовими середньогумусованими (5,55–5,65%). За вмістом фізичної глини (ФГ) та фізичного піску (ФП) чорнозем можна зарахувати до легкої глини: ФГ = 62,9–64%; ФП = 35–37,1%. Досліджувався структурний стан на полі, де впродовж понад 80 років виконувалася різноглибинна оранка з внесенням 8 т/га гною та  $N_{90}P_{90}K_{80}$ , варіант оранки впродовж 10 років — у досліді з внесенням 10–12 т/га гною та  $N_{90}P_{90}K_{80}$ . У полі 10-пільної сівозміни виконувався різноглибинний безполіцевий обробіток з унесенням 10–12 т/га гною та  $N_{90}P_{90}K_{80}$ . Для розширення загальної моделі структурного стану використано дослідження варіантів оранки «Михайлівської цілини» та «Роганського стаціонару» [17].

З 2001 по 2018 р. дослідження проводили у Східному Лісостепу Центрально-Лівобережно-Придніпровського агроекологічного району. Дослід закладено на чорноземах типових малогумусованих легкосуглинкових муловато-пилуватих. Показник структурності (ПС) становить 25–38%. Співвідношення ФП до ФГ: 1,76–2,52, що в 3,2 раза вище порівняно з чорноземом типовим середньогумусованим легкоглинистим. Фактор потенційної агрегованості (ФПА) — 0,25–0,27, що в 2,78–2,96 раза нижче, ніж у чорноземах типових середньогумусованих легкоглинистих. Щільність твердої фази практично досліджуваних чорноземів однакова і змінюється у шарі ґрунту 0–20 см від 2,62 г/см<sup>3</sup> до 2,65 г/см<sup>3</sup> [17].

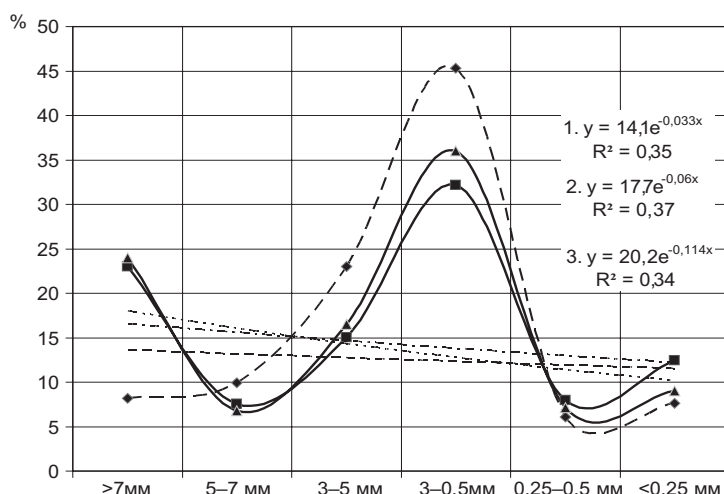
Досліджували структурний стан за довгострокової оранки (більше 55 років) у стаціонарному досліді, де до 1990 р. вносили

8 т/га гною та  $N_{60}P_{60}K_{50}$ , а після гній замінено на побічну продукцію у кількості 6–8 т/га. Безполіцевий різноглибинний та поверхневий обробіток здійснено за аналогічною системою удобрення, що і за оранки. За еталон розподілу взято середній розподіл чорноземів у стані перелогу і цілини впродовж від 10 до 100 років Східного Лісостепу України.

Аналіз структурного складу проведено в шарі ґрунту 0–40 см. Досліджували фізичні показники: щільність твердої фази ґрунту пікнометричним методом (ДСТУ 4745:2007); щільність складення ґрунту (ДСТУ ISO 11272:2001); сухе просіювання за методом М.І. Саввінова (ДСТУ 4744:2007). Структурний стан вивчався разом із визначенням щільності будови. Уміст загального гумусу — за І. В. Тюрніним у модифікації М.В. Сімакова (ДСТУ 4289:2004). Фрактальну оцінку рядів розподілу структурних окремоостей проведено за К.Г. Моїсеєвим [18] та Б.В. Кісельовим [19]. Інтерпретацію даних структурного стану здійснено методами кластерного і факторного аналізів [20].

**Результати досліджень.** Результати повітряно-сухого просіювання і розподілу структурних окремоостей за розміром оброблюваних чорноземів у шарі ґрунту 0–30 см представлено на рис. 1. За систематичної оранки з різною подовженістю у часі відбувається зростання кількості агрономічно нецінних структурних окремоостей до 20–25% (>7 мм) та 10,2–17,1% (<0,25 мм). Одночасно відбувається зниження вмісту структурних окремоостей 3–0,5 мм до 31,1–4,8%, або 1,29–1,46 раза щодо відносно переложних і цілиних аналогів чорноземів.

Аналогічно відбувається перерозподіл структурних окремоостей за безполіцевого обробітку. Вміст окремоостей розміром >7 мм досягає 30%, а <0,25 мм не перевищує 15%. Кількість окремоостей 3–0,5 мм у середньому перевищує 35%. За систематичної оранки кількість окремоостей 5–7 мм змінюється у більш широкому інтервалі значень (4,4–10,7%), тоді як за безполіцевого обробітку окремої цього розміру становлять 4,3–8,0%. За безполіцевого обробітку відбувається наростання вмісту структурних окремоостей розміром 5–3 мм і стійке зниження вмісту окремоостей 0,5–0,25 мм,



**Рис. 1. Перерозподіл структурних окремоностей чорноземів агрогенного навантаження і постагрогенного утримання: —◆— перелого + цілина; —■— оранка; —▲— безполицевий обробіток. --- експоненціальна (оранка); --- експоненціальна (перелого + цілина); --- експоненціальна (безполицевий обробіток)**

тобто — консолідація умісту структурних окремоностей навколо фракції 3–0,5 мм, як за утримання цілинних і переложних аналогів (рис. 1).

Визначення фрактальної розмірності ( $D$ ) і показника Херста ( $H$ ) розподілу структурних окремоностей за розміром (табл. 1) при постагрогенному утриманні чорноземів і в стані інтенсивного обробітку показало, що за природного утримання показники  $D$  і  $H$

характеризують стан ґрунтової системи як стійкий ( $D=1,01-1,40$ ), а показник Херста набуває значень, які відповідають персистентному стану ( $0 < H < 0,5$ ) ґрунтової структури або тренд-стійким рядам. Значення  $D$  і  $H$  за амплітудним розмахом і типовим інтервалом значень відповідає персистентності рядів розподілу структурних окремоностей із коефіцієнтом варіації 12,9 і 6,48% відповідно. Міра кореляції ( $C$ ) у розподілі

#### 1. Фрактальна оцінка рядів розподілу структурних окремоностей чорноземів постагрогенного утримання та аерогенного навантаження

Показник фрактальної оцінки	Середнє	Медіана	Амплітудний розмах (Δ=max–min):		Нормований розмах Δ=L <sub>0,75–0,25</sub>		*****Coef. Var., %
			min	max	****L <sub>0,25</sub>	****L <sub>0,75</sub>	
Постагрогенне навантаження чорноземів							
D	1,01	1,03	0,76	1,14	0,97	1,05	12,9
H=2–D	0,97	0,97	0,86	1,03	0,95	1,03	6,48
C=2 <sup>2H–1</sup> –1	0,92	0,92	0,65	0,95	0,87	0,95	–
Загальна модель агрогенного навантаження чорноземів							
*D	1,26	1,27	1,04	1,48	1,15	1,32	9,50
**H=2–D	0,75	0,73	0,55	0,96	0,68	0,85	15,74
***C=2 <sup>2H–1</sup> –1	0,41	0,37	0,07	0,45	0,29	0,65	–
Примітка. * Фрактальна розмірність — D; **Показник Херста — H; ***Автокореляція у ряду розподілу — C; ****L <sub>0,25</sub> — нижній квантель; ****L <sub>0,75</sub> — верхній квантель; *****Coef. Var., % — коефіцієнт варіації.							

окремостей за розміром має високий рівень ( $C=0,65-0,95$ ), а за типовим інтервальним значенням  $C=0,87-0,95$ , що свідчить про встановлений природний порядок розподілу окремоостей, який стійко збережеться у майбутньому, тобто ґрунтова структура чорнозему в постагрогенному стані знаходиться у квазінерівноважному стані.

В оброблюваних чорноземах показники  $D$  і  $H$  перебувають у межах значень персистентного стану розподілу структурних окремоостей, але значення  $D$  зростає в 1,25 раза, а  $H$  зменшується в 1,29 раза, схиляючи стан ґрунтової структури до нижньої межі стійкості ( $D=1,40$ ) та до «зашумленості» ряду розподілу структурних окремоостей із менш вираженим трендом ( $H=0,5$ ), що характеризується мінімальним нижнім типовим і значимим (на 10%-му рівні) значенням  $H$ . Коефіцієнт варіації  $D$  і  $H$  у загальній моделі становив 9,5% та 15,7%, а за оранки — 10,4 і 17,9%, тоді як за безпліцевого обробітку — 8,0–12,9%, що є більш стійким розподілом. Міра кореляції між групами окремоостей ( $C$ ) в оброблюваних чорноземах була нижчою порівняно з природними аналогами: вона становила за коефіцієнтом детермінації 8,5–42,3% проти 75,7–90,0%, що свідчить про значне розбалансування структурного стану оброблюваних чорноземів.

Результати кластеризації чорноземів різного виду обробітку методом кластерного аналізу відповідно до розподілу в них струк-

турних окремоостей показали, що рівні подібності між складовими і показниками оцінки структурного стану чорноземів невисокі, що свідчить про надійність виділених кластерів. Кластер розрахованих показників структурного стану має найменшу міру подібності — на рівні  $<10\%$ , тоді як складові структурного складу виявляють подібність на більш високих рівнях. Фракції окремоостей розміром  $<0,25$  мм і  $0,5-0,25$  мм мають міру подібності 10–12% і утворюють спільний кластер із розрахунковими показниками на рівні 15%. Фракція  $7-5$  мм підпорядковує собі попередній кластер на рівні 18%, а фракція  $5-3$  мм підпорядковує два попередні кластери на рівні 25% (рис. 2).

Окремим кластером на рівні подібності 30% представлено нецінні агрегати, які підпорядковуються фракції структурних окремоостей  $3-0,5$  мм на рівні подібності  $>50\%$ . Подальша кластеризація на 55%-му рівні подібності підпорядковує собі кластер, підпорядкований фракцією  $5-3$  мм, а фракція  $7-0,5$  мм визначає кластеризацію на найбільш високому рівні.

Кластеризація цих показників при утриманні перелогу і цілини показала, що в природних умовах відбувається підпорядкування найбільш цінних груп структурних окремоостей ( $7-0,5$  мм та  $3-0,5$  мм) менш цінними фракціями:  $>7$  мм,  $7-5$  мм,  $0,5-0,25$  мм і  $<0,25$  мм у зростаючій мірі подібності: 10, 20, 60, 100%, що карди-

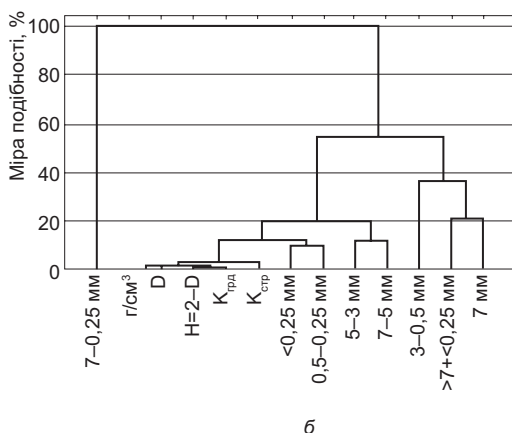
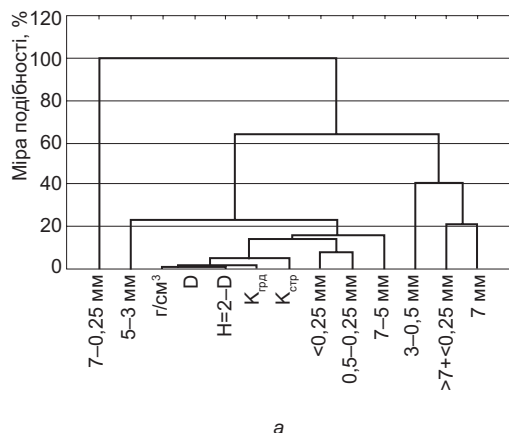


Рис. 2. Кластеризація складових структурного стану чорноземів агрогенного навантаження: а — оранка; б — безпліцевий обробіток

нально відрізняється від кластеризації в оброблюваних чорноземах. Застосування безполицевого обробітку сприяє прояву кластеризації у напрямку утримання перелогів і цілини (рис. 2).

У загальному аналізі встановлено, що між щільністю будови та вмістом агрономічно цінних агрегатів розміром 3–0,5 мм та 7–0,5 мм виявлено сильну обернену кореляцію ( $R = -0,71 - 0,74 \pm 0,02$ ;  $R^2 = 0,50 - 0,55$ ), а між фракціями окремоостей розміром >7 мм і нецінними агрегатами зв'язок був прямий на рівні сильної кореляції. В умовах систематичної оранки кореляційний зв'язок щільності будови з агрономічно цінними агрегатами знижується до слабкої оберненої кореляції ( $R = -0,25 - 0,32 \pm 0,02$ ). Встановлюється прямий кореляційний зв'язок з вмістом структурних окремоостей розміром <0,25 мм. За систематичної оранки кореляційний зв'язок щільності будови з агрономічно цінними агрегатами знижується до слабкої оберненої кореляції ( $R = -0,35 - 0,32 \pm 0,02$ ). Встановлюється прямий кореляційний зв'язок з вмістом структурних окремоостей розміром <0,25 мм.

Систематичне виконання безполицевого обробітку посилює обернений кореляційний зв'язок щільності будови з вмістом

окремоостей агрономічно цінного інтервалу до середнього рівня ( $R = -0,53 - 0,65 \pm 0,02$ ). Встановлюється прямий кореляційний зв'язок щільності будови з нецінними групами агрегатів на середньому рівні:  $R = 0,24 - 0,48 \pm 0,02$ .

Важливо те, що за безполицевого обробітку зростає роль фракції окремоостей розміром 7–0,5 мм у розуцільненні чорнозему. Процес розпушення за безполицевого обробітку подібний до розпушення при утриманні перелогів і цілини та визначається зростанням вмісту структурних окремоостей розміром 3–0,5 мм, яких за безполицевого обробітку більше на 5–10% щодо оранки, а частка розмірів 7–0,5 мм перевищує 55–60%.

За загальною моделлю на  $0,01 \text{ г/см}^3$  зниження щільності будови припадало 0,57–0,68% зростання вмісту структурних окремоостей розміром 3–0,5, 5–3 та 7–0,5 мм. За безполицевого обробітку на  $0,01 \text{ г/см}^3$  зниження щільності будови припадало 0,57–0,61% згаданих агрономічно цінних агрегатів, тоді як за оранки роль агрономічно цінних структурних окремоостей перебуває на низькому функціональному рівні, а ущільнення визначається агрономічно нецінними структурними окремостями.

## 2. Рівняння регресії залежності між коефіцієнтом структурності (y) та вмістом структурних окремоостей (x) різного розміру за різних способів обробітку чорнозему

Розмір структурних окремостей, мм	Рівняння регресії, $y = a \pm bx$	Коефіцієнт		Достовірність рівняння регресії, р
		кореляції, R	детермінації, R <sup>2</sup>	
Оранка				
7–5	$y = 10,5 + 0,041 \cdot x$	+0,35	0,15	0,95
5–3	$y = 6,44 + 3,80 \cdot x$	+0,78	0,61	0,0081
3–0,5	$y = 27,3 + 3,02 \cdot x$	+0,68	0,46	0,031
7–0,25	$y = 48,9 + 7,61 \cdot x$	+0,94	0,88	0,00004
<0,25	$y = 4,98 + 0,47 \cdot x$	–0,23	0,05	0,631
>7+<0,25	$y = 51,2 - 7,60 \cdot x$	–0,94	0,88	0,0004
Безполицевий обробіток				
7–5	$y = 6,91 + 2,47 \cdot x$	+0,62	0,38	0,0005
5–3	$y = 10,9 + 1,88 \cdot x$	+0,65	0,45	0,015
3–0,5	$y = 24,5 + 3,75 \cdot x$	+0,87	0,76	0,0001
7–0,25	$y = 45,0 + 9,62 \cdot x$	+0,98	0,96	0,0001
<0,25	$y = 7,95 - 0,87 \cdot x$	–0,25	0,06	0,045
>7+<0,25	$y = 54,7 - 9,58 \cdot x$	–0,98	0,96	0,0001



**3. Статистичні параметри структурного складу чорноземів агрогенного навантаження  
Лівобережного Лісостепу України**

Параметри агрофізичного стану	Уміст структурних окреможостей, %						**Coef. Var., %
	середній	за медіаною	Амплітудний розмах за:		Нормований розмах:		
			min	max	*L <sub>0,25</sub>	*L <sub>0,75</sub>	
			Δ=max–min		Δ= L <sub>0,75</sub> –L <sub>0,25</sub>		
Безполіцейвий обробіток							
7–5	11,9	11,3	8,20	16,2	9,80	14,4	22,5
3–0,5	32,1	31,0	25,2	40,2	29,6	33,6	11,9
7–0,25	64,3	61,0	53,6	79,4	57,6	72,7	13,5
>7+<0,25	35,5	39,0	46,4	20,6	26,6	42,4	24,4
K <sub>стр</sub>	2,01	1,56	1,17	3,86	1,36	2,73	44,4
K <sub>грд</sub>	0,48	0,44	0,22	0,81	0,30	0,64	41,4
г/см³	1,18	1,18	1,12	1,25	1,15	1,20	2,85
Оранка							
7–5	10,5	9,75	8,60	15,7	9,30	11,6	19,9
3–0,5	33,5	34,3	23,6	39,4	31,0	36,3	14,5
7–0,25	64,4	63,0	52,4	83,1	59,6	70,1	13,7
>7+<0,25	35,6	37,0	47,6	16,9	29,9	40,2	24,7
K <sub>стр</sub>	2,05	1,71	1,10	4,92	1,55	2,35	53,3
K <sub>грд</sub>	0,49	0,45	0,14	0,85	0,31	0,63	44,7
г/см³	1,16	1,15	1,09	1,25	1,13	1,19	4,74
Примітка. *L <sub>0,25</sub> — нижній квантель; *L <sub>0,75</sub> — верхній квантель; **Coef.Var., % — коефіцієнт варіації.							

Примітка. \*L<sub>0,25</sub> — нижній квантіль; \*L<sub>0,75</sub> — верхній квантіль; \*\*Coef.Var., % — коефіцієнт варіації.

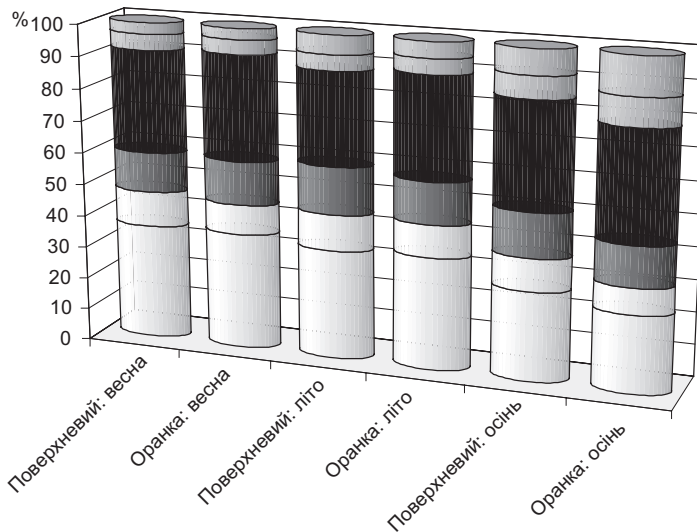
За систематичної оранки між коефіцієнтами структурності (K<sub>стр</sub>) та вмістом агрономічно цінних агрегатів (7–0,25 мм) виявлено пряму кореляційну залежність, а з фракціями 5–3 мм і 3–0,5 мм зв'язок був на більш низькому функціональному рівні: R=0,67–0,78±0,02; R<sup>2</sup>=0,45. За безполіцевого обробітку зростає функціональна залежність між K<sub>стр</sub> та агрономічно цінними агрегатами, особливо з фракцією структурних окремостей розміром 3–0,5 мм: R=0,86±0,02; R<sup>2</sup>=0,74, що більш ефективно (в 1,65 раза) щодо оранки (табл. 2).

Статистична оцінка структурного стану розглянутих чорноземів показала, що середній уміст агрономічно цінних агрегатів (7–0,25 мм) становив 67,7%, а за медіаною — 64,6%. Амплітудний розмах (max–min) становив від 52,4 до 93,4% за типового нормованого розмаху 59,8–74,6%, а за 10%-го рівня достовірності —

55,4–83,1% за коефіцієнта варіації 16,3% (табл. 3).

Фракція найбільш цінних окремостей (3–0,5 мм) становила 35,1% за амплітудного і нормованого розмаху 23,6–51,0% та 30,6–39,7% відповідно, а за 10%-го рівня вірогідності — 29,1–43,0% за коефіцієнта варіації 18,3%. Структурних окремостей розміром 5–3 і 7–5 мм за середньою кількістю було 23 і 16%, а за інтервальним типовим значенням 21,4–24,4% та 15,5–16,0% за коефіцієнта варіації 29,4 і 22,7%.

Окремостей розміром >7 мм у середньому містилося 25,4% з нормованим розмахом 15,5–35,9% за коефіцієнта варіації 48,3%. Загалом агрономічно нецінних структурних окремостей у середньому було 32,3% з типізованим інтервалом значень 40,1–25,4% при коефіцієнті варіації 33,9%. Розрахунок співвідношення фракцій структурних окремостей розміром 7–5 мм



**Рис. 3. Динаміка структурного стану чорнозему за виконання різних способів обробітку в зерно-просапній 5-пільній сівозміні:** □ — >7 мм; □ — 7–5 мм; ■ — 5–3 мм; ■ — 3–0,5 мм; ■ — 0,5–0,25 мм

до 5–3 мм до 3–0,5 мм та 7–0,25 мм за утримання чорноземів у стані перелогу і цілини становило 1 до 2,25 до 4,61 до 8,6, а для загальної моделі — 1 до 1,45 до 3,25 до 6,3.

За систематичної оранки — 1 до 1,35 до 3,2 до 6,1, а за безполицевого обробітку — 1 до 1,23 до 2,7 до 5,3. Середній вміст великогрудкуватих структурних окремоностей (>7 мм) за переложного утримання — 8,4%, у загальній моделі — 25,4%, а за оранки і безполицевого обробітку — 29,6–29,7%. Типовий нормований розмах становив 5,6–13,3, 15,5–35,9, 26,5–32,0 та 22,6–35,0% за коефіцієнтів варіації 54, 48,3, 19,9 та 22,5%.

У фракції структурних окремоностей співвідношення складових (>7 мм до <0,25 мм) становило 0,85 до 1 — переложний стан, 3,7 до 1 — загальна модель, 5 до 1 — за оранки та 4,5 до 1 — за безполицевого обробітку. Слід визнати, що індикаторною фракцією структурних окремоностей більшою мірою є окремоності >7 мм як за середнім, так і медіанним та інтервальним типовим значенням. Середній вміст агрономічно нецінних агрегатів для загальної моделі становив 32,3% за інтервального значення від 40,1 до 25,4% з коефіцієнтом варіації

34,9%, для оброблюваних чорноземів — 35,5–35,6% за інтервального значення від 40,2–42,4% до 26,6 до 29,9% за коефіцієнтів варіації 24,4–24,7%. Для порівняння: за утримання чорноземів у стані перелогу та цілини — 18,3, 13,5–26,1% за коефіцієнта варіації 41,3%.

Динаміка структурного стану чорнозему в шарі ґрунту 0–30 см за різних способів обробітку має певні особливості, які проявляються в тому, що у весняний період достовірної різниці в структурному стані немає (рис. 3). У літній період за систематичної оранки відбувається підвищення на 2,8–3,0% окремоностей розміром 3–0,5 мм, а за безполицевого обробітку — на 1,7–2,0% та 1,5–2,0% вмісту окремоностей розміром 5–3 мм і 7–5 мм (разом 3,0–4,0%) за рівноцінного з оранкою зростання агрономічно нецінних структурних окремоностей.

Під кінець вегетації (вересень) за оранки відбувається зростання вмісту окремоностей 0,5–0,25 мм і <0,25 мм до 8,0–9,0% та >10 мм за одночасного незначного зменшення кількості окремоностей >7,0 мм. За безполицевого обробітку в осінній період зростає кількість окремоностей розміром >7 мм і спостерігається незначне, але менше ніж за оранки, зростання вмісту окремоностей 3–0,5 мм.



Кількість окремостей 0,5–0,25 мм і <0,25 мм була меншою в 1,28 та 1,5 раза порівняно з оранкою. Сумарна кількість структурних окремостей розміром 7–3 мм за безполицевого обробітку залишалася на рівні весняного вмісту, тоді як за оранки вона зменшилася у 1,15–1,2 раза, тобто окремості

розміром >7 мм та 7–5 мм за безполицевого обробітку є стійким резервом для поповнення найбільш цінних фракцій 3–5 мм та 3–0,5 мм, тоді як за оранки виявлена закономірність оструктурення проявляється менш виражено і більше пов'язана з диспергацією структури чорнозему.

## **Висновки**

При посиленні агрогенного і техногенного навантажень на чорноземі Лісостепу більшою мірою відбувається утворення фракцій структурних окремостей >7 мм, а меншою мірою <0,25 мм та зменшується кількість найбільш цінної в агрономічному розумінні фракції 3,0–0,5 мм. За систематичної оранки цей процес значно виражений, а застосування безполицевого обробітку сприяє відновленню структури ґрунту і утворенню окремостей проміжних фракцій 7–5 мм та 5–3 мм і стійкому зростанню кількості окремостей 3–0,5 мм.

Розмірна фракція 10–7 мм є важливою характерною фракцією структурного стану оброблюваних чорноземів Лісостепу, за якою можна визначити спрямованість структуроутворення чорноземів у агроценозах під впливом агрогенного навантаження. Виявлено загальну закономірність, суть якої зводиться до того, що незалежно від стану чорнозему частка окремостей 3–0,5 мм у сумі агрономічно цінних (7–0,25 мм) окремостей,

незалежно від їхньої кількості, становить 51–54%, а посилення агрогенного навантаження прискорює утворення великогрудкуватої фракції (>7 мм) до 30%, агрономічно нецінних окремостей — до 35,6%, а на частку окремостей <0,25 мм припадає 6–10%.

Застосування безполицевого обробітку починається на агротехнічних фонах довгострокової оранки, де утворюється значна кількість (>35%) великогрудкуватих структурних окремостей (>7 мм) та окремостей <0,25 мм. Під його впливом відбувається руйнування великогрудкуватих фракцій із поступовим наростанням кількості більш цінних фракцій (7–5 мм та 5–3 мм), що і призводить до незначного зростання щільності будови шару ґрунту 0–30 см у перші 3–5 років. Розпушення починається, коли зростає вміст окремостей 5–3 мм при подальшій консолідації ґрунтової структури навколо утворення структурних окремостей розміром 3–0,5 мм, яка підпорядковує собі зменшення вмісту окремостей <0,25 мм.

### **Demydenko O.**

*Cherkasy State Agricultural Research Station of National Institute of Agriculture of NAAS, 13 Dokuchaieva Str., Holodnianske village, Smila region, Cherkasy oblast, 20731, Ukraine; e-mail: smilachiapv@ukr.net; ORCID: 0000000253341154*

### **Structural state of chernozems of Forest-Steppe zone at agrogenic impact**

**Goal.** To determine the main regularities of the transformation of the structural state of chernozems of the Forest-Steppe zone under conditions of long-term agrogenic transformation. **Methods.** Field and laboratory experiment (dry structural dispersion of soil). Statistical-analytical method of factor analysis (principal component method), cluster analysis,

non-parametric methods of analysis of the obtained data of the structural state. **Results.** They fixed the following regularities at the increase of agro- and technogenic load on the chernozem: fractions of structural parts in size of >7 mm were formed of the greater degree, and to a lesser extent there were formed fractions in size of <0.25 mm. At the same time, they determined a decrease in the number of the most valuable in agronomic understanding of fraction in size of 3.0–0.5 mm. That process is much more evident at the systematic plowing. The use of subsurface cultivation contributed to the restoration of soil structure and the formation of separate intermediate fractions in size of 7–5 mm and 5–3 mm, and a slight increase in the number of fractions in size of 3–0.5 mm. It also promoted

the destruction of big fractions, with a gradual increase in the number of more valuable fractions (7–5 mm and 5–3 mm), which led to a minor increase in the density structure of the 0–30 cm soil layer in the first 3–5 years. Loosening started at the increase of the content of structural units in size of 5–3 mm with the further consolidation of the soil structure around the formation of the structural units of size 3–0.5 mm, which caused the decrease in the content of structural units in size of <0.25 mm. **Conclusions.** So, the size fraction of 10–7 mm is an important characteristic of cultivated chernozems of Forest-Steppe, which can determine

the formation of the chernozem in agrocenoses under the influence of agrogenic load. General regularity was fixed: regardless of the status of the chernozem the share of units in size of 3–0.5 mm in the amount of agronomically valuable (7–0.25 mm) units, regardless of their number, was 51–54%, and increased agrogenic load accelerated the formation of big fractions (>7 mm) up to 30%, of agronomically invaluable units — to 35.6%, the share of structural units in size of <0.25 mm made 6–10%.

**Key words:** cluster analysis, factor analysis, idle field, plowing, surface cultivation, density of soil.  
**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-01>

## Бібліографія

1. Медведєв В.В. Агрозем як нове 4-вимірне полігенне утворення. *Грунтознавство*. 2016. № 17 (1–2). С. 5–20. doi: 10.15421/04160
2. Мамонтов В.Г., Бабейко Р.Ф., Лазарев В.И. и др. Изменение структурного состояния чернозема типичного Курской области под влиянием бессменного пара и озимой пшеницы. *Земледелие*. 2019. № 1. С. 7–9. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10102
3. Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов лесостепной зоны Европейской России в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. *Почвоведение*. 2014. № 1. С. 71–81.
4. Медведєв В.В., Плиско В.В., Бигун О.В. Сравнительная характеристика оптимальных и реальных параметров черноземов Украины. *Почвоведение*. 2014. № 10. С. 1247–1261.
5. Bryk M. Indices of shape in the classification of soil structure. *Polish J. of Soil Science*. 2004. V. 37. № 1. P. 1–10.
6. Медведєв В.В. Часова та просторова гетерогенізації орних ґрунтів. *Грунтознавство*. 2013. Т. 14, № 1–2. С. 6–22.
7. Чеве́рдин Ю.И. Длительность распахки и физическое состояние черноземов Каменной Степи. *Земледелие*. 2008. № 3. С. 28–30.
8. Bryk M., Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B. Wpływ systemu uprawy na zawartość węgla organicznego w glebie. *Ann. UMCS.E*. 2004. № 59(1). S. 345–352.
9. Horn R., Fleige H. Prediction of the mechanical strength and ecological properties of subsoils for a sustainable landuse. *Proc. of the workshop «Experiences with the impact of subsoil compaction»*. Uppsala. Sweden, 2000. P. 109–121.
10. Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B., Bryk M. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na strukturę gleby pylowej — ocena morfometryczna macroporow. *Ann. UMCS.E*. 2004. V. 59, № 1. P. 329–335.
11. Медведєв В.В. Нульовий обробіток ґрунту в Європейських країнах. Харків: Тов. Едена, 2010. 202 с.
12. Медведєв В.В. Изменчивость оптимальной плотности почв и ее причины. *Почвоведение*. 1990. № 5. С. 20–31.
13. Бондарев А.Г. О значении физических свойств почв в адаптивно-ландшафтном земледелии. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2007. № 60. С. 71–74.
14. Медведєв В.В. Физические свойства и глубина залегания плужной подошвы в разных типах почв. *Почвоведение*. 2011. № 11. С. 1487–1495.
15. Медведєв В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва: Агропромиздат, 1988. 157 с.
16. Корнішук В.В., Єгорова Т.М. Агроєкологічне районування України. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 4. С. 6–22. doi: 10.33730/2077-4893.4.2018.155744
17. Панасенко О.С. Гумус структурних окре المستей чорноземів типових різних екосистем. *Вісник ХНАУ*. 2012. № 4. С. 93–98.
18. Моисеев К.Г., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д. Анализ динамики гумусного состояния почв фрактальными методами. *Агрофизика*. 2014. № 1 (13). С. 1–8.
19. Киселев Б.В. Об интерпретации статистического R–S-анализа (Показатель Херста). *Вопросы агрофизики (Ученые записки СЛБГУ)*. 2007. № 40. С. 121–130.
20. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент. *Почвоведение*. 2016. № 9. С. 1093–1100. doi: 10.7868/S0032180X16090070