

УДК 631.4:551.3;631.59

Динаміка гетерогенності агрофізичної якості чорнозему звичайного у межах сільськогосподарського поля

Я. А. Погромська

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 06.02.2023 Отримано після доопрацювання 09.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 05.08.2023	У статті представлено дані моніторингу фізичних характеристик ґрунту в полі під кукурудзою (після соняшника) в зерно-просапній сівозміні з мінімальною технологією обробітку. Ґрунт — чорнозем звичайний (Calcic Chernozem) легкосередньоглинистий, слабкосероморфний на лесі у Степовій кліматичній зоні південного сходу України, Донецький регіон. Дослідження проведено у стаціонарному польовому досліді з вивчення ефективності відмови від оранки за ґрунтово-кліматичних умов регіону. Впродовж вегетаційного періоду кукурудзи на зерно провели моніторинг фізичних характеристик ґрунту — щільності будови, твердості та вмісту вологи; перед посівом культури визначили структурний стан. Вимірювання проводили у трьох локаціях — зонах поля, що відрізняються за інтенсивністю ущільнення технікою. Всі фізичні характеристики дослідили в окремих прошарках (0–10, 10–20 і 20–30 см) орного шару; запаси продуктивної вологи — у всьому профілі ґрунту. Метеорологічні дані, необхідні для розрахунку гідротермічного коефіцієнта, здобуто власними спостереженнями на метеопості у селищі Суха-Балка. За результатами кореляційного, та дисперсійного аналізу ANOVA виявлено наявність і характер зв'язків стійкісних характеристик, реологічних особливостей та водного режиму ґрунту з його структурним складом у межах орного шару, зафіксованим перед посівом. Нерівномірність у межах поля розподілу інтенсивності механічного тиску на ґрунт формує диференціацію структурного складу та фізичного стану орного шару, що призводить до одночасного існування різноякісних зон, наприклад, де ґрунт у шарі 0–10 см перебуває у стані перезволоження, пересушування або оптимальної зволоженості. Щільність верхнього шару ґрунту пов'язана не тільки із його власним структурним станом, а також із складом агрегатів у шарі, розташованому нижче. Твердість ґрунту, високий вміст брил і агрегатів фракції 5–3 мм та низький вміст агрегатів 2–1 мм у верхніх шарах може бути причиною збільшення глибини деформації ґрунту під дією МТА. Динамічність щільності верхнього шару ґрунту, низький вміст в ньому агрегатів 5–3 мм та високий вміст 2–1 мм забезпечує захист від ущільнення шарів ґрунту, розташованих нижче.
Ключові слова: агрофізична якість; гетерогенність; ґрунт; вологість; структурний склад; твердість; щільність будови;	

*E-mail: joanap@i.ua

Форма цитування: Погромська Я.А. Динаміка гетерогенності агрофізичної якості чорнозему звичайного у межах сільськогосподарського поля. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ «ІГ» ім. О.Н. Соколовського». С. 39-53. <https://doi.org/10.31073/acss94-05>.

1. Вступ

Гетерогенність якості ґрунту є однією з найважливіших властивостей, яка забезпечує різноманітність фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту та його біорізноманіття. Просторова неоднорідність цілинного ґрунту, через «анізотропність його речовинного складу, властивостей і режимів» [1], зумовлена як факторами зовнішнього середовища, так і внутрішніми ґрунтовими процесами [2]. Існує достовірний зв'язок будови і властивостей ґрунту та інтенсивності й спрямованості екологічних факторів впливу на нього. Визначаючи просторовий розподіл та сезонну варіабельність твердості чорнозему звичайного, як властивості ґрунту чинити опір проникненню в нього під тиском різних тіл, що впливає на величину протидії обробітку та проникненню кореневої системи рослин, дослідники виявили ґрунтові морфологічні утворення — екоморфи [3] — однотипні за ознакою вертикальної зміни показників. Виявлені екоморфи достовірно різняться за кліматичними й едафічними характеристиками та екологічними структурами рослинного співтовариства [4]. Оскільки ґрунт є динамічною біомінеральною системою, яка «не є пасивним продуктом впливу зовнішніх причин» [2], він реагує та пристосовує свої властивості до активності зовнішніх факторів, що ставить ґрунт, як вказували класики, в один ряд із живими організмами.

У формуванні агроєкосистеми значну роль відіграє фактор втручання людини у функціонування ґрунту. Під впливом комплексу агротехнічних заходів створюється потужний культурний орний шар ґрунту з підтриманням у ньому певного рівня родючості та сприятливих для рослин водно-повітряного, теплового і поживного режимів шляхом зміни його будови і структурного стану [5], формуються специфічні вертикальні й горизонтальні профілі. Окрім того, для зменшення матеріальних та енергетичних витрат, важливим є стабілізація однорідності фізичних властивостей ґрунту для досягнення

якомога більшої гомогенності його агрономічної якості в межах поля та виключення строкатості його продуктивності.

Однак, навіть на відносно однорідному природному фоні території, агротехнічні засоби, в силу особливостей механічного впливу на ґрунт, сприяють утворенню специфічної диференціації фізичного стану ґрунту в орному шарі у межах поля.

Під безпосередньою дією рушіїв сільськогосподарської техніки (коліс і гусениць) надмірне ущільнення ґрунту поширюється до 1 м в глибину і до 0,8 м в поперечному напрямку і може зберігатися до наступного вегетаційного періоду [6, 7]. З узагальнення результатів великої кількості польових спостережень і спеціальних експериментів, проведених різними дослідниками на території України, виявлено, що для більшості сільськогосподарських культур оптимальний ступінь будови ґрунту становить $1,0\text{--}1,2\text{ г/см}^3$; допустима щільність для нормального росту польових культур на важкосуглинкових ґрунтах знаходиться у межах $1,15\text{--}1,40\text{ г/см}^3$, а для кукурудзи — $1,05\text{--}1,30\text{ г/см}^3$ [8]. Під дією техніки щільність ґрунту зростає на $0,1\text{--}0,3$ і навіть — $0,5\text{ г/см}^3$, при цьому зменшуються його пористість, аерація, водопроникність, нітрифікаційна здатність і, в результаті, різко знижується продуктивність ґрунту [9].

Серед найважливіших фізичних індикаторів родючості й окультуреності ґрунту перше місце належить характеристикам його структурного стану. Структурно-агрегатний склад ґрунту в межах орного шару залежить від особливостей технологічного навантаження в процесі його сільськогосподарського використання [10]. На орних землях, під впливом виваженого та адекватного застосування комплексу агрозаходів, відбувається окультурювання ґрунту й оптимізування параметрів структурно-агрегатного складу [6, 11].

Структурні ґрунти характеризуються наявністю системи між- і внутрішньоагрегатних пор та агрегатів, і набувають різних хімічних, фізичних та біологічних властивостей залежно від типів агрегатів і характеру землекористування; міцність агрегатів, своєю чергою, обумовлює спроможність ґрунту засвоювати воду і бути стійким до дії механічного обробітку [12].

Добре структуровані ґрунти — ґрунти з високим умістом гумусу й обмінного кальцію, мають більш широкий інтервал оптимальної вологості для якісного обробітку. Це має велике практичне значення, оскільки різні ґрунти висихають не однаково швидко [13], і дивергенція структурного складу ґрунту у межах сільськогосподарського поля зумовлює диференціацію за ступенем сплоскості ґрунту на час обробітку — механічного впливу техніки і знарядь.

Схильність структури ґрунту до просторової різноманітності ускладнює інтерпретацію досліджень фізичних властивостей ґрунту та їх впливу на ріст сільськогосподарських культур [14].

Зростання обізнаності аграріїв щодо просторової диференційованості властивостей орних ґрунтів активізує розвиток точного землеробства, що потребує детального аналізу індикаторів цього явища. Адже доведено, що різноманітність властивостей ґрунтового покриву є причиною різноманітності стану рослин і їх продуктивності у межах сільськогосподарського поля [15]. Основою методичного підходу до розробки агротехнологій на принципах точного землеробства є наукове обґрунтування набору індикаторів — фізичних властивостей та характеристик ґрунту, параметри яких реагують на застосування тих чи інших агроприймів, а отже, можуть слугувати аргументами для ухвалення виробничих землеробських програм стосовно агротехнічних аспектів точного землеробства [16].

Метою даної роботи є аналіз і висновки з результатів моніторингу агрономічно важливих фізичних характеристик ґрунту в зонах різного механічного навантаження проходами техніки у межах поля під кукурудзою (після соняшника) в системі сівозміни з мінімальним основним обробітком ґрунту. Ідея роботи — пошук взаємозв'язків у групі фізичних індикаторів якості ґрунту.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Роботу проведено в межах польового стаціонарного дослідження Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (атестат № 11), який закладено у 2010 р. на землях установи в Донецькій області. Територія належить до Степової кліматичної зони південного сходу України і розташована на Донецькій височині північно-західної частини Донецького кряжу. Географічні координати: 48.30°N , 37.75°E , висота над рівнем моря 190–210 м. Ґрунт — чорнозем звичайний (Calcic Chernozem) легкосередньоглинистий, слабкосероморфний на лесі.

Польовий дослід спрямовано на дослідження факторів, що є індикаторами ефективності мінімального обробітку ґрунту у зерно-просапній сівозміні за ґрунтово-кліматичних умов Північного Степу України. Культури сівозміни: соняшник, кукурудза на зерно, пшениця озима, гірчиця, пшениця озима, соняшник, чистий пар. Дослідження вели у полях під кукурудзою (після соняшника) протягом 2010-2018 рр. У статті представлено дані 2012 р., який за гідротермічними характеристиками контрастує із тривалим посушливим попереднім періодом, що має більш чітко окреслювати направленість ґрунтових процесів. До аналізу залучено дані моніторингу динаміки параметрів фізичних характеристик ґрунту в окремих зонах поля, де ґрунт піддається різному механічному тиску через проходи сільськогосподарської техніки.

Агротехнічні роботи на полі включали таке: восени (2011 р.) мульчування прищипним мульчувачем із захватом 6 м, дискування дисковою бороною (прищипною із захватом 3,1 м) УДА-31-20 до 20 см під кутом у два сліди; навесні (2012 р.) внесення добрив МТА РУ-1600, ширина захвату 28 м, культивування 10-12 см КПС-8 з шириною захвату 8 м, посів МТА «Джон-Дір», сівалка на 24 сошники, ширина захвату 12 м; після посіву дві міжрядкові прополки КРН-5,6 (культиватор рядковий із захватом 4,2 м), дві обробки гербіцидом обприскувачем «Джон-Дір» із захватом 24 м; збирання врожаю комбайном "Джон Дір", жатка 620R із захватом 6,1 м.

У межах орного шару ґрунту (0–10, 10–20 і 20–30 см) вимірювали параметри таких агрономічно значущих фізичних показників з використанням стандартизованих методів: щільність будови ґрунту (ДСТУ ISO 11272:2001)¹; вміст вологи за масою гравіметричним методом (ДСТУ ISO 11465:2001)²; структурний склад за результатами сухого просіювання ситовим методом у модифікації Н.І. Савінова (ДСТУ 4744:2007)³; твердість за методом Ю.Ю. Ревякіна (ДСТУ 5096:2008)⁴.

Метеорологічні дані, необхідні для розрахунку гідротермічного коефіцієнта, здобуто власними спостереженнями на метеопості у селищі Суха-Балка (48°19'33.9"N 37°45'54.3"E). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за Г.Т. Селяниновим, як відношення суми опадів у мм за період із середньодобовими температурами повітря вище 10 °C до суми температур за той же час, зменшеної в 10 разів.

Проби ґрунту для досліджень відбирали чотири рази протягом вегетаційного періоду 2012 року: 1 – до посіву, напередодні проведення першої весняної культивування (27.04); 2 – після посіву кукурудзи (22.05); 3 – у середині вегетації (10.08); 4 – після збирання врожаю (18.09).

Локації (точки) відбирання проб ґрунту: I – по периметру поля (місце високого ущільнення проходами машин у допосівний період); II – в межах поля у зоні, найбільше ущільненій проходами техніки (колія); III – в межах поля у зоні з найменшим впливом прямого тиску техніки.

Врахування продуктивності культури проведено визначенням біологічної врожайності кукурудзи на зерно.

3. Метеорологічні умови у період досліджень

Територія досліджень належить до зони ризикованого землеробства із нестійким зволоженням. Середнє багаторічне значення гідротермічного коефіцієнту становить 0,84. Згідно з гідротермічними характеристиками періоду дослідження (Табл. 1), тільки у 2012 р. ГТК перевищує середні багаторічні значення.

Таблиця 1

Динаміка гідротермічного коефіцієнта у період спостережень

Середньорічні значення ГТК											
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2008-2018
1,18	0,47	0,79	0,70	0,91	0,76	0,77	0,44	0,71	0,70	0,55	0,84

¹ Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT) ДСТУ ISO 11272:2001. [Чинний від 2003–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.

² Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ДСТУ ISO 11465:2001) (ISO 11465:1993, IDT). Київ: Держстандарт України, 2002.

³ Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н.І.Савінова (ДСТУ 4744:2007). Київ: Держстандарт України, 2008.

⁴ Якість ґрунту. Визначання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна (ДСТУ 5096:2008). Київ: Держстандарт України, 2009.

Особливістю сівозміни є вирощування кукурудзи на зерно 2012 року після незадовільного попередника — соняшника та трьох поспіль попередніх років з низькими значеннями ГТК. В умовах регіону в останні роки спостерігається тенденція до зменшення частоти досягнення оптимальних середньорічних значень (ГТК 1,1) та збільшення кількості посушливих років та років з ознаками зони сухого землеробства (ГТК 0,5-0,7) і, навіть, сухої зони (ГТК < 0,5) в окремі роки [17].

Температурні характеристики сільськогосподарського року вирощування кукурудзи на зерно (2012) відрізняються відносно теплим періодом під час осінньої підготовки ґрунту після попередньої культури (Табл. 2), більш раннім, порівняно із середньобаторічними даними, зниженням температури повітря та більш прохолодними зимою та початком весни.

Таблиця 2

Температурні характеристики у період дослідження

Рік	Середньомісячна температура повітря, °C											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	-6,7	-9,2	-0,2	9,1	18,5	21,7	25,8	22,7	16,8	8,7	-0,4	1,1
2012	-5,0	-10,0	-0,3	14,6	20,4	23,0	25,6	23,7	17,6	12,7	4,7	-4,1
Середні багаторічні	-3,9	-3,3	2,2	10,9	17,8	21,8	24,3	23,2	16,9	9,3	3,1	-2,2

Період осінньої підготовки ґрунту до вирощування кукурудзи характеризується посушливістю (Табл. 3), як і зима та більша частина весни.

Таблиця 3

Кількість атмосферних опадів у період дослідження

Рік	Кількість опадів за місяць, мм											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	47,2	17,0	30,5	35,5	51,5	106,0	34,0	3,0	12,0	68,5	6,5	31,5
2012	37,0	30,0	18,0	26,0	66,5	88,0	17,5	116,0	32,5	25,5	3,5	58,5
Середні багаторічні	39,0	31,1	31,5	40,0	47,7	69,4	55,4	37,4	47,7	34,9	38,5	41,9

Кількість опадів у травні, червні і серпні 2012 року перевищує середні багаторічні значення, що формують достатньо зволожені умови періоду вегетації кукурудзи. А саме, осінні польові роботи проведено в умовах пересушеного ґрунту, що є характерним для тенденційних напрямів погодних змін в умовах регіону [17], та є результатом біологічних особливостей культури-попередника — соняшнику [18]. Зимовий та ранньовесняний періоди більш посушливі та прохолодні, а період вегетації — спекотний та відносно вологий.

Середні значення гідротермічних показників погодних умов у періоди між відбиранням проб представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Гідротермічні характеристики погоди у періоди між відбиранням проб

Період	Опади, мм	Середня температура повітря, °C	ГТК
Від 01.04 до 27.04.2012 (до посіву)	26	13,7	0,70
Від 27.04 до 22.05.2012	7,5	22,0	0,13
Від 22.05 до 10.08.2012	168,5	24,0	0,87
Від 10.08 до 18.09.2012	122,0	19,7	1,51

Динаміка фізичного стану ґрунту за таких умов відображає особливості адаптації системи «ґрунт-рослина» до вирощування просапних культур в умовах відмови від оранки за сучасних тенденцій регіональних кліматичних змін. І саме це спонукало до проведення детального аналізу гетерогенності параметрів фізичних показників ґрунту у динаміці під кукурудзою на зерно.

4. Результати досліджень

4.1. Щільність будови ґрунту

Визначення параметрів фізичних показників вказує на гетерогенність стану ґрунту у межах дослідного поля та диференціацію у динаміці його характеристик за період від передпосівної підготовки до збирання врожаю залежно від інтенсивності механічного навантаження виробничою технікою.

Середні (з усіх локацій) значення об'ємної маси ґрунту в межах орного шару (0-30 см) на полі у передпосівний період та у період вегетації кукурудзи, а також після збирання врожаю майже не віддалялися від верхньої межі оптимальної щільності будови ґрунту — 1,3–1,4 г/см³ (діапазон оптимальної об'ємної маси для чорноземів звичайних легкоглинистих лежить в інтервалі від 1,2 до 1,4 г/см³, згідно з ДСТУ 4362:2004)⁵, а у перший місяць після проведення посівних робіт — перевищували 1,4 г/см³ (Рис. 1).

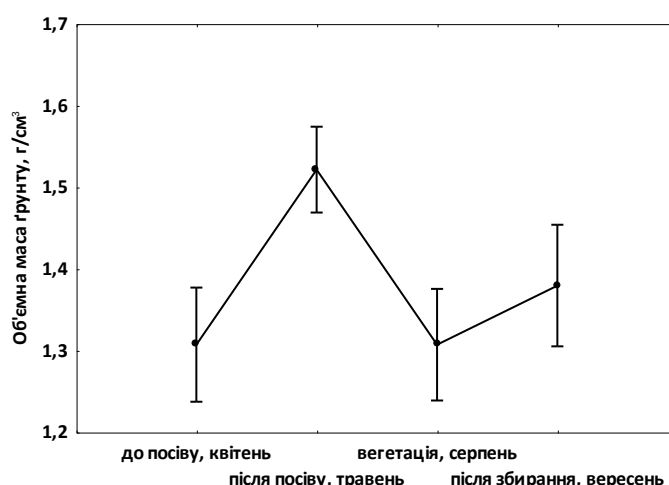


Рис. 1. Динаміка середньої щільності будови ґрунту на полі у шарі 0–30 см

На різних локаціях у межах дослідного поля спостерігається диференціація за градієнтом щільності будови ґрунту в окремих частинах орного шару (Табл. 5).

Таблиця 5

Динаміка щільності будови ґрунту на різних глибинах в межах орного шару

Локація	Шар ґрунту, см	Об'ємна маса ґрунту, г/см ³			
		до посіву, квітень	після посіву, травень	вегетація, серпень	після збирання, вересень
I	0-10	1,27	1,46	1,06	1,12
	10-20	1,39	1,61	1,25	1,39
	20-30	1,42	1,77	1,40	1,55
II	0-10	1,14	1,31	1,11	1,22
	10-20	1,14	1,58	1,35	1,50
	20-30	1,43	1,60	1,46	1,55
III	0-10	1,19	1,41	1,39	1,11
	10-20	1,35	1,46	1,34	1,43
	20-30	1,43	1,48	1,40	1,55
HIP ₀₅		0,15			

До посіву у шарі 20-30 см маємо щільність вище оптимальної у всіх точках спостереження, але у більш високих шарах ґрунту існують розбіжності. Об'ємну масу ґрунту на межі оптимального значення виявлено в шарах 0-10 см та 10-20 см на локації I. На локації II показник щільності цих шарів був менше нижньої межі оптимуму 1,2 г/см³. На

⁵ Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. ДСТУ 4362:2004. Київ: Держспоживстандарт, 2005.

локації III верхній 0-10 см шар також був ущільнений менше за оптимум, але вже з глибини 10-20 см спостерігається перевищення оптимальних значень.

Через місяць після посіву кукурудзи відбулося ущільнення ґрунту у всіх шарах на всіх локаціях, крім шару 20-30 см на локації III, тобто, у зоні найменшого прямого впливу техніки.

На закінчення вегетації кукурудзи (після збирання) на всіх локаціях у шарі 20-30 см ґрунт набув однаково високої щільності ($1,55 \text{ г/см}^3$), а у верхньому 0-10 см шарі та шарі 10-20 см помітно більш щільним виявився ґрунт на локації II — у зоні колії. Примітним є те, що на локації III, з найменшим впливом МТА, спостерігалось критичне ущільнення середнього (10-20 см) шару.

4.2. Вологість ґрунту та запаси продуктивної вологи.

Спілість ґрунту — поняття, що визначає його готовність (за вмістом води) до сприйняття механічних навантажень, викликаних обробітком, і здатність проявляти стійкість, не змінювати радикально своїх фізичних характеристик. З висловлювань вчених [19] відомо, що «агротехнічно допустимий інтервал вологості фізично спілих чорноземів становить 15-24 % маси абсолютно сухого ґрунту..., а високоякісного обробітку... при найменших тягових зусиллях, досягають при 15-18 %».

Аналізуючи стан зволоженості ґрунту на різних локаціях пересвідчилися в існуванні суттєвої неоднорідності як до початку робіт, так і протягом вегетації рослин.

Перед посівом на локації I ґрунт характеризувався у шарі 0-10 см вологістю в межах допустимого інтервалу, на локації II — мав перезволоження верхнього шару, а на локації III — недостатнє зволоження (Табл. 6).

Таблиця 6

Динаміка вологості ґрунту на різних глибинах в межах орного шару

Локація	Шар ґрунту, см	Вміст води в ґрунті, %			
		до посіву, квітень	після посіву, травень	вегетація, серпень	після збирання, вересень
I	0-10	23,85	13,94	13,91	33,73
	10-20	16,58	16,03	20,10	23,27
	20-30	15,87	16,45	23,67	23,87
II	0-10	25,46	14,22	12,71	22,92
	10-20	21,04	17,24	19,53	23,54
	20-30	24,16	20,57	16,40	24,35
III	0-10	14,96	16,25	8,17	23,36
	10-20	18,61	19,29	10,06	21,50
	20-30	17,94	17,97	10,52	24,47
HIP ₀₅		3,36			

Тобто, в межах одного поля існують зони з оптимальною для проведення механічних робіт вологістю і пересушені або перезволожені ділянки. І це спостерігається після посіву, в період вегетації та навіть після збирання врожаю.

Диференціація площі поля за вологістю ґрунту в орному шарі певним чином відображає диференціацію за запасами продуктивної води й на більших глибинах (Рис. 2).

По периметру поля (локація I) перед посівом кукурудзи метровий шар ґрунту характеризується низькими запасами продуктивної води за шкалою Н. А. Качинського [20] — 62,02 мм, а в межах основної території поля спостерігаються ділянки із задовільною 113,10 мм (локація II) і дуже поганою 34,11 мм (локація III) вологозабезпеченістю. У серпні ґрунт на локації I у метровому шарі також має низькі запаси води (93,23 мм), тоді, як на локації II (з найбільшим ущільненням у шарі 10-20 см) — ще нижчі (54,28 мм), а на локації III взагалі констатували відсутність продуктивної води у метровому шарі ґрунту. У шарі 0–20 см після збирання кукурудзи маємо в межах поля ділянки як із задовільним умістом продуктивної води (20,33 мм, локація II), так і незадовільним (16,45 мм, локація III), а периметр поля характеризується доброю вологозабезпеченістю (30,93 мм, локація I). Окрім того, виходячи із потреб наступної культури сівозміни — пшениці озимої, коли «... дані свідчать, що для забезпечення дружних і своєчасних сходів озимини на час сівби в шарі ґрунту 0–10 см повинно бути не

менше 10 мм продуктивної вологи» (О.Л. Романенко 2015) [21], оптимальним (за Качинським) параметрам відповідає тільки вологість ґрунту по периметру поля (20,16 мм).

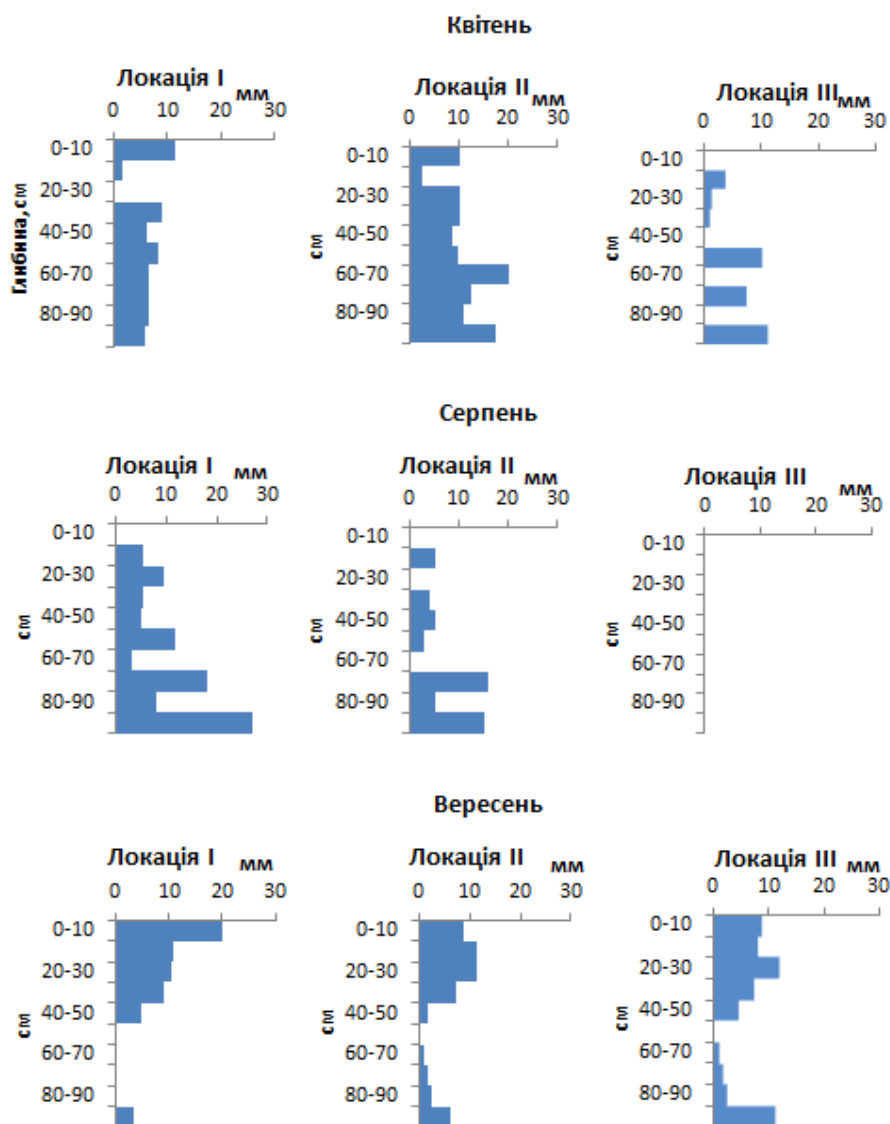


Рис. 2. Динаміка запасів продуктивної вологи (мм) у шарі ґрунту 0-100 см

4.3. Твердість ґрунту

Твердість ґрунту розглядають як міру його механічної проникливості [16], з чим безпосередньо пов'язана така важлива технологічна характеристика ґрунту як спротив обробітку, а також — спротив просуванню коренів рослин. Твердість інтегрує відомості про фізичний стан ґрунту, що функціонально залежить від гранулометричного складу, структури, щільності й вологості (S. Grunau et al., 2001 за [16]).

Найбільше твердість залежить від вологості: зі зменшенням вологості чорноземних ґрунтів від 34,5 до 13,3 % (у 2,5 раза) твердість посилюється у 7 разів (П.У. Бахтін, 1969 за [16]).

Щодо впливу механічного обробітку ґрунту на стан його твердості, відомо достатню кількість результатів польових дослідів, з яких видно, що ґрунт, навіть за нульового обробітку, не схильний нарощувати твердість впродовж вегетаційного періоду [16].

Показник твердості ґрунту широко використовують для оцінювання якості його обробітку виходячи з того, що твердість тісно пов'язана з розміром структурних агрегатів, щільністю і водно-повітряними умовами розвитку коренів рослин.

Для кукурудзи, як і інших просапних культур, оптимальними значеннями твердості ґрунту в орному шарі є 5–10 кгс/см² [6, 22]. За результатами спостереження перед посівом у межах поля твердість ґрунту коливається не виходячи за верхню межу цього інтервалу.

Лише по периметру (локація I) маємо суттєве перевищення оптимуму, де, на відміну від основної території поля, спостерігається суттєве зменшення параметрів після посіву та у період вегетації культури (Рис. 3).

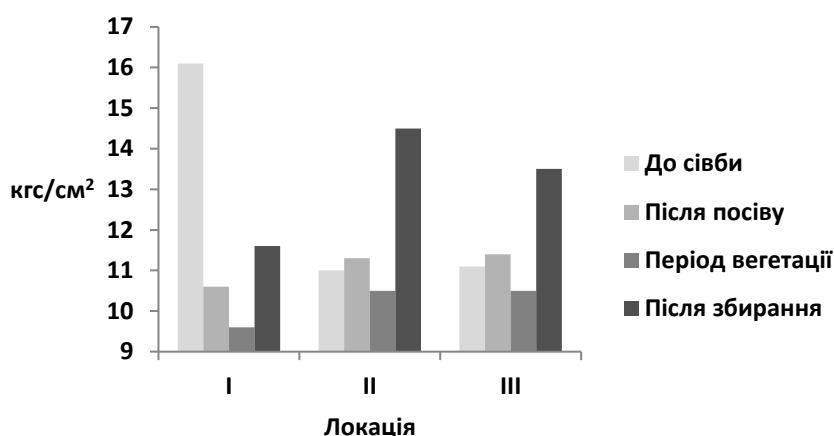


Рис. 3. Динаміка твердості ґрунту у шарі 0-30 см

Після збирання врожаю твердість ґрунту збільшується, у більшому ступені на основній території поля, та наближається до необхідного рівня для посіву зернових колосових культур [6, 22], хоча і залишається нижче мінімальних значень (для зернових колосових культур твердість ґрунту має бути на рівні 20–25 кгс/см² [23]).

4.4. Структурний склад ґрунту

Аналіз структурного складу орного шару ґрунту у період перед посівом кукурудзи (Табл. 7) вказує на диференціацію локацій досліджу.

Таблиця 7

Структурний склад ґрунту на різних глибинах в межах орного шару (квітень, до посіву)

Локація	Шар, см	Вміст структурних агрегатів, %			Відношення вмісту фракцій 5-3 мм 2-1 мм
		> 10 мм	< 0,25 мм	0,25–10 мм	
I	0-10	63,7	10,3	25,9	2,2
	10-20	59,8	8,0	32,2	3,3
	20-30	66,7	8,3	25,0	1,6
II	0-10	30,8	16,3	53,0	2,2
	10-20	33,6	14,8	51,5	0,8
	20-30	28,4	18,1	53,5	0,5
III	0-10	50,1	4,9	44,9	0,7
	10-20	45,1	13,7	41,2	1,6
	20-30	48,5	12,3	39,3	2,3

За вмістом агрономічно корисних агрегатів (середній діаметр 0,25–10 мм) у шарах 0–10 та 10–20 см стан ґрунту в межах поля, згідно зі шкалою С.І. Долгова і П.У. Бахтіна [24], є задовільним з варіюванням від 41 до 53 %; по периметру поля — незадовільний (від 26 до 32 %), і там спостерігається високий вміст брилистої фракції (> 10 мм) — від 60 до 67 %

Але по периметру поля спостерігається найменший вміст пилуватої фракції (< 0,25 мм) та зниження вмісту більшості агрономічно корисних фракцій, за винятком агрегатів 5–3 мм (Рис. 4). Найвищий вміст пилу (< 0,25 мм) має ґрунт у межах поля, що потрапляє під пряму дію тиску МТА (локація II). Локація III характеризується низьким вмістом пилу у верхньому розпушеному шарі 0–10 см, але різким збільшенням його в шарах 10–20 та 20–30 см.

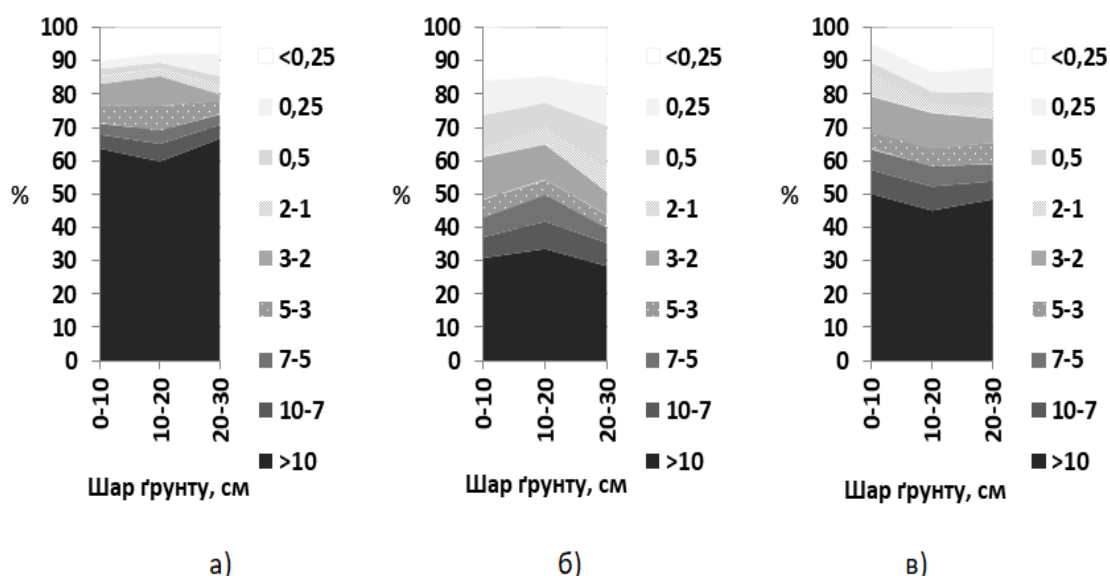


Рис. 4. Структурний склад ґрунту перед посівом (локації: а – I; б – II; в – III)

4.5. Урожайність кукурудзи

За результатами досліджень урожайність кукурудзи на зерно в межах досліджуваного поля варіює від 2,18 т/га по периметру (локація I) до 3,67 т/га на ділянках, що потрапляють у слід МТА (локація II), за середню урожайність на фоні мінімального прямого впливу тиску техніки (локація III) 3,58 т/га ($HP_{05}=1,489$ т/га). Диференціація врожайності за локаціями сягає 40 %, що може бути відчутним у формуванні кількості валового продукту, знижуючи ефективність його виробництва.

5. Обговорення результатів

5.1. Неоднорідність щільності будови ґрунту в часі

5.1.1. Ущільнення ґрунту після посіву

Вивчення динаміки об'ємної маси ґрунту на різних локаціях у період після проведення посіву показало, що глибина поширення максимального ущільнення орного шару (Рис. 5) визначається, перш за все, глибиною розташування прошарку з найменшою вологістю (див. табл. 6). За висновками М. П. Артьомова [25] «вологість ґрунту в момент впливу на нього техніки є найважливішим чинником, що визначає ступінь ущільнення, при одному і тому ж навантаженні», та глибину деформації ґрунту.



Рис. 5. Зростання щільності будови ґрунту внаслідок проведення посівних робіт

А згідно з результатами досліджень В.В. Медведєва та ін. [26] інтенсивність і глибина ущільнення залежать як від вологості ґрунту у момент проходження МТА, так і від гранулометричного складу ґрунту та його структурного стану. Аналіз наших даних показав,

що у структурно-агрегатному складі ґрунту в ущільнених після посіву прошарках відзначається максимальний, у межах орного шару, вміст брилистої фракції (> 10 мм) та найменший вміст фракції 5–3 мм у допосівний період (див. Табл. 7, рис. 4). Тобто, ґрунт дослідного поля має найменшу стійкість до механічного ущільнення МТА на глибині мінімальної зволоженості, що співпадає із максимальною за профілем брилистістю та мінімальним вмістом агрегатів, розміром 5–3 мм.

Кореляційним аналізом розкрито позитивний зв'язок щільності будови ґрунту з умістом брилистої фракції > 10 мм (у нашому випадку до $r\ 0,99$) і негативну кореляцію (до $r\ -0,99$) з умістом агрономічно корисних агрегатів (10–0,25 мм). Окрім того, весняні параметри об'ємної маси у шарі 0–10 см достатньо щільно негативно корелюють з умістом у більш глибокому (10–20 см) шарі фракцій агрегатів $< 0,25$ мм, 0,5–0,25 мм та 10–5 мм (від $r\ -0,85$ до $-0,99$), однак, також щільно, але позитивно, — із вмістом фракції 5–3 мм (до $r\ 0,98$). Тобто, щільність верхнього шару ґрунту пов'язана зі складом структурних окремоностей не тільки у цьому шарі, але і в наступному.

Аналіз деформації будови ґрунту після посівних робіт (через відсоток збільшення об'ємної маси після їх проведення) показав, що ущільнення у шарі 0–10 см негативно корелює з умістом тут фракцій $< 0,25$ мм та 5–3 мм ($r\ -0,99$), кількість яких, своєю чергою, позитивно пов'язана з вологістю ($r\ 0,92$ та $0,93$ відповідно). Тобто, можна вважати, що пилювата фракція ($< 0,25$ мм) та агрегати 5–3 мм, через позитивний вплив на вологість, підвищують спроможність ґрунту протистояти тиску МТА. Але ущільнення на глибині 10–20 см, за отриманими даними, позитивно корелює з умістом цих фракцій ($r\ 0,98$) у верхньому шарі 0–10 см і обернено пропорційно корелює з ущільненням цього шару ($r\ -0,98$). Із цього витікає — тим менше деформується шар 10–20 см, чим більше ущільнюється верхній (0–10 см) шар. А саме, динамічність щільності верхнього шару забезпечує захист від ущільнення нижчого. Маємо підтвердження існування певного типу взаємодії між шарами ґрунтового профілю, що узгоджується також з дослідженнями О.В. Жукова та Г.О. Задорожної [2] стосовно твердості ґрунту.

Ущільнення глибоких прошарків орного шару (20–30 см) позитивно корелює із твердістю ґрунту (див. Рис. 2) до проведення посівних робіт ($r\ 0,90$), а твердість позитивно пов'язана з умістом агрегатів 5–3 мм на глибині 10–20 см ($r\ 0,80$) та вмістом брилистої фракції > 10 мм ($r\ 0,70$). Тобто, твердість ґрунту та його брилистість може бути причиною виникнення деформацій ґрунту на більшій глибині під дією МТА у процесі проведення весняних польових робіт.

5.1.2. Динаміка щільності будови ґрунту впродовж вегетації культури

Аналіз динаміки щільності будови — значень об'ємної маси ґрунту під вегетуючою кукурудзою вказує на диференціацію ділянок поля щодо пластичності деформації ґрунту, викликаній весняними польовими роботами (Рис. 6).

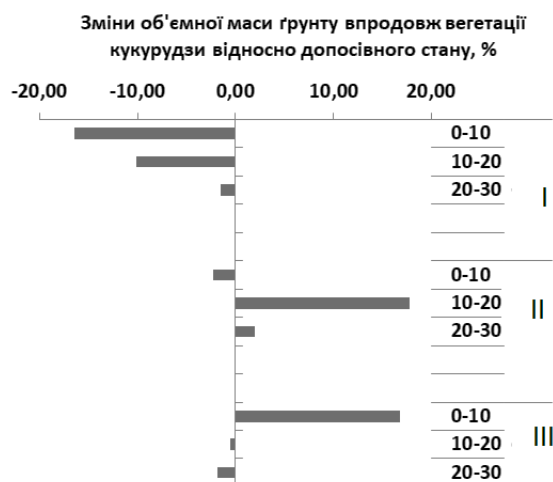


Рис. 6. Зміни щільності будови ґрунту впродовж вегетації кукурудзи відносно передпосівного стану (квітень-серпень)

По периметру поля маємо розущільнення ґрунту в шарах 0–10 та 10–20 см. В межах поля відновлення щільності ґрунту до весняних показників в шарах максимальної деформації не спостерігається. Об'ємна маса у цих шарах перевищує допосівні показники на 17–18 %. Окрім того, порівнюючи напрями зміни щільності ґрунту за період квітень–

серпень (див. рис. 5) та структурно-агрегатного складу (див. рис. 4) можна помітити, що пружна деформація спостерігається там, де відношення вмісту фракцій 5–3 мм до 2–1 мм становить більше 1, а вміст агрегатів 2–1 мм — менше 5,0 %.

Визначення міри розуцільнення ґрунту впродовж вегетації кукурудзи (відносно післяпосівного стану) показало максимальну інтенсивність процесів зменшення об'ємної маси ґрунту на ділянках по периметру поля і найменшу інтенсивність в межах найменшого прямого впливу тиску МТА (Рис. 7).

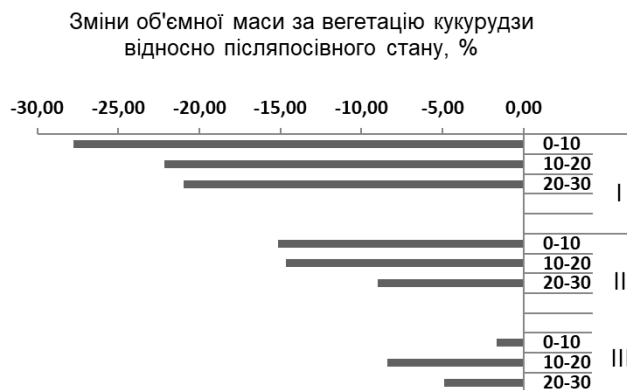


Рис. 7. Зміни щільності будови ґрунту впродовж вегетації кукурудзи відносно післяпосівного стану (травень-серпень)

Кореляційний аналіз дає достатньо щільний зв'язок (загалом $r > 0,5$) між зменшенням об'ємної маси ґрунту за період вегетації кукурудзи і структурним складом орного шару ґрунту перед посівом культури. Згідно з результатами аналізу зменшення значень об'ємної маси ґрунту за період вегетації кукурудзи відбувається там, де більша кількість брил (> 10 мм) та фракції 5–3 мм, навесні, а також із збільшенням твердості ґрунту в орному шарі. Обернений зв'язок із розуцільненням, як і з твердістю, спостерігається для вмісту фракцій 10–7, 7–5 та 3–2 мм.

5.2. Кореляційний зв'язок між показниками режиму зволоження та структурного складу ґрунту

Результати аналізу вказують на щільність і тривалість прямого зв'язку вмісту продуктивної вологи в орному шарі та вмісту в ґрунті структурної фракції $< 0,25$ мм (r від 0,62 у квітні до 0,56 у серпні), і вмісту фракції 1–0,5 мм (r від 0,54 у квітні до 0,51 у серпні). Також виявлено обернену кореляцію вмісту продуктивної вологи з умістом брил > 10 мм (r від -0,37 у квітні до 0,50 у серпні).

Пошаровий аналіз параметрів структурного складу у допосівний період і вмісту продуктивної вологи орного (0–30 см), підорного (30–50 см), та глибокого (50–100 см) шарів ґрунту у квітні, серпні і вересні дозволяє окреслити особливості впливу окремих фракцій агрегатів на водний режим цих шарів ґрунту протягом вегетації культури. Так, встановлено, що брили > 10 мм збільшують глибину випаровування вологи, але і полегшують надходження в ґрунт вологи опадів, що узгоджується із дослідженнями В. В. Медведєва [27]. Тому їх вміст у шарі 0–10 см негативно корелює з глибоким проникненням вологи (50–100 см) у посушливому квітні (r до -0,85), але позитивно — з продуктивною вологою підорного (30–50 см) шару (r до 0,99) у зволожений період серпень-вересень.

Так само агрегати 10–7 і 7–5 мм, сприяють випаровуванню вологи з ґрунту до глибини 30 см, але полегшують надходження вологи у підорний шар. Їх вміст у шарі 0–10 см негативно корелює з умістом продуктивної вологи в усьому орному шарі у серпні і вересні (відповідно r до -0,95 і -0,99 для фракції 10–7 мм), але позитивно — з вологою у шарі 50–100 мм у вересні (r до 0,99).

Агрегати 5–3 мм сприяють доброму засвоєнню вологи опадів, заважають випаровуванню і міграції її вглиб по профілю. Спостерігається позитивна кореляція з їх умістом у шарі 0–10 см продуктивної вологи у усьому орному шарі у квітні (r до 0,99) і в підорному (30–50 см) — у серпні (r до 0,81). Натомість виявлено обернений зв'язок їх умісту у шарі 10–20 см з вологою глибоких шарів (50–100 см) у вересні (r до -0,81) та з їх умістом у шарі 20–30 см і вмістом вологи в підорному шарі 30–50 см (r до -0,99).

Фракція 3–2 мм не заважає висхідному руху води (випаровуванню), але стримує засвоєння літніх опадів. Вміст її навесні в орному шарі негативно корелює з умістом в ньому продуктивної води у серпні (r більше $-0,90$).

Агрегати 2–1, як і 1–0,25 мм, заважають засвоєнню атмосферних опадів та міграції води як вглиб ґрунтового профілю, так і у висхідному напрямі. Вміст фракції 2–1 мм у шарі 0–10 см негативно корелює з умістом продуктивної води в підорному шарі (r до $-0,97$), як у квітні, так і у серпні, вміст цієї фракції у шарі 20–30 см — позитивно з водою шару 50–100 см у квітні (r до $0,98$).

Пилувата фракція $< 0,25$ мм сприяє доброму засвоєнню води опадів, але стримує їх проникнення вглиб ґрунтового профілю і не заважає випаровуванню з поверхні ґрунту. Це узгоджується з класичними уявленнями [28], що розпилення ґрунтів, як один із проявів деградації, зокрема, призводить до кіркоутворення. Вміст агрегатів $< 0,25$ мм у шарі 0–10 см позитивно корелює з умістом продуктивної води у шарі 0–30 см (r до $0,99$) у квітні та з продуктивною водою у шарі 30–50 см у серпні (r до $0,79$). А вміст агрегатів $< 0,25$ мм у шарах 10–20 та 20–30 см негативно корелює з продуктивною водою в орному і підорному шарах у вересні (r до $-0,91$ і $-0,94$ та $-0,68$ та $-0,99$ відповідно). Відомо також приклад статистично підтвердженої наявності суттєво тісного зв'язку діапазону продуктивної води у широкому ряді ґрунтів України і вмісту крупних макроагрегатів [29].

5.3. Просторова неоднорідність агрофізичного стану ґрунту в межах поля

Виходячи з аналітичних даних, що дозволили виявити наявність і характер зв'язків стійкісних характеристик, реологічних особливостей та водного режиму чорнозему звичайного з його структурним складом у межах орного шару можна окреслити особливості просторової неоднорідності, у межах поля, агрофізичного стану ґрунту та його динамічності у ґрунтово-кліматичних умовах регіону під час вирощування кукурудзи за сучасних технологій, що базуються на відмові від оранки.

5.3.1. Периметр поля (локація I)

Підвищений рівень механічного тиску МТА по периметру поля перед початком посівної формує більш ущільнений ґрунт із високою брилистістю, низьким умістом структурних агрегатів 2–1 мм, та підвищеним умістом фракції 5–3 мм, що відповідає за стійкість ґрунту до механічного тиску, з поверхні до глибини 20 см. Особливості структури орного шару сприяють високій інтенсивності висхідних потоків води, як і відносній легкості засвоєння ґрунтом опадів, що зумовлює формування оптимальної зволоженості поверхні ґрунту у період проведення посівної, але — переривання наповненості продуктивною водою ґрунту на глибині 20–30 см. Високий вміст брил та агрегатів 5–3 мм з поверхні до глибини 20 см та низька вологість у шарі 20–30 см спричиняють максимальну деформацію у цьому шарі після посіву і формування суттєвого градієнту щільності до глибини 30 см. Градієнт щільності сприяє інтенсифікації висхідних потоків води у посушливий післяпосівний період та пересушуванню орного шару, що може бути однією з причин суттєвого зниження врожаю кукурудзи (див. п. 4.5). Інтенсивні низхідні токи через, зокрема, брилисту структуру орного шару і невисокий вміст гігроскопічних фракцій, формують найкраще наповнення метрового шару водою у період літніх дощів. Але до вересня інтенсивне випаровування формує потужний шар пересушування профілю на глибині 50–80 см, який заважає глибокому заповненню водою ґрунтового профілю і викликає накопичення її у поверхні з утворенням перезволоженого шару 0–10 см. Деформація орного шару після весняних робіт є пружною, і у серпні спостерігається його розущільнення.

5.3.2. Колія (локація II)

ґрунт у зоні колії МТА в межах поля характеризується високим умістом пилуватої структурної фракції в орному шарі перед початком посівної і невисоким вмістом брил та оптимальною щільністю у верхніх шарах до глибини 20 см. Наповненість метрового шару продуктивною водою перед посівом є задовільною, але верхній 0–10 см шар є перезволеним. Високий вміст фракції 5–3 мм та низький 2–1 мм є характерним тільки до глибини 10 см. І максимальна деформація ґрунту після посівної спостерігається нижче цього шару на глибині 10–20 см. Формується високий градієнт щільності між шарами 0–10 і 10–20 см ($0,27$ г/см³), що інтенсифікує випаровування води у післяпосівний період. Але високий вміст фракцій, розміром менше 2 мм, що гальмують міграцію води у ґрунті, та низький градієнт щільності між шарами 10–20 і 20–30 см дозволяють тримати відносно

більш високий рівень запасів продуктивної вологи на глибині 20–30 см, зважаючи на ранньовесняну задовільну вологозабезпеченість метрового шару ґрунту. Це може пояснювати відносно високу урожайність культури на відповідних ділянках дослідного поля (див. п. 4.5), незважаючи на строкате наповнення ґрунтового профілю продуктивною вологою у серпні. Можливо, це відбувається через погіршення процесів міграції вологи, зумовлене, зокрема, структурно-агрегатним складом нижніх прошарків орного шару. Окрім того, деформація орного шару після весняних робіт є пластичною, і після збирання урожаю ґрунт може навіть ущільнюватись у верхньому шарі 0–10 см. У вересні перезволоження 0–10 см шару не спостерігається, ґрунт зверху до глибини 50 см має меншу вологонасиченість, ніж по периметру поля, але шар пересушування (50–60 см) менш потужний.

5.3.3. Зона з найменшим впливом прямого тиску техніки (локація III)

Ділянки найменшого впливу тиску МТА навесні мають неуцільнений верхній шар 0–10 см, але високий градієнт щільності по орному шару, що зумовлює найгірше наповнення продуктивною вологою ґрунтового профілю перед посівом і наявність пересушеного шару на поверхні ґрунту. Особливостями структури ґрунту перед посівом є невисока пилюватість зверху зі збільшенням кількості пилу у більш глибоких прошарках орного шару. Брилистість від 45 до 51 %, кількість агрегатів 5–3 мм більше 5,3 % тільки з глибини 20 см, вміст фракції 2–1 мм перевищує 2,5 % по всьому орному шару. Тому основна деформація ґрунту після проведення посівної сконцентрована у поверхневому шарі 0–10 см, що вирівнює градієнт щільності під посівами у травні і сприяє збереженню вологи. Цим можна пояснити формування врожайності на рівні показників з ділянок під періодичним тиском МТА (див. п. 4.5). Однак, висока щільність 0–10 см протягом вегетації культури, що у серпні, навіть перевищує щільність шару 10–20 см, та висока пилюватість ґрунту не сприяють збереженню вологи опадів. І у серпні спостерігається повне пересушування метрового шару ґрунтового профілю. Хоча у вересні вже відбувається відновлення щільності 0–10 см шару до квітневих показників, що дозволяє заповнити ґрунтовий профіль вологою на рівні ділянок з періодичним тиском МТА.

6. Висновки

1. Стійкісні характеристики, реологічні особливості та водний режим ґрунту впродовж вегетаційного періоду кукурудзи великою мірою визначаються параметрами структурного складу орного шару, зафіксованими на час перед посівом культури.
2. Структурні агрегати різних фракцій диференційно пов'язані із фізичними показниками ґрунту та по-різному впливають на його агрофізичний стан.
3. Нерівномірність розподілу інтенсивності механічного тиску зумовлює диференціацію структурного складу та фізичного стану ґрунту в орному шарі в межах поля, що призводить до одночасного існування різноякісних зон, наприклад, у стані перезволоження, пересушування та оптимальної зволоженості.
4. Щільність верхнього шару ґрунту пов'язана не тільки з його власним структурним складом, а також і зі складом шару, розташованого нижче.
5. Твердість ґрунту, його брилистість, високий вміст агрегатів фракції 5–3 мм та низький вміст агрегатів 2–1 мм у верхніх шарах може бути причиною збільшення глибини деформації ґрунту під дією МТА.
6. Динамічність щільності верхнього шару ґрунту, низький вміст в ньому агрегатів 5–3 мм та високий вміст 2–1 мм забезпечує захист від ущільнення шарів ґрунту, розташованих нижче.

Список використаних джерел

1. Медведев В.В. Временная и пространственная гетерогенизация распахиваемых почв. *Ґрунтознавство*. 2013. Т. 14, № 1/2. С. 5–22. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/fbem/program_56d5ed9dd8f64.pdf
2. Жуков А.В., Задорожная Г.А. Пространственная изменчивость твердости рекультивируемых почв. *Принципы экологии*. 2017. № 3. С. 66–80. DOI: [10.15393/j1.art.2017.6322](https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6322).
3. Задорожная Г.А. Сезонная динамика экоморфического строения чернозема. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2016. Вип. 85. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-08>
4. Задорожная Г.А. Связь пространственной вариации твердости чернозема с экологической структурой растительного сообщества. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2017. Вип. 86. С. 69–78. DOI: doi.org/10.31073/acss86-09

5. Конищев А.А. Обработка почвы: вчера, сегодня, завтра. Иваново: ФГОУ ВПО ИГСХА им. академика Д.К. Беляева, 2013. 127 с.
6. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва: Агропромиздат, 1988. 160 с.
7. Сафиулин М.А. Причина потери 30 % урожая лежит на поверхности. 2018. URL: <https://regnum.ru/news/economy/2383848.html>.
8. Медведев В.В., Бигун О.Н. Об оптимальной, допустимой и недопустимой плотности сложения распахиваемых почв. *Fundamental and applied soil science*. 2013. Т. 14, №3-4. С. 6-17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/grunt_2013_14_3-4_3
9. Лапик В.П., Французов В.С., Адылин И.П. Исследование уплотнения почвы МТА. *Вестник БГСХА*. №1 2012. С. 35-37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-uplotneniya-pochvy-mta/viewer>
10. Цюк О.А., Центило Л.В., Мельник В.І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Том 10, №5-6. С. 139-145. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.05.017>.
11. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана): монография. Харьков. Изд. «13 типография». 2008, 406 с.
12. Jasinska E., Wetzel H., Baumgartl T., & Horn R. Heterogeneity of Physico-Chemical Properties in Structured Soils and Its Consequences. *Pedosphere*. 2006. V. 16. Issue 3. P. 284-296. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60054-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60054-4).
13. Медведев В.В. Физические свойства и обработка почв в Украине. Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. 224 с..
14. Koszinski S., Wendroth O., Lehfeldt J. Field scale heterogeneity of soil structural properties in a moraine landscape of north-eastern germany *Int. Agrophys.* 1995, 9(3). P. 201–210. URL: <http://www.international-agrophysics.org/Field-scale-heterogeneity-of-soil-structural-properties-in-a-moraine-landscape-of,107136,0,2.html>
15. Бець Т.Ю. Просторова неоднорідність твердості ґрунту та її зв'язок з електричною провідністю ґрунту та продуктивністю соняшника. *Біологічний вісник МДПУ*. 2013. 2(8). С. 30-44. DOI: [http://dx.doi.org/10.7905/bbmspu.v0i3\(6\).543](http://dx.doi.org/10.7905/bbmspu.v0i3(6).543).
16. Медведев В.В. Твердость почв. Харьков: Изд. КГ1 «Городская типография», 2009. 152 с.
17. Погромська Я.А. Динаміка кількості опадів за кліматичних змін в умовах Донецького регіону. «Екологічна наукова діяльність: в концепції сталого розвитку» Збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю. Житомир С. 239-244: Вид-во ЕЦ «Укрекобіокон», 2018. URL: <http://repository.vsa.org/getfile.php/19230.pdf>
18. Мірошніченко М.М., Ревтьєв-Уварова А.В., Гладких Є.Ю., Панасенко Є.В. Оцінка ефективності аміачної води за удобрення соняшнику. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2018. Вип. 24. С. 190-198.
19. Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В., Танчик С.П. Землеробство: підруч. 2-ге вид. перероб. та доп. ; за ред. В.П. Гудзя. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.
20. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
21. Романенко О.Л., Конова С.Р., Солодушко М.М., Бальошенко С.В. Вологозабезпеченість ґрунту та продуктивність різновікових рослин пшениці озимої в зоні південного Степу. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2015. Вип. 18. С. 87-95.
22. Демиденко О.В. Післяжнивні рештки в ґрунтозахисному землеробстві як енергетика ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва : Міжвід. темат. зб. наук. пр.* Черкаси, 2005. Вип. 5. С. 13–26.
23. Центило Л.В., Цюк О.А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. №1. С. 147-153. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.19>.
24. Долгов С.И., Бахтин П.У. Шкала для оценки готовности почв к посеву по ее структурному состоянию. Москва: Наука, 1966. С. 67.
25. Артёмов М.П. Вплив зміни вертикальних прискорень машинно-тракторних агрегатів на ущільнення ґрунту при виконанні агротехнічних операцій. *Інженерія природокористування*. 2017. №2(8). С. 90-95.
26. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. Харьков: 13 типография, 2004. 244 с.
27. Медведев В.В. Агрозем как новое 4-мерное полигенетическое образование. *Gruntoznastvo*. 2016. 17, №. 1-2. С. 5-21. DOI: <https://doi.org/10.15421/041601>.
28. Медведев В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Пліско І.В. Агрофізика ґрунту. Навчальний посібник. Київ, 2018. 272 с.
29. О закономерных связях между гидрофизическими и общими физическими свойствами почв / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, О.Н. Бигун, [и др.]. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2007. № 67. С. 42-53.

UDC 631.4:551.3;631.59

Dynamics of heterogeneity of the agrophysical quality of ordinary chernozem within the farm field

Ya. A. Pogromska

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: joanap@i.ua

The article presents data on monitoring the physical characteristics of the soil in a field under corn (after sunflower) in a grain-row crop rotation with minimal tillage technology. Soil – Calcic Chernozem, light-medium clayey, weakly xeromorphic on loess in the Donetsk region in the Steppe climate zone of southeastern Ukraine. The research carried out in a stationary field experiment to study the effectiveness of abandoning plowing under the soil and climatic conditions of the region. During the growing season of corn for grain, the physical characteristics of the soil monitored – bulk density, penetration resistance, and moisture content; before sowing the crop, the structural condition was determined. Measurements carried out in three locations – zones of the field, which differ on the intensity of compaction by agricultural machinery. All physical characteristics were investigated in separate layers (0–10, 10–20, and 20–30 cm) within the arable layer; reserves of productive moisture — in the entire soil profile. Meteorological data were obtained by own observations at a weather station in the nearby village of Sukha Balka. According to the results of the correlation and dispersion analysis of ANOVA, the presence and nature of the relationship between stability characteristics, rheological features and the water regime of the soil with its structural composition within the arable layer recorded before sowing revealed. Uneven distribution within the field of intensity of mechanical pressure on the soil forms differences in the structural composition and physical characteristics of the soil. For example, according to the state of moisture in a layer of 0–10 cm, the soil in different parts of the field is in a state of overwetting, overdried or optimal. The bulk density of the upper soil layer is related not only to its own structural characteristics, but also to the composition of aggregates in the layer located below. High penetration resistance, high aggregate content of 5–3 mm and low aggregate content of 2–1 mm in the upper layers can cause deep soil deformation under machine pressure. The dynamicity of the bulk density of the upper soil layer, its low content of aggregates of 5–3 mm and high content of 2–1 mm provides protection against compaction of the soil layers located below.

Keywords: agrophysical heterogeneity; bulk density; penetration resistance; soil moisture; structural composition.

Citing: Pogromska Ya. A. (2023). Dynamics of heterogeneity of the agrophysical quality of ordinary chernozem within the farm field. *Agrochemistry and Soil Science*. 94. 39-53. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss94-05>