



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 635-151:635-18

© 2023

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ НА СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ БУРЯКУ ЦУКРОВОГО

Ю.М. Сиром'ятников

кандидат технічних наук

Інститут овочівництва і баштанництва НААН

вул. Інститутська, 1, с. Селекційне Харківського р-ну Харківської обл., 62478, Україна

e-mail: gara176@btu.kharkov.ua; ORCID: 0000-0001-9502-626X

Надійшла 10.07.2023

Мета. Визначити, як застосування різних поєднань елементів агротехнологій впливає на зміну властивостей чорнозему типового під час вирощування буряку цукрового. **Методи.** Застосовували дві сівозміни та два способи обробки ґрунту, а саме оранку на глибину 30–35 см плугом ПЛН-5-35 і використання ґрунтообробної розпушувально-сепарувальної машини «Докучаєвська» ПРСМ-5 (стратифікатор) з глибиною обробки ґрунту 12–15 см, без обороту скиби. Схема дослідів включає варіанти з мінеральними та органічними добривами. Для визначення структурно-агрегатного складу ґрунту використовували метод просіювання його на ситах, ґрунт зважували та обчислювали відносну масу кожної фракції, визначали коефіцієнт структурності ґрунту. **Результати.** В умовах використання мінеральної системи живлення коефіцієнт структурності не зазнавав істотних змін порівняно з контрольним варіантом незалежно від виду сівозміни та способу обробки ґрунту. У разі внесення 70 т/га органічних добрив спостерігали значне – до 3,7–4,1 одиниці – поліпшення структурності навіть у верхньому шарі орного горизонту ґрунту, а в разі глибокої відвальної його обробки – до 5,0–5,4 одиниці. Зі збільшенням глибини обробки коефіцієнт структурності помітно зростає, досягаючи значень 5,1–5,5 у плодозмінній сівозміні та 4,8–5,0 – у зернопросапній. Одночасне внесення органічних та мінеральних добрив дає змогу збільшити коефіцієнт структурності до 3,9–5,4 зі збереженням тенденції до кращої структурованості в середній частині орного горизонту ґрунту. **Висновки.** На підставі результатів аналізу змін структурного стану чорнозему під впливом диференціації системи живлення буряку цукрового в різних сівозмінах дійшли висновку про гарний загальний стан ґрунту.

Ключові слова: чорнозем, буряк цукровий, структурний склад, розпушувально-сепарувальна машина, удобрення, обертання скиби, деградація, сівозміна.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08>

Родючість українських ґрунтів є результатом їхнього багаторічного генетичного розвитку, впливу низки природних та антропогенних чинників [1]. Ґрунти деградують через недостатні заходи з охорони, відсутність чіткої політики землекористування та незавершеність програм покращення стану земель і догляду за ними. Понад 60% ґрунтів України становлять потужні родючі чорноземи, з яких понад 75% перебувають в обробці [2].

З 80-х років ХХ ст. вміст гумусу в українських ґрунтах знизився в середньому на 400 кг/га. Основною причиною втрати гумусового шару в українському степу є ерозія ґрунту. На жаль, на кінець ХХ ст. вміст гумусу в найбагатших ґрунтах країни не перевищував 5–6%, а його середня кількість оцінювалась у 3,2% [3, 4].

Деякі технології ведення сільського господарства показали, що за кліматичних умов, характерних для українського лісостепу, можна досягти уповільнення втрат ґрунтового органічного вуглецю і навіть зберегти його існуючі рівні [5]. Незалежно від способів обробки ґрунту без внесення мінеральних чи органічних добрив вміст гумусу поступово знижується [6]. Внесення органічних та органо-мінеральних добрив сприяє збільшенню чисельності мікроорганізмів, що беруть участь у синтезі гумусових речовин [7]. Для підтримки високої біохімічної активності ґрунтів та їх біогенних властивостей, а отже, і для отримання стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, рекомендується поєднане внесення органічних та мінеральних добрив [8, 9]. Розкладання неспецифічних органічних сполук і синтез гумусових речовин прискорює систематичне внесення гною [10, 11].

Поширена думка стосовно того, що обробіток ґрунту покращує його властивості та підвищує продуктивність, все частіше викликає питання. Важливий чинник, що здійснює деградуючий вплив на властивості ґрунтів усіх видів, — інтенсивне ущільнення машинними колесами та ґрунтообробними знаряддями [12, 13]. Доведено, що агротехнічні заходи, пов'язані з обробітком ґрунту, можуть завдати такої шкоди, як деградація верхніх гумусових шарів [14, 15]. Оскільки у ґрунти, багаті на природний гумус, вносять переважно мінеральні добрива, це також

призводить до зменшення вмісту гумусу, погіршення якості гумінових речовин та їх сполук. Такий стан зазвичай визначають як процес деградації [16, 17].

Ущільнення ґрунту визнано серйозною фізичною загрозою його родючості в усьому світі. Збільшення обсягів використання важкої техніки стало основною причиною забруднення та переущільнення ґрунту. Особливо сильне ущільнення відбувається, коли комбайни та транспортні засоби працюють в умовах високої вологості ґрунту [18, 19]. Йдеться насамперед про збирання коренеплодів восени [20, 21].

Зміни у структурі заповнення пор у разі переущільнення ґрунту впливають на його характеристики, зокрема на міцність, повітро- та теплообмін. Ефекти переущільнення ґрунту мають тривалий чи навіть постійний характер, особливо у ґрунтах із низьким вмістом глини [22, 23]. Ці зміни сильно впливають на ріст і функції коренів, знижують врожайність сільськогосподарських культур [24].

Роль ґрунтової структури у створенні сприятливого водно-повітряного режиму у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу загальновідома: чим більше у них структурних агрегатів агрономічно цінної крупності — від 10,0 до 0,25 мм, досить пористих і водостійких, — тим більшою мірою такі ґрунти здатні поглинати та зберігати вологу атмосферних опадів і більш економно її використовувати. Чим більшою мірою ґрунт здатний чинити опір ерозії, тим вище, зрештою, його родючість [25, 26]. Та попри це наше уявлення про агрономічно цінну будову ґрунту недостатньо повне. Є дані про оптимальні розміри структурних агрегатів, їх вплив на ефективність використання рослинами ґрунтової вологи та елементів живлення [27, 28]. Також відомі вимоги до оптимальних для польових культур розмірів агрономічно цінних грудочок ґрунту, або, інакше кажучи, до якості підготовки насінневого шару під час передпосівної обробки. Зокрема, в застосовуваних у сільському господарстві методиках враховується та обставина, що у шарі, який реально обробляється, наявні не окремі агрегати, а складні поєднання (суміші) структур різного розміру [29, 30].

Інтенсивні технології землеробства різних рівнів та пов'язаний із ними діапазон польових робіт створюють сприятливі для досліджень можливості. Аналіз структури ґрунту при вирощуванні буряку цукрового міг би розширити наведену вище інформацію, поглибити інтерпретацію та розуміння процесів, що відбуваються у ґрунті.

Мета досліджень — виявити, як застосування різних поєднань елементів агротехнологій впливає на зміну фізичного стану чорнозему типового при вирощуванні буряку цукрового.

Матеріали і методи досліджень. Місце проведення досліджень — Навчально-дослідне господарство ХНТУСГ ім. Петра Василенка у Харківському р-ні Харківської обл. Використовували дослідне поле «Центральне» загальною площею 280 га. Природно-кліматична зона — Лісостеп; агроґрунтова провінція — Лісостеп лівобережний високий. Географічні координати: широта — 49°51'24" пн. ш., довгота — 36°05'01" сх. д.

16 варіантів багатофакторного польового досліді включали контроль без добрив, мінеральну систему живлення (170_{NPK}), органічну (70 т/га гною) і органо-мінеральну в 5-пільній плодозмінній і зернопросапній сівозмінах на тлі оранки і обробки ґрунту стратифікатором. Ґрунт дослідного поля на початку закладання стаціонарного досліді представлений чорноземом типовим малогумусним важкосуглинковим на лесовидному суглинку, з умістом гумусу в орному шарі 3,89%, нітратного азоту — 23,5 мг/кг, легкогідролізованого азоту — 135 мг/кг, рухомого фосфору — 47–56 мг, обмінного калію — 90–120 мг/кг ґрунту. Лужність рН суспензії, приготованої при додаванні для навішування матеріалу молярного розчину хлориду калію, становила 5,6–6,5.

Повторність варіантів досліді була 3-кратною. Розмір дослідної ділянки становив 40 м², а облікової ділянки — 28 м². Добрива вносили вручну під усі культури перед основним обробітком ґрунту. Застосовували дві сівозміни з таким чергуванням культур:

1) зернопросапна — горох, пшениця озима, буряк цукровий, ячмінь, кукурудза на зерно;

2) плодозмінна — люцерна 1-го року, люцерна — 2-го року, пшениця озима, буряк цукровий, ячмінь + багаторічні трави.

Загалом застосовували два способи основного обробітку ґрунту (чинник А): оранка на глибину 30–35 см плугом ПЛН-5-35; обробіток ґрунтообробною розпушувально-сепарувальною машиною «Докучаївська» ПРСМ-5 (стратифікатор) [31, 32] на глибину 12–15 см, без обертання скиби ґрунту.

Ось як працює машина. Під час руху полем лемеші піднімають скибу ґрунту, і вона, переміщуючись вздовж поверхні лемеша і прутів сепаруючої решітки, кришиться таким чином, що дрібногрудкувата фракція проходить крізь решітку, формуючи насінний підшар ґрунту. Формування насінневого шару відбувається під впливом на скибу розпушувачів ротора, які кришать і розпушують ґрунт, переміщуючи його вздовж сепаруючої решітки. Великогрудкувата фракція з окремостями розміром не більш як 20 мм йде сходом з решітки, утворюючи наднасінний підшар з параметрами, що відповідають оптимальному водно-повітряному режиму. Водночас розпушувачі ротора, взаємодіючи з ґрунтом, вичісують із нього бур'яни, не порушуючи їх цілісності, і транспортують їх на поверхню ґрунту. У підсумку відбувається сепарація оброблюваного шару ґрунту, розшарування його за структурним складом, знищення бур'янів завдяки механічному вичісуванню їх з оброблюваного шару, а на поверхні утворюється мульчований шар.

Схема проведення досліді з буряком цукровим (табл. 1) включає варіанти з мінеральними та органічними добривами (чинник В): контрольний варіант (без добрив), варіант із мінеральною системою живлення ($N_{170} P_{170} K_{170}$), варіант з органічною системою живлення (гній 70 т/га), органо-мінеральна система живлення ($N_{170} P_{170} K_{170} + 70$ т/га гною). У досліді використовували напівперепрілий гній.

Структурно-агрегатний склад ґрунту визначали із застосуванням модифікованого методу Н.І. Саввінова (DSTU 4744:2007, 2008). Структурний стан ґрунту за вмістом повітряно-сухих агрономічно цінних агрегатів оцінювали за шкалою С.І. Долгова та П.У. Бахтіна. При цьому проба ґрунту масою

1. План польового багатofакторного досліджу

Чинник	Сівозміна			
	плодозмінна		зернопросапна	
А	ПРСМ-5	ПЛН-5-35	ПРСМ-5	ПЛН-5-35
В	Без добрив	Без добрив	Без добрив	Без добрив
	$N_{170}P_{170}K_{170}$	$N_{170}P_{170}K_{170}$	$N_{170}P_{170}K_{170}$	$N_{170}P_{170}K_{170}$
	Гній — 70 т/га	Гній — 70 т/га	Гній — 70 т/га	Гній — 70 т/га
	$N_{170}P_{170}K_{170} +$ + 70 т/га гною	$N_{170}P_{170}K_{170} +$ + 70 т/га гною	$N_{170}P_{170}K_{170} +$ + 70 т/га гною	$N_{170}P_{170}K_{170} +$ + 70 т/га гною

не менше 2,5 кг бралася у 3-кратній повторності, доводилася до повітряно-сухого стану та просювалася через сита з різним діаметром вічок в результаті їх похитування. Залишений на кожному із сит ґрунт зважували, визначали відносну масу кожної фракції.

Коефіцієнт структурності ґрунту обчислювали за формулою:

$$K_{\text{стр}} = \frac{K_{10-0,25}}{K_{>10} + K_{<0,25}},$$

де $K_{10-0,25}$ — вміст у пробі ґрунту агрономічно цінних фракцій, %; $K_{>10}$, $K_{<0,25}$ — вміст у пробі ґрунту фракцій розміром менше 10 мм і понад 0,25 мм відповідно, %.

Зразки ґрунту відбирали згідно з DSTU 4287:2004 з глибин 0–10 см, 10–20 та 20–30 см. Терміни відбору зразків відповідають періоду утворення у буряку цукровому 4–6 листків та збігаються з активним розвитком його кореневої системи, закладенням та початком формування коренеплодів (середина травня).

Результати досліджень. Однією з основних характеристик будь-якого ґрунту, є його здатність зберігати в процесі вегетації культурних рослин оптимальний структурний стан, що визначається вмістом агрономічно цінних ґрунтових агрегатів, глибинної та пилуватої фракції. Цей показник

2. Коефіцієнт структурності ґрунту в посівах буряку цукрового залежно від технологічних заходів (середнє за 2019–2021 рр.)

Варіант досліджу	Шар ґрунту, см	Сівозміна			
		плодозмінна		зернопросапна	
		ПЛН-5-35	ПРСМ-5	ПЛН-5-35	ПРСМ-5
Без добрив	0–10	2,7	2,5	2,4	2,4
	10–20	3,5	3,4	3,3	3,2
	20–30	3,3	3,0	2,8	2,6
$N_{170}P_{170}K_{170}$	0–10	2,8	2,7	2,5	2,6
	10–20	3,2	3,6	3,3	3,3
	20–30	3,4	3,1	2,8	3,0
70 т/га гною	0–10	4,1	3,7	3,9	3,7
	10–20	5,1	5,5	5,0	4,8
	20–30	5,3	4,7	5,4	5,0
70 т/га гною + $N_{170}P_{170}K_{170}$	0–10	4,3	3,9	4,1	3,9
	10–20	5,1	5,4	4,9	4,5
	20–30	4,8	4,6	5,1	4,9
НСР ₀₅ (чинник А)		0,14	0,16	0,12	0,11
НСР ₀₅ (чинник В)		0,21		0,18	

характеризується коефіцієнтом структурності та свідчить про стійкість ґрунтового профілю до впливів антропогенного характеру при вирощуванні культур в експериментальних сівозмiнах. Автором цей показник проаналізовано в період вегетації буряку цукрового за різних умов його обробітку.

Як свідчать дані табл. 2, коефіцієнт структурності шарів ґрунту у контрольному варіанті (без внесення добрив) за глибокої полицевої обробки ґрунту мав більш високі значення в шарі 10–20 см — становив 3,5 одиниці. З поглибленням профілю його величина знижувалася, щоправда, не критично. Середнє за роки дослідження значення коефіцієнта структурності становило 3,3. У верхньому шарі, до 10 см, відзначалося зниження коефіцієнта структурності ґрунту до 2,4–2,7 одиниці з найвищими значеннями у разі сівозміни з багаторічними травами.

В умовах використання мінеральної системи добрива коефіцієнт структурності змінювався неістотно порівняно з контролем, незалежно від виду сівозміни та способу основного обробітку ґрунту.

У разі введення в технологію вирощування буряку цукрового органічних добрив у вигляді напівперепрілого гною за умови глибокої полицевої обробки спостерігається значне збільшення структурності навіть у верхньому шарі орного горизонту ґрунту — до величин 3,7–4,1. Зі збільшенням глибини обробки коефіцієнт структурності помітно зростає, досягаючи значень 5,1–5,5 у плодозмінній сівозміні та 4,8–5,0 — у зернопросапній. У нижньому шарі орного горизонту ґрунту, тобто на глибині 20–30 см, зазначена тенденція зберігається за деякого вирівнювання значень по сівозмінах, що вивчалися. Очевидно, це можна пояснити перемішуванням ґрунту з великою масою органічної речовини, яка має у своєму складі соломисту фракцію зі щільністю, що не перевищує 1 г/см³.

Такий агрохімічний прийом, як спільне внесення органічних і мінеральних добрив,

дав змогу досягти певної стабілізації структурного стану чорнозему. Значення коефіцієнта структурності знизилися у варіанті з внесенням лише органіки, проте залишалися на досить високому рівні, 3,9–5,4 одиниці, зі збереженням тенденції до кращої структурованості в середній частині орного горизонту ґрунту.

У результатах дослідження добре простежується залежність продуктивності культури від кількості добрив та їх виду. У разі внесення лише мінеральних добрив урожайність буряку цукрового становила 58,88–64,70 т/га, що на 18,55–24,85 т/га більше, ніж у варіанті з внесенням гною (39,83–42,60 т/га), незалежно від способу основної обробки ґрунту та сівозміни. За використання гною врожайність збільшилась на 11,83–14,27 т/га, або на 42–50%, а за застосування мінеральних добрив — на 33,17–36,74 т/га, або на 128–130%.

Застосування орґано-мінеральної системи живлення дало змогу довести врожайність буряків цукрових до 61,76–65,50 т/га за використання оранки, що на 37,07–37,55 т/га, або на 133–150%, більше, ніж у варіанті без застосування добрив, і до 63,44–65,32 т/га — за обробітку ґрунту стратифікатором, а це на 37,00–37,73 т/га, або на 130–146%, більше, ніж у контрольному варіанті.

Наявність багаторічних зернобобових трав у плодозмінній сівозміні позитивно вплинула на врожайність коренеплодів буряку цукрового — врожайність становила 27,94 та 28,32 т/га відповідно при оранці та обробітку ґрунту стратифікатором без додаткового внесення добрив.

За плодозмінної сівозміни врожайність у разі проведення оранки та застосування при оранці орґано-мінеральної системи живлення достовірно, а саме на 3,76 т/га (НСР_{0,5} — 3,50) вища, ніж за зернопросапної сівозміни, а у разі обробки стратифікатором — на 1,87 т/га (НСР_{0,5} — 2, 73).

Висновки

Аналіз змін структурного стану чорнозему типового, які відбулися під впливом диференціації системи живлення буряку цукрового, що обробляється у різних

сівозмінах, свідчить про гарний загальний стан орних ґрунтів за цим показником. Аналіз структурних окремоостей свідчить про незначну кількість глибинної фракції.

Майже вся частина ґрунту, що не входить до агрономічно цінного агрегатного асортименту, представлена пилуватою фракцією, яка, хоча й не враховується при визначенні коефіцієнта структурності,

суттєво впливає на підвищення ролі ґрунтових колоїдів, сприяє зростанню поглинальної здатності ґрунту за рахунок значного збільшення площі поверхні ґрунтових агрегатів.

Syromiatnykov Yu.

Institute of vegetable growing and melon growing of NAAS, 1 Instytutska Str., vil. Seleksiine, Kharkiv district, Kharkiv oblast, 62478, Ukraine; e-mail: gara176@btu.kharkov.ua; ORCID: 0000-0001-9502-626X

The influence of technological measures on the structural and aggregate composition of the soil during the cultivation of sugar beet

Goal. To determine how the application of various combinations of elements of agricultural technologies affects the change in the properties of typical chernozem during the cultivation of sugar beet. **Methods.** Two crop rotations and two methods of soil cultivation were used, namely, plowing to a depth of 30–35 cm with a PLN535 plow, and the use of a soil cultivation loosening-and-separating machine “Dokuchaievsk” PRSM5 (stratifier) with a depth of soil cultivation of 12–15 cm, without turning the soil layer. The scheme of the experiment included variants with mineral and organic fertilizers. To determine the structural-aggregate composition of the soil, the method of sifting it on sieves was used, the soil was weighed, the relative mass of each fraction was calculated, and the coefficient of soil structure was determined. **Results.** Under

the conditions of using the mineral nutrition system, the structural coefficient did not undergo significant changes compared to the control variant, regardless of the type of crop rotation and the method of soil cultivation. In the case of applying 70 t/ha of organic fertilizers, a significant improvement in structure was observed — up to 3.7–4.1 units — even in the upper layer of the arable soil horizon, and in the case of deep fallow treatment — up to 5.0–5.4 units. As the processing depth increased, the structure factor increased significantly, reaching values of 5.1–5.5 in fruit crop rotation and 4.8–5.0 in grain rotation. The simultaneous application of organic and mineral fertilizers made it possible to increase the coefficient of structure up to 3.9–5.4 units while preserving the tendency to better structure in the middle part of the arable soil horizon. **Conclusions.** Based on the results of the analysis of changes in the structural state of chernozem under the influence of the differentiation of the sugar beet nutrition system in different crop rotations, it was concluded that the soil was in good general condition.

Key words: chernozem, sugar beet, structural composition, loosening and separating machine, fertilizer, crop rotation, degradation, crop rotation.
DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08>

Бібліографія

1. Slowinska-Jurkiewicz A., Bryk M., Medvedev V. V. Long-term organic fertilization effect on chernozem structure. *International Agrophysics*. 2013. V. 27. N 1. doi: 10.2478/v10247-012-0071-1
2. Medvedev V.V., Plisko I.V., Bigun O.N. Comparative characterization of the optimum and actual parameters of Ukrainian chernozems. *Eurasian soil science*. 2014. V. 47. N 10. P. 1044–1057. doi: 10.1134/S106422931410007X
3. Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Strachuk N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *J. of Water and Land Development*. 2021. N 50. P. 10–26. doi: 10.24425/jwld.2021.138156
4. Baliuk S.A., Medvediev V.V., Kucher A.V. et al. Control over organic carbon of soil in a context of food safety and climate fluctuation. *Bulletin of Agricultural Science*. 2017. N 9. P. 11–18.
5. Lisetskii F. Estimates of soil renewal rates: applications for anti-erosion arrangement of the agricultural landscape. *Geosciences*. 2019. V. 9. N 6. P. 266. doi: 10.3390/geosciences9060266
6. Boincean B., Dent D., Boincean B., Dent D. Tillage and Conservation Agriculture. *Farming the Black Earth: Sustainable and Climate-Smart Management of Chernozem Soils*. 2019. P. 125–149. doi: 10.1007/978-3-030-22533-9_6
7. Pekcan T., Turan H.S. Importance of organomineral fertilizers in agriculture. *Agricultural researches resourcebook*. Turkey: Iksad Publishing House. 2021. P. 243–274.
8. Iqbal A., Tang X., Ali I. et al. Integrating low levels of organic fertilizer improves soil fertility and rice yields in paddy fields by influencing microbial communities without increasing CH₄ emissions. *Applied Soil Ecology*. 2023. V. 189. P. 104951. doi: 10.1016/j.apsoil.2023.104951
9. Latkovic D., Maksimovic J., Dinic Z. et al. Case study upon foliar application of biofertilizers affecting microbial biomass and enzyme activity in soil and yield related properties of maize and wheat grains. *Biology*. 2020. V. 9. N 12. P. 452. doi: 10.3390/biology9120452
10. Guo X.X., Liu H.T., Wu S.B. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and

agronomic functions. *Science of the total environment*. 2019. V. 662. P. 501–510. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.137

11. Chen L., Chen Y., Li Y. et al. Improving the humification by additives during composting: A review. *Waste Management*. 2023. V. 158. P. 93–106. doi: 10.1016/j.wasman.2022.12.040

12. Syromyatnikov Y.N. Ways to Reduce the Specific Pressure of Wheeled Thrusters on the Soil. *Agriculture*. 2017. N 4. P. 95–103. doi: 10.7256/2453-8809.2017.4.26797

13. Mileusnić Z.I., Sajnikov E., Radojević R.L., Petrović D.V. Soil compaction due to agricultural machinery impact. *J. of Terramechanics*. 2022. N 100. P. 51–60. doi: 10.1016/j.jterra.2021.12.002

14. Hussain S., Hussain S., Guo R. et al. Carbon sequestration to avoid soil degradation: A review on the role of conservation tillage. *Plants*. 2021. V. 10. N 10. P. 2001. doi: 10.3390/plants10102001

15. Bokova A.I., Panina K.S., Dridiger V.K. et al. Soil-dwelling springtails as indicators of the efficiency of No-till technologies with different amounts of mineral fertilizers in the crop rotation on chernozem soils. *Soil and Tillage Research*. 2023. Is. 232. P. 105–760. doi: 10.1016/j.still.2023.105760

16. Lodygin E., Shamrikova E., Kubik O. et al. The Role of Organic and Mineral Fertilization in Maintaining Fertility and Productivity of Cryolithozone Soils. *Agronomy*. 2023. V. 13. N 5. P. 1384. doi: 10.3390/agronomy13051384

17. Myalkovsky R., Pantsyreva H. The use of digestate for the development of organic agricultural production. *Agro-ecological potential of soil cover of Vinnytsia region: scientific monograph*. Riga: Baltija Publishing, 2023. P. 72–90. doi: org/10.30525/978-9934-26-290-6-4

18. Augustin K., Kuhwald M., Brunotte J., Duttmann R. Wheel load and wheel pass frequency as indicators for soil compaction risk: A four-year analysis of traffic intensity at field scale. *Geosciences*. 2020. V. 10. N 8. P. 292. doi: 10.3390/geosciences10080292

19. McPhee J.E., Antille D.L., Tullberg J.N. et al. Managing soil compaction – A choice of low-mass autonomous vehicles or controlled traffic? *Biosystems Engineering*. 2020. V. 195. P. 227–241. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2020.05.006

20. Daigh A.L., Bly A. Compaction reaction: soil compaction and ruts following a wet harvest. *Crops&Soils*. 2020. V. 53. N 3. P. 24–28. doi: 10.1002/crso.20029

21. Kuhwald M., Hamer W.B., Brunotte J., Duttmann R. Soil penetration resistance after one-time inversion tillage: a spatio-temporal analysis at the field scale. *Land*. 2020. V. 9. N 12. P. 482.

22. Eden M., Bachmann J., Cavalaris C. et al.

Soil structure of a clay loam as affected by long-term tillage and residue management. *Soil and Tillage Research*. 2020. Is. 204. P. 104–734. doi: 10.1016/j.still.2020.104734

23. Lima R.P., Rolim M.M., Toledo M.P. et al. Texture and degree of compactness effect on the pore size distribution in weathered tropical soils. *Soil and Tillage Research*. 2022. Is. 215. P. 105–215. doi: 10.1016/j.still.2021.105215

24. Piccoli I., Seehusen T., Bussell J. et al. Opportunities for mitigating soil compaction in Europe — Case studies from the soilcare project using soil-improving cropping systems. *Land*. 2022. V. 11. N 2. P. 223. doi: 10.3390/land11020223

25. Ma L., Wang Q., Shen S. et al. Heterogeneity of soil structure and fertility during desertification of alpine grassland in northwest Sichuan. *Ecosphere*. 2020. V. 11. N 7. P. e03161. doi: org/10.1002/ecs2.3161

26. Kobierski M., Lemanowicz J., Wojewódzki P., Kondratowicz-Maciejewska K. The effect of organic and conventional farming systems with different tillage on soil properties and enzymatic activity. *Agronomy*. 2020. V. 10. N 11. P. 1809. doi: 10.3390/agronomy10111809

27. Rivier P.A., Jamniczky D., Nemes A. et al. Short-term effects of compost amendments to soil on soil structure, hydraulic properties, and water regime. *J. of Hydrology and Hydromechanics*. 2022. V. 70. N 1. P. 74–88. doi: 10.2478/johh-2022-0004

28. Hartmann M., Six J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023. V. 4. N 1. P. 4–18. doi: 10.1038/s43017-022-00366-w

29. Syromyatnikov Y., Syromyatnikov P., Sementso V. et al. The quality indicators of a stratifier growing machine with a ripping-separating device in beet growing. *Engineering of nature management*. 2022. V. 1. Is. 23. P. 133–139. doi: 10.5281/zenodo.6824187

30. Kuts O., Kokoiko V., Paramonova T. et al. Influence of the fertiliser system on the soil nutrient regime and onion productivity. *Plant & Soil Science*. 2022. V. 13. N 4. P. 16. doi: 10.31548/agr.13(4).2022.17–26

31. Pashchenko V., Syromyatnikov Y., Khramov N. Qualitative performance indicators of a ripping-and-separating machine for soil cultivation in the growth of sugar beet. *Vegetable and Melon Growing*. 2019. V. 65. P. 39–49. doi: 10.32717/0131-0062-2019-65-39-49

32. Pashchenko V., Syromyatnikov Y., Khramov N. Soil-cultivating setting a flexible working organ to control of weeds growth. *Vegetable and Melon Growing*. 2018. V. 64. P. 33–43. doi: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43