

УДК 631.331

Іванишин В. В.

доктор економічних наук, академік НААН України,
професор кафедри транспортних технологій та засобів АПК,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: rector@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1255-1638

Рудь А. В.

доктор філософії в галузі технічних наук,
завідувач кафедри агроінженерії і системотехніки
імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: anatoliyrudj@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7206-7103

Грушецький С. М.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки
імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152

Корчак М. М.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки
імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: nikolaykorchak@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8726-1881

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТНОСТІ ҐРУНТІВ

Анотація

Проблема компактності ґрунту полягає в такому: ущільнені ґрунти більш тверді й важкі в обробку; ущільнення обмежує управління ґрунтовою водою, затримуючи воду біля поверхні поля, знижує проникнення води в нижні шари ґрунту, при цьому обмежується здатність рослин до підняття вологи й поживних речовин із нижніх шарів ґрунту; переущільнена зона ґрунту не дає змоги ефективно використовувати добрива й пестициди, а якщо вони не поглинаються ґрунтом, то можуть бути легко змиті, що призводить до забруднення навколишнього середовища та зниження врожайів сільськогосподарських культур; в ущільнених ґрунтах знижується швидкість повітрообміну й мінералізації азоту.

Загрозою для врожаю є плужна підшва, що є проблемою техногенного характеру. Це ущільнений прошарок ґрунту в орному шарі, який виникає внаслідок тиску робочих органів ґрунтообробних агрегатів при однаковій глибині обробки. При цьому руйнується структура ґрунту, зростає кількість пилоподібних частинок, які згодом опускаються в орний шар, і ґрунтовий профіль стає більш щільнішим, ґрунтові шари заупорюються, утворюється водонепроникний шар, який і називають плужною підшвою.

У статті подано результати практичного дослідження компактності ґрунтів на землях товариства з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС» ручним пенетрометром DICKY-john, який забезпечує вимірювання компактності ґрунту у фунтах на квадратний дюйм на циферблаті манометра з двома шкалами (для двох різних конусних наконечників).

Для переведення показів манометра пенетрометра з одиниць PSI (фунт на квадратний дюйм) в одиниці метричної міри (кг на сантиметр квадратний) ми запропонували аналітичну залежність і побудували відповідну номограму.

Дослідження проведені на тринадцяти полях товариства з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС». На кожному полі було визначено кількість точок вимірювання на основній площі поля й на їх поворотних смугах середню

глибину критичного переуцільнення ґрунту, її середньоквадратичне відхилення й коефіцієнт варіації, діапазон зміни глибини критичного переуцільнення ґрунту. При цьому визначено середнє значення критичного уцільнення ґрунту, його середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та діапазон зміни критичної щільності ґрунту.

По кожному досліджуваному полю зроблено висновки й унесено пропозиції товариству з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС» щодо розуцільнення ґрунту шляхом його глибокого розпушування.

Ключові слова: компактність ґрунту, ходові системи, плужна підшова, критична щільність, діапазон зміни, придатність поля, глибина розпушення.

Вступ. Практикою доведено, що високопродуктивні сільськогосподарські землі вибувають із використання навіть у добре забезпечених вологою зонах. Катастрофічне зниження родючості ґрунту пояснюється нераціональним застосуванням нових технологій, енергетичних засобів, технологічних машин та агрегатів, які руйнують діють на ґрунт і посилюють його ерозію. Використання важких тракторів і ґрунтообробних машин і знарядь надмірно ущільнюють ґрунт [1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12; 14; 15; 16; 18].

Надмірне ущільнення ґрунту призводить до стискання пор, які повинні легко пропускати через себе воду й повітря. Це перешкоджає розвитку кореневої системи вегетуючих рослин і призводить до нестачі кисню. У результаті переуцільнення ґрунту знижується врожайність вирощуваних культур [7; 13].

Переуцільнення ґрунту означає, що його щільність збільшується й він стає твердим. Таке явище можна спостерігати під час весняних польових робіт, коли після проходження трактора на полі залишається переуцільнена колія [17].

Ущільнення ґрунту впливає на збільшення його твердості й пригнічує розвиток коренів рослин вирощуваних культур шляхом зменшення кількості та розмірів великих пор ґрунту, у яких корені ростуть вільно, збільшення механічної міцності ґрунту шляхом стискання його твердих частинок [11].

Переуцільнення ґрунту обмежує рух води вниз під дією сили її тяжіння, що призводить до водонасичення верхніх шарів ґрунту й викликає брак кисню для кореневої системи, знижує доступність поживних речовин – азоту й марганцю, а денітрифікація (денітрифікуючі бактерії перетворюють доступні рослинам нітрати (NO_3) в азот (N_2)) може привести до серйозної втрати азоту шляхом виходу оксиду азоту (NO_2) і газоподібного азоту (N_2) в атмосферу.

Необхідне для рослин повітря характеризується такими значеннями повітряної пористості: при кількості повітряних пор більше ніж 25% має місце добра аерація ґрунту; при кількості пор 10–25% – обмежена аерація; при кількості повітряних пор менше ніж 0% виникає дефіцит доступу кисню до кореневих систем вегетуючих рослин [11; 17].

Порушення газообміну в ґрунті, де значно перевищені показники його щільності, зумовлює зниження інтенсивності виділення вуглекислоти (CO_2) в 1,2–1,8 раза, погіршуючи тим самим забезпеченість рослин «будівельним» матеріалом, яким є вуглець.

З появою плужної підшви може виникнути перезволоження в мікропониженнях ґрунту у вигляді «блюдець». Останні досить часто формуються на краю поля або в інших місцях, де техніка розвертається або повторно рухається, а кратність її проходів збільшується в декілька разів [17].

Відомі факти, коли за переуцільнення ґрунту окремі групи мікроорганізмів, які у звичайних умовах є нейтральними, стають патогенами (Mikor, Fusarium, Penicilium), викликаючи захворювання кореневої системи рослин – кореневі гнилі тощо.

Мета роботи. Метою дослідження компактності ґрунтів є виявлення їх переуцільнення на досліджуваних полях товариства з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС», що дасть змогу господарству застосувати запобіжні агротехнологічні заходи для поліпшення структури ґрунту в майбутньому.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження компактності ґрунтів на полях товариства з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС» використовувався ручний пенетрометр DICKEY-john (рис. 1), на циферблаті манометра якого нанесені дві шкали (для двох різних наконечників – $\frac{1}{2}$ дюйма для важких ґрунтів і $\frac{3}{4}$ дюйма для легких ґрунтів [11; 15; 16; 17].

Шкали розмічені в одиницях PSI (фунт на квадратний дюйм). Кольорами на індикаторі манометра умовно позначені зони компактності ґрунту: **зелений сектор** – коренева система рослин розвивається *добре*; **жовтий сектор** – коренева система рослин розвивається *задовільно*; **червоний сектор** – коренева система рослин розвивається *погано або не розвивається* (рис. 2) [15; 16].

Пенетрометр застосовували в оптимальний агротехнічний час вегетаційного періоду – на початку весни й у період доброго зволоження ґрунту.

Для переведення показів манометра пенетрометра в одиницях PSI (фунт на квадратний дюйм) в одиниці метричної міри ми запропонували аналітичну залежність:

$$T_m = 0,068 T_a, \quad (1)$$

де T_m – твердість ґрунту, кг/см^2 ; 0,068 – перевідний коефіцієнт; T_a – твердість ґрунту, одиниць PSI (фунт на квадратний дюйм).

Товариство з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС» надало картограму їх землекористування. Агрономічна служба товариства поставило завдання дослідити переуцільнення ґрунтів на тринадцяти полях при величині контрольної ділянки в межах п'яти гектарів.



Рис. 1. Ручний пенетромтр DICKEY-john



Рис. 2. Шкала пенетромтра (зовнішня шкала для наконечника ¼ дюйма;
внутрішня шкала для наконечника ½ дюйма)

Параметри ґрунту та їх вплив на розвиток кореневої системи рослин вирощуваних сільськогосподарських культур представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Відповідність кольору шкали манометра пенетромтра числовим і якісним параметрам ґрунту

Колір шкали	Тиск, необхідний для проникнення в ґрунт		Характеристика структури ґрунту й можливості розвитку кореневої системи вегетуючих рослин
	PSI	кг/см ²	
Зелений	0–200	0–13,6	Ґрунт містить велику кількість макро- й мікро- пор, структура ґрунту добра, добрий розвиток кореневої системи рослин
Жовтий	200–300	13,6–20,4	Ґрунт містить малу кількість макро- й мікро- пор, структура ґрунту задовільна, достатній розвиток кореневої системи
Червоний	Більше ніж 300	20,4 і більше	Ґрунту у вигляді ущільненого масивного безструктурного шматка, пори відсутні, розвиток кореневої системи рослин неможливий

Після проведення дослідження компактності ґрунтів на досліджуваних полях та обробки первинних даних методом математичної статистики отримали такі результати.

Поле № 1 площею 123 га. Кількість точок вимірювання $123 : 5 \approx 25$; кількість точок вимірювання на двох поворотних смугах $5 + 5 = 10$. Усього точок вимірювання $25 + 10 = 35$. Отримано такі результати переущільнення ґрунту: середня глибина критичного переущільнення ґрунту $h = 44,8$ см; середньоквадратичне відхилення глибини критичного переущільнення ґрунту $\sigma_h = 8,3$ см; коефіцієнт варіації глибини критичного переущільнення ґрунту $v_h = 18,6\%$; діапазон зміни глибини критичного переущільнення ґрунту $h = 44,8 \pm 24,9$ см; середнє зна-

Поле № 5 площею 159 га. Кількість точок вимірювання $159 : 5 \approx 32$; кількість точок вимірювання на двох поворотних смугах $6 + 6 = 12$. Усього точок вимірювання $32 + 12 = 44$. Отримано такі результати переуцільнення ґрунту: середня глибина критичного переуцільнення ґрунту $h = 34,3$ см; середньоквадратичне відхилення глибини критичного переуцільнення ґрунту $\sigma_h = 5,6$ см; коефіцієнт варіації глибини критичного переуцільнення ґрунту $v_h = 16,5\%$; діапазон зміни глибини критичного переуцільнення ґрунту $h = 34,3 \pm 16,8$ см; середнє значення критичної щільності ґрунту $\rho = 23,3$ кг/см³; середньоквадратичне відхилення критичної щільності ґрунту $\sigma_\rho = 1,7$ кг/см³; коефіцієнт варіації критичної щільності ґрунту $v_\rho = 7,1\%$; діапазон зміни критичної щільності ґрунту $\rho = 23,3 \pm 5,1$ кг/см³.

На поворотних смугах поля № 9 отримано такі результати переушільнення ґрунту: середня глибина критичного переушільнення ґрунту $h_n = 16,0$ см; середньоквадратичне відхилення глибини критичного переушільнення ґрунту $\sigma_n = 6,7$ см; коефіцієнт варіації глибини критичного переушільнення ґрунту $v_n = 41,7\%$; діапазон

На поворотних смугах поля № 13 отримано такі результати переушільнення ґрунту: середня глибина критичного переушільнення ґрунту $h_n = 23,6$ см; середньоквадратичне відхилення глибини критичного переушільнення ґрунту $\sigma_{nn} = 7,6$ см; коефіцієнт варіації глибини критичного переушільнення ґрунту $v_{nn} = 32,1\%$; діапазон зміни глибини критичного переушільнення ґрунту $h_n = 23,6 \pm 22,8$ см; середнє значення критичної щільності ґрунту $\rho_n = 30,2$ кг/см²; середньоквадратичне відхилення критичної щільності ґрунту $\sigma_{nn} = 2,2$ кг/см²; коефіцієнт варіації критичної щільності ґрунту $v_{nn} = 7,4\%$; діапазон зміни критичної щільності ґрунту $\rho_n = 30,2 \pm 6,6$ кг/см².

Висновки. За результатами дослідження компактності ґрунтів на землях товариства з обмеженою відповідальністю «Корпорація «Колос-ВС» зроблено висновки й надано рекомендації.

На полях № 1, № 2, № 6, № 7, № 8, № 9 і № 13 основна частина кожного поля придатна для вирощування районованих сільськогосподарських культур без її розпушення, а на поворотних смугах полів варто виконати глибоке розпушення ґрунту на глибину не менше ніж 45 см.

На полях № 3, № 4, № 5, № 10, № 11 і № 12 основну частину кожного поля після збирання врожаю варто розпушити на глибину не менше ніж 45 см. Таке ж розпушення потрібно зробити й на поворотних смугах полів.

Список використаних джерел

1. Аріон О.В., Купач Т.Г., Дем'яненко С.О. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства : навчально-методичний посібник. Київ, 2017. 226 с.
2. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буланій О.В., Тонха О.Л. Моніторинг якості ґрунтів. Підручник. Київ: Видавництво НУБіП України, 2019. 421 с.
3. Вакерич М.М., Кишко К.М., Гедзур Т.І., Глюдзик-Шемота М.Ю. Ґрунтознавство. Навчально-методичний посібник. Ужгород, 2022. 94 с.
4. ҐРУНТИ. Визначення щільності ґрунтів методом заміщення об'єму ДСТУ Б В.2.1 – 21:2009. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 12 с.
5. Ґрунтознавство з основами геології та географія ґрунтів : навчальний посібник / Ф.П. Топольний та ін. Кіровоград : В.Ф. Лисенко, 2014. 383 с.
6. Ґрунтознавство : навч. пос. / В. І. Аверченко, Н. М. Самойленко. Харків: Мачулін, 2018. 118 с.
7. Заболотний Г.М., Дідур І.М., Пелех Л.В. Землеробство : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (змістовна частина 1 «Агрофізичні і фізико-механічні властивості ґрунту. Бур'яни та заходи боротьби з ними») студентами 2-го курсу денної форми навчання агрономічного факультету з галузі знань 0901 «Сільське господарство та лісівництво» напряму підготовки 6.090101 «Агрономія» освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». Вінниця, 2017. 86 с.
8. Медведев В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Пліско І.В. Агрофізика ґрунту . Навчальний посібник . Київ: Видавництво, 2018. 272 с.
9. Механіка ґрунтів : конспект лекцій / уклад. : В.В. Полевецький, Ю.Т. Собко. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 56 с.
10. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / Л.М. Шутенко та ін. ; за ред. Л.М. Шутенка ; пер. з рос. ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. 563 с.
11. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : підручник / О.М. Царенко та ін. ; за ред. С.С. Яцуна. Київ : Мета, 2003. 448 с.
12. Основи агрономії : навчальний посібник / Л.Ю. Забродоцька. Луцьк : Інформ.-вид. відділ Луцького НТУ, 2019. 360 с.
13. Основи агрономії : навчальний посібник до практичних занять та самостійної роботи / Н.І. Хомик, Г.Б. Цюнь, Т.А. Довбуш, Н.А. Антончак. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2021. 320 с.
14. Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник / С.Г. Чорний. Миколаїв: МНАУ, 2018. 233 с.
15. Пенетрометр Dickey-john – механічний тестер перевірки проникності ґрунту. Запоріжжя : Політехніка, 2011. 4 с.
16. Рудь А.В., Мошенко І.О. Рекомендації з використання тестера (пенетрометра) для дослідження компактності ґрунту. Кам'янець-Подільський : Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2023. 10 с.
17. Рудь А.В. Результати дослідження щільності ґрунтів. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика* : матеріали V Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої 125-річчю кафедри рослинництва НУБіП України (м. Київ, 25–27 жовтня 2023 року). / НУБіП України. Київ, 2023. С. 309–311. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u163/tezy_kiyiv_2023_5.11.pdf.
18. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум / навчальний посібник / В.Г. Гаськевич, І.Я. Папіш, О.Г. Телегуз. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 170 с.

Ivanyshen V. V.

*Doctor of Economic Sciences, Academician of the NAAS of Ukraine,
Professor at the Department of Transport Technologies and Agricultural Industrial Complex,
Higher educational institution "Podillia State University"*

Kamianets-Podilskyi, Ukraine

E-mail: rector@pdatu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-1255-1638

Rud A. V.

*Doctor of Philosophy in the Field of Technical Sciences,
Head of the Department of Agricultural Engineering and System Engineering
named after Mykhailo Samokysh,
Higher educational institution "Podillia State University"*

Kamianets-Podilskyi, Ukraine

E-mail: anatoliyrujdj@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7206-7103

Hrushetskyi S. M.

*Candidate Of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and System Engineering named
after Mykhailo Samokysh,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152*

Korchak M. M.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and System Engineering named
after Mykhailo Samokysh,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: nikolaykorchak@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152*

RESULTS OF RESEARCH OF SOIL COMPACTNESS**Abstract**

The problem of soil compaction is as follows: compacted soils are harder and more difficult to cultivate; compaction limits the management of groundwater, trapping water near the field surface, reducing water penetration into the lower soil layers, while limiting the ability of plants to raise moisture and nutrients from the lower soil layers; the overcompacted soil zone does not allow for the effective use of fertilizers and pesticides, and if they are not absorbed by the soil, they can be easily washed away, which leads to environmental pollution and reduced crop yields; in compacted soils, the rate of air exchange and nitrogen mineralization decreases.

A threat to the crop is plow sole, which is a man-made problem. This is a compacted layer of soil in the arable layer, which arises as a result of the pressure of the working bodies of soil-tillage units at the same depth of cultivation. In this case, the soil structure is destroyed, the number of dust-like particles increases, which subsequently sink into the arable layer and the soil profile becomes denser; soil pores are clogged, a waterproof layer is formed, which is called the plow sole.

The article presents the results of a practical study of soil compactness on the lands of the limited liability company "Corporation "Kolos-VS" with a DICKEY-john manual penetrometer, which provides measurement of soil compactness in pounds per square inch on the dial of a manometer with two scales (for two different conical tips).

To convert the readings of the penetrometer manometer from PSI units (pounds per square inch) to metric units (kg per square centimeter), we proposed an analytical dependence and built a corresponding nomogram.

The research was conducted on thirteen fields of the limited liability company "Corporation "Kolos-VS". In each field, the number of measurement points on the main area of the field and on their turning strips was determined, the average depth of critical soil compaction, its standard deviation and coefficient of variation, the range of change in the depth of critical soil compaction. At the same time, the average value of critical soil compaction, its standard deviation, coefficient of variation and the range of change in critical soil density were determined.

For each studied field, conclusions were drawn and proposals were made to the limited liability company "Corporation "Kolos-VS" regarding soil decompression by deep loosening.

Key words: soil compaction, running systems, plow sole, critical density, range of change, field suitability, depth of loosening.

References

1. Arion, O.V., Kupach, T.G., & Demyanenko, S.O. (2017). *Heohrafiya gruntiv z osnovamy gruntoznastva* [Geography of soils with the basics of soil science]. Educational and methodological manual. Kyiv [in Ukrainian].
2. Bulygin, S.Yu., Vitvitskyi, S.V., Bulanyi, O.V., & Tonkha, O.L. (2019). *Monitorynh yakosti gruntiv* [Monitoring of the quality of soils]. Kyiv: Publishing House of NUBiP of Ukraine [in Ukrainian].
3. Vakerych, M.M., Kishko, K.M., Gedzur, T.I., & Glyudzyk-Shemota, M.Yu. (2022). *Hruntoznastvo* [Soil science]. Educational and methodological manual. Uzhgorod [in Ukrainian].
4. *Vyznachennya shchil'nosti gruntiv metodom zamishchennya ob'yemu* [Determination of soil density by the volume replacement method] (2010). DSTU B V. V.2.1-21:2009, Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].
5. Topolny, F.P., Mostipan, M.I., Gelevera, O.F., & Vakhtnyak, V.S. (2014). *Gruntoznastvo z osnovamy heolohiyi ta heohrafiya gruntiv* [Soil science with the basics of geology and soil geography]. Kirovograd: V.F. Lysenko [in Ukrainian].
6. Averchenko, V.I., & Samoilenko, N.M. (2018). *Gruntoznastvo* [Soil science]. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
7. Zabolotny G.M., Didur I.M., & Pelekh L.V. (2017) *Zemlerobstvo. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornykh robot (zmistovna chastyna 1 «Ahrofizychni i fizyko-mekhanichni vlastyivosti hruntu. Bur'yany ta zakhody borot'by z nymy») – studentamy 2-ho kursu dennoyi formy navchannya ahronomichnoho fakul'tetu z haluzi znan' 0901 – «Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytstvo» napryamu pidhotovky 6.090101 – «Ahronomiya» osviti o-kvalifikatsiynoho rivnya «Bakalavr»* [Agriculture. Methodological instructions for performing laboratory work (content part 1 «Agrophysical and physico-mechanical properties of soil. Weeds and measures to combat them») – by students of the 2nd year of full-time study at the Faculty of Agronomy in the field of knowledge 0901 – «Agriculture and Forestry» of the training direction 6.090101 – «Agronomy» of the educational and qualification level «Bachelor»] Vinnytsia [in Ukrainian].

8. Medvedev, V.V., Bulygin, S.Yu., Vitvitsky, S.V., & Plisko, I.V. (2018). *Ahrofizyka gruntu [Agrophysics of the soil]*. Kyiv: Publishing house [in Ukrainian].
9. Polevetsky, V.V., & Sobko, Yu.T. (2023). *Mekhanika hruntiv : konsp. lektsiy / uklad [Soil mechanics: lecture notes / structure]*. Chernivtsi: Chernivtsi National University named after Yu. Fedkovych [in Ukrainian].
10. Shutenko, L.M., Rud, O.G., Kichaeva, O.V., Samorodov, O.V., & Gavrilyuk, O.V. (2017). *Mekhanika gruntiv, osnovy ta fundamenti [Mechanics of soils, foundations and foundations]*. Kharkiv: KHNUMG O.M. Bekeov [in Ukrainian].
11. Tsarenko, O.M., Voytyuk, D.G., Shvaiko, V.M., Dovzhik, M.Ya., & Yatsuna, S. S. (2003) *Mekhaniko-tekhnologichni vlastyvy sil's'kohospodars'kykh materialiv [Mechanical and technological properties of agricultural materials]*. Kyiv: Meta [in Ukrainian].
12. Zabrodotska, L.Yu. (2019). *Osnovy ahronomiyi [Fundamentals of Agronomy]*. Lutsk: Information and Publishing Department of Lutsk NTU [in Ukrainian].
13. Khomyk, N.I., Tsyon, H.B., Dovbush, T.A., & Antonchak, N.A. (2021). *Osnovy ahronomiyi: navchal'nyy posibnyk do praktychnykh zanyat' ta samostiynoi roboty [Fundamentals of Agronomy: a study guide for practical classes and independent work]*. Ternopil: Individual entrepreneur Palanytsia V.A. [in Ukrainian].
14. Chornyi, S.H. (2018). *Otsinka yakosti gruntiv: navchal'nyy posibnyk [Assessment of soil quality: a study guide]*. Mykolaiv: MNAU [in Ukrainian].
15. *Penetrometr Dickey-john – mekhanichnyy tester perevirky pronykakhnostni hruntu* (2011). [The Dickey-john penetrometer is a mechanical tester for testing soil permeability]. Zaporizhia, Polytechnic [in Ukrainian].
16. Rud, A.V., & Moshenko, I.O. (2023). *Rekomendatsiyi z vykorystannya testera (penetrometra) dlya doslidzhennya kompaktnosti gruntu [Recommendations for using a tester (penetrometer) to test soil compactness]*. Kamianets-Podilskyi: Higher education institution «Podilskyi State University» [in Ukrainian].
17. Rud, A.V. (2023). *Rezultaty doslidzhennya shchil'nosti gruntiv [Results of soil density research], Tendentsiyi ta vykyky suchasnoyi ahrarnoyi nauky: teoriya i praktyka [Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice]*. Prysnyachena 125-richchyu kafedry roslinnytstva NUBIP Ukrayiny materialy V mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi onlayn konferentsiyi (m. Kyiv, 25-27 zhovtnya 2023 roku) – *Materials of the V international scientific and practical online conference dedicated to the 125th anniversary of the Department of Plant Production of the National Agricultural University of Ukraine (Kyiv, October 25–27, 2023)*] NUBIP [in Ukrainian].
18. Haskevych, V.G., Papish, I.Ya., & Teleguz, O.G. (2021). *Fizyka gruntiv. Laboratornyy praktykum [Soil Physics. Laboratory Workshop]*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].