

DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-4](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-4)

УДК 631.434:631.445.2:631.51:631.8 (292.485)

**О. С. ГАВРИШКО, Ю. М. ОЛІФІР**, кандидати сільськогосподарських наук

**Т. В. ПАРТИКА**, кандидат біологічних наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: [havryshko0@gmail.com](mailto:havryshko0@gmail.com)

## **СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СТАН ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ ЗА ТРИВАЛОГО АГРОГЕННОГО ВПЛИВУ В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ**

*Проаналізовано структурний стан ясно-сірого лісового поверхнево оглесного ґрунту за різного сільськогосподарського навантаження в умовах періодично промивного типу водного режиму. За результатами сухого просіювання встановлено, що в структурно-агрегатному складі дослідного ґрунту незалежно від систем удобрення і використання переважають макро- (>10 мм) і мікроагрегати (<0,25 мм). Кількість мезоагрегатів (0,25–10 мм) є вищою в орному горизонті порівняно з підорним, однак винятком є варіант органо-мінерального удобрення на фоні внесення 1,0 н вапна.*

*За результатами мокрого просіювання ґрунту відзначено, що*

*внесення  $N_{30}P_{34}K_{34} + 15$  т/га гною +  $CaCO_3$  (1,5 Нг) сприяє формуванню більшої суми водостійких агрегатів і коефіцієнта водостійкості за В. В. Медведєвим порівняно з  $N_{65}P_{68}K_{68} + 10$  т/га гною +  $CaCO_3$  (1,0 Нг). На контролі без добрив структурний стан ґрунту відмінний в орному горизонті, проте в підорному показники поступаються мінеральній системі удобрення ( $N_{65}P_{68}K_{68}$ ).*

**Ключові слова:** *структурно-агрегатний склад, ґрунт, горизонт, агрегати, удобрення, коефіцієнт структурності, водостійкість, якісна оцінка.*

**Вступ.** Агрономічна оцінка ґрунтів сільськогосподарських угідь включає в себе дослідження їх агрофізичних властивостей як однієї з важливих складових частин родючості [7]. З витоків ґрунтознавчої науки встановлено, що з агрономічно цінною структурою в ґрунті пов'язані щільність складення, водно-фізичні властивості, повітряний і поживний режими [2, 3, 17]. Сучасні уявлення про структуру ґрунтів та її значення наведено в монографії В. В. Медведєва [6]. У країнах Європи також приділяють велику увагу дослідженню структури ґрунту [18, 20–24].

Структурно-агрегатні частки є унікальним продуктом ґрунтоутворення. Вони слугують середовищем протікання всіх ґрунтових мікропроцесів, які властиві для окремого горизонту або ґрунту загалом. Структура ґрунтів динамічна, має здатність руйнуватися і відновлюватися за впливу природних та антропогенних чинників [16, 18, 21, 29, 30].

В утворенні та формуванні структури ґрунту беруть участь різні біологічні, хімічні, мінеральні сполуки (монтморилоніт, каолініт, вермикуліт та ін.) і гранулометричні частинки [6, 11, 19, 29]. Як свідчать численні дослідження, якісні характеристики агрегатів, встановлені за особливостями їх пористого простору, водо-, механічної стійкості та іншими параметрами, дуже різноманітні в опідзолених, солонцюватих і оглеєних ґрунтах [1, 6, 19, 25, 27, 28].

Ступінь змін структурного стану залежить від стійкості ґрунту до зовнішніх руйнівних сил [3, 2, 4]. Добре структурований ґрунт легше обробляється, він краще утримує вологу, не дає воді надмірно випаровуватися, а ніж такий же тип ґрунту, тільки позбавлений агрономічно цінних структурних частинок [11–13, 26–28, 30].

У ґрунтознавчій науці розрізняють дві властивості ґрунтових агрегатів – зв'язаність і стійкість. Під зв'язаністю розуміють здатність

агрегату протидіяти механічному тиску, а під стійкістю – тривалий час протистояти дії води [10].

Під дією руйнівних сил, які виникають за період обробітку ґрунту, переміщення по полю сільськогосподарської техніки, внаслідок внесення добрив, проведення вапнування, періодичного чергування дощів і сухих періодів структурні агрегати руйнуються, ущільнюється ґрунтовий профіль, ґрунти стають безструктурними.

Чим довший період затоплення, тим менш оструктурений ґрунт [1, 8]. У таких ґрунтах після сильних зливових дощів та високої температури відбувається запливання та утворення шкідливої для рослин і непроникної для повітря ґрунтової кірки. Крім того, дрібнонасінні культури (ріпак, гірчиця та ін.) не можуть з'явитися на поверхню [9, 14, 15, 27–29].

У зв'язку з цим потрібно вивчати структурно-агрегатний стан ґрунту за різного сільськогосподарського навантаження, що дозволить до певної міри по-новому розглядати структуру як один із ключових компонентів ґрунту, ще раз підкреслити агрономічно корисні якості, які вона обумовлює, і відповідно до цього сформулювати вимоги до структурозберігаючих агротехнологій.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили у 2015–2017 рр. на базі тривалого стаціонарного дослідів Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН (с. Оброшине Пустомитівського району Львівської області), закладеного в 1965 р. на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті з різними дозами і співвідношеннями мінеральних добрив, гною і вапна. Схема дослідів: без добрив (контроль) (вар. 1); органо-мінеральна система удобрення на фоні вапнування 1,0 (вар. 7) і 1,5 н (вар. 13)  $\text{CaCO}_3$  за Нг; мінеральна (внесення лише  $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ ) (вар. 15).

Стаціонарний дослід розміщений у просторі на трьох полях з послідовним входженням у сівозміну одного поля. Сівозміна чотириріпільна: кукурудза на силос – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима. Розмір посівної ділянки –  $168 \text{ м}^2$  ( $28 \times 6$ ), облікової –  $100 \text{ м}^2$  ( $25 \times 4$ ). Повторення дослідів – триразове. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна кількість варіантів – 18.

У досліді застосовували середньоперепрілий гній ВРХ на солон'яній підстилиці, аміачну селітру, гранульований суперфосфат, калійну сіль, в останні роки – нітроамофоску. Як вапняковий матеріал вносили вапнякове борошно. Черговий тур вапнування згідно зі схемою дослідів проводили перед початком ІХ ротації сівозміни

(під кукурудзу). Гній (40–60 т/га) вносили під кукурудзу, фосфорні і калійні добрива – восени під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію. Технологія вирощування культур – загальноприйнята для умов зони Західного Лісостепу України.

Орний шар ґрунту потужністю 0–20 см характеризувався такими вихідними (1965 р.) фізико-хімічними та агрохімічними показниками родючості: вміст гумусу 1,41 % (за Тюрнімом), рН<sub>KCl</sub> 4,2, гідролітична кислотність 4,5 мг-екв/100 г ґрунту (за Капшеном), обмінна – 0,6 мг-екв/100 г ґрунту (за Соколовим), вміст рухомого алюмінію (за Соколовим) – 60,0 мг/кг, лужногідролізованого азоту 98,5 мг/кг ґрунту (за Корнфілдом), рухомих фосфатів (за Кірсановим) і обмінного калію (за Масловою) – відповідно 36,0 і 50,0 мг/кг ґрунту.

Проби ґрунту відбирали та готували до аналізу згідно з ДСТУ 4287:2004. Структурно-агрегатний склад визначали в орному та підорному горизонтах ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова (ДСТУ 4744–2007). Оцінку водостійкості макроструктури ґрунту проводили згідно з [10]. Математичну обробку результатів агрегатного аналізу здійснювали за допомогою програм Microsoft Excel і Statistica 10.

**Результати та обговорення.** Встановлено, що у ґрунті без добрив (контроль) (вар. 1) у горизонті HEgl<sub>орн.</sub> за сухого просіювання переважають макроагрегати – часточки розміром більше 10 мм (36,7 %). Серед мезоагрегатів (розмір від 0,25 до 10 мм) переважають грудки розміром 10–7 мм (9,9 %), 5–3 мм (11,4 %) і 2–1 мм (9,4 %), що характеризує структуру орного горизонту як дрібногрудкувату. Кількість агрономічно цінних агрегатів становить 54,7 %, а коефіцієнт структурності – 1,23 одиниці.

У горизонті HEgl<sub>п/орн.</sub> через підвищений вміст макроагрегатів і мікроагрегатів (розмір <0,25 мм) коефіцієнт структурності є низьким і становить всього 0,44. Структура в ньому формується як крупногрудкувата (табл. 1).

За даними мокро́го просіювання, на контролі вміст водостійких агрегатів у горизонтах HEgl<sub>орн.</sub> і HEgl<sub>п/орн.</sub> відповідно становить 63,8 і 47,6 %. Однією з важливих характеристик стійкості структури до руйнівної дії води є коефіцієнт водостійкості В. В. Медведєва, який становить відношення суми агрегатів розміром понад 0,25 мм за мокро́го просіювання до суми агрегатів цього розміру за сухого просіювання [5]. Згідно з цим показником варіант ґрунту без внесення добрив відзначається невисокою (від 1,69 до 0,83) водостійкістю.

Якісна оцінка макроструктури [10] відзначається як відмінна в орному горизонті та добра в підорному (табл. 2).

Порівняно з контролем за органо-мінеральної системи удобрення (10 т/га гною +  $N_{65}P_{68}K_{68}$  +  $CaCO_3$  (1,0 Нг) (вар. 7)) відбулося помітне зростання в структурно-агрегатному складі кількості макроагрегатів (61,6–65,4 %), тобто структура в них характеризується як крупногрудкувата. Позитивним є те, що за результатами сухого просіювання, порівняно з контролем кількість мікроагрегатів знизилася до 4,9 % в орному горизонті та 1,4 % у підорному.

Однак за результатами мокрого просіювання кількість часточок розміром < 0,25 мм зросла від 41,0 до 60,2 %, що свідчить про слабку протидію структури верхніх гумусових горизонтів до зовнішнього впливу води. За таких умов сума агрономічно цінних агрегатів у горизонті  $HEgl_{орн.}$  становить всього 30,8 %, у  $HEgl_{п/орн.}$  – 32,1 %. Коефіцієнт структурності між шарами різниться на 0,2 одиниці, а саме відповідно: 0,47 і 0,49 (табл. 1). Якісна оцінка макроструктури за сумою водостійких агрегатів (59,0–39,8 %) відзначається як добра і задовільна (табл. 2).

Результати сухого просіювання ґрунту свідчать, що органо-мінеральна система удобрення на фоні внесення 1,5  $CaCO_3$  за Нг (вар. 13) сформувала коефіцієнт структурності в горизонтах  $HEgl_{орн.}$  та  $HEgl_{п/орн.}$  відповідно на рівні 0,82 і 0,83 одиниць. У структурному складі переважала брилувата і середньогрудкувата фракції, кількість мікроагрегатів становила 5,6 % для обох горизонтів ґрунту. За результатами мокрого просіювання, вміст мікроагрегатів був низький і знаходився на рівні 18,0 і 15,2 % (табл. 1).

Така система удобрення у згаданих вище дозах сприяла утворенню водостійких агрегатів від 82,0 до 84,8 %. Коефіцієнт водостійкості за В. В. Медведевим був високий (2,54) лише в орному горизонті і дещо занижений (1,42) у підорному. Якісна оцінка за вмістом водостійких (>0,25 мм) агрегатів за цієї системи удобрення відзначається як надмірно висока в обох гумусових горизонтах (табл. 2). На зниження кількості мікроагрегатів і високу водостійкість у цьому випадку вплинуло тривале внесення вапна у дозі 1,5 за Нг, що свідчить про добру цементуючу здатність і структуроутворення в ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті, який буде краще піддаватися обробітку в умовах періодично промивного типу водного режиму.

**1. Агрегатний склад орного та підорного горизонту ясно-сірого лісового поверхнево оглешеного ґрунту за різних систем удобрення та використання у тривалому досліді (2015–2017 рр.)**

Індекс генетичного горизонту	Глибина відбирання проби, см	Розміри агрегатів, мм і їх кількість, %										Сума водостійких агрегатів >0,25 мм, %	Сума агрономічно цінних агрегатів 0,25–10 мм, %	Коефіцієнт стурктуристості	Коефіцієнт водостійкості (за В. В. Медведєвим)
		мезоагрегати						<0,25 (мікроагрегати)							
		>10 (макроагрегати)	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Без добрив (контроль) (вар. 1)															
HEgl <sub>орн.</sub>	0–18	36,7	9,9	7,6	11,4	8,3	9,4	3,2	4,9	8,1	-	54,7	1,23	-	
		-	-	23,8	2,8	2,4	7,0	7,6	20,2	36,2	63,8	-	-	-	1,69
HEgl <sub>п/орн.</sub>	18–33	66,2	6,9	5,5	6,2	4,3	3,6	1,5	2,1	3,4	-	30,1	0,44	-	
		-	-	7,8	1,6	-0,8	4,8	7,8	24,8	52,4	47,6	-	-	-	0,83
N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 10 т/га ґною + СаСО <sub>3</sub> (1,0 Нг) (вар. 7)															
HEgl <sub>орн.</sub>	0–20	61,6	7,0	6,0	6,5	4,0	4,3	1,2	1,8	4,9	-	30,8	0,47	-	
		-	-	21,6	4,2	3,6	6,6	8,6	14,4	41,0	59,0	-	-	-	1,66
HEgl <sub>п/орн.</sub>	20–35	65,4	8,6	6,5	7,0	4,0	4,2	1,0	1,4	1,4	-	32,1	0,49	-	
		-	-	7,0	3,2	2,0	5,4	8,8	13,4	60,2	39,8	-	-	-	0,88

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$N_{30}P_{34}K_{34} + 15 \text{ т/га гною} + CaCO_3 (1,5 \text{ Нг})$ (вар. 13)														
НЕГ <sub>л</sub> орн.	0-18	49,6	10,5	7,7	8,1	6,1	7,3	2,6	3,4	5,6	-	45,7	0,83	-
НЕГ <sub>л</sub> орн.	18-33	-	-	33,2	10,6	7,2	8,0	5,4	17,6	18,0	82,0	-	-	2,54
		49,2	8,5	7,5	8,4	6,0	8,0	2,6	3,9	5,6	-	44,9	0,82	-
		-	-	10,8	7,2	6,4	10,0	14,2	36,2	15,2	84,8	-	-	1,42
$N_{65}P_{68}K_{68}$ (вар. 15)														
НЕГ <sub>л</sub> орн.	0-20	40,0	8,8	7,1	10,7	8,2	9,7	2,5	4,7	7,9	-	51,7	1,08	-
НЕГ <sub>л</sub> орн.	20-30	-	-	19,4	3,4	3,2	8,6	9,4	18,2	37,8	62,2	-	-	1,55
		48,7	9,4	6,7	8,6	6,0	7,2	3,2	5,1	8,0	-	46,2	0,82	-
		-	-	8,2	2,8	3,0	8,2	9,2	25,8	42,8	57,2	-	-	0,99

Примітка: чисельник – сухе просіювання, знаменник – мокре просіювання.

## 2. Оцінка водостійкості макроструктури ясно-сірого лісового поверхнево оглесного ґрунту за різних систем удобрення та використання у тривалому досліді, 2015–2017 рр.

Варіант стаціонарного досліді	Індекс горизонту і глибина, см	Вміст водостійких агрегатів розміром >0,25 мм, %	Якісна оцінка водостійкості макроструктури ґрунту
Без добрив (контроль) (вар. 1)	HEgl <sub>орн.</sub> , 0–18	63,8	відмінна
	HEgl <sub>п/орн.</sub> , 18–33	47,6	добра
N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 10 т/га гною + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Нг) (вар. 7)	HEgl <sub>орн.</sub> , 0–20	59,0	добра
	HEgl <sub>п/орн.</sub> , 20–35	39,8	задовільна
N <sub>30</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + 15 т/га гною + CaCO <sub>3</sub> (1,5 Нг) (вар. 13)	HEgl <sub>орн.</sub> , 0–18	82,0	надмірно висока
	HEgl <sub>п/орн.</sub> , 18–33	84,8	надмірно висока
N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> (вар. 15)	HEgl <sub>орн.</sub> , 0–20	62,2	відмінна
	HEgl <sub>п/орн.</sub> , 20–30	57,2	добра

Дані аналізу структурного стану за сухого просіювання показали, що у варіанті ґрунту тривалого внесення лише N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> (вар. 15) в горизонтах HEgl<sub>орн.</sub> і HEgl<sub>п/орн.</sub> серед мезоагрегатів (10–0,25 мм) переважають грудки розміром 10–7 мм (8,8 %), 5–3 мм (10,7 %) і 2–1 мм (9,7 %), кількість у них брилуватих агрегатів відповідно становить 40,0 і 48,7 %.

За результатами мокрого просіювання у структурному складі горизонтів HEgl<sub>орн.</sub> і HEgl<sub>п/орн.</sub> серед мезоагрегатів переважають грудочки крупної (7–5 мм) і дрібної фракції (2–1, 1–0,5, 0,5–0,25 мм), проте найвищою в них є кількість мікроагрегатів, а саме: 37,8 і 42,8 % (табл. 1).

Сума агрономічно цінних агрегатів у варіанті 15 за коефіцієнта структурності 1,08–0,82 становить 51,7 % в орному і 46,2 % у підорному горизонтах, що характеризує їхню структуру як дрібногрудкувату та порохувато-грудкувату. За якісною оцінкою водостійкості макроструктури за внесення в ґрунт лише N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> орний і підорний горизонти відзначаються відмінним і добрим структурним станом.



**Висновки.** Результати досліджень засвідчили, що на контролі без добрив і за внесення лише  $N_{65}P_{68}K_{68}$  у горизонті  $HEgl_{орн.}$  відзначено зростання коефіцієнта структурності та кількості мезоагрегатів розміром 0,25–10 мм. Спостерігається менша зв'язаність і стійкість структурних агрегатів ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту до руйнівної дії води в горизонті  $HEgl_{п/орн.}$ , за таких умов зростає кількість мікроагрегатів з утворенням дрібногрудкуватої і порохувато-грудкуватої структури.

За органо-мінеральної системи удобрення ( $N_{30}P_{34}K_{34} + 15$  т/га гною +  $1,5 CaCO_3, Hг$ ) відбулося найбільше формування водостійких агрегатів, коефіцієнта структурності та суми агрономічно цінних агрегатів. За цієї системи удобрення коефіцієнт водостійкості знаходився на рівні 2,54 і 1,42, а якісна оцінка водостійкості макроструктури ґрунту відзначається як надмірно висока.

### Список використаної літератури

1. Анциферова О. А., Васильева О. В., Янчевская О. В. Агрегатное состояние почв разной степени гидроморфизма в холмисто-моренных агроландшафтах. *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2015. № 39. С. 118–127.
2. Данилова В. И. Изменение структурного состояния почв при уплотнении и саморазуплотнении. *Почвоведение*. 1996. № 10. С. 1203–1212.
3. Качинский Н. А. Физика почвы : в 2 ч. Москва, 1965. Ч. 1. 324 с.
4. Медведев В. В., Цибулько В. Г. Зміни фізичних властивостей орного шару ґрунту залежно від питомого тиску сільськогосподарських машин (за даними модельного дослідю). *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1978. Вип. 35. С. 48–53.
5. Медведев В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва : Агропромиздат, 1988. 160 с.
6. Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков : 13 типография, 2008. 406 с.
7. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. Москва : Изд-во ФГНУ «Росинформрагротех», 2003. 240 с.

8. Методы количественной диагностики степени гидроморфизма черноземовидных почв: (на примере почв севера Тамбовской равнины) / Ф. Р. Зайдельман и др. *Вестник Московского университета. Сер. 17, Почвоведение*. 2012. № 1. С. 11–17.

9. Муха В. Д., Картамьшев Н. И., Муха Д. В. *Агропочвоведение*. Москва : КолосС, 2004. 528 с.

10. Папіш І. Я. Практикум з фізики ґрунтів : у 2 частинах. Львів : Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2001. Ч. 1 : Фізика твердої фази. 95 с.

11. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник : у двох частинах. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. Ч. 1. 270 с.

12. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник : у двох частинах. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. Ч. 2. 286 с.

13. Почва в современном мире / Л. О. Карпачевский и др. Москва : Полиграф-ЮГ Майкоп, 2008. С. 64.

14. Структурно-агрегатний стан ясно-сірого лісового поверхнево оглееного ґрунту за різних систем його використання / М. А. Ткаченко та ін. *Землеробство*. 2016. Вип. 1. С. 25–31.

15. Ткаченко М. А. Відтворення родючості сірих лісових ґрунтів за різних систем удобрення та хімічної меліорації у Правобережному Лісостепу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук : спец. 06.01.03 “Агроґрунтознавство і агрофізика”. Київ, 2015. 46 с.

16. Хан К. Ю., Поздняков А. И., Сон Б. К. Строение и устойчивость почвенных агрегатов. *Почвоведение*. 2007. № 4. С. 450–456.

17. Шеин Е. В., Гончаров В. М. Агрофізика. Ростов-на-Дону, 2006. 400 с.

18. Bronick C. J., Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 2005. Vol. 124. P. 3–22.

19. Bruns M. A., Byrne L. B. Scale model of a soil aggregate and associated organisms: A teaching tool for soil ecology. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 2004. Vol. 33. P. 85–91.

20. Cockroft B., Olsson K. A. Degradation of soil structure due to coalescence of aggregates in no-till, no-traffic beds in irrigated crops. *Aust. J. Soil Res.* 2000. Vol. 38. P. 61–70.

21. El Shafee O., Abdoun T., Zeghal M. Centrifuge modeling and analysis of soil structure interaction under biaxial dynamic excitations. *Geotechnical Special Publication*. 2017. Vol. 281. P. 37–47.

22. Evolution of unsaturated hydraulic conductivity of aggregated soils due to compressive forces / Berli M. et al. *Water Resour. Res.* 2008. Vol. 44. P. 1–11.

23. Hallett P., Mooney S., Whalley R. Soil physics: New approaches and emerging challenges. *European Journal of Soil Science*. 2013. Vol. 64 (3). P. 277–278.

24. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution / Naveed M. et al. *Geoderma*. 2014. Vol. 217/218. P. 181–189.

25. Nichols K. A., Samson-Liebig S. An inexpensive and simple method to demonstrate soil quality parameters. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*. 2011. Vol. 40. P. 51–57.

26. Nichols K. A., Toro M. A new index for measuring whole soil stability. *Soil and Tillage Research*. 2010. Vol. 111 (2). P. 99–104.

27. Palmer M. Tactile pressure sensors for soil-structure interaction assessment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2009. Vol. 135 (11). P. 1638–1645.

28. Peng X., Horn R., Hallett P. Soil structure and its functions in ecosystems: Phase matter and scale matter. *Soil and Tillage Research*. 2015. Vol. 146. P. 1–3.

29. Sáez E., Lopez-Caballero F., Modaressi-Farahmand-Razavi A. Inelastic dynamic soil-structure interaction effects on moment-resisting frame buildings. *Engineering Structures*. 2013. Vol. 51. P. 166–177.

30. Shake table test of soil-pile groups-bridge structure interaction in liquefiable ground / Tang L. et al. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 2010. Vol. 9, № 1. P. 39–50.

Отримано 25.02.2019