

УДК 635.15:631.5

DOI: 10.37128/2707-5826-2023-3-3

**ВПЛИВ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЗА
ПРОМІЖНОГО (СИДЕРАЛЬНОГО)
ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ НА
СТРУКТУРУ ҐРУНТУ**

Я.Г. ЦИЦЮРА, кандидат с.-г. наук,
доцент

О.М. ЛІРА, студент

Вінницький національний аграрний
університет

Представлено результати трьохрічного циклу вивчення впливу проміжної сидерації із застосуванням редьки олійної на формування базових показників структури сірого лісового ґрунту у співставленні до контролю без сидерації.

Проаналізовано, на підставі оцінки гідротермічного режиму період липня–жовтня можливість використання редьки олійної для проміжного літнього варіанту сидерації та додатково оцінено у загальному як продуктивність формування врожаю її листостеблової маси, так і загальний морфологічний розвиток кореневої системи рослин, який є одним із головних критеріїв ефективного застосування сидерації з огляду на оптимізацію гранулометричного складу ґрунтового профілю або ж кореневмісної його частини.

Адаптовано для оцінки основних та додаткових параметрів оцінки структурного стану ґрунту застосування двох пакетів програм FijiImageJ2, та BaseGrain для візуалізації дослідних даних та формування морфометричної бази показників на підставі аналізу зображень ґрунту із різних варіантів.

Наведено результати візуалізації системи 3D відображення ґрунтового профілю з огляду на різні варіанти дослідів та оцінено можливість їх використання у приміненні до напрямку вивчення властивостей ґрунту та особливостей формування його режимів на підставі комплексу властивостей.

Застосовано нетрадиційні показники (ступінь подрібнення ґрунту D_c та коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів (GS_d)) для поглибленого вивчення застосованого варіанту сидерації у співставленні до контролю на підставі усереднення їх розміру та застосування відсоткового порогового аналізу з огляду на рекомендовані оптимальні інтервали співвідношення окремих фракцій ґрунтових часток у загальній їх сукупності. Визначено інтервали варіювання морфометрії ґрунтових агрегатів за різних технологічних варіантів допосівного використання ґрунту. Зроблено оцінку отриманих результатів з позиції впливу проміжної сидерації на такі показники як оптимізації умов обробітку ґрунту, поліпшення його агрономічно цінної структури, зміну динаміки фракційного складу тощо.

Доведено ефективність застосування проміжної сидерації при застосування літніх проміжних посівів редьки олійної за рахунок збільшення коефіцієнту структурності ґрунту (K_s) при одночасному зниженні коефіцієнту різнозернистості структурних агрегатів ґрунту (GS_d) і загального варіювання їх розміру (за коефіцієнтом варіації C_v).

Ключові слова: редька олійна, сидерати, структура ґрунту, гранулометричний склад, обробіток ґрунту.

Табл. 2. Рис. 7. Літ. 15.

Постановка проблеми. Переуцільнення ґрунтів та зниження показника їх структурності є вкрай негативною тенденцією для ґрунтового покриву України. Відмічається, що від переуцільнення ґрунтів та розвитку процесів формування безструктурного агрегатного стану властиве для переважної більшості орних земель. Відмічається [1], що фізична деградація ґрунтів, як наслідок їхнього інтенсивного механічного обробітку та зниження вмісту органічної речовини,

практично охопила всю ріллю України. Вона проявляється у знеструктуренні верхнього шару, брилистості після оранки, запливанні й кіркоутворенні, наявності плужної підшви, переуцільненні підорного і більш глибоких шарів. Фізично деградовані ґрунти уразливі до ерозії, вони гірше вбирають і утримують атмосферну вологу, а також обмежують розвиток кореневих систем рослин.

На сьогодні реальна небезпека втрати агрономічноцінної структури ґрунтів тенденційно властива ґрунтам України на площі 22 млн. га [1]. Вчені підрахували, що переуцільнення ґрунтів в Україні щорічно приводить до втрат у середньому 159,6 млн., а в окремі роки до 0,5 млрд. доларів. і ця проблема має тенденцію до активного антропогенного поширення внаслідок військової агресії Росії [3].

З іншого боку повідомляється [4-5], що проблема переуцільнення загострюється та набуває велетенських масштабів. Ще не всі розуміють, як згубно діють процеси переуцільнення на ріллю, і на вирощуванні культури. Наслідками переуцільнення є:

- Порушення структури ґрунту з руйнуванням ґрунтових пор та подальшим брилуванням.
- Порушення циркуляції води та повітря всередині ґрунтових шарів.
- Порушення терморегуляції ґрунту.
- Зниження вологозабезпечення рослин, аерації, погіршення біологічних процесів.
- Порушення процесу випаровування вологи.
- Пригнічення росту коренів рослин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У напрямку вирішення проблеми переуцільнення ґрунтів та збереження їх структури напрацьовано цілу низку заходів від побудови адаптивних систем обробітку ґрунту з огляду на їх питому щільність, попередник та гідротермічний режим території до застосування спеціальних оструктурювачів ґрунту різного походження, які сприяють зростанню ступеня агрегації ґрунтового профілю та формування відповідного коефіцієнта їх структурованості [4–7].

Серед такого варіативного комплексу заходів застосування біоконсервуючих систем землеробства на підставі використання сидеральних та проміжних покривних культур у якості їх проміжного різноваріантного застосування залишається важливим напрямом регулювання щільності та структурності ґрунтів [8–9]. При цьому вказується [10], що коріння спеціально підібраних сидеральних рослин може проникати в ґрунт з дуже дрібними порами, деформуючи його, щоб створюючи новий кореневий канал, подовжуючись вздовж існуючої пори (або тріщини), або огинати тріщину під певним кутом перед проникненням у ґрунт.

У ґрунті, однорідному за розмірами коренів, подовження залежить від здатності кореня створювати тиск росту, достатній для деформації ґрунту. Коли коріння намагається проникнути через поверхню ґрунту в межах ґрунтового профілю, жорсткість кореневої тканини, кут росту в глибину та фізична міцність ґрунту, в який проникає корінь, взаємодіють і визначають кінцевий результат оструктурення.

При цьому наголошується [10–11], що за досить ретельного опрацювання впливу біологічної маси сидерату на процеси біогуміфікації, зростання загальної мікробіологічної активності ґрунту та їх загальний біофумігаційний ефект – питання впливу тривалої сидерації на фізичні властивості ґрунту та пов'язані із цим режими є питанням дискусійним, що потребує відповідного наукового узагальнення особливо для умов поясу сірих лісових ґрунтів зони Правобережного Лісостепу України.

Умови та методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2015–2022 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах (ґрунти *Luvic Greyic Phaeozem*). Агрохімічний потенціал поля: вміст гумусу: 2,02–3,20%, легкогідролізованого азоту 67–92, рухомого фосфору 149–220, обмінного калію 92–126 мг/кг ґрунту при $pH_{\text{ккл}}$ 5,5–6,0.

У дослідженнях використано сорт редьки олійної Журавка (найбільш поширений у регіоні досліджень) за проміжного його висівання на неудобреному фоні при кількісній нормі висіву 2,5 млн. схожих насінин/га. Термін проміжного використання редьки олійної календарно відповідав періоду липень–початок жовтня залежно від строку збирання основної культури та гідротермічних умов що складались у період після звільнення поля.

Посів проводився відразу після збирання попередника з проміжним дискуванням на глибину 6–8 см. Для контролю тривалого впливу застосування проміжних посівів редьки олійної на структурно-агрегатний стан ґрунту обліки представлено на третій рік їх використання як підсумок повного циклу.

Досліди закладались на одній і тій же площі після таких культур як кукурудза на зерно, горох, яра пшениця, відповідно до схеми чергування культур у межах дослідного поля. За контроль використано варіант без застосування проміжного вирощування редьки олійної. На всіх варіантах досліді дотримано єдиної технології вирощування полезаймаючих основних культур. Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації з просторовим розмежуванням для підвищення достовірності обліків 5 м. Вирощена листостеблова маса використовувалась як сидеральний компонент удобрення із заробкою у ґрунт шляхом дискування (рис. 1).

Зображення поверхні ґрунту отримували використовуючи зеркальний фотоапарат Canon EOS 750D Kit 18–135mm IS STM із застосуванням додаткового об'єктиву Canon EF 100mm f/2.8 Macro за використання UV світофільтра. Процес фотографування проводився у ортогональній проекції до поверхні ґрунту з використанням масштабної лінійки (для послідуєчого міліметрового масштабування і шкалювання зображень) при штучному затіненні відповідно до рекомендацій отримання дослідних зображень поверхні ґрунту для застосування постпрограмної обробки. У дослідженнях для обробки отриманих зображень використано програми FijiImageJ2 та BaseGrain v. 2.2.0.4.



Рис. 1. Задискована маса редьки олійної за її проміжного вирощування на дослідних ділянках (осінь 2020 року).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Для формування фракційного складу 30 см шару ґрунту сформованого у межових кордонах отриманих фотозображень ґрунтової поверхні на різних дослідних варіантах, використовувався набір сит передбачених національним стандартом України ДСТУ ISO 11277:2005 [12]. Відповідно до даного стандарту зразок ґрунту відібраний (за стандартною методикою відповідно до вимог та відповідав певному номеру фотозображення) із товщини 5 см просівали на ситах з отворами 10 мм; 7 мм; 5 мм; 3 мм; 2 мм; 1 мм; 0,5 мм; 0,25 мм. Набір сит мав піддонник для збирання фракції < 0,25 мм і кришку для запобігання розпорошеного ґрунту при просіюванні. Сухим просіюванням ґрунт розділяється на фракції: >10 мм; 10–7 мм; 7–5 мм; 5–3 мм; 3–2 мм; 2–1 мм; 1–0,5 мм; 0,5–0,25 мм; <0,25 мм. Кожну фракцію агрегатів збирали окремо, зважували і обчислювали вміст у процентах. Вміст фракції <0,25 мм визначали за різницею між взятою для аналізу наважкою ґрунту і сумою фракцій >0,25 мм. За 100% приймалася вся взята для аналізу наважка.

У дослідженнях аналізувались фотознімки зразків ґрунтових поверхонь отримані за результатами 3 річного циклу використання редьки олійної у системі передпосівної підготовки ґрунту з метою з'ясування впливу проміжної сидерації редькою олійною на агрофізичні властивості ґрунту, зокрема формування агрономічноцінної її складової за розмірністю ґрунтових часток 0,25–7,0 мм.

Для кількісної оцінки структурного розпушення ґрунту (на підставі просіювання зразків на ситах) визначали коефіцієнт структурності (K_s) відповідно до формули 1:

$$K_s = \frac{N_v}{N_g} \quad (1)$$

де: N_v – сума ґрунтових макроагрегатів розміром від 0,25 до 10 мм, %; N_t – сума ґрунтових агрегатів < 0,25 мм і грудок >10 мм, %.

Характер додаткових показників структурного розпушення ґрунту визначали для поверхневого профілю ґрунту 5 см отриманої за результатами весняного його

обробітку після застосованого трьохрічного циклу проміжного сидерального використання редьки олійної. До уваги бралась саме така товщина, яка на думку Панченко (1999) є достатньою для загальної оцінки впливу тих чи інших чинників на фізичні параметри ґрунту через призму його агрегатного стану.

До додаткових показників розпушення ґрунту віднесено ступінь подрібнення та коефіцієнт різнозернистості.

Ступінь подрібнення ґрунту D_c визначали за формулою 2 [13]:

$$D_c = \sqrt[3]{(hbk_1)/D_k} \quad (2)$$

де: D_k – середньостатистичний розмір структурних агрегатів після обробітку у відповідному варіанті, м; h – глибина обробітку ґрунту, м; b – ширина захоплення ґрунтообробного агрегату, м; k_1 – приведений коефіцієнт обробленого шару ґрунту, м (технологічний допуск: для відомих знаярьдь основного обробітку ґрунту і глибин $0,2 < h < 0,4$ можна прийняти $k_1=1$ м).

Коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів (GS_d) за формулою 3 [13]:

$$GS_d = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3)$$

де: D_{60} – середній діаметр агрегатів, що складають 60% частки від загального; D_{10} – середній діаметр агрегатів, що складають 10% частки від загального.

Для визначення показників D_k та GS_d застосовано адаптований пакет програми BaseGrain v. 2.2.0.4.

Загальне польове вивчення розвитку кореневої системи редьки олійної здійснювали за загальноприйнятими рекомендаціями [14].

Отримані дані аналізували за допомогою загальноприйнятих методів статистичного аналізу. Множинні порівняння розрахованих середніх значень параметрів проводили з використанням критерію стандартного відхилення та найменшої істотної різниці НІР на рівні 5% та 1% для всіх досліджуваних параметрів. Коефіцієнт варіації (C_v , %) для оцінки варіювання даних у межах досліджуваних варіантів визначали за загальноприйнятим методом калькуляції [15]. Ці аналізи виконували за допомогою статистичного програмного забезпечення Statistica 10 (StatSoft – Dell Software Company, США).

Погодні умови за період досліджень мали певні річні відмінності. З позиції визначеної оптимальності режимів проміжного та сидерального вирощування редьки олійної [10] в цілому період липня–жовтня (рис. 2) був сприятливим для ростових процесів формування як кореневої системи, так і листостеблової маси.

З огляду на гідротермічний режим за співвідношенням опадів та температури рівень продуктивності редьки олійної був середнім (0,82–1,64 т/га (0,1–0,21 т/га у перерахунку на суху речовину). У порядку зниження сприятливості погодних умов роки досліджень розмістились у наступному порядку: 2020 (сума опадів 229 мм при середньодобовій температурі за період липень–жовтень 17,3 °С) – 2021 (217 мм та 15,5 °С) – 2022 (139 мм та 16,2 °С).

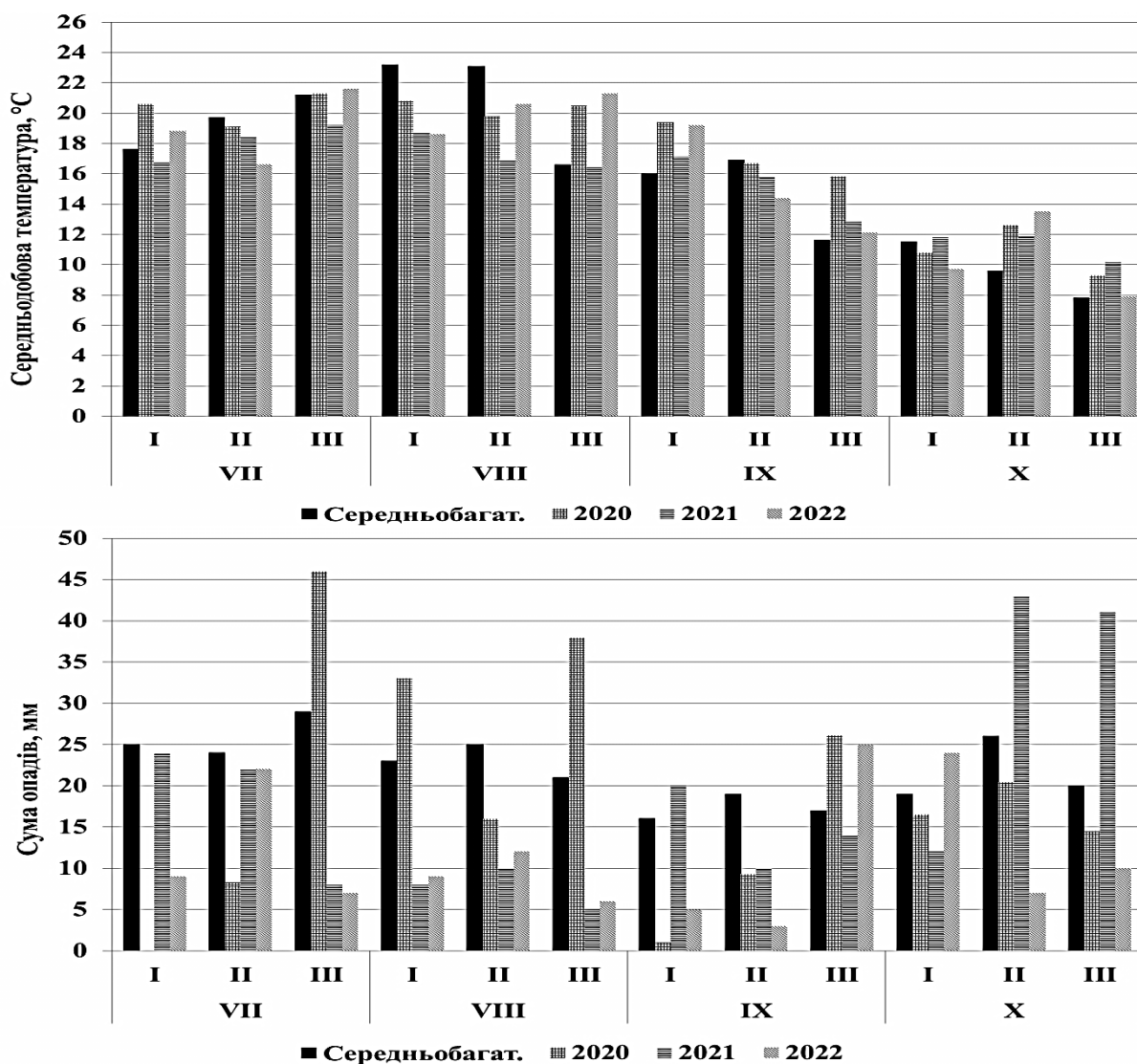


Рис. 2. Середньодобова температура повітря (°С, верхня позиція) та сума опадів (мм) за період проміжного сидерального вирощування редьки олійної у співставленні до середньобагаторічних режимів, 2020–2022 рр. (за усередненими даними Вінницької метеостанції).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Виклад основного матеріалу досліджень. Результати наших досліджень підтвердили можливість проміжного вирощування редьки олійної у системі сівозміни за пізньолітнього строку її культивування із липня по жовтень. При цьому рівень продуктивності її біомаси за цих умов є невисоким, що обумовлюється її біологічними властивостями та реакцією на зволоження [10].

Це наглядно підтверджують дані рисунка 3. При цьому слід відмітити варіативність мофрометричного розвитку рослин редьки олійної, зумовлену вже згадувану чинниками гідротермічного режиму впродовж її вегетації.

Рослинам олійної редьки було сформовано кореневу систему із глибиною проникнення від 8–10 до 12–14 см (рис. 3) із певною мінливістю у межах ценозу для одного року спостережень та вище середнього рівнем варіюванням у міжрічному співставленні. При цьому, слід відмітити виражене діаметральне



Рис. 3. Стан редьки олійної за проміжного використання на фазу розетки–початку стеблування (ВВСН 19–24) (позиція зліва – 2020 рік, справа – для умов 2022 року).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень



Рис. 4. Лінійний розвиток кореневої системи редьки олійної за проміжного її використання (позиція зліва для умов 2020 року, справа – для умов 2022 року (розмірність чорного квадрата 2x2 см)).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

потовщення кореня у гіпокотильній зоні за оптимізації умов зволоження, характерне на представленому рисунку для умов 2020 року.

Таким чином, підтверджено потенційну можливість так званого кореневого дренажу властивого проміжним та сидеральним культурам з родини хрестоцвітих та відміченого у цілому ряді досліджень [7–10]. За рахунок цього та інтенсифікації гуміфікації заробленої біомаси відбуваються позитивні процеси агрегації та зростання пористості ґрунту у частині її капілярного вираження. Такі висновки підтверджуються результатами наших обліків представлених у таблиці 1. Відповідно до представлених даних застосування редьки олійної у технологічному форматі проміжної сидерації позитивно відобразилось на поліпшенні структури ґрунту у товщі 0–30 см. При цьому слід зауважити, що ґрунт який був об'єктом вивчення має досить низькі показники структурованості за показником коефіцієнта структурності (K_s). Величина його 1,84 з огляду на твердження А.Н. Панченко (1999) вказує на переущільнення орного горизонту, а висока брилистість (сума ґрунтових агрегатів > 10 мм) на рівні

близькій до 30% свідчить про переважання некапілярної пористості, що на фоні високої частки мулистопилової фракції (0,5–<0,25%) підтверджує схильність ґрунту до кіркоутворення та погіршення фізичних його властивостей за інтенсивного коливання зволоження та величини середньодобових температур.

Таблиця 1

Зміни у структурно-агрегатному складі сірого лісового ґрунту (0–30 см) за трьохрічного циклу використання проміжної сидерації редькою олійною

Ґрунтові фракції, мм (%)	Дані на початок закладки досліду (2020 рік)	На період повного весняного відновлення фізичної стиглості ґрунту (перед посівом наступної культури), 2023 рік	
		контрольний варіант	варіант із трьохрічним періодом сидерації
>10	29,5 ± 1,5	28,8 ± 1,9	25,6 ± 2,2 ^{**}
10–7	10,7 ± 1,6	10,2 ± 1,4	9,2 ± 1,7 [*]
7–5	7,2 ± 1,9	7,7 ± 1,3	9,6 ± 1,9 ^{**}
5–3	18,5 ± 2,3	17,1 ± 1,8	18,4 ± 1,5 ^{**}
3–2	6,3 ± 1,2	7,2 ± 1,7	8,2 ± 1,5 [*]
2–1	14,8 ± 1,5	15,7 ± 2,4	16,2 ± 1,8 [*]
1–0,5	3,2 ± 0,9	3,5 ± 1,1	4,1 ± 1,5 [*]
0,5–0,25	4,1 ± 1,3	4,5 ± 1,6	3,8 ± 1,2 [*]
<0,25	5,7 ± 1,7	5,3 ± 1,9	4,9 ± 1,7 [*]
Коефіцієнт структурності (K _s)	1,84	1,93	2,28

Критерії істотності для співставлення варіантів сидерація–контроль: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

З огляду на це, застосування редьки олійної як сидерату позитивно вплинуло на фракційний склад ґрунтових агрегатів, що, безперечно, позитивно відобразиться і на формування системи його фізичних режимів та властивостей. Так, за трьохрічний цикл сидерації відмічено зниження на 3,9% вмісту брилистої (>10 мм) і на 0,8% пиловидної (<0,25мм) фракцій, та істотне зростання на 6,5% вмісту агрономічно-цінних агрегатів розміром 0,5–7 мм. У підсумку коефіцієнт структурності у співставленні до поточного контролю за застосування сидерації зріс на 18,1%. При цьому слід зауважити, що на контрольному варіанті у співставленні 2020/2023 рр. відбулись також певні позитивні структурні зрушення з огляду на зростання на 4,9% коефіцієнта структурності, що можна пояснити як впливом вирощуваних основних культур, так і взаємодією системи застосованих агротехнологій із динамікою гідротермічного режиму. Це підтверджується зокрема рядом досліджень [5, 6].

Відмічається [13], що чим більше K_s, тим кращою вважається структура ґрунту. Але оцінка ґрунту буде неадекватною при наявності значної кількості великих ґрунтових скиб, оскільки коефіцієнт структурності не враховує співвідношення кількості і розмірів ґрунтових агрегатів. З метою більш глибокого аналізу впливу застосованої сидерації нами було використано два додаткових

показники, а саме: ступінь подрібнення ґрунту D_c та коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів (GS_d). Для калькуляції згаданих показників, а також візуалізації представлених даних нами було використано відповідний пакет адаптованих програм для обробки профільного шару ґрунту з обробки зображень ґрунту після весняного його обробітку у варіантах контролю та після трьохрічного циклу сидерації.

Застосування плагіну програми FijiImageJ2 «View5D» дозволило констатувати істотно різний мікропрофіль ґрунтового поверхневого шару у співставленні контрольного варіанту та варіанту із сидерацією (рис. 5).

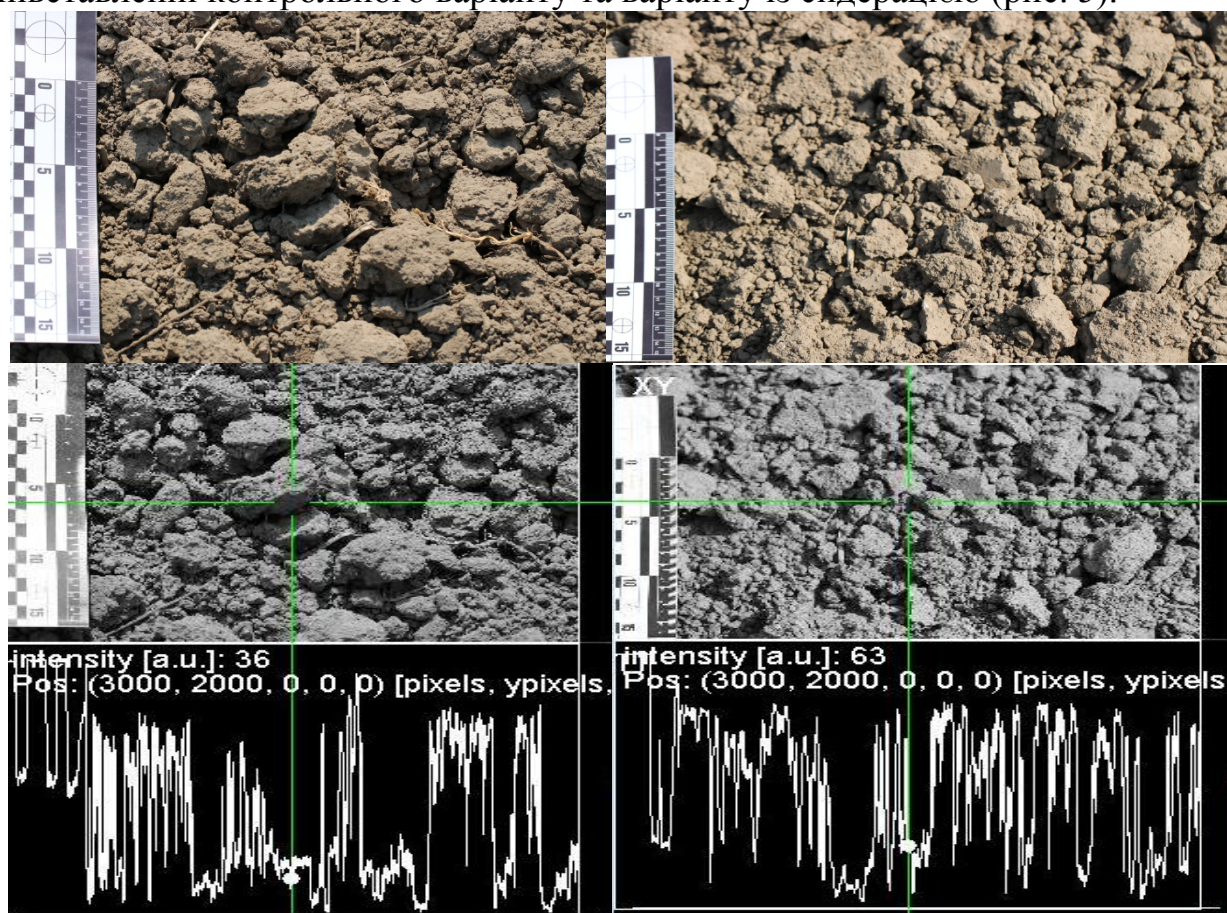


Рис. 5. Профілограма поверхні ґрунту побудована за системою плагіну «View5D» у середовищі програми FijiImageJ2 після весняного обробітку (зліва – контрольний варіант, справа – після трьохрічного циклу сидерації із застосуванням редьки олійної), 2023 р.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Згідно даних представленого рисунка глибина профілограми а також амплітуда перепадів висот графіка вказує на більш високу варіативність розміру ґрунтових частин на контрольному варіанті дослідження. Це ж підтверджується застосуванням додаткової системи 3D візуалізації мікропрофілю аналізованої поверхні зображення (рис. 6) де глибина профілю 3D істотно нижча (рівень 100–110 одиниць проти 120–150 одиниць на контролі) у варіанті застосування проміжної сидерації.

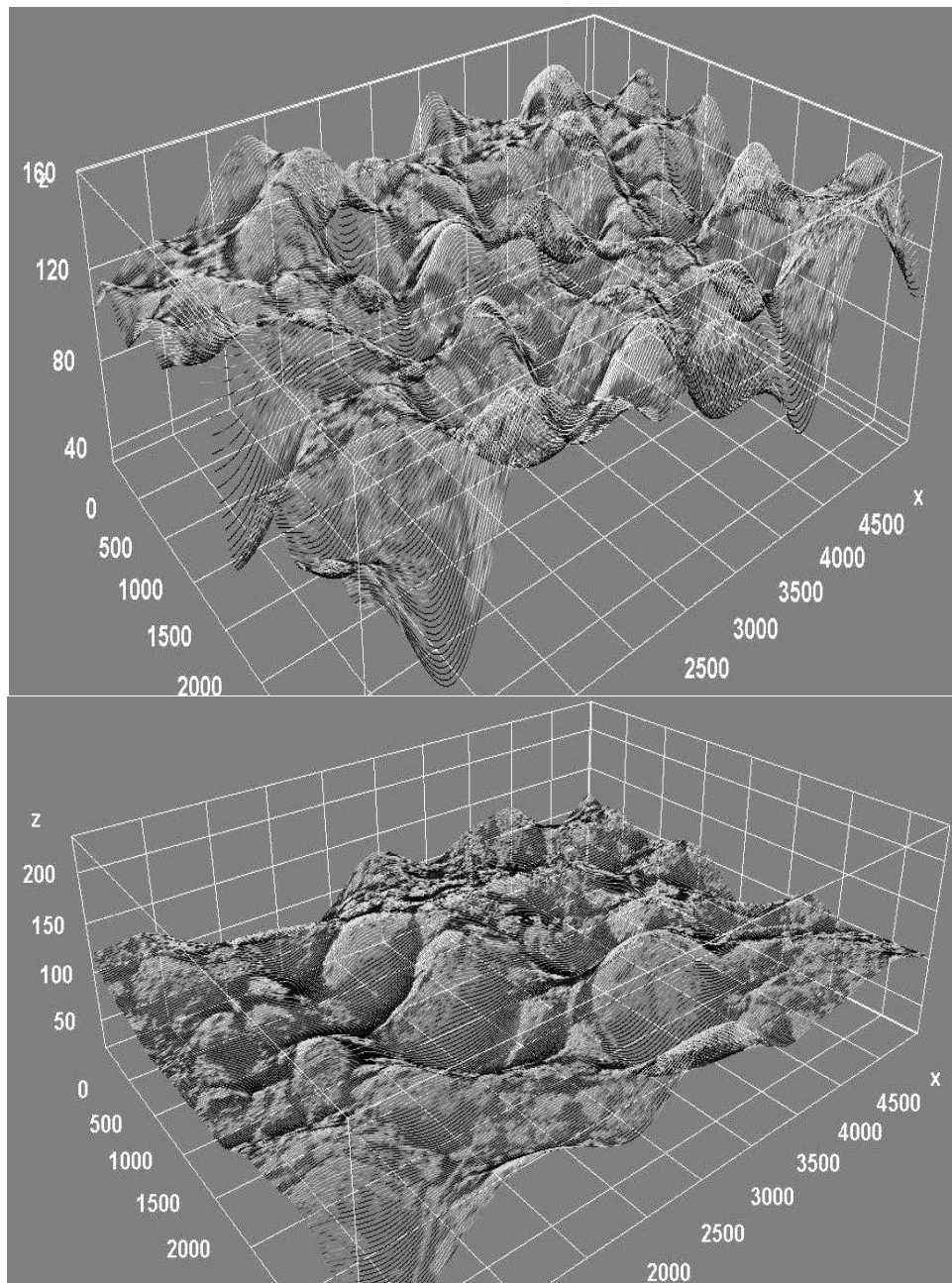


Рис. 6. 3D проекція поверхні ґрунту у середовищі програми FijilImageJ2 після весняного обробітку (вгорі – контрольний варіант, внизу – після трьохрічного циклу сидерації із застосуванням редьки олійної), 2023 р.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Застосування для обробки фотозображень поверхні ґрунту різних дослідних варіантів програмного пакету BaseGrain v. 2.2.0.4 для детермінації показників D_k та GS_d через систему радіусів Ферета [8] у приміненні до ґрунтових гранулометричних фракцій (рис. 6) дозволило конкретизувати показники структурованості ґрунту, результати яких представлено у таблиці 2. Отримані результати підтверджують раніше зроблені висновки щодо гармонізації структурного стану ґрунту при застосування проміжної сидерації із застосуванням редьки олійної.

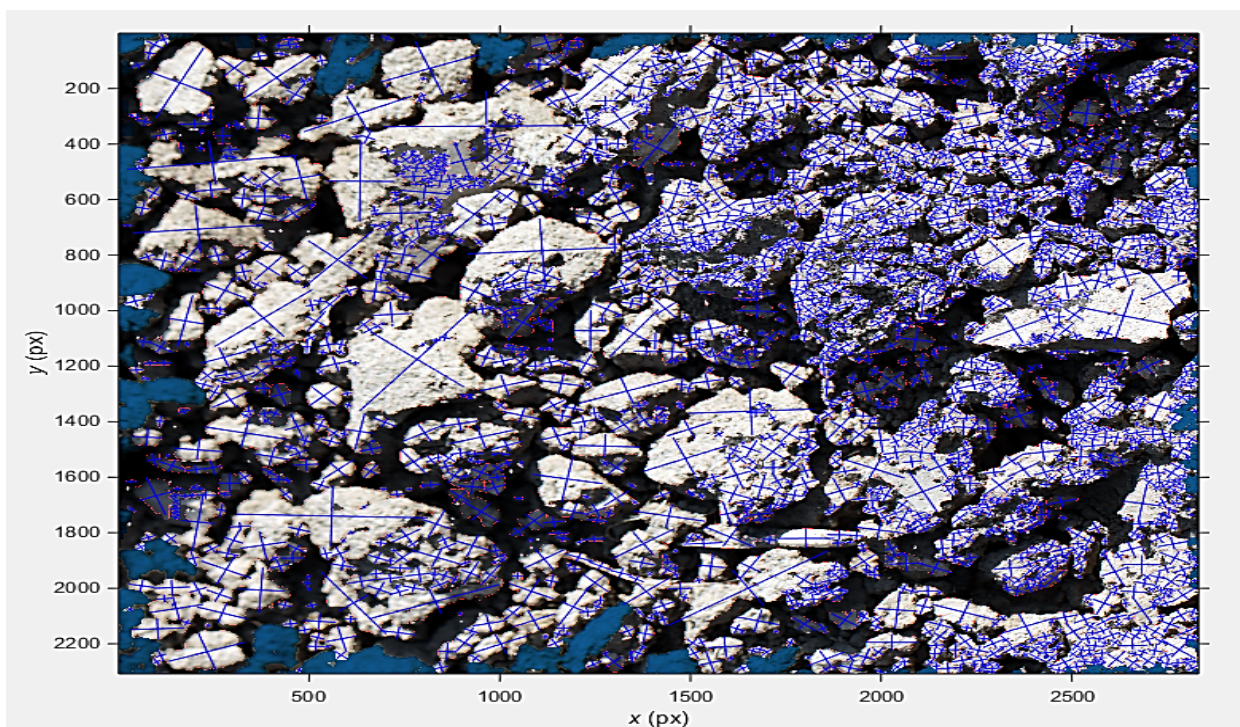


Рис. 7. Результати детермінації морфометрії ґрунтових агрегатів у контрольному варіанті без застосування сидерації після весняного обробітку (дискування) у фреймі програми BaseGrain v. 2.2.0.4., 2021 рік.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Враховуючи, що ступінь подрібнення для отримання структурних агрегатів коливається у межах від 100 до 2000 [13] і є з одного боку виразом інтенсивності окремих елементарних процесів у загальному руслі тієї чи іншої ґрунтообробної операції, а з іншого – визначає якість проведеної операції за еквівалентних енергетичних витрат – застосування сидерації у багаторічному циклі гарантує підвищення якості обробітку знову ж таки за рахунок оптимізації фізичних параметрів ґрунту.

Таблиця 2

Додаткові показники структурності ґрунту за різних варіантів його утримання після весняного обробітку (дискування)

Показники	Після проведення весняного обробітку	
	контрольний варіант	варіант із трьохрічним періодом сидерації
Коефіцієнт співвідношення глибини профілю на 10 см його довжини (за плагіном «View5D»)	1,18 ± 0,27	0,79 ± 0,21**
Ступінь подрібнення ґрунту D_c	129,25 ± 11,4	154,69 ± 17,7**
Коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів (GS_d)	17,38 ± 0,57	12,74 ± 0,41**
Коефіцієнт варіації розміру ґрунтових агрегатів (C_v) за обробки масиву морфометрії у фреймі програми BaseGrain v. 2.2.0.4.	27,5 ± 3,1	17,7 ± 2,4**

*Критерії істотності для співставлення варіантів сидерація–контроль: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.*

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Ці висновки підтверджуються як зниженням коефіцієнту різнозернистості, так і зниженням показника варіювання морфометрії ґрунтових агрегатів. При цьому слід зауважити, що по даних [13] теоретично оптимальне значення GS_d наближене до 1 при $2 < D_{60} < 10$ мм. У реальних умовах бажаним значенням буде $GS_d = 9...16$, хоча прийнятним значенням варто вважати значення $GS_d = 10...70$. Збільшення значення GS_d свідчить про одночасний ріст у розпушеному шарі загальної кількості структурних агрегатів малого і великого діаметрів, тобто агрегатний склад стає більш неоднорідним, що є небажаним.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, представлені результати досліджень засвідчили, що застосування проміжної сидерації із використанням редьки олійної дозволяє за трьохрічного циклу її примінення оптимізувати структурно-гранулометричний склад сірого лісового ґрунту за рахунок збільшення коефіцієнту структурності ґрунту (K_s) на 18,1% за одночасного зниження коефіцієнту різнозернистості структурних агрегатів ґрунту (GS_d) на 26,7% та зниження загального варіювання розміру ґрунтових агрегатів на 9,8 %.

Перспективою подальших досліджень, на нашу думку, буде вивчення впливу даного варіанту сидерації за більш тривалого її періоду на різних типах ґрунтів зони досліджень.

Список використаної літератури

1. Балюк С.А., Кучер А.В., Максименко Н.В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління. *Український географічний журнал*. 2021. № 3 (114). С. 3-11.
2. Балюк С.А., Медведєв В.В., Мірошніченко М.М., Скрильник Є.В., Тимченко Д.О., Фатєєв А.І., Христенко А.О., Цапко Ю.Л. Екологічний стан ґрунтів України. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38-42.
3. Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А., Чумаченко С. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія»», 2023. 32 с
4. Балюк С.А., Медведєв В.В., Трускавецький Р.С., Мірошніченко М.М., Кучер А.В., Момот А.Ф. Наукове забезпечення управління ґрунтовими ресурсами в контексті євроінтеграційних процесів. *Посібник українського хлібороба (науково-практичний посібник)*. 2017. Т. 1. С. 54-62.
5. Baritz R., Wiese L., Verbeke I., Wargas R. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management: Global Action for Healthy Soils. *International Yearbook of Soil Law and Policy*. 2017. P. 17-36.
6. Helming K., Daedlow K., Hansjürgens B. Koellner T. Assessment and Governance of Sustainable Soil Management. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. 4432.
7. Martínez-Mena M., Carrillo-López E., Boix-Fayos C. Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*. 2020. Vol. 187. e104352.

8. MacRae R.J., Mehuys G.R. The Effect of Green Manuring on the Physical Properties of Temperate Area Soils. *Advances in Soil Science*. 1985. P. 71-94.
9. Jin K., Shen J., Ashton R.W., Dodd I.C., Parry M.A.J., Whalley W.R. How do roots elongate in a structured soil ? *Journal of Experimental Botany*. 2013. Vol. 64, №. 15. P. 4761-4777.
10. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця: Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с.
11. Fanish S.A. Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Crop Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 13 (3). P. 122-132.
12. ДСТУ ISO 11277:2005 (2005) Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу мінерального матеріалу ґрунту. Метод просіювання та седиментації (ISO 11277:1998, IDT). 32 с.
13. Панченко А.Н. Теорія подрібнення ґрунту ґрунтообробними робочими органами. Дніпропетровськ, 1999. 139 р.
14. Böhm D.W. Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 1979. 188 р.
15. Wong J. Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press, 2018. 589 р.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Baliuk S.A., Kucher A.V., Maksymenko N.V. (2021). Gruntovi resursy Ukrainy: stan, problemy i stratehiia staloho upravlinnia [*Soil resources of Ukraine: state, problems and strategy of sustainable management*]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*. № 3 (114). 3-11. [in Ukrainian].
2. Baliuk S.A., Medvediev V.V., Miroshnychenko M.M., Skrylnyk Ye.V., Tymchenko D.O., Fatieiev A.I., Khrystencko A.O., Tsapko Yu.L. (2012). Ekolohichni stan gruntiv Ukrainy [*Ecological condition of Ukrainian soils*]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*. № 2. 38-42. [in Ukrainian].
3. Holubtsov O., Sorokina L., Splodytel A., Chumachenko S. Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. (2023). [*The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soil*]. *Rezultaty analizu – Results of the analysis*. Kyiv: HO «Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiiia»». [in Ukrainian].
4. Baliuk S.A., Medvediev V.V., Truskavetskyi R.S., Miroshnychenko M.M., Kucher A.V., Momot A.F. (2017). Naukove zabezpechennia upravlinnia gruntovymy resursamy v konteksti yevrointehratsiinykh protsesiv [*Scientific support of soil resources management in the context of European integration processes*]. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba (naukovo-praktychnyi posibnyk) – Manual of the Ukrainian farmer (scientific and practical guide)*. Vol. 1. 54-62. [in Ukrainian].
5. Baritz R., Wiese L., Verbeke I., Vargas R. (2017). Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management: Global Action for Healthy Soils. *International Yearbook of Soil Law and Policy*. P. 17-36. [in English].

6. Helming K., Daedlow K., Hansjürgens B. Koellner T. (2018). Assessment and Governance of Sustainable Soil Management. *Sustainability*. Vol. 10. 4432. [in English].
7. Martínez-Mena M., Carrillo-López E., Boix-Fayos C. (2020). Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*. Vol. 187. e104352. [in English].
8. MacRae R.J., Mehuys G.R. (1985). The Effect of Green Manuring on the Physical Properties of Temperate Area Soils. *Advances in Soil Science*. P. 71-94 [in English].
9. Jin K., Shen J., Ashton R.W., Dodd I.C., Parry M.A.J., Whalley W.R. (2013). How do roots elongate in a structured soil?. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 64. №. 15. P. 4761-4777. [in English].
10. Tsytsiura Ya.H., Neilyk M.M., Didur I.M., Polishchuk M.I. (2022). Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsii suchasnykh system zemlerobstva. Monohrafiia [Green manure as a basic component of biologization of modern farming systems. Monograph]. Vinnytsia: Vydavets TOV «Druk», 2022. [in Ukrainian].
11. Fanish S.A. (2017). Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Crop Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 13 (3). P. 122-132. [in English].
12. DSTU ISO 11277:2005 (2005) Yakist gruntu. Vyznachennia hranulometrychnoho skladu mineralnoho materialu gruntu. Metod prosiuvannia ta sedimentatsii [Soil quality. Determination of the particle size distribution of soil mineral material. Sieving and sedimentation method]. (ISO 11277:1998, IDT). [in Ukrainian].
13. Panchenko A.N. (1999). Teoriia podribnennia gruntu gruntoobrobnymy robochymy orhanamy [The theory of soil crumbling by tillage tools]. Dnipropetrovsk. [in Ukrainian].
14. Böhm D.W. (1979). Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 188 p. [in English].
15. Wong J. (2018). Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press. 589 p. [in English].

ANNOTATION

INFLUENCE OF OILSEED RADISH ON SOIL STRUCTURE DURING ITS INTERMEDIATE (GREEN MANURE) USE

The results of a three-year cycle of studying the influence of intermediate green manure using oil radish on the formation of basic indicators of the structure of gray forest soil in comparison with the control without green manure are presented.

Based on the assessment of the hydrothermal regime in July-October, the possibility of using oil radish for an intermediate summer green manure variant was analyzed, and both the productivity of the formation of its leaf-stem mass and the general morphological development of the root system of plants, which is one of the main criteria for effective green manure establishment in terms of optimizing the granulometric composition of the soil profile or its root part, were additionally assessed.

The use of two software packages FijiImageJ2 and BaseGrain for visualization of experimental data and formation of a morphometric database of indicators based on the analysis of soil images from different variants was adapted to assess the main and additional parameters of soil structural state.

The results of visualization of the 3D soil profile display system are presented, taking into account different variants of the experiment, and the possibility of their use in the application to the study of soil properties and features of the formation of its modes based on a complex of properties is assessed.

Non-traditional indicators (degree of soil crushing D_c and coefficient of structural aggregates diversity (GS_d)) were used for an in-depth study of the applied green manure variant in comparison with the control based on the averaging of their size and the use of percentage threshold analysis in view of the recommended optimal intervals of the ratio of individual fractions of soil particles in their total. The intervals of variation of the morphometry of soil aggregates under different technological options for pre-sowing soil use were determined.

The obtained results were evaluated from the point of view of the influence of intermediate green manure on such indicators as optimization of soil cultivation conditions, improvement of its agronomically valuable structure, change in the dynamics of fractional composition, etc.

The effectiveness of intermediate green manure application in summer intermediate sowings of oil radish was proved by increasing the coefficient of soil structure (K_s) while reducing the coefficient of soil structural aggregates diversity (GS_d) and the overall variation of their size (by the coefficient of variation C_v).

Keywords: oilseed radish, green manure, soil structure, particle size distribution, tillage.

Table 2. Fig. 7. Lit. 15.

Інформація про авторів

Цицюра Ярослав Григорович – кандидат с.-г. наук, доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії ВНАУ. (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 5/42, email: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).

Tsytsiura Yaroslav Grigoryevich – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Soil Management, Soil Science and Agrochemistry, Vinnytsia National Agrarian University. (21008, Vinnytsia town, Sonyachna st., build 5/42, email: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).

Ліра Олександр Миколайович – студент групи 31 А факультету агрономії та лісівництва ВНАУ. (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 4, e-mail: saniek.lira@gmail.com, 0959468070).

Lira Oleksandr Mykolaiovych – student of group 31 A, Faculty of Agronomy and Forestry, Vinnytsia National Agrarian University. (4 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: saniek.lira@gmail.com, 0959468070).