

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-289>

Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/289>

УДК 631.421.2;631.43

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОФІЛЬНОЇ МІНЛИВОСТІ ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧОРНОЗЕМУ ПРИ ДОВГОТРИВАЛОМУ ЗАСТОСУВАННІ ОРАНКИ ТА NO-TILL ТЕХНОЛОГІЙ (НА ПРИКЛАДІ ПАНФІЛЬСЬКОЇ ДОСЛІДНОЇ СТАНЦІЇ)

С.С. Коломієць ¹, канд. с.-г. наук, А.С. Білоброва ², аспірант, В.М. Віршовка ³, канд. с.-г. наук, Т.В.Тарасенко ⁴

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4329-4382>; e-mail: kss2006@ukr.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0540-9492>; e-mail: anastasiabilobrova1993@gmail.com;

³ Панфільська дослідна станція ННЦ «Інститут землеробства НААН», Київська обл., Яготинський р-н., с. Панфили вул. Центральна, 2, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-8828-8309>; e-mail: volodimiv@ukr.net;

⁴ Панфільська дослідна станція ННЦ «Інститут землеробства НААН», Київська обл., Яготинський р-н., с. Панфили вул. Центральна, 2, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-6463-7014>; e-mail: sanenia@ukr.net.

Анотація. Наведено результати актуальних досліджень профільної мінливості водно-фізичних властивостей ґрунтів непорушеної структури на ділянках 11-річного застосування традиційної оранки та no-till технології. Порівняльні дослідження проведені на базі стаціонарного польового досліді на Панфільській дослідній станції ННЦ «ІЗ НААН» із використанням новоствореної в ІВПіМ НААН системи лабораторного діагностування водно-фізичних властивостей на основі гідрофізичних методів. Одержані для трьох інтервалів глибини основні гідрофізичні функції – вологopровідності та водоутримувальної здатності, а також гідрологічні константи – максимальна гігроскопічність, вологість в'янення, найменша вологомiсткість, повна вологомiсткість, питома поверхня ґрунту та діапазон активної вологи. За результатами порівняння встановлено, що на ділянці оранки у ґрунтах більше розвинута мезопористість, а на ділянці no-till більше розвинута макропористість. Фундаментальним результатом є встановлення інверсійного типу профільного розподілу вологopровідності ненасиченого ґрунту: на ділянці no-till найвищі значення вологopровідності спостерігаються у найглибшому горизонті (0,70–0,85 м), зменшуючись із наближенням до поверхні ґрунту, а на ділянці оранки найвищі значення вологopровідності зафіксовані в оброблювальному горизонті (0,00–0,15 м), які закономірно знижувались із глибиною. Профільний розподіл вологopровідності на ділянці no-till сприяє інфільтраційному живленню підземних вод і капілярному підживленню кореневого шару ґрунту з глибоких горизонтів.

Ключові слова: оранка, no-till, ґрунтова матриця, структура порового простору, водоутримувальна здатність, вологopровідність ґрунту, інверсія вологopровідності

Актуальність дослідження. У сільськогосподарській літературі досить жваво дискутується доцільність запровадження в землеробстві України no-till технологій, які в Америці і Західній Європі вже широко впроваджуються у виробництво. Загалом технології мінімального і нульового обробітку, окрім зниження енергоємкості землеробства, наближають процеси ґрунтоутворення на виробничих угіддях до природного стану. Недостатньо вивченим залишається питання продуктивності цих агротехнологій і відтворюваності родючості ґрунтів. Засобами сучасного ґрунтознавства і агрофізики досить складно оцінювати порівняно повільні процеси еволюційних змін власти-

востей ґрунтів за використання різних агротехнологій як через відсутність чіткої теорії агрогенної еволюції ґрунтів, так і через брак досить тонкого інструментарію контролю перебігу змін їх об'ємної будови [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження еволюційних змін властивостей ґрунтів при запровадженні no-till технологій проводили за традиційними загальноприйнятими методиками. Зокрема вивчали профільну мінливість щільності складення ґрунту, водопроникність, твердість, структурно-агрегатний склад, водотривкість агрегатів, водоутримувальну здатність тощо. Найсистемніше результати цих досліджень представлені в узагальню-

ючій роботі [2]. Однак більшість дослідників акцентують увагу на відхиленні щільності за no-till від оптимальної для конкретного типу ґрунту [3, 4, 5, 6, 7, 8], як критерію обґрунтування можливості застосування no-till технологій на ґрунтах України. Відзначають при цьому також позитивну зміну водопроникності, вологонакопичувальну здатність ґрунтового профілю, зміну структурно-агрегатного складу і водотривкості агрегатів, однак практично відсутні публікації, де розглядали б внутрішню будову ґрунтового профілю з деталізацією структури порового простору ґрунту, яка змінюється за відсутності його обробітків шляхом прямого посіву.

Для вирішення цих питань в Інституті водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук (ІВПіМ НААН) створена динамічна модель функціонування і розвитку ґрунтового середовища, що була презентована 2015 р. у Міжнародний рік ґрунту на ґрунтовій конференції у Вагенінгені (Нідерланди) [9]. Згідно з презентованою динамічною моделлю основою саморегулювання і самоорганізації властивостей ґрунтів є гомеостатичні ґрунтові процеси, що виникають у них при взаємодії з циклічно змінними зовнішніми збуреннями [10]. Створена модель є актуальною для нинішніх досить швидких глобальних змін клімату в Україні в бік аридизації [11], що підтверджує визначальну роль клімату у прискоренні еволюційних змін ґрунтів України в мінливих кліматичних умовах.

Основою еволюційних змін властивостей ґрунту є зміна структури порового простору ґрунтової матриці, тобто конструкції термодинамічної системи ґрунту за загального прогресивного розвитку ґрунтоутворення у бік розущільнення материнської породи [12]. Отже досить тонкі еволюційні зміни властивостей ґрунтової матриці в масштабі реального часу характеризують за допомогою новоствореного способу контролю структури порового простору ґрунту [13]. Розроблена в ІВПіМ система комплексного лабораторного діагностування водно-фізичних властивостей ґрунтів є високоінформативною з визначенням якісно нових показників [14], яка стала інструментарієм порівняльного аналізу профільної мінливості водно-фізичних властивостей чорноземних ґрунтів при довготривалому застосуванні оранки і технології no-till.

Метою досліджень є порівняльна оцінка тривалого понад 11 років застосування оранки і no-till технологій на профільну зміну водно-фізичних і агрофізичних властивостей

ґрунтів та деталізація процесів зміни об'ємної будови ґрунтової матриці при зміні інтенсивності гомеостатичних процесів за різної інтенсивності обробітків.

Матеріали і методи дослідження. Порівняння двох технологій землекористування проводили на базі стаціонарного дослідження в короткоротаційних сівозмінах на Панфільській дослідній станції ННЦ «Інститут землеробства НААН». Стаціонарний дослід закладено у 2009 році на полі № 7 на чорноземах типових легкосуглинкових пилуватих. На час закладання дослідження за агрохімічними та агрофізичними показниками ґрунт стаціонарного дослідження мав щільність складення $1,18 \text{ г/см}^3$, запаси продуктивної вологи в метровому шарі становили 190 мм; гідролітична кислотність ґрунту становила $2,1 \text{ мг-екв/100 г}$ ґрунту; реакція ґрунтового розчину $\text{pH}_{(\text{КСІ})}$ близька до нейтральної – 5,7; вміст гумусу (за Тюрнімом) був на рівні підвищеної забезпеченості 3,18%; вміст легкодоступних біогенних елементів становив: гідролізованого азоту (за Корнфілдом) на рівні низької забезпеченості – 123 мг/кг, фосфору – 102 мг/кг ґрунту – на рівні підвищеної забезпеченості і калію – 146 мг/кг ґрунту, був на рівні високої забезпеченості (за методом Чирикова).

Розмір посівної ділянки складає 150 м^2 ($25 \text{ м} \times 6 \text{ м}$), облікової 100 м^2 , повторення триразове. У стаціонарному дослідженні вивчали дві зернопросапні сівозміни з 50–70% зернових і 25–50% олійних культур. У дослідженні вивчали чотири системи мінеральних добрив і три способи обробітку ґрунту: no-till, мінімальний (дискування) і класичний полицевий (оранка). Розміщення варіантів і повторень систематичне.

Опробування ґрунтового профілю було проведено 24 жовтня 2019 р. Тоді з кожного ґрунтового профілю на ділянках no-till технологій та традиційної (оранки) відібрали з трьох інтервалів глибини моноліти ґрунту непорушеної структури у спеціальні ріжучі пластикові циліндри діаметром 12 см і висотою 15 см. Паралельно з відбором монолітів із тих же інтервалів відібрані у триразовій повторності за стандартними методами в ріжучі кільця проби ґрунту для визначення вологості та щільності складення. Результати цих визначень представлені в табл. 1.

Моноліти ґрунту оснащували відповідно до [14], насичували у вакуумній камері до повної вологомісткості (ПВ) та проводили власне гідрофізичні випробування водоутримувальної здатності ґрунту у циклі: швидка

1. Результати визначення природної вологості та щільності складення ґрунту по профілю ділянок no-till та оранки (Панфільська ДС ННЦ «ІЗ НААН», 24.10.2019 р.)

Інтервал глибини, м	№ зразка моноліта	Вологість за масою, W, %	Середня вологість за масою, $W_{\text{ср}}$, %	Вологість за об'ємом, θ , %	Середня вологість за об'ємом, $\theta_{\text{ср}}$, %	Щільність складення ρ , г/см ³	Середня щільність складення, $\rho_{\text{ср}}$, г/см ³
no-till							
0,00–0,15	6	12,90	11,03	16,30	14,47	1,26	1,31
		11,51		16,00		1,39	
		8,67		11,12		1,28	
0,25–0,40	10	8,16	8,29	11,20	10,61	1,37	1,28
		8,36		10,18		1,22	
		8,36		10,46		1,25	
0,70–0,85	12	9,61	9,99	12,04	12,03	1,25	1,21
		9,91		12,04		1,21	
		10,44		12,00		1,15	
оранка							
0,00–0,15	48	11,41	10,82	12,44	12,82	1,09	1,20
		11,80		13,62		1,15	
		9,25		12,40		1,34	
0,25–0,40	53	6,98	7,44	9,30	9,69	1,33	1,30
		7,62		9,86		1,29	
		7,74		9,92		1,28	
0,70–0,85	80	10,02	10,05	12,88	12,09	1,29	1,20
		10,18		11,34		1,11	
		9,94		12,04		1,21	

десорбція – повільна рівноважна сорбція – повторна швидка десорбція. У подальшому порівнювали профільну мінливість з глибиною багатьох кількісних параметрів, а також порівнювали їх між профілями з різними системами обробітку ґрунту.

Паралельно з гідрофізичними випробуваннями відбирали проби ґрунту для визначення максимальної гігроскопічності (МГ) та похідних розрахункових величин – вологості в'янення (ВВ) та питомої поверхні ґрунту відповідно до чинного ГОСТ 28268-89 [15] та рекомендацій [16,17].

Результати дослідження і їх обговорення.

Перші результати порівняльної характеристики стану ґрунтового профілю на ділянках з оранкою та no-till технологією були отримані за результатами польового опробування ґрунтового профілю в жовтні 2019 р. (табл. 1). Профільний розподіл вологості та щільності складення став результатом різних ґрунтових режимів на цих ділянках. Зокрема привертає увагу монотонне зниження щільності складення ґрунту з глибиною на ділянці no-till, тоді як у підорному шарі ораної ділянки фіксується ущільнена на 0,1 г/см³ плужна підшва. Вологість ґрунту була відносно нижчою

в підорному горизонті обох ділянок, однак на ділянці no-till порівняно з оранкою вона була вищою майже на 1%, а у приповерхневому шарі була вищою на 1,65%. Це свідчить про сприятливіші умови накопичення (заощадження) вологи у ґрунті на ділянці no-till технологій, порівняно з ділянкою оранки.

Особливістю опробування верхнього інтервалу 0,00–0,15 м було опробування ґрунту у триразовій повторності в ріжучі кільця не з одного горизонту, а послідовно по вертикалі. Тому отримані у такий спосіб значення вологості та щільності складення ґрунту на ділянках характеризують ступінь диференціації цього інтервалу за названими параметрами (табл. 1), які в подальшому осереднені для всього інтервалу.

Дослідженнями встановлено, що на ділянці no-till вологість найпоказовішого приповерхневого шару 0,00–0,15 м монотонно знижується з глибиною (табл. 1), однак на ділянці оранки максимум вологи спостерігається у середньому інтервалі (0,05–0,10 м). Щільність складення ґрунту за no-till була найвищою в середньому інтервалі (0,05–0,10 м), тоді як з оранки щільність складення ґрунту монотонно зростала з глибиною від 1,09 до 1,34 г/см³.

Результатом комплексних лабораторних досліджень ґрунтів стало визначення основних водно-фізичних констант – максимальної гігроскопічної вологості (МГ), вологості в'янення (ВВ), повної вологомісткості (ПВ), найменшої вологомісткості (НВ), питомої поверхні ґрунту (S , m^2/g), діапазону активної вологи (ДАВ) та встановлення гранулометричного класу ґрунту за значеннями ВВ [10] для всіх інтервалів опробування обох ділянок (табл. 2).

Надзвичайно інформативними стали гідрофізичні випробування водоутримувальної здатності зразків ґрунту непорушеної структури (монолітів) у режимі отримання петлі капілярного гістерезису. В результаті випробувань одержані гідрофізичні функції водоутримувальної здатності $\theta = f(P)$ та вологопровідності $k_p = f(P)$ за перемінного вологонасичення ґрунту. Зокрема на основі використання гістерезису отримана кількісна характеристика структури порового простору ґрунтів, що по суті є диференціальною кривою розподілу пор за розмірами, яка є чутливою до епігенетичної еволюційної перебудови структури порового простору ґрунту за зміни інтенсивності гомеостатичних процесів, до яких призводять різні системи обробітки ґрунту [12, 13, 14]. Крім того, за аналізом кінетики десорбції ґрунту розроблений і проходить патентування оригінальний лабораторний спосіб визначення найменшої вологомісткості (НВ) [14], який був використаний для визначення цієї константи для досліджених зразків.

Порівняльний аналіз властивостей. Оцінку впливу довготривалого застосування різних агротехнологій на властивості ґрунтів

доцільно проводити за графічним аналізом епюр розподілу параметрів по глибині двох ґрунтових профілів. На рис. 1 побудовані такі епюри за значеннями параметрів, що наведені в табл. 1 та 2, які дають уяву як про профільну їхню мінливість, так і різницю між ділянками 11-річного використання оранки та no-till технологій. Зокрема закономірні відмінності природної вологості і щільності складення вже були розглянуті вище (рис. 1 а, б).

Профільний розподіл максимальної гігроскопічної вологості (МГ) засвідчує дещо відмінні гігроскопічні властивості ґрунтів між ділянками (рис. 1, в). Зокрема досить невеликі відмінності значень МГ суттєво посилюються в похідних розрахункових величинах: вологості в'янення (ВВ, %), де рекомендовано визначати $ВВ = 1,34 \cdot МГ$ та питомої поверхні S , m^2/g , де $S = 4 \cdot МГ$ [9] (рис. 1, г, е). Причини розбіжностей профільної мінливості між ділянками можуть бути інтерпретовані як просторова варіація дисперсності ґрунтів, зокрема вмісту високодисперсної органічної речовини (гумусу). Зростання дисперсності в підорному горизонті 0,25–0,40 м обох ділянок, що найпоказовіше відбиває величина питомої поверхні (S , m^2/g) (рис. 1.Е), найвірогідніше свідчить про наявність ілювіального процесу вмивання до цього горизонту високодисперсного матеріалу – мулу, глини, полуторних оксидів, органічних колоїдів тощо. Причому на ораній ділянці цей процес є більш інтенсивним, з більшою диференціацією властивостей ґрунтового профілю, принаймні за питомою поверхнею ґрунту (S), однак абсолютні значення S вищі на ділянці no-till по всіх інтервалах глибини, що, найвірогідніше,

2. Результати визначення водно-фізичних властивостей ґрунту на ділянках no-till та оранки

Номер зразка	Інтервал, м	Питома поверхня S , m^2/g	МГ, %, за масою	ВВ, %, за масою	ПВ, % за об'ємом	НВ, % за об'ємом	НВ, % за масою	ДАВ= ПВ-ВВ %	Гранулометричний клас ґрунту за ВВ [17]
no-till									
6	0,00–0,15	18,21	4,55	6,10	47,61	29,85	21,73	41,51	легкосуглинковий – середньосуглинковий
10	0,25–0,40	18,38	4,59	6,16	50,46	28,48	21,92	44,30	легкосуглинковий – середньосуглинковий
12	0,70–0,85	17,92	4,48	6,00	55,42	34,24	26,29	49,42	легкосуглинковий – середньосуглинковий
оранка									
48	0,00–0,15	16,54	4,14	5,54	51,58	26,44	20,10	46,04	легкосуглинковий – середньосуглинковий
53	0,25–0,40	17,84	4,46	5,98	50,96	29,22	20,87	44,98	легкосуглинковий – середньосуглинковий
80	0,70–0,85	17,13	4,28	5,74	52,49	33,84	25,26	46,75	легкосуглинковий – середньосуглинковий

пов'язане із сингенетичними чинниками. Спільний характер профільної мінливості $\rho_{пр}$, НВ та ПВ (рис. 1 б, д, ж) засвідчує зниження щільності складення та зростання значень НВ і ПВ на обох ділянках з наближенням до лесовидної материнської породи.

На рис. 2, 3 та 4 наведені попарно суміщені по трьох інтервалах криві водоутримувальної здатності $\theta_i = f(P)$, з урахуванням капілярного гістерезису, та графіки структурних характеристик, які становлять собою диференційні

криві розподілу сумарного об'єму пор за радіусами $V_{зп} = f(P) = f(r)$, адже за залежністю Жюрена капілярний тиск однозначно пов'язаний з радіусом пористості $r \approx \frac{0,15}{|P|}$ [см].

Аналіз розбіжностей цих графіків дає підставу для таких висновків:

– у першому інтервалі 0,00–0,15 м власне в оброблювальному шарі ґрунту криві водоутримувальної здатності суттєво відрізняються – похил кривої першої десорбції від ПВ на ділянці

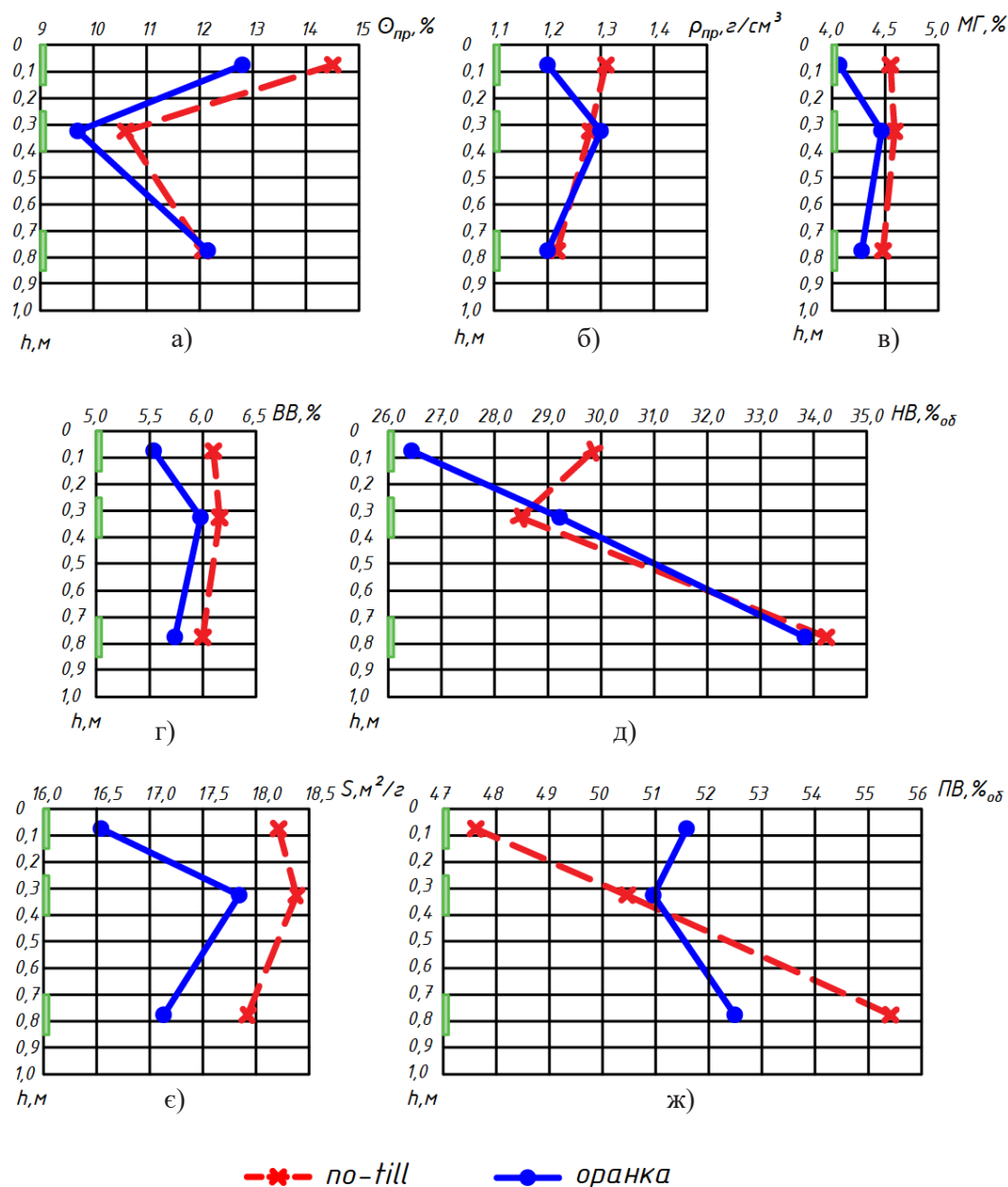


Рис. 1. Епюри розподілу по глибині ділянок оранки та no-till: природної вологості, $\theta_{пр}$, % (а); щільності складення, ρ , г/см³ (б); максимальної гігроскопічності, МГ, % (в); вологості в'янення, ВВ, % (г); найменшої вологомісткості, НВ, %_{об} (д); питомої поверхні, S, м²/г (е); повної вологомісткості, ПВ, %_{об} (ж)

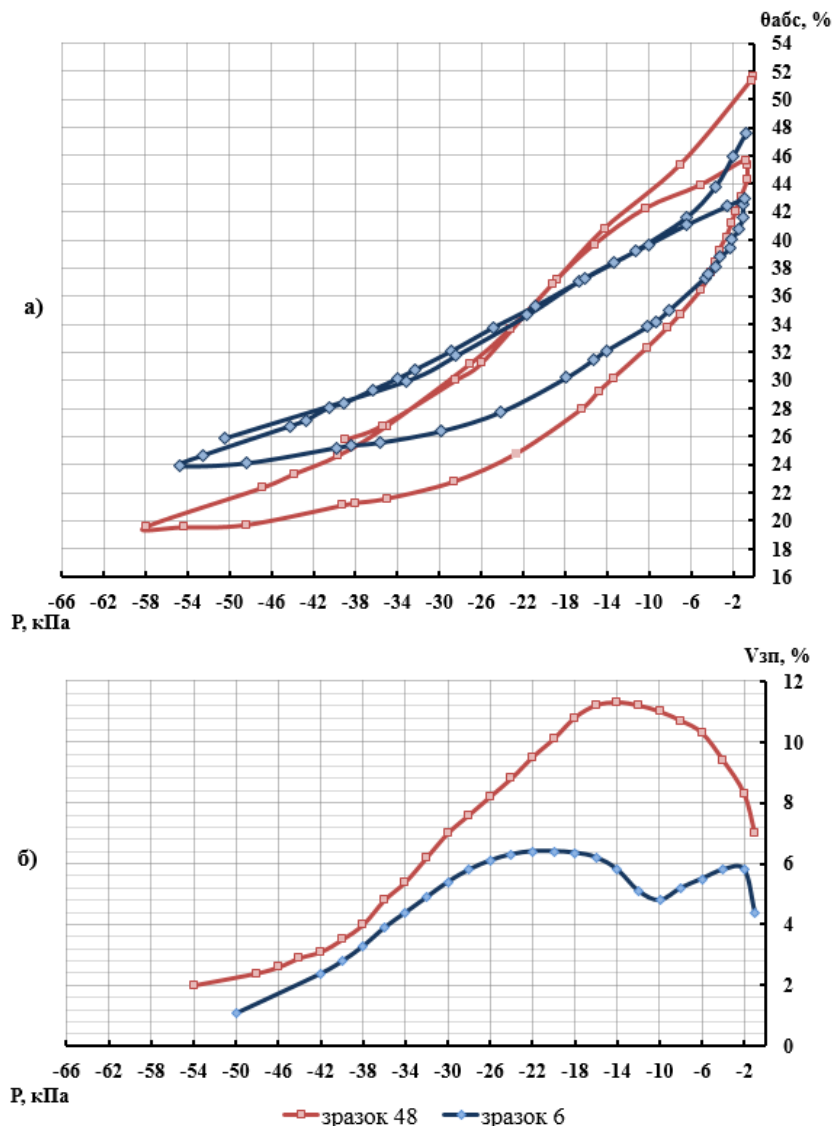


Рис. 2. Суміщені графіки водоутримувальної здатності $\theta_i = f(P)$ (а) та структурних характеристик $V_{зн} = f(P) = f(r)$ (б) для ділянок оранки (зразок 48) та по-till (зразок 6), інтервал 0,00–0,15 м

оранки більший, ніж на ділянці по-till (рис. 2 а). Так звана диференційна вологемкість на ділянці оранки, з урахуванням різниці ПВ, вища майже на 8 %, порівняно з ділянкою по-till, тобто на ораній ділянці ґрунт більше втрачає води при десорбції. Аналіз розбіжностей цих графіків дає підставу для таких висновків:

– у першому інтервалі 0,00–0,15 м власне в оброблювальному шарі ґрунту криві водоутримувальної здатності суттєво відрізняються – похил кривої першої десорбції від ПВ на ділянці оранки більший, ніж на ділянці по-till (рис. 2 а). Так звана диференційна вологемкість на ділянці оранки, з урахуванням різниці ПВ, вища майже на 8 %, порівняно з ділянкою по-till, тобто на ораній ділянці ґрунт більше втрачає води при десорбції.

Структура порового простору за графіками структурних характеристик $V_{зн} = f(P)$ також суттєво відрізняється. Зокрема на ораній ділянці структура порового простору ґрунту має максимум за значень капілярного тиску $-12 \div -16$ кПа. Це свідчить про те, що тут сформовані пори переважачого розміру ($\approx 1 \cdot 10^{-3}$ см), сумарний об'єм яких перевищує 11 % об'єму ґрунту. Але одночасно простежується тенденція до зниження об'єму найкрупніших пор, більших за $1,5 \cdot 10^{-3}$ см, яким відповідає тиск -10 кПа. Хоча для чорноземних ґрунтів характерна саме монотонно зростаюча крива структурної характеристики з максимальним розвитком найкрупніших пор і відсутністю пор переважного розміру [5]. У верхньому шарі ґрунту ділянки по-till,

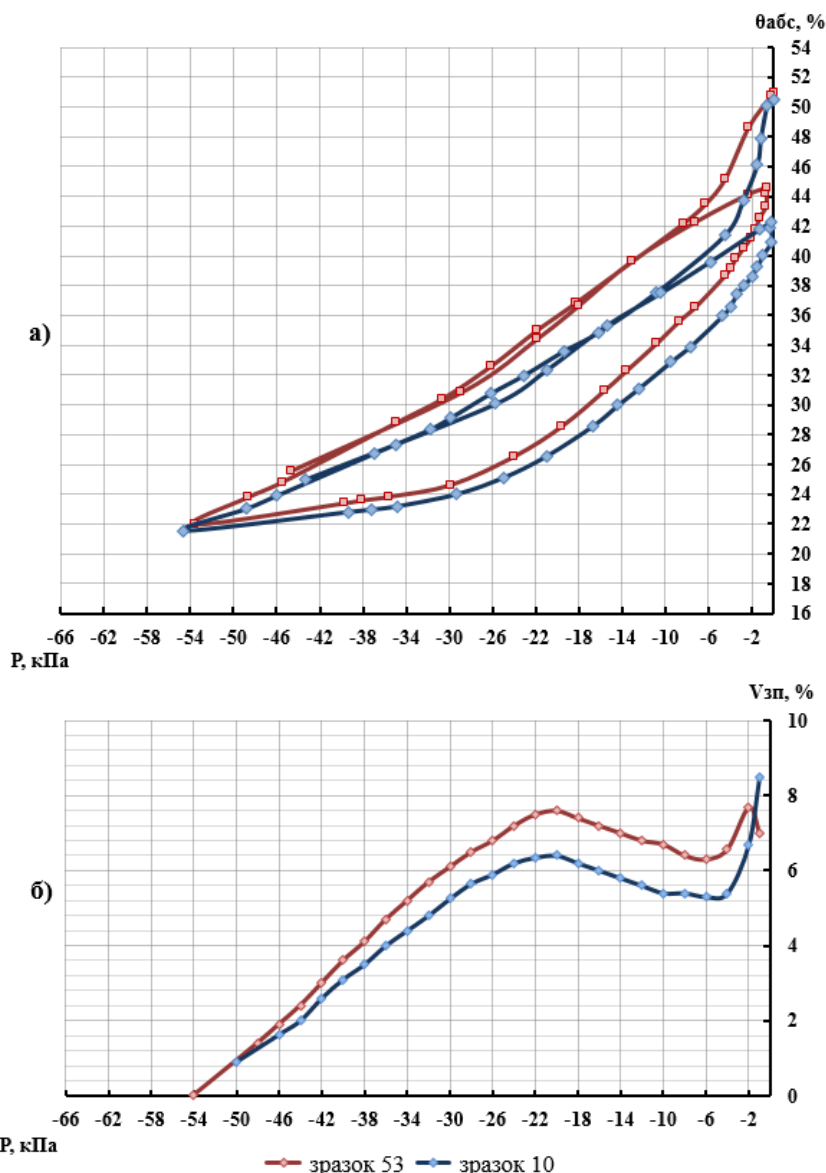


Рис. 3. Суміщені графіки водоутримувальної здатності $\theta_w = f(P)$ (а) та структурних характеристик $V_{\text{зн}} = f(P) = f(r)$ (б) для ділянок оранки (зразок 53) та no-till (зразок 10), інтервал 0,25–0,40 м

окрім різниці диференційної вологомисткості, значно менше розвинута мезопористість, яка має принципові відмінності структури від ґрунту на ділянці оранки: тут спостерігаються два екстремуми на кривій структурної характеристики – один у діапазоні мінус 18–24 kPa ($\approx 0,7 \cdot 10^{-3}$ см), а другий у діапазоні мінус 2–4 kPa ($\approx 5,0 \cdot 10^{-3}$ см). Перший екстремум найвірогідніше обумовлений первинною пористістю між пилюватими частками материнської лесовидної породи, сумарний об’єм яких трохи перевищує 6% об’єму ґрунту, а другий екстремум в області на порядок більших радіусів пор вже обумовлений епігенетичною перебудовою макропористої структури порового простору на ділянці no-till

при довготривалому (11 років) застосуванні прямого посіву в необроблений ґрунт і наближенні ґрунтових процесів, що обумовлені інтенсивністю гомеостатичних процесів, до нативних ґрунтів. Сумарний об’єм цих пор також вже сягає 6%;

– другий інтервал 0,25–0,40 м, власне підорний горизонт. Криві водоутримувальної здатності на обох ділянках близькі між собою (рис. 3 а), мають однакову диференційну вологомисткість, однак мають дещо відмінну структуру порового простору (рис. 3 б). Зокрема, за співпадіння екстремуму, тобто розміру переважаної пористості $\approx 0,7 \cdot 10^{-3}$ см (діапазон капілярного тиску $-18 \div -22$ kPa), на ділянці оранки сумарний об’єм пор більший на 2%.

При капілярному тиску меншому приблизно за -5 кПа починається розбудова структурної макропористості. На ділянці no-till сумарний об'єм макропор радіусом $15 \cdot 10^{-3}$ см (-1 кПа) сягає $8,5\%$, тоді як на ораній ділянці об'єм пор такого розміру не перевищує 7% . Тобто на ділянці оранки за більшого сумарного об'єму пор переважаючого розміру, $\approx 0,7 \cdot 10^{-3}$ см, є менше макропор ($15 \cdot 10^{-3}$ см), що мають радіус у двадцять разів більший, порівняно з розміром переважаючих пор. На ораній ділянці крива структурної характеристики завершується зниженням сумарного об'єму найкрупніших макропор, тоді як на ділянці no-till спостерігається монотонне збільшення об'єму макропор крупніших за $3 \cdot 10^{-3}$ см;

– третій інтервал $0,70-0,85$ м наближений до материнської породи, якою тут є лесовидний суглинок. Адже для чорноземних ґрунтів, утворених на лесовидних

суглинках, зазвичай характерне зменшення з глибиною щільності складення ґрунту (рис. 1 б) за епігенетичного перероблення ґрунтовими процесами макропористої лесовидної породи. Отже просторова варіабельність гідрофізичних властивостей на досліджуваних ділянках полягає в дещо більшій диференційній вологомості на $3-4\%$ на ділянці no-till, порівняно з оранкою (рис. 4). Структурні характеристики мають екстремум. На оранці переважаюча пористість має радіуси $\approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ см, а на ділянці no-till дещо крупніша $\approx 1,0 \cdot 10^{-3}$ см. На ділянці no-till більш розвинута макропористість: об'єм пор $15 \cdot 10^{-3}$ см сягає 7% , а на оранці вона трохи менша за 6% .

Інтегрує усі описані розбіжності водоутримувальної здатності і структури порового простору між ділянками і по глибині їх ґрунтових профілів вологопровідність ненасиче-

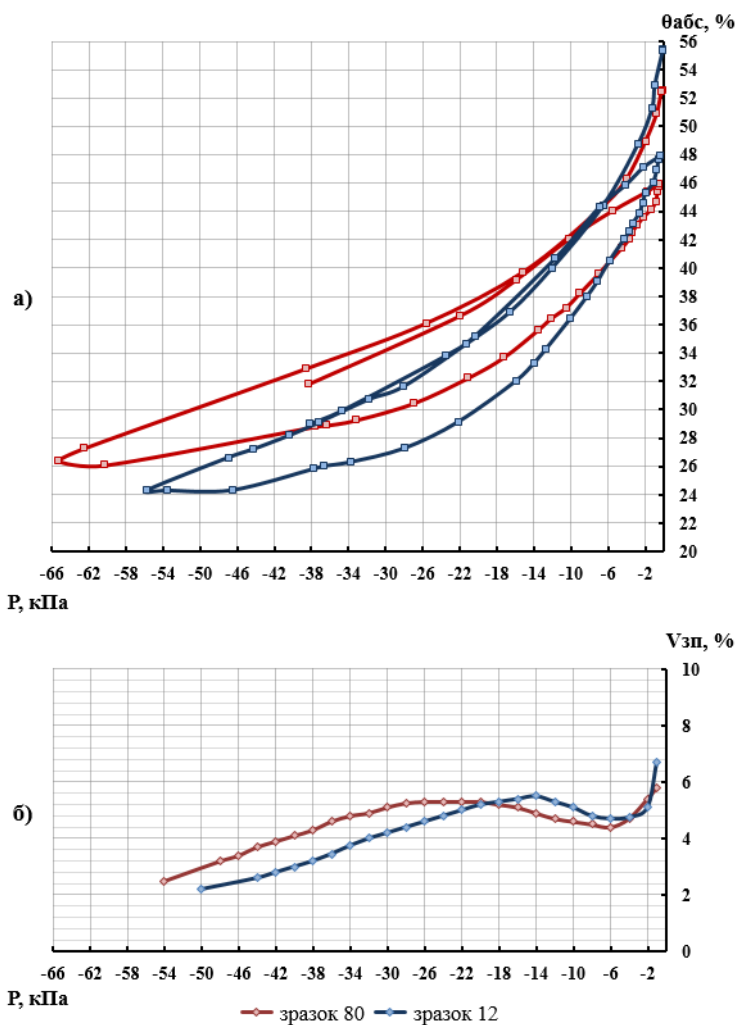


Рис. 4. Суміщені графіки водоутримувальної здатності $\theta_i = f(P)$ (а) та структурних характеристик $V_{zn} = f(P) = f(r)$ (б) для ділянок оранки (зразок 80) та no-till (зразок 12), інтервал $0,70-0,85$ м

ного ґрунту, результати визначення якої представлені в табл. 3.

Розраховані за методикою [14] коефіцієнти вологопровідності ненасиченого ґрунту дають уяву про профільну мінливість цього параметра на кожній досліджуваній ділянці і можливість кількісного порівняння вологопровідності різних ділянок між собою, а також опосередковано характеризувати вологопровідність кожної групи пор, яким відповідає фіксований капілярний тиск.

За отриманими даними зроблено такі висновки:

– по мірі осушення коефіцієнти вологопровідності монотонно знижуються на два порядки в діапазоні від $3,8 \cdot 10^{-2}$ до $6,4 \cdot 10^{-4}$ м/доб;

За отриманими даними зроблено такі висновки:

– по мірі осушення коефіцієнти вологопровідності монотонно знижуються на два порядки в діапазоні від $3,8 \cdot 10^{-2}$ до $6,4 \cdot 10^{-4}$ м/доб;

– на ораній ділянці з глибиною відбувається практично монотонне зниження вологопровідності для кожного значення капілярного тиску (рис. 5 а), однак на ділянці no-till найвищі значення вологопровідності для

3. Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту ($K_p, \frac{м}{доб}$) від капілярного тиску $K_p = f(P)$ для фіксованих значень P, кПа

Номер зразка	Інтервал, м	Капілярний тиск P, кПа					
		-3	-5	-10	-20	-30	-50
no-till							
6	0,00–0,15	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
10	0,25–0,40	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$
12	0,70–0,85	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
оранка							
48	0,00–0,15	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
53	0,25–0,40	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
80	0,70–0,85	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

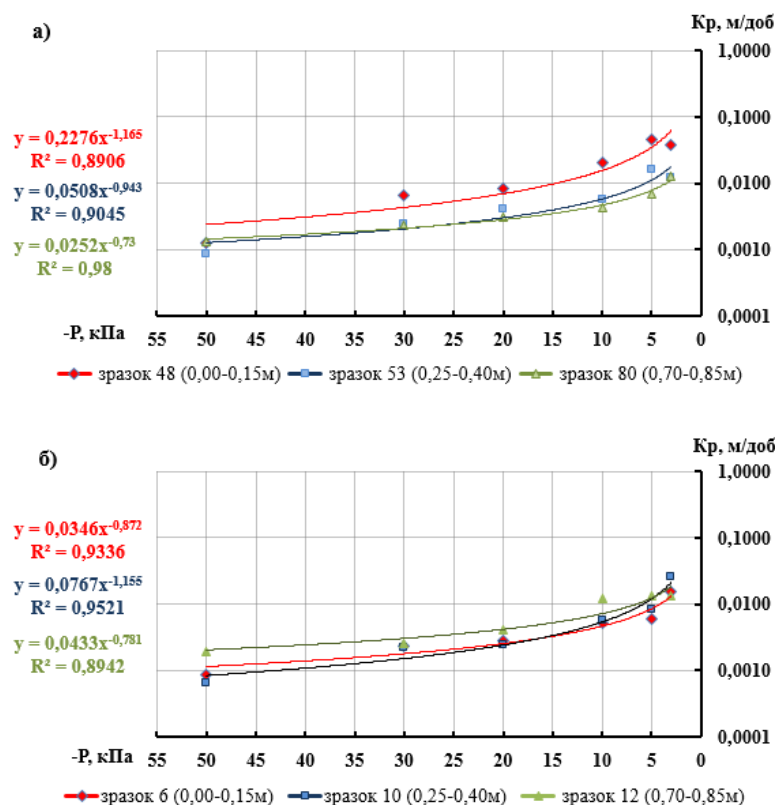


Рис. 5. Співвідношення вологопровідності ґрунту $K_p = f(P)$ по трьох інтервалах глибини ґрунтового профілю ділянок оранки (а) та no-till (б)

більшості значень капілярного тиску спостерігаються у найглибшому (0,70–0,85 м) інтервалі ґрунтового профілю (рис. 5 б);

– на ділянці no-till, по відношенню до оранки, спостерігається інверсія вологопровідності ґрунтового профілю: за одиничних вертикальних градієнтів потенціалу ($\text{Grad } H$) найглибший шар здатен забезпечити верхні шари ґрунтового профілю водою і відвести інфільтрацію з них. Тоді як на ділянці з оранкою найнижчі значення вологопровідності в найглибшому горизонті обмежують інфільтрацію опадів до ґрунтових вод і одночасно не забезпечують капілярне підживлення з глибоких шарів ґрунтового профілю кореневого шару без суттєвого зростання вертикальних висхідних градієнтів потенціалу води. А таке зростання можливе лише за суттєвого переосушення орного шару ґрунту. На рис. 6 представлені для порівняння графіки вологопровідності для верхнього кореневого шару 0,00–0,15 м та найнижчого інтервалу 0,70–0,85 м, наближеного до материнської породи. Наведені графіки демонструють, що у верхньому інтервалі вологопровідність на

оранці майже на порядок вища за ділянку no-till (рис. 6). Тоді як для інтервалу 0,70–0,85 м абсолютні значення вологопровідності вищі на ділянці no-till, порівняно з оранкою.

Висновки. Проведені за новорозробленою системою лабораторного діагностування ґрунтів випробування дозволили встановити такі закономірні розбіжності властивостей ґрунтів між ділянками оранки та no-till:

– за значеннями МГ та питомої поверхні ґрунту (S , $\text{м}^2/\text{г}$) на ділянці no-till зафіксована порівняно вища дисперсність ґрунту по всьому ґрунтовому профілю, яка, найвірогідніше, носить характер сингенетичної просторової варіації;

– за водоутримувальною здатністю $\theta_i = f(P)$ встановлені певні розбіжності між ділянками, які полягають у різній диференційній вологомисткості та різній структурі порового простору ґрунтової матриці. Зокрема на ділянці оранки у всьому ґрунтовому профілі більшою мірою розвинута елементарна пористість $\approx 0,7 - 1,0 \cdot 10^{-3}$ см, яка переважає у структурі порового простору (СПП). Тоді як на ділянці no-till найбільш

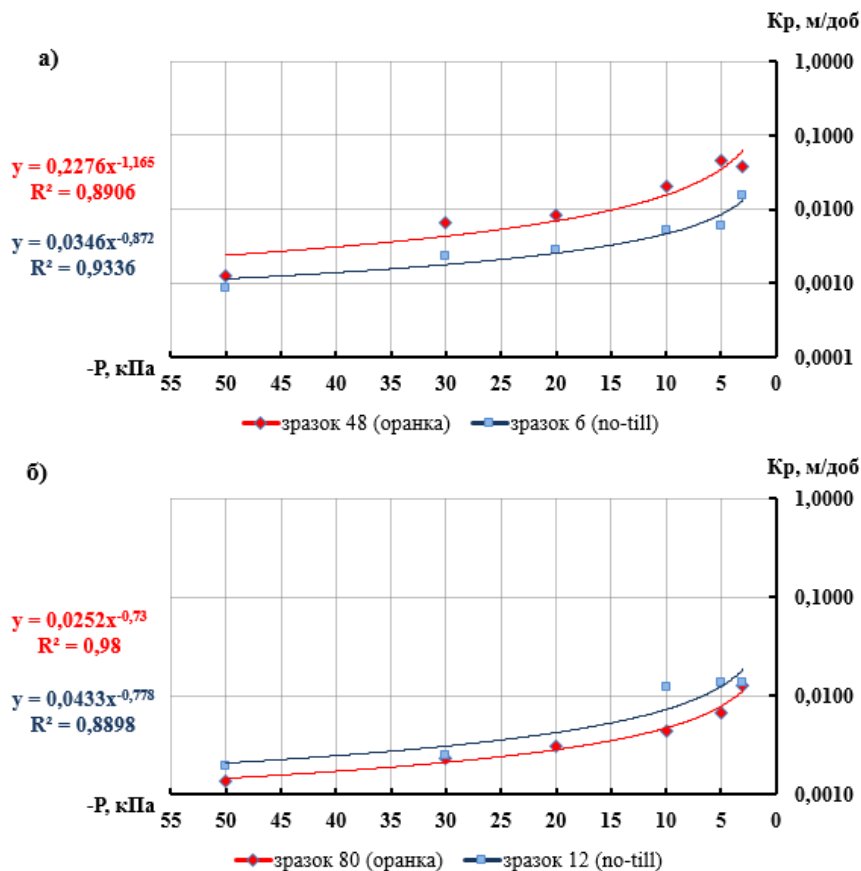


Рис. 6. Співвідношення вологопровідності ґрунту $K_p = f(P)$ ділянок оранки та no-till для інтервалів ґрунтового профілю 0,00–0,015 м (а) та 0,70–0,85 м (б)

розвинута, порівняно з оранкою, структурна макропористість, крупніша за $3,0 \cdot 10^{-3}$ см;

– за значеннями вологопровідності ненасиченого ґрунту $K_p = f(P)$, яка інтегрує розбіжності водоутримання ґрунтом вологи на ділянках оранки і no-till, встановлено інверсію вологопровідності по глибині ґрунтового профілю: на оранці найвищі значення вологопровідності зафіксовані в орному шарі, а найнижчі в інтервалі 0,70–0,85 м, тоді як на ділянці no-till найвищі значення вологопровідності ґрунту фіксуються у найнижчому горизонті, а з наближенням до поверхні вони знижуються. Абсолютні значення вологопровідності у верхньому горизонті на ділянці оранки є на порядок вищими, порівняно з ділянкою no-till, а у найглибшому горизонті порівняно вищими є значення вологопровідності на ділянці no-till;

– інверсія профільного розподілу вологопровідності на порівнюваних ділянках

має фундаментально важливе значення для гідрології полів, інфільтраційного живлення підземних вод і капілярного підживлення кореневої зони: на ділянці no-till профільний розподіл вологопровідності ґрунту є найбільш сприятливим для водного режиму ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур;

– найвірогідніше саме це явище стало чинником підвищеної вологості кореневого шару ґрунту ділянки no-till на момент опробування.

Для підтвердження одержаних закономірностей дослідження за запропонованою методикою повинні мати продовження, які у подальшому стануть основою для розроблення програм моніторингу ґрунтів за водно-фізичними властивостями. Зокрема, вважаємо за доцільне проводити моніторинг властивостей ґрунту через кожні 2–3 роки в цьому стаціонарному досліді.

Бібліографія

1. Антропогенная и естественная эволюция почв и почвенного покрова / материалы (тезисы) Всесоюзного совещания 10–12 января 1989г. Москва : Пушино, 1989. 340 с.
2. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства no-till : навч. посіб. Київ : «Лотос», 2011. 352 с.
3. Вплив нульового обробітку ґрунту на його фізичні властивості в Правобережному Лісостепу України / Петриченко В.Ф. та ін. *Агробіологія*. Біла Церква, 2013. № 11(104). С. 183–186.
4. Борона В.П., Задорожний В.С., Колодій С.В. Водно-фізичні властивості ґрунту та забур'яненість посівів кукурудзи залежно від систем основного обробітку ґрунту. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2013. № 75. С. 130–136.
5. Сидякіна О.В., Нижеголовенко А.В. Водно-фізичні властивості темно-каштанового ґрунту залежно від способів його обробітку під посівом гороху в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2012. № 81, С. 188–194.
6. Косолап М.П., Кротінов О.П. Зміна водно-фізичних властивостей чорнозему типового при переході до технологій no-till. Доповідь на міжнародній науково-практичній конференції з нагоди 100-річчя з дня народження проф. Городнього М.Г. Київ : НУБІПУ, 2004. № 75.
7. Hartge/Horn: Essential Soil Physics / Robert Horton, Rainer Horn, Jorg Bachmann, Stephan Peth. – Stuttgart, Germany : Schweizerbart Science Publishers, 2016. 391 p.
8. Медведєв В.В. Плотность сложения почв. Харьков, 2004. 243 с.
9. Romashchenko M., Kolomiiets S. Dynamic model of soil functioning and development // Wageningen Soil Conference 2015 «Soil Science in a Changing World» 23–27 August 2015, Wageningen The Netherlands, DRAFT BOOK of Abstracts. W wageningensoilconference E wageningensoilconference@wur.nl p.228
10. Коломієць С.С. Термодинамічна система ґрунту, його гомеостаз і вірогідний механізм утворення структури. *Вісник аграрної науки*. Київ, 2021. № 3. С. 14–22.
11. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво / М.І. Ромащенко та ін. *Меліорація і водне господарство*. Київ, 2020. № 1. С. 5–22.
12. Коломієць С.С. Екологічна характеристика ґрунту. *Вісник аграрної науки*. Київ, 1999. № 12. С. 9–13.
13. Спосіб визначення структури порового простору ґрунтів (дисперсних середовищ) : Пат. 45287 Україна : МПК G01N15/08; заявл. 04.12.2008 : опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. 4 с.
14. Ромащенко М.І., Коломієць С.С., Білоброва А.С. Система лабораторного діагностування водно-фізичних властивостей ґрунтів. *Меліорація і водне господарство* : Журнал. Київ, 2019. № 2. С. 199–208.

15. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. [Чинний від 1990-06-01]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1989. 10 с. (Межгосударственный стандарт).
16. Справочник гидрологических свойств почв Украинской ССР // Управление гидрологической службы УССР. Киевская гидрометеорологическая обсерватория. Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. 550 с.
17. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. 328 с.

References

1. Antropohennaya y estestvennaya evolyutsyya pochv y pochvennoho pokrova [Anthropogenic and natural evolution of soils and soil cover] (1989) / materyaly (tezysy) Vsesoyuznoho soveshchanyya. Moskva : Pushchyno, 340. [in Russian]
2. Kosolap, M.P., & Krotinov, O.P. (2011). Systema zemlerobstva no-till [No-till farming system]: navch. pos. Kyiv : «Lotos»,. 352. [in Russian]
3. Petrychenko, V.F., Kolisnyk, S.I., Panasyuk, O.Ya., Yermolayev, M.M., & Khakhula, V.S. (2013). Vplyv nul'ovoho obrobittku hruntu na yoho fizychni vlastyvyosti v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrayiny [Influence of zero tillage on its physical properties in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine] Ahrobiolohiya. Bila Tserkva,. № 11(104), 183–186. [in Ukrainian]
4. Borona, V.P., Zadorozhnyy, V.S., & Kolodiy, S.V. (2013). Vodno-fizychni vlastyvyosti gruntu ta zabur'yanenist' posiviv kukurudzy zalezno vid system osnovnoho obrobittku gruntu [Water-physical properties of soil and weediness of corn crops depending on the systems of basic tillage]. Kormy i kormovyrobnytstvo. Vinnytsya, 75, 130–136. [in Ukrainian]
5. Sydyakina, O.V., & Nyzhholovenko, A.V. (2012). Vodno-fizychni vlastyvosti temno-kashtanovoho hruntu zalezno vid sposobiv yoho obrobittku pid posivom horokhu v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrayiny [Water-physical properties of dark chestnut soil depending on the methods of its cultivation under pea sowing in the Southern Steppe of Ukraine]. Tavriys'kyi naukovyy visnyk. Kherson, 81, 188–194. [in Ukrainian]
6. Kosolap, M.P., & Krotinov, O.P. (2004). Zmina vodno-fizychnykh vlastyvostey chornozemu typovoho pry perekhodi do tekhnolohiy no-till [Changes in water-physical properties of typical chernozem during the transition to no-till technologies.]. Dopovid' na mizhnarodniy naukovy-praktychniy konferentsiyi z nahody 100-richchya z dnya narodzhennya prof. Horodn'oho M.H. Kyiv: NUBIPU, № 75. [in Ukrainian]
7. Hartge/Horn (2016). Essential Soil Physics /Robert Horton, Rainer Horn, Jorg Bachmann, Stephan Peth. Stuttgart, Germany : Schweizerbart Science Publishers, 391.
8. Medvedev, V.V. (2004). Plotnost' slozhennyya pochv [Density of soil]. Khar'kov,. 243. [in Russian]
9. Romashchenko, M., & Kolomiets, S. (2015) Dynamic model of soil functioning and development. Wageningen Soil Conference 2015 «Soil Science in a Changing World» 23–27 August 2015, Wageningen The Netherlands, DRAFT BOOK of Abstracts, 228.
10. Kolomiyets', S.S. (2021) Termodynamichna systema gruntu, yoho homeostaz i virohidnyy mekhanizm utvorennya struktury [Thermodynamic system of soil, its homeostasis, and probable mechanism of structure formation]. Visnyk ahrarnoyi nauky. Kyiv, 3, 14–22. [in Ukrainian]
11. Romashchenko, M.I., Husyev, Yu.V., Shatkovs'kyi, A.P., Saydak, R.V., Yatsyuk, M.V., Shevchenko, A.M., & Matyash, T.V. (2020). Vplyv suchasnykh klimatychnykh zmin na vodni resursy ta sil's'kohospodars'ke vyrobnytstvo [Impact of climate change on water resources and agricultural production]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 1, 5–22. [in Ukrainian]
12. Kolomiyets', S.S. (1999). Ekolohichna kharakterystyka gruntu [Ecological characteristics of the soil]. Visnyk ahrarnoi nauky, 12, 9–13. [in Ukrainian].
13. Yatsyk, M.V., & Kolomiyets', S.S. (2009). Sposib vyznachennya struktury porovoho prostoru gruntiv (dyspersnykh seredovyshch) [Method for determination of structure of porous space of earths (disperse media)]. Patent of Ukraine. № 45287. [in Ukrainian]
14. Romashchenko, M.I., Kolomiyets', S.S., & Bilobrova, A.S. (2019). Systema laboratornoho diahnostuvannya vodno-fizychnykh vlastyvostey gruntiv [System of laboratory diagnostic for water-physical soil properties]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 2, 199–208.
15. Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksymal'noy gigroskopicheskoy vlazhnosti y vlazhnosti ustoychyvoho zavyadannya rastenyy [The soil. Methods for determination of

moisture, maximum hygroscopic moisture and wilting moisture plants]. (1990). GOST 28268-89. Mezhhosudarstvennyi standart. Moskva : Yzdatel'stvo standartov. [in Russian]

16. Spravochnyk hydrolohicheskikh svoystv pochv Ukraynskoy SSR [Handbook of hydrological properties of the soils Ukrainian SSR]. (1965). Lenynhrad : Hydrometeoyzdat. [in Russian]

17. Veryho, S. A., & Razumova, L. A. (1973). Pochvennaya vlaha (prymenytel'no k zaprosam sel'skoho khozyaystva) [Soil moisture (as applied to agricultural needs)]. Lenynhrad : Hydrometeoyzdat. [in Russian]

С.С. Коломиец, А.С. Белоброва, В.М. Вирёвка, Т.В. Тарасенко
Сравнительный анализ профильной изменчивости воднофизических свойств чернозема при длительном применении пахоты и no-till технологий (на примере Панфильской исследовательской станции)

Аннотация. Приведены результаты актуальных исследований профильной изменчивости водно-физических свойств почв ненарушенной структуры на участках 11-летнего применения традиционной вспашки и no-till технологии. Сравнительные исследования проведены на базе стационарного полевого опыта на Панфильской опытной станции ННЦ «ИЗ НААН» с использованием созданной в ИВПиМ НААН системы лабораторного диагностирования водно-физических свойств на основе гидрофизических методов. Полученные для трех интервалов глубины основные гидрофизические функции – влагопроводности и водоудерживающей способности, а также гидрологические константы – максимальная гигроскопичность, влажность увядания, наименьшая влагоемкость, полная влагоемкость, удельная поверхность почвы и диапазон активной влажности. По результатам сравнения установлено, что на участке вспашки в почвах более развита мезопористость, а на участке no-till больше развита макропористость. Фундаментальным результатом является установление инверсионного типа профильного распределения влагопроводности ненасыщенной почвы: на участке no-till наивысшие значения влагопроводности наблюдаются в глубоком горизонте (0,70–0,85 м), уменьшаясь по мере приближения к поверхности почвы, а на участке вспашки наивысшие значения влагопроводности зафиксированы в обрабатываемом горизонте (0,00–0,15 м), которые закономерно снижались с глубиной. Профильное распределение влагопроводности на участке no-till способствует инфильтрационному питанию подземных вод и капиллярной подпитке корневого слоя почвы из глубоких горизонтов.

Ключевые слова: вспашка, no-till, грунтовая матрица, структура порового пространства, водоудерживающая способность, влагопроводимость почвы, инверсия влагопроводности

S.S. Kolomiets, A.S. Bilobrova, V.M. Vyr'ovka, T.V. Tarasenko
Comparative analysis of the profile variability of black soil water-physical properties when long-term applying plowing and no-till technologies use (the case of Panfily Research Station)

Abstract. The results of actual research on profile variability of soil water-physical properties of undisturbed structure at the plots, where traditional plowing and no-till technology have been applied for 11 years, are given. The comparative research was conducted based on a stationary field experiment, which is carried out at Panfily Research Station of the National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS" when applying a system of laboratory diagnostics of water-physical properties created in the Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS based on hydrophysical methods. The characteristics of main hydrophysical functions, namely moisture conductivity and water holding capacity, as well as hydrological constants – maximum hygroscopic moisture, withering point, minimal water holding capacity, maximum water holding capacity, specific surface area and active moisture range were obtained for three different depths.

Based on the results of comparison, it was found that mesoporosity was more developed in the soil on the plots under plowing, while macroporosity was more developed on the no-till plots. The fundamental result is determining the inversion type of profile distribution of moisture conductivity in unsaturated soil. Thus, under on the no-till plots the highest values of moisture conductivity were observed in the deepest soil layer (0,70–0,85 m), decreasing to the soil surface, while on the plots under plowing the highest values of moisture conductivity were observed in cultivated soil layer (0,00–0,15 m), which naturally decreased in depth. The profile distribution of moisture conductivity on the no-till plots contributed to the infiltration supply of groundwater and capillary feeding of soil root layers from the deeper ones.

Keywords: plowing, no-till, soil matrix, pore space structure, water holding capacity, soil moisture conductivity, moisture conductivity inversion