

ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ RESTORATION OF SOIL PROPERTIES

УДК 631.4:631.67

Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за багаторічного зрошення й удобрення в овочево-кормовій сівозміні

Л. І. Воротинцева^{*а}, Р. В. Панарін^б

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 26.06.2024 Отримано після доопрацювання 22.07.2024 Затверджено до видання 30.07.2024 Доступно онлайн 31.07.2024	Структурно-агрегатний склад ґрунту є одним із важливих показників, що визначають його якість та впливають на врожайність сільськогосподарських культур. Метою досліджень є визначення впливу на структуру чорнозему типового (Haplic Chernozem) тривалого (з 1967 р.) зрошення придатною водою за використання в овочево-кормовій сівозміні за різних систем удобрення. Дослідження проведено у стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва і баштанництва НААН у Харківській області в межах Лівобережного Лісостепу України. Зрошення останні 20 років ведуть краплинним способом. Зміни параметрів структурно-агрегатного складу ґрунту оцінювали шляхом порівняння сучасного стану зі станом у першу ротацію після реконструкції схеми досліді. Реконструкція включала трансформацію сівозміни з овочевої на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, застосування різних систем удобрення, а також ресурсозберіжувального способу поливу. Встановлено, що за період після реконструкції відбулися позитивні зміни щодо параметрів структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. У ґрунті помітно підвищення вмісту макроагрегатів агрономічно корисного розміру (0,25–10,0 мм) — в орному шарі (0–30 см) контрольного (не удобрюваного) варіанту з 67,5 до 81,2 %, за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції (> 10,0 мм) відповідно з 24,8 до 13,1 %. На варіантах із різними системами удобрення параметри структурно-агрегатного складу позитивно відрізнялися від неудобрюваного варіанту, про що свідчать дані вмісту макроструктурних агрегатів і коефіцієнтів структурності та водостійкості. На час досліджень вміст агрегатів розміром 0,25–10,0 мм у ґрунті на всіх варіантах досліді був у межах оптимуму, і стан структури ґрунту оцінювався як відмінний.
Ключові слова: макроструктура ґрунту; зрошення; система удобрення; польовий дослід	

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ORCID: ^а 0000-0003-0643-8823; ^б 0000-0003-4266-721X

Форма цитування: Воротинцева Л. І., Панарін Р. В. Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за багаторічного зрошення й удобрення в овочево-кормовій сівозміні. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГ" ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 30–40. <https://doi.org/10.31073/acss96-04>

1. Вступ

Важливим агрофізичним показником ґрунту є структурно-агрегатний склад, який визначає його якість та рівень урожайності сільськогосподарських культур. Трансформацію структурного стану орного ґрунту В. В. Медведєв [1] розглядає як перше та явне підтвердження еволюції ґрунтів в умовах сільськогосподарського використання. Структура ґрунту є одним із ключових факторів його родючості та продуктивності аграрного виробництва. Параметри структурного стану зумовлюють особливості руху води та повітря у ґрунті, ефективність використання рослинами вологи та елементів живлення, їх доступність [2], що особливо важливим є на зрошуваних сільськогосподарських полях.

Основні екосистемні функції та послуги ґрунту, такі як зберігання та транспортування води, кругообіг поживних речовин, зберігання вуглецю, зростання рослин та підтримання біорізноманіття, значною мірою визначаються структурою ґрунту [2]. Структура ґрунту опосередковано впливає на кругообіг вуглецю через регуляцію водоутримання та аерації ґрунту, і чинить прямий вплив на стабілізацію вуглецю, коли органічні сполуки розташовуються в порах, недоступних для мікроорганізмів.

Власне, структуру ґрунту можна розглядати як інтегрований індикатор екологічного стану ґрунту, тобто здатність підтримувати виробництво біомаси та відновлюватися після зовнішніх впливів [3]. Багато процесів, які відбуваються у ґрунті, залежать саме від його структури.

Стабільність агрегатів розглядається як здатність ґрунту підтримувати структуру, що базується на її твердих компонентах та поровому просторі, при взаємодії руйнівного

силового поля, що виникає із природних та штучних джерел [4]. Кількістю та розподілом водостійких агрегатів характеризують стабільність структури, водоутримувальну здатність і водопроникність ґрунту та стійкість до ерозії [5]. Стабільність агрегатів значною мірою залежить від вмісту органічної речовини [6].

Розмір агрегату та стабільність є взаємопов'язаними поняттями. За механічного впливу відбувається руйнування ґрунту на окремі часточки. При застосуванні низьких енергетичних навантажень вони за розміром будуть подібні до природних часточок. Зі збільшенням енергії фрагментації швидкість зменшення розміру часточок буде пов'язана із структурною стабільністю (енергією зв'язку) між агрегатами [7]. Утворення та стійкість агрегатів залежать від ґрунтових чинників — вмісту мулу, складу обмінних катіонів, вмісту органічного вуглецю та якості гумусу [8].

В умовах антропогенного навантаження на орні ґрунти за впливу сільськогосподарської техніки відбувається деформація та руйнація мікро- та макроагрегатів, що впливає на агрофізичні показники [9]. Застосування різних агротехнологій та систем удобрення по-різному впливає на структурно-агрегатний склад ґрунту, фрагментацію ґрунту та стійкість агрегатів [10, 11].

Дослідженнями Ćirić V. et al. [12], встановлено, що тип землекористування значно впливає на параметри структури ґрунту. Тривалий обробіток ґрунту призводить до погіршення структури та утворення агрегатів розміром більше 10 мм.

Стійкість агрегатів орних ґрунтів покращується за внесення органічних добрив разом зі збільшенням вмісту агрегатів, корисних в агрономічному розумінні. Внесення гною є одним із основних методів формування водостійких ґрунтових агрегатів та поліпшення структури ґрунту [13]. Переваги органічних добрив полягають також у збільшенні вмісту поживних речовин, органічних речовин у ґрунті та концентрації основних іонів ґрунту, що сприятиме створенню водостійких ґрунтових агрегатів [14, 15]. Іони кальцію і магнію також сприяли утворенню водостійких агрегатів через сольовий місток [16]. Внесення органічних добрив розглядається як спосіб підвищення активності мікробіоти через збільшення вмісту органічної речовини, що сприяє поліпшенню структури ґрунту [17] і здоров'я ґрунту.

В роботі В. В. Медведєва [1] показано, що в чорноземах, які в цілому характеризуються генетично високим вмістом макроструктурних агрегатів, покращення структури ґрунту за внесення органічних добрив відмічається не завжди або кількісно слабо виражено.

Дослідженнями [6] встановлено більш високий ефект щодо утворення агрегованої структури ґрунту за застосування орґано-мінеральних добрив порівняно з внесенням лише органічних добрив.

Дослідженнями Tuo D. et al. [17] визначено позитивний вплив тривалого застосування добрив (впродовж 19 років) на стійкість агрегатів та структуру ґрунту. Вивчали вплив мінеральних (азотних, фосфорних і азотно-фосфорних) та органічних і орґано-мінеральних добрив (гною, гною в комбінації з азотними й азотно-фосфорними добривами). Встановлено, що лише на варіантах із застосуванням органічних добрив відбувалося значне поліпшення структури ґрунту.

Використання функціональних добрив (наприклад, добриво на основі кальцінованого доломіту) сприяє утворенню стабільних агрегатів. При цьому збільшується кількість еластичних і водостійких агрегатів та знижується швидкість їх диспергації [18].

Одним із способів поліпшення структури ґрунту є вирощування рослин з глибокою кореневою системою, наприклад, люцерни. Дослідженнями [19] встановлено позитивний вплив фітомеліорантів на структурний стан чорнозему опідзоленого. Найвищі значення коефіцієнта структурності ґрунту на варіантах з люцерною та еспарцетом.

Зрошення, як потужний антропогенний фактор регулювання водного режиму та підвищення врожайності, впливає на фізичний стан і структуру ґрунту, про що свідчать дослідження як вітчизняних, так і закордонних вчених [7, 12, 20, 21, 22, 23]. Було встановлено, що високоінтенсивне зрошення сприяє руйнуванню ґрунтових агрегатів через дію краплин води [24]. Причинами погіршення структурно-агрегатного складу за зрошення дослідники називають наявність колоїдного кремнезему, карбонатів натрію та магнію, хлористих та сірчано-кислих солей, що викликають диспергацію та осолонцювання ґрунту [1, 20, 21, 25]. Ступінь змін визначається не лише якістю зрошувальної води, але й культурою землеробства, рівнем застосування меліоративних заходів, способом подачі води, механічною деформацією ґрунту, яка в умовах зрошення вище, ніж у незрошуваних умовах [1, 26].

Дослідженнями [27] встановлено, що використання мульчі за краплинного зрошення сприяє підвищенню стабільності ґрунтових агрегатів завдяки підвищенню запасів органічного вуглецю.

Слід зауважити, що наявні в літературі дані стосуються переважно того періоду, коли проводилося інтенсивне зрошення, а сучасний етап іригації є мало вивченим в аспекті впливу ресурсощадних способів поливу на структурно-агрегатний склад ґрунту, особливо чорноземів, за використання води різної якості, в різних сівоzmінах та за різних систем удобрення в сучасних умовах кліматичних змін [28, 29]. Тому актуальність та практична значущість досліджень з оцінювання структурно-агрегатного складу зрошуваних ґрунтів та розроблення заходів з його оптимізації зростає.

Метою написання статті було представлення результатів наукових досліджень з визначення змін у структурно-агрегатному складі чорнозему типового під впливом тривалого зрошення та використання в овочево-кормовій сівоzmіні за різних систем удобрення.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді, закладеному на виробничому полі Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у Харківській області у межах зони Лісостепу. Ґрунт дослідної ділянки представлено чорноземом типовим (Haplic Chernozem). Гранулометричний склад ґрунту, визначений за класифікацією Н. А. Качинського (ДСТУ 4730:2007), є важкосуглинковим з умістом фракції < 0,01 мм (фізичної глини) у шарі 0–30 см від 50 до 57 %.

Дослід закладено у 1967 році з інтенсивною 4-пільною зрошуваною овочевою сівоzmіною. Але після четвертої ротації (у 1984 році) було проведено реконструкцію схеми досліді через погіршення властивостей ґрунту та розвиток деградаційних процесів. До сівоzmіни було додано багаторічні трави, ячмінь і пшеницю. Зараз дослід включає 9 культур овочево-кормової сівоzmіни з таким чергуванням: ячмінь з підсівом люцерни – люцерна першого та другого років використання – огірок – озима пшениця – цибуля ріпчаста – томат – капуста білоголова – буряк столовий. На період відбору проб ґрунту тривалість ведення досліді та зрошення становила 56 років.

Загальна площа дослідної ділянки — 58,3 м² (8,33×7,0 м), облікова — 36,4 м² (5,6×6,5 м); повторність — 4-разова; розміщення ділянок — систематичне у два яруси.

Ґрунт досліді тривалий час зрошується прісною водою із річки Мжа. Спочатку застосовували дощування, а впродовж останніх 20 років для поливу овочевих культур сівоzmіни застосовують краплинний спосіб. Схемою досліді передбачено полив лише овочевих культур.

Дослідження проводили у 2023 році на 8 ключових варіантах (Табл. 1) 9-пільного польового досліді з різними системами удобрення: сидеральною, органо-мінеральною, органічною, мінеральною, інтенсивною та біологічною. Вирощувана культура — ячмінь з підсівом люцерни, тобто, цього року зрошення не проводили. Для порівняння ми включили ще один додатковий варіант «0», за який взято незрошувану ділянку ріллі у безпосередній близькості до дослідного поля.

Таблиця 1

Схема досліді за краплинного зрошення (2023 р., ячмінь з підсівом люцерни)

Варі-ант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній ¹ (післядія)	Біопрепарат, спосіб і доза внесення
0	Без добрив, без зрошення			
1	Без добрив	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Органік-баланс, обробка насіння, 1 л/т
3	Органо-мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14 т/га	—
4	Органічна	—	21 т/га	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—
9	Інтенсивна	N ₁₁₀ P ₁₃₀ K ₆₀	—	—
12	Біологічна	—	9 т/га	Органік-баланс, обробка насіння, 1 л/т

¹ На 1 га сівоzmінної площі

Проби ґрунту на визначення структурно-агрегатного складу відбирали у вересні 2023 року з шарів 0–15, 15–25, 30–40 см у міжряддях культури.

Розподіл агрегатів за розміром визначали в лабораторних умовах методом сухого просіювання (на колонці сит з чарунками 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0 мм) у модифікації Н. І. Саввінова згідно з ДСТУ 4744:2007^а. Водостійкість агрегатів — методом просіювання у воді після попереднього замочування (за цією ж методикою на колонці сит з чарунками 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 мм).

На підставі результатів просіювання розраховували, згідно з ДСТУ 4744:2007, значення коефіцієнтів структурності ($K_{\text{стр}}$) та водостійкості ($K_{\text{вод}}$). Коефіцієнт структурності обчислювали як відношення суми фракцій 0,25–10 мм до суми фракцій розміром менше 0,25 мм та більше 10 мм за сухого просіювання, а коефіцієнт водостійкості — як відношення суми агрегатів розміром більше 0,25 мм за просіювання у воді до суми агрегатів розміром більше 0,25 мм за сухого просіювання.

Для аналізу змін, які відбулися в структурному стані ґрунту під впливом багаторічного зрошення й удобрення, скористалися деякими даними досліджень, виконаних лабораторією родючості зрошуваних ґрунтів ІГА ім. О. Н. Соколовського у 1994 р. (С. А. Балюк [20]).

Обробку результатів аналізування проводили з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Результати досліджень

Зрошення ґрунту дослідної ділянки проводиться 56 років, з моменту закладки досліді. Внаслідок тривалого використання чорнозему типового в інтенсивній овочевій сівозміні, обробітку ґрунту, механічного навантаження та зрошення (дощуванням) відбулися зміни структурно-агрегатного складу. Дослідженнями С. А. Балюка [20] на цьому стаціонарі (до реконструкції досліді) в період інтенсивного зрошення та вирощування овочевих культур у сівозміні встановлено підвищення вмісту брилистої фракції (> 10 мм) з 19–20 до 20–44 % та зниження вмісту суми агрономічно корисних (за розміром) фракцій (0,25–10,0 мм) з 76–77 до 75–42 % порівняно з незрошуваним ґрунтом. Коефіцієнт структурності при цьому знизився з 3,0–3,3 до 1,0–3,0. За збільшення терміну зрошення зберігалися відмічені зміни у структурно-агрегатному складі ґрунту. Зменшення вмісту структурних фракцій агрономічно корисного розміру пов'язано з підвищенням концентрації та активності іонів натрію та зниженням концентрації та активності іонів кальцію за зрошення прісною водою, механічним впливом зрошувальної води та сільськогосподарської техніки.

Після реконструкції досліді та включення до сівозміни багаторічних трав (два поля) подальшими дослідженнями [20], по закінченню п'ятої ротації, відмічено позитивну тенденцію до поліпшення структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Це свідчить про потенціал ролі культур-фітомеліорантів у регенерації структури ґрунту, що пов'язано з їх розвинутою кореневою системою, надходженням рослинних решток, підвищенням вмісту гумусу, здатністю підтягувати кальцій із нижніх горизонтів ґрунту та поліпшувати властивості ґрунту. Так, відмічалось поступове відтворення родючості ґрунту — зменшення вмісту брилистої фракції та збільшення вмісту агрономічно корисних агрегатів. Особливо помітним було поліпшення структурно-агрегатного складу у ґрунті варіанта з внесенням гною у дозі 32 т/га сівозмінної площі. Згідно з класичним ствердженням [30], включення до сівозміни багаторічних трав на 2–3 роки є «експрес» методом поліпшення фізичного стану ґрунту.

Нашими сучасними дослідженнями (по закінченню восьмої ротації) було визначено структурно-агрегатний склад чорнозему типового під реконструйованою сівозміною. Термін використання ґрунту після реконструкції та включення до сівозміни багаторічних трав становив 39 років (чотири ротації). Проведено порівняння даних, отриманих нами по закінченню восьмої ротації досліді, з даними, отриманими С. А. Балюком по закінченню п'ятої ротації (1994 р.), тобто, визначено зміни за період 29 років.

Результати щодо структурно-агрегатного складу ґрунту, а саме, вмісту макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм, є інформативним показником рівня сільськогосподарського навантаження на ґрунт, інтенсивності його використання та застосування заходів з підвищення родючості й посилення здатності ґрунту до структуроутворення. Дані, отримані за сухого просіювання зразка ґрунту, свідчать, що,

^а ДСТУ 4744:2007. Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова. [Чинний від 2008–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 12 с.

порівняно з незрошуваним ґрунтом, за тривалого зрошення прісною водою у контрольному варіанті досліді (без удобрення) в чорноземі типовому існує тенденція до зменшення вмісту макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм (Рис. 1) та збільшення вмісту фракції > 10,0 мм (Рис. 2).

Так, у незрошуваному ґрунті вміст брилистої фракції (> 10,0 мм) у шарі 0–15 та 15–25 см становив 10,4–10,5 %, а у шарі 30–40 см — 10,2 %. У ґрунті контрольного варіанта (за зрошення, без добрив) цей показник становив відповідно 13,6; 12,4 та 15,4 %. Вміст макроагрегатів (0,25–10,0 мм) у незрошуваному ґрунті був вищим, ніж у ґрунті контрольного варіанта досліді і становив за досліджуваними глибинами 12,4–15,3 %. Значення коефіцієнта структурності у ґрунті тривало зрошуваної контрольної ділянки, порівняно з незрошуваним аналогом, були нижчими і становили відповідно 4,1–4,7 та 5,1–5,4 (Рис. 3). Тобто, зрошення без удобрення викликало негативні зміни структурності ґрунту.

З аналізу результатів досліджень сучасного етапу ведення досліді, порівняно з даними, отриманими до реконструкції схеми (в інтенсивній овочевій сівоzmіні) [20], встановлено підвищення вмісту агрегатів агрономічно корисних розмірів (0,25–10,0 мм) та, відповідно, підвищення значень коефіцієнта структурності. Це свідчить про позитивний вплив трансформації сівоzmіни з овочевої на овочево–кормову завдяки насиченню її ячменем з підсівом люцерни та двома полями люцерни — 1 та 2 року використання. Виявлено, що в результаті цього відбулося поступове підвищення вмісту органічної речовини, покращилися показники поживного режиму, фізичні властивості, тобто відбулося відновлення родючості ґрунту, яка погіршилася через інтенсивне використання ґрунту у зрошуваній овочевій сівоzmіні. Відомо, що люцерна, завдяки своїй фітомеліоративній дії, здатна поліпшувати фізичні, хімічні і біологічні властивості ґрунтів. Ця бобова культура є гарним попередником для культур сівоzmіни. Висвітлення всіх позитивних змін у стані ґрунту не є предметом цієї статті, але результати опубліковано в інших наших роботах [31].

До того ж слід відмітити, що впродовж останніх 20 років в досліді застосовується ресурсозбережувальний тип поливу — краплинне зрошення, тому, відповідно, зменшилося антропогенне навантаження та дія води на ґрунт порівняно з періодом суцільного інтенсивного зрошення дощуванням овочевих культур сівоzmіни. Адже, як свідчать висловлювання В. В. Медведєва стосовно впливу гідромеліорацій на стан структури ґрунту [1], найбільшої шкоди їй завдають будь-які механічні навантаження і тиск техніки на ґрунт, що викликають деградацію агрегатів.

Порівняння даних сучасного структурно-агрегатного складу ґрунту контрольного варіанта досліді, отриманих у 2023 році, з результатами роботи вчених, які проводили дослідження в цьому досліді у перші роки після реконструкції досліді (дані С. А. Балюка, 1994 [20]) свідчить, що за період після реконструкції, внаслідок насичення сівоzmіни багаторічними травами відмічається позитивний ефект — поліпшення структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Так, було констатовано підвищення вмісту макроагрегатів (розміром 0,25–10,0 мм) в орному шарі (0–30 см) з 67,5 до 81,2 % за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції відповідно з 24,8 до 13,1 %.

Аналіз результатів визначення сучасного вмісту суми фракцій макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм (Рис. 1) свідчить, що на варіантах із застосуванням сидеральної, органо-мінеральної, органічної, біологічної та інтенсивної (NPK+мікродобрива) систем удобрення параметри структурно-агрегатного складу є більш позитивними порівняно з неудобрюваним зрошуваним контролем. Між варіантами досліді існує достовірна різниця за вмістом макроагрегатів. На варіантах із системами удобрення вміст їх у верхньому шарі ґрунту (0–15 см), який зазнає найбільшого антропогенного впливу, коливався від 81,6 до 85,7 %. Глибше, у ґрунті шару 15–25 см, на удобрених варіантах досліді відмічали більший вміст агрегатів розміром 0,25–10 мм порівняно з верхнім шаром 0–15 см. У підорному шарі (30–40 см) вміст цих агрегатів був помітно вищим порівняно з верхнім шаром, що пов'язано зі зменшенням з глибиною механічного тиску сільськогосподарської техніки та руйнівної дії поливної води.

Найбільш високий вміст агрегатів агрономічно цінного розміру зафіксовано на варіанті 4 з органічною ситемою удобрення (внесення гною 21 т/га сівоzmінної площі), варіанті 3 з органо-мінеральною ситемою (внесення гною 14 т/га сівоzmінної площі та N₆₀P₆₀K₆₀), а також на варіанті 12 з біологічною ситемою. Це, на наш погляд, пов'язано зі збільшенням накопичення зеленої маси, що зумовило поліпшення гумусового стану, а отже, мікробіологічної активності ґрунту та поживного режиму. В результаті цього підвищилася здатність ґрунту до утворення структури.

Уведення до сівоzmіни багаторічних трав та застосування різних систем удобрення з внесенням органічних речовин, сидератів та мікробних препаратів, безумовно забезпечувало підтримання рівня вмісту органічної речовини та його підвищення порівняно з контрольним варіантом, особливо на варіантах з органічною та біологічною системами удобрення.

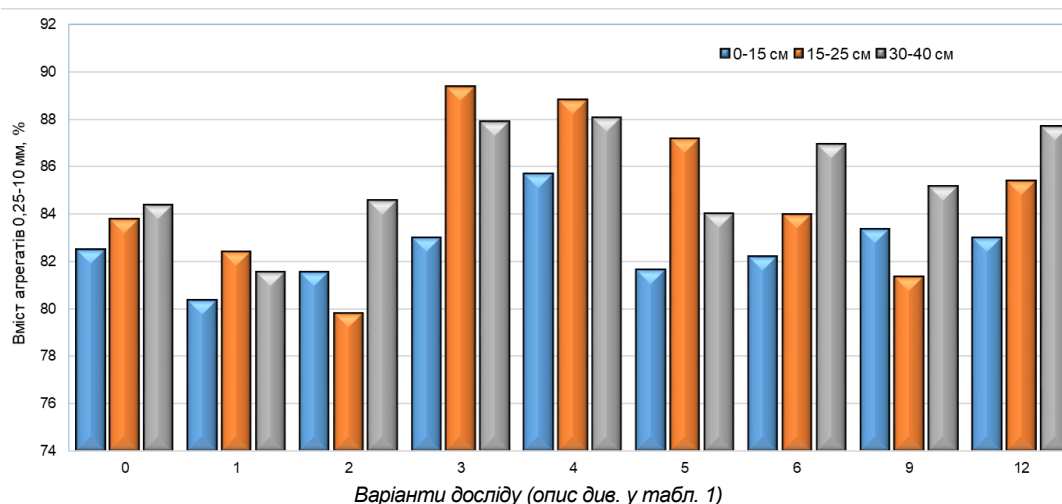


Рис. 1. Вміст структурних агрегатів 0,25–10,0 мм у різних шарах ґрунту на варіантах дослідження (вересень 2023 р.)

Як показали наші дослідження [31], вміст органічного вуглецю у шарі 0–30 см на вказаних варіантах становив 2,35–2,42 %, а на контролі — 2,14 %. Для встановлення кореляційного зв'язку між вмістом агрегатів агрономічно корисного розміру та вмістом органічного вуглецю у ґрунті на варіантах дослідження розраховано коефіцієнт Пірсона, який свідчить про лінійну залежність між цими двома величинами. Коефіцієнт кореляції становить 0,84, а коефіцієнт детермінації — 0,71, що свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними величинами [31].

Вміст брилистих структурних окремоностей (> 10,0 мм) при цьому мав, відповідно, протилежну тенденцію (Рис. 2). На варіанті 4, з внесенням гною 21 т/га сівозмінної площі, вміст брил був мінімальним у шарах ґрунту 0–15, 15–25 см і становив відповідно 6,99 та 7,85 %. Також на варіанті 6 з органічною системою удобрення (14 т/га гною) кількість брил у верхньому шарі ґрунту була нижче порівняно з іншими варіантами дослідження. Отже, органічна система удобрення забезпечувала підвищення вмісту у ґрунті макроагрегатів агрономічно цінного розміру та зменшення вмісту брилистих фракцій.

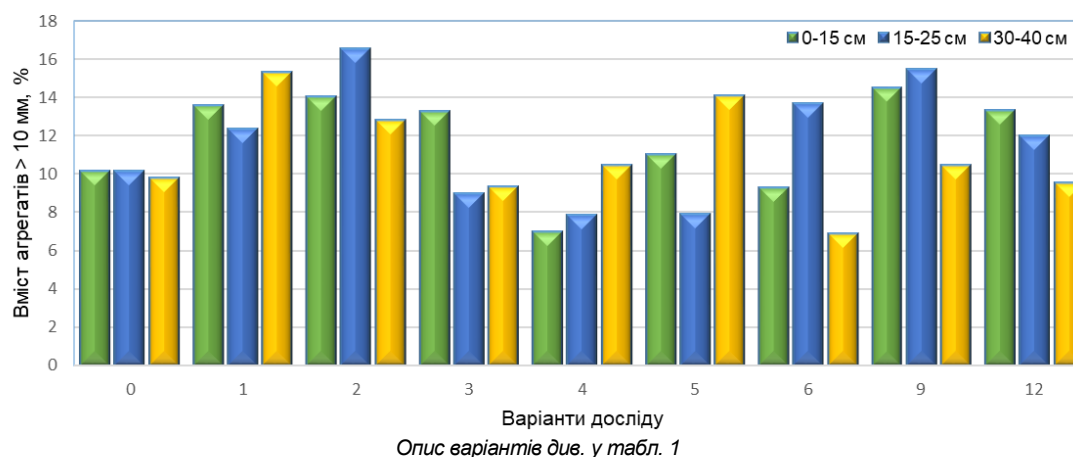


Рис. 2. Вміст агрегатів брилистої фракції (> 10,0 мм) у різних шарах ґрунту (вересень 2023 р.)

Розраховані значення коефіцієнта структурності (Рис. 3) найвищими є на варіантах з органічною системою удобрення (4 та 6), де ґрунт, відповідно, краще оструктурений.

Оцінювання структурного стану ґрунту за вмістом повітряно-сухих агрегатів розміром 0,25–10,0 мм виконано за шкалою С. І. Долгова та П. У. Бахтіна (1966) (наведено в монографії В. В. Медведєва [1]), де найвища оцінка дається вмісту більше 80 %. Результати аналізу свідчать, що їх вміст у ґрунті всіх варіантів дослідження знаходився в межах оптимуму, а стан ґрунту, згідно з обраною шкалою, оцінювався як відмінний.

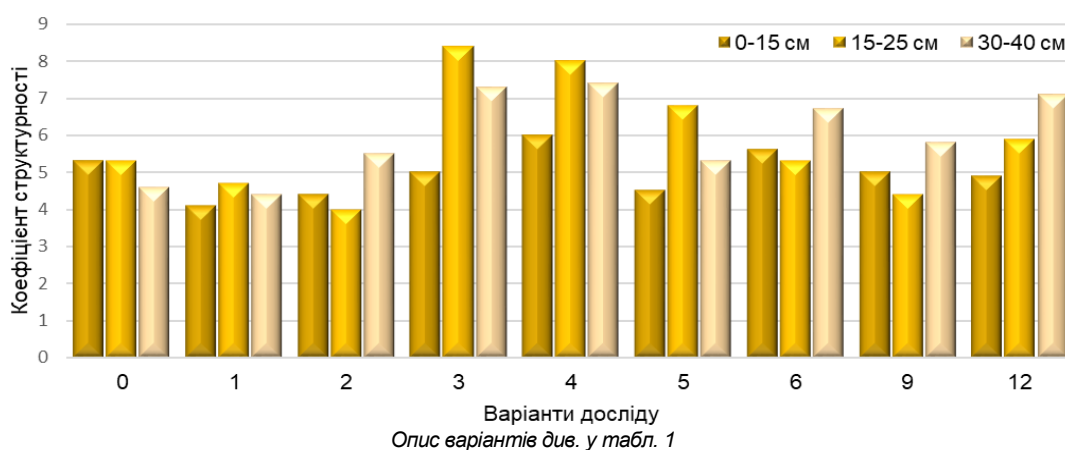


Рис. 3. Значення коефіцієнта структурності ґрунту в різних шарах

Важливою властивістю ґрунту є водостійкість структурних агрегатів — здатність зберігати форму, розміри й тривалий час не розмиватися водою, що відбивається на здатності ґрунту не утворювати на поверхні кірку після дощу або поливу (Табл. 2).

Таблиця 2

Вміст водостійких агрегатів за результатами просіювання у воді

Варіант дослідів — система удобрення*	Шар ґрунту, см	Вміст структурних агрегатів (%) за розміром (мм)		
		> 3	3–0,25	> 0,25
0 Без добрив і без зрошення	0-15	0,7	67,5	68,2
	15-25	0,6	65,7	66,3
	30-40	0,8	60,2	61,0
1 Без добрив	0-15	1,2	59,1	60,3
	15-25	1,6	60,3	61,9
	30-40	0,2	57,7	57,9
2 Сидеральна	0-15	1,8	64,3	66,1
	15-25	0,9	69,8	70,7
	30-40	0,9	52,6	53,5
3 Органо-мінеральна	0-15	2,2	67,3	69,5
	15-25	2,1	72,6	74,7
	30-40	0,4	55,1	55,5
4 Органічна	0-15	1,3	71,9	73,2
	15-25	2,2	63,7	65,9
	30-40	3,0	58,6	61,6
5 Мінеральна	0-15	1,2	65,8	67,0
	15-25	1,5	53,2	54,7
	30-40	0,4	60,6	61,0
6 Органічна	0-15	0,9	67,0	67,9
	15-25	0,7	64,1	64,8
	30-40	0	55,8	55,8
9 Інтенсивна	0-15	1,2	66,7	67,9
	15-25	1,6	67,7	69,3
	30-40	0,2	68,6	68,8
12 Біологічна	0-15	2,1	62,0	64,1
	15-25	3,6	68,1	71,7
	30-40	0,2	65,0	65,2

* Примітка: Детальний опис варіантів див. у табл. 1

Водостійкість агрегатів визначає якість структури ґрунту та її агрономічну цінність, здатність протистояти зовнішнім впливам, зокрема впливу зрошувальної води.

Проведеними дослідженнями встановлено, що сумарний вміст водостійких макроагрегатів (> 0,25 мм) в ґрунті на всіх варіантах дослідів знаходиться в межах оптимуму (згідно з ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів), або нижче за нього на окремих глибинах (Табл. 2). Згідно з оцінкою [1], структурний стан досліджуваного чорнозему типового за показником водостійкості можна оцінити переважно як відмінний (сумарний вміст водостійких агрегатів відповідає градації 60–75 %) та добрий (відповідно

40–60 %). Незрошуваний ґрунт характеризувався більшим умістом водостійких агрегатів розміром більше 0,25 мм, що пов'язано з меншим антропогенним навантаженням та мінералізаційними процесами. На варіантах із застосуванням різних систем удобрення вміст водостійких агрегатів був вище порівняно з контролем, що пов'язано з покращенням умов формування структури ґрунту. Найвищою сумарна кількість водостійких агрегатів (> 0,25 мм) була на варіантах 3 і 4 із застосуванням органічних добрив — пріоритетного засобу посилення структуроутворювальної функції ґрунту. У ґрунті більшості варіантів дослід у шарі 15–25 см вміст водостійких агрегатів був вищим ніж у верхньому шарі, що пов'язано зі зменшенням меліоративного та механічного впливу.

На удобрюваних ділянках відмічали більш високі значення коефіцієнта водостійкості, так само як і на незрошуваному ґрунті, порівняно із контрольним варіантом без застосування добрив (Рис. 4).

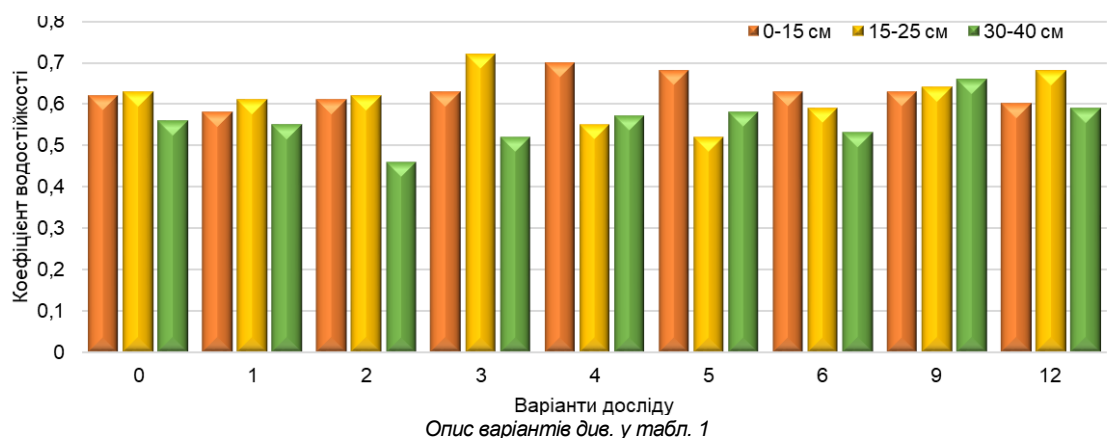


Рис. 4. Значення коефіцієнта водостійкості макроагрегатів у різних шарах ґрунту

Найвище значення коефіцієнта водостійкості макроагрегатів у верхньому (0–15 см) шарі зафіксовано у варіанті 4 з внесенням гною 21 т/га сівозмінної площі. К_{вод} по профілю ґрунту розподілявся таким чином, що з глибиною значення його незначно знижувалися. Ймовірно, це пов'язано з максимальним ефектом дії систем удобрення та більш розгалуженою кореневою системою у верхньому шарі. Дослідження проводилися нами в рік, коли культурою сівозміни був ячмінь з підсівом багаторічних трав. Коренева система люцерни ще тільки формувалася і не проникла ще значно вглиб. На наступний рік ефект меліоративної дії люцерни, на наш погляд, має бути вищим, оскільки коренева система вирощуваної культури (люцерни) буде більш потужною та розгалуженою, а вона є одним із чинників утворення водостійких агрегатів.

4. Висновки

Проведеними сучасними дослідженнями встановлено, що за період після реконструкції дослід (29 років) внаслідок трансформації сівозміни на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, а також за застосування різних систем удобрення відмічається позитивний ефект, пов'язаний з покращенням структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Так, порівняно з попереднім періодом досліджень відбулося підвищення вмісту агрегатів агрономічно корисного розміру (0,25–10,0 мм) в орному шарі (0–30 см) контрольного (неудобрюваного) варіанту з 67,5 % до 81,2 % за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції (> 10,0 мм) відповідно з 24,8 до 13,1 %. Це свідчить про підвищення стійкості структури ґрунту до дії антропогенних чинників та оптимізацію властивостей зрошуваного ґрунту. Застосування ресурсозберезувального способу поливу також позитивно вплинуло на структурно-агрегатний склад ґрунту. На варіантах із різними системами удобрення параметри структурно-агрегатного складу позитивно відрізнялися від неудобреного, про що свідчать дані щодо вмісту макроструктурних агрегатів і коефіцієнтів структурності та водостійкості.

Результати оцінювання стану ґрунтів за агрофізичними показниками є дієвим практичним інструментом для вибору й обґрунтування управлінських та технологічних рішень щодо удосконалення режиму функціонування зрошуваних ґрунтів, оптимального їх використання, підвищення їх родючості, застосування сучасних систем зрошення, удобрення та обробітку ґрунту.

Підтвердження. Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках ПНД НААН 1 Рациональне використання і сталі управління ґрунтовими ресурсами, збереження родючості та здоров'я ґрунтів, захист їх від деградації (Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології) за завданням 01.01.03.02.Ф. Розробити наукові основи управління родючістю гідродефіцитних ґрунтів в умовах змін клімату та земельних відносин.

Список використаних джерел

1. Медведев В. В. *Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана)*. Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. 406 с.
2. Schlueter S., Sammartino S., Koestel J. Exploring the relationship between soil structure and soil functions via pore-scale imaging. *Geoderma*. 2020. Vol. 370. 114370. <https://doi.org/10.1016/j.Geoderma.2020.114370>
3. Rabot E., Wiesmeier M., Schlüter S., Vogel H. J. Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma*. 2018. Vol. 314. P. 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
4. Handbook of Soil Sciences Properties and Processes. Ed. by Huang P.M., Li Y., Sumner M.E. 2nd ed. Boca Raton (FL). CRC Press, 2012. 1442 p. <https://doi.org/10.1201/b11267>
5. Šimansky V., Balashov E., Horak J. Water stability of soil aggregates and their ability to sequester carbon in soils of vineyards in Slovakia. *Archives Agronomy and Soil Science*. 2015. Vol. 62. P. 177–197. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1048683>
6. Naveed M., Moldrup P., Vogel H.-J., Lamande M., Wildenschild D., Tuller M., Jonge L.W. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*. 2014. Vol. 217. P. 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.001>
7. Diaz-Zorita J.H., Grove E. Aggregation, fragmentation, and structural stability measurement. *Encyclopedia of Soil Science*. 2002. P. 37–40. URL: <http://surl.li/rqjgne>
8. Santander-Mendoza S. D., Falcon-Acosta M. C., Suarez-Santana M., Duran-Alvarez J. L. Structure Degradation in an Agrogeogenic Soil. Analysis of Incident Factors and Associated Conservation Measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2021. Vol. 30, No. 4. e03. URL: <https://www.redalyc.org/journal/932/93269383003/html/>
9. Шевченко М. В. *Наукові основи систем обробітку ґрунту в умовах нестійкого та недостатнього зволоження : монографія*. Харків: Майдан, 2019. 209 с.
10. Сиромятников Ю. М. Вплив технологічних заходів на структурно-агрегатний склад ґрунту при вирощуванні буряку цукрового. *Вісник аграрної науки*. 2023. 101(11). С. 60–66. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08>
11. Tagar A. A., Adamowski J., Memon M. S., Cuong D. M., Mashori A. S., Soomro A. S., Bhayo W. A. Soil fragmentation and aggregate stability as affected by conventional tillage implements and relations with fractal dimensions. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 197. 104494. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104494>
12. Ciric V., Manojlovic M., Nesic Lj., Belic M. Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(4). P. 689–703. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025>
13. Zhang J., Wei Y., Liu J., Yuan J., Liang Y., Ren J., Cai H. Effects of maize straw and its biochar application on organic and humic carbon in water-stable aggregates of a Mollisol in Northeast China: A five-year field experiment. *Soil Tillage Research*. 2019, Vol. 190. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2019.02.014>
14. Abiven S., Menasseri S., Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015>
15. Соколовский А. Н. Структура почв и ее сельскохозяйственная ценность. *Избранные труды*. Киев: Урожай, 1971. С. 166–178.
16. Ren J., Zou Y., Liu B., Zhang C. Study on aggregate formation mechanism of soil in limestone. *Carsologica Sinica*. 2019. Vol. 38(5). P. 722–728.
17. Tuo D., Xu M., Li O., Sihan L. Soil Aggregate Stability and Associated Structure Affected by Long-Term Fertilization for a Loessial Soil on the Loess Plateau of China. *Pol. J. Environ. Stud*. 2017. 26(2). P. 827–835. <https://doi.org/10.15244/pjoes/66716>
18. Zhan Y., Jiang K., Jiang J., Zhang L., Gao C., Qi X., Fan J., Li Y., Sun S., Fan X. Soil Aggregate Construction: Contribution from Functional Soil Amendment Fertilizer Derived from Dolomite. *Sustainability*. 2022. Vol. 14(19). 12287. <https://doi.org/10.3390/su141912287>
19. Цапко Ю. Л., Огородня А. І. Вплив культур-фітомеліорантів на структурний склад чорнозему опідзоленого Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва*. 2014. №2. С. 20–25.
20. Балюк С. А. Орошаемые черноземы Лесостепи и Северной Степи Украины: оценка состояния, охрана и повышение плодородия: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03. Харьков, 1996. 39 с.
21. Ковда В. А. Опыт оросительных мелиораций. *Мелиорация почв в СССР*. М., 1971. С. 94–114.
22. Drewry J. J., Carrick S., Penny V., Houlbrooke D., Laurenson S., Mesmane N. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2021. 64(4). P. 483–507. <https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745>
23. Воронинцева Л. І. *Наукові підходи до сталого управління родючістю гідродефіцитних ґрунтів в умовах змін клімату*: монографія. Київ: Аграрна наука, 2023. 352 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-591-7>
24. Amézqueta E. Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*. 1999. 14(2-3). P. 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
25. Антипов-Каратаев И. П., Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на почвы. М., 1955. 208 с.
26. Ромашенко М. І., Балюк С. А. *Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення*. Київ, 2000. 114 с.
27. Tan M., Li W., Zong R., Li X., Yue H., Luo P., Dhital Y., Lin H., Li H., Wang Z. Long-term mulched drip irrigation enhances the stability of soil aggregates by increasing organic carbon stock and reducing salinity. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 240. 106069. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106069>

28. Рябков С. В., Павелківська О. Є., Усата Л. Г., Павелківський О. В. Зміни фізичних показників під впливом краплинного зрошення виноградників. *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 82. С. 191-196. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/82_2012/82_2012.pdf
29. Рябков С. В., Усата Л. Г., Новачок О. М., Новачок І. О. Вплив краплинного зрошення, якості поливної води та удобрення на структурно-агрегатний склад ґрунтів. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки»*. 2016. Вип. 4 (76). С. 67–78. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/9139/1/Vt767.pdf.zax.pdf>
30. Вершинин П. В. Почвенная структура и условия ее формирования. М.-Л., 1958. 186 с.
31. Воротинцева Л.І., Панарін Р.В. Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Мінківд. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГІА ім. О. Н. Соколовського». С. 24-35. <https://doi.org/10.31073/acss95-03>

UDC 631.4

Structural and aggregate composition of typical chernozem under long-term irrigation and fertilization in vegetable and fodder rotation

L. I. Vorotyntseva, R. V. Panarin

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",

Kharkiv, Ukraine

*E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

The structural and aggregate composition of the soil is one of the important indicators that determine the soil quality and affect the yield of agricultural crops. The purpose of the research is to determine the impact on the structure of typical chernozem (Haplic Chernozem) of long-term (since 1965) irrigation with suitable water for the use of soil in vegetable and fodder crop rotation. The research carried out in the stationary field experiment of the Institute of vegetable growing and melon growing of the National Academy of Agricultural Sciences in the Kharkiv region within the Left Bank Forest Steppe of Ukraine. Drip irrigation has been used for the last 20 years. Changes in the parameters of the structural and aggregate composition of the soil were evaluated by comparing the current state with the state in the first rotation after the reconstruction of the experimental scheme. The reconstruction included the transformation of the crop rotation from vegetable to vegetable-forage and its saturation with perennial grasses, the use of various fertilization systems, as well as a resource-saving method of watering. It was established that in the period after the reconstruction, there were positive changes in the parameters of the structural and aggregate composition of the typical irrigated chernozem. The content of macroaggregates with an agronomically useful size (0.25–10.0 mm) in the soil increased significantly — in the arable layer (0–30 cm) of the control (non-fertilized) variant from 67.5 to 81.2 %, due to a decrease in the content of the clod fraction (> 10.0 mm), respectively, from 24.8 to 13.1 %. In the variants with different fertilization systems, the parameters of the structural-aggregate composition of the soil were better compared to the control, as evidenced by the data on the content of agronomically useful aggregates and the clod fraction, the coefficients of structure and water resistance. At the time of the study, the content of aggregates of 10-0.25 mm in size in the soil in all experimental variants was within the optimum, and the state of the soil structure assessed as excellent.

Citing: Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. (2024). Structural and aggregate composition of typical chernozem under long-term irrigation and fertilization in vegetable and fodder crop rotation. *AgroChemistry and Soil Science*, 96, 30–40. <https://doi.org/10.31073/acss96-04> [in Ukrainian]

References

1. Medvedev, V. V. (2008). *Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)*. Kharkiv: Publishing House "13 Press" [in Russian].
2. Schlueter, S., Sammartino, S., & Koestel, J. (2020). Exploring the relationship between soil structure and soil functions via pore-scale imaging. *Geoderma*, 370, 114370. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114370>
3. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma*, 314, 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.011>
4. Huang, P. M., Li, Y. & Sumner, M. E. (Eds.) (2012). *Handbook of Soil Sciences Properties and Processes*. 2nd ed. Boca Raton (FL). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11267>
5. Šimansky, V., Balashov, E., & Horak, J. (2015). Water stability of soil aggregates and their ability to sequester carbon in soils of vineyards in Slovakia. *Archives Agronomy and Soil Science*, 62, 177-197.
6. Naveed, M., Moldrup, P., Vogel, H. J., Lamande, M., Wildenschild, D., Tuller, M., & Jonge, L. W. (2014). Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*, 217, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.001>
7. Diaz-Zorita, J. H., & Grove E. (2002). Perfect aggregation, fragmentation, and structural stability measurement. *Encyclopedia of Soil Science* (pp. 37–40).
8. Santander-Mendoza, S. D., Falcon-Acosta, M. C., Suarez-Santana, M., & Duran-Alvarez, J. L. (2021). Structure degradation in an agrogenic soil. Analysis of incident factors and associated conservation measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), e03. URL: <https://www.redalyc.org/journal/932/93269383003/html/>
9. Shevchenko, M. V. (2019). *The science of soil processing systems in the storage of unstable and insufficient digestion: monograph*. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian].
10. Syromyatnikov, Yu. M. (2023). The influence of technological measures on the structural and aggregate composition of the soil during the cultivation of sugar beet. *Bulletin of Agricultural Science*, 101(11), 60-66. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08> [in Ukrainian].
11. Tagar, A. A., Adamowski, J., Memon, M. S., Cuong, D. M., Mashori, A. S., Soomro, A. S., & Bhayo, W. A. (2020). Soil fragmentation and aggregate stability as affected by conventional tillage implements and relations with fractal dimensions. *Soil and Tillage Research*, 197, 104494. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104494>

12. Ciric, V., Manojlovic, M., Nesic, Lj., & Belic, M. (2012). Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4), 689-703. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025>
13. Zhang, J., Wei, Y., Liu, J., Yuan, J., Liang, Y., Ren, J., & Cai, H. (2019). Effects of maize straw and its biochar application on organic and humic carbon in water-stable aggregates of a Mollisol in Northeast China: A five-year field experiment. *Soil and Tillage Research*, 190, 1–9.
14. Abiven, S., Menasseri, S., & Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015>
15. Sokolovsky, A. N. (1971). Soil structure and its agricultural value. Selected works (pp. 166-178). Kyiv [in Russian].
16. Ren, J., Zou, Y., Liu, B., & Zhang, C. (2019). Study on aggregate formation mechanism of soil in limestone. *Carsologica Sinica*, 38(5), 722-728.
17. Tuo, D., Xu, M., Li, O., & Sihan, L. (2017). Soil Aggregate Stability and Associated Structure Affected by Long-Term Fertilization for a Loessial Soil on the Loess Plateau of China. *Pol. J. Environ. Stud*, 26(2), 827-835. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/66716>
18. Zhan, Y., Jiang, K., Jiang, J., Zhang, L., Gao, C., Qi, X., ... Fan, X. (2022). Soil Aggregate Construction: Contribution from Functional Soil Amendment Fertilizer Derived from Dolomite. *Sustainability*, 14(19), 12287. <https://doi.org/10.3390/su141912287>
19. Tsapko, Y. L., Ogorodnya, A. I. (2014). The influence of phytomeliorant crops on the structural composition of chernozem of podzolized Left Bank Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev*. 2, 20-25 [in Ukrainian].
20. Baliuk, S. A. (1996). Irrigated chernozems of the Forest-Steppe and Northern Steppe of Ukraine: assessment of condition, protection and increase of fertility: abstract. diss. ... Dr. Agricultural Sciences : 06.01.03. Kharkiv, 39 [in Russian].
21. Kovda, V. A. (1971). Experience of land reclamation. In: *Soil reclamation in the USSR*. M., 94-114 [in Russian].
22. Drewry, J. J., Carrick, S., Penny, V., Houlbrooke, D., Laurensod, S., & Mesmane, N. (2021). Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(4), 483-507. <https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745>
23. Vorotyntseva, L. I. (2023). *Scientific approaches of the sustainable management of hydro-deficient soils fertility in climate changes*. Scientific monograph. Kyiv: Agrarna nauka, 352. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-591-7> [in Ukrainian].
24. Amézketa, E. (1999). Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2-3), 83-151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
25. Antipov-Karataev, I. P., & Filippova, V. N. (1955). *The influence of long-term irrigation on soils*. M. [in Russian].
26. Romaschenko, M. I., & Baliuk, S. A. (2000). Land irrigation in Ukraine. Condition and ways of improvement. Kyiv, 114. [in Ukrainian].
27. Tan, M., Li, W., Zong, R., Li, X., Yue, H., Luo, P. ... Wang, Z. (2024). Long-term mulched drip irrigation enhances the stability of soil aggregates by increasing organic carbon stock and reducing salinity. *Soil and Tillage Research*, 240, 106069. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106069>
28. Ryabkov, S. V., Pavelkivska, O. E., Usata, L. G., & Pavelkivskyi, A. V. (2012). Changes in physical characteristics of soil under the influence of drip irrigation of vineyards in the Southern Steppe of Ukraine. *Taurida Scientific Herald*, 82, 191-196. Retrieved from https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/82_2012/82_2012.pdf [in Ukrainian].
29. Riabkov, S. V., Usata, L. H., Novachok, O. M., & Novachok, I. O. (2016). Influence of drip irrigation, irrigation water quality and fertilizing on structural-aggregate composition of soil. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. Series "Technical Sciences", 4(76), 67-78. Retrieved from <https://ep3.nuwm.edu.ua/9139/1/Vt767.pdf.zax.pdf> [in Ukrainian].
30. Vershinin, P. V. (1958). *Soil structure and conditions of its formation*. M.-L. [in Russian].
31. Vorotyntseva, L. I., & Panarin, R. V. (2023). Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil under different fertilization systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 24-35. <https://doi.org/10.31073/acss95-03> [in Ukrainian].