

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

ДОЛЯ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК: [631.512:631.34]:[631.527.5:633.15](292.485:477.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ
ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ
ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

201 «Агрономія»

20 «Аграрні науки та продовольство»

Подается на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С. М. Доля

Науковий керівник: Шевченко Микола Вікторович, доктор
сільськогосподарських наук, професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Доля С. М. Ефективність способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія». Державний біотехнологічний університет, м. Харків, 2024.

Основними факторами, що впливають на показники родючості чорнозему типового та врожайність сільськогосподарських культур, зокрема і кукурудзи, є обробіток ґрунту. Беручи до уваги неоднозначність впливу як оранки, так і безполицевих обробітків на агрофізичні показники ґрунту, накопичення вологи, розкриття гібридами кукурудзи свого генетичного потенціалу тощо, постає необхідність у вивченні та уточненні способу основного обробітку ґрунту, якого треба дотримуватись в агротехнічному процесі вирощування кукурудзи.

Наукова новизна досліджень. *Уперше:* в умовах нестійкого та недостатнього зволоження на чорноземах типових обґрунтовано доцільність застосування безполицевого обробітку ПРН-31000 на глибину 33–35 см при вирощуванні кукурудзи на зерно; досліджено вплив локального обробітку чизельними знаряддями на агрофізичні, водно-фізичні та мікробіологічні показники ґрунту; визначено залежність стану поверхні ґрунту та стійкості агроценозу кукурудзи до ерозійних процесів на фоні застосування мінімального обробітку; на ділянках гібридизації кукурудзи ДБ Хотин рекомендовано проводити оранку на глибину 25–27 см у поєднанні з комплексним застосуванням ґрунтового гербіциду на основі діючої речовини пропізохлор 720 г/л і страхових гербіцидів з діючими речовинами клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/кг.

Удосконалено: окремі технологічні процеси вирощування кукурудзи на ділянках гібридизації, які спрямовані на підвищення урожайності та якості насінницького матеріалу.

Набуло подальшого розвитку: дослідження впливу способів основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у Лівобережному Лісостепу України.

Мета досліджень – визначити ефективність різних способів основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення таких **завдань**: дослідити зміни агрофізичного стану орного шару залежно від ступеня інтенсивності та глибини обробітку ґрунту; визначити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на забезпечення вологою кореневмісного шару ґрунту; дослідити целюлозолітичну активність ґрунту залежно від способів основного обробітку ґрунту; встановити рівень ґрунтозахисної ефективності різних способів основного обробітку ґрунту; дослідити вплив способів основного обробітку ґрунту на гербологічні зміни та фітосанітарний стан у посівах кукурудзи; дослідити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на ділянках гібридизації кукурудзи ДБ Хотин на фоні комплексного застосування ґрунтових і страхових гербіцидів; встановити рівень урожайності зерна кукурудзи та ефективності способів основного обробітку ґрунту; дати економічну та енергетичну оцінку вирощування гібриду кукурудзи ДБ Хотин за різних способів обробітку ґрунту.

Дисертаційну роботу було виконано у рамках ініціативної тематики кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка у період 2021–2023 рр. «Розробити теоретичні основи ґрунтозахисної системи землеробства в Лівобережному Лісостепу та Північному Степу України» (№ державної реєстрації 0121U108245), а також ГДТ з ТОВ «МАЯК ВВВ» (НДР № 8-24 Д), яка виконана за програмою досліджень держбюджетної теми № 2-24-26 БО від

12 січня 2024 р. «Розроблення заходів для забезпечення сталої продуктивності агрофітоценозів за впливу абіотичних і біотичних стресових факторів».

Для вирішення поставлених завдань досліджували способи основного обробітку ґрунту: оранку ПЛН-4-35 на глибину 25-27 см; чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на глибину 33-35 см; безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33-35 см та дисковий обробіток БДМ-2,5 на 10-12 см. Визначено врожайність материнської форми гібриду кукурудзи ДБ Хотин на ділянках гібридизації. Було досліджено системи гербіцидного захисту на основі діючих речовин: нікосульфурон 45 г/л; 2,4 Д-етилгексильовий ефір 452 г/л + флоросулам 6,25 г/л; ацетохлор 900 г/л; клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/к і пропізохлор 720 г/л; клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/кг.

Установлено, що заміна оранки на глибокий безполицевий або мілкий дисковий обробіток ґрунту призводить до підвищення значень по окремих агрофізичних показниках родючості ґрунту. Після застосування оранки значення щільності складення в орному шарі ґрунту було найнижчим – 1,18 г/см³, а найвищим після чизельного локального та дискового обробітків – 1,23 і 1,24 г/см³ відповідно. Важливо відмітити, що щільність складення не перевищувала оптимальні значення як для чорнозему типового, так і для вирощування кукурудзи.

Твердість ґрунту демонструвала подібні тенденції до щільності складення, а кореляційна залежність між цими показниками склала 0,99. Не було виявлено значної різниці по впливу досліджуваних обробітків ґрунту на верхній шар ґрунту 0–10 см – 7,8–8,9 кг/см². Завдяки перевертанню орного шару, оранка забезпечила найнижчу твердість з-поміж всіх варіантів – 17,4 кг/см². Деяко підвищені значення цього показника на безполицевому та чизельному варіантах обробітку ґрунту пов'язані із впливом робочих знарядь які, не перевертаючи ґрунт, спричиняли його ущільнення, що обмежувало аерацію і збільшувало твердість. Систематичне застосування дискування БДМ-2-5 на глибину 10–12 см підвищувало твердість орного шару ґрунту відносно оранки на 3,3 кг/см².

Усі досліджувані варіанти забезпечили добру оструктуреність шару ґрунту 0–30 см з вищими значеннями при безполицевому та чизельному обробітках. Так, на цих варіантах, уміст повітряно-сухих і водотривких агрегатів становив: 74,0–74,4 і 55,0–57,3 %, відповідно. При проведенні обробітку ґрунту БДМ-2,5 на глибину 10–12 см відбулося зниження вмісту агрегатів 0,25–10 мм приблизно на 2,6 %, а агрегатів 5–10 мм на 10 % відповідно.

Щодо впливу на водно-фізичні показники ґрунту досліджувані обробітки ґрунту не мали значної різниці, однак чизельний обробіток створив умови для більшого накопичення вологи в орному шарі, а безполицевий обробіток ґрунту у метровому: 855 і 3090 м³/га. Дисковий обробіток на глибину 10–12 см призвів до зниження запасів вологи на 11 і 122 м³/га, відповідно.

Виявлено високу целюлозолітичну активність шару ґрунту 0–30 см після проведення оранки на глибину 25–27 см. Ляне полотно на цьому варіанті було розкладено на 24 %. Активність мікробіому досягала свого максимуму у шарі ґрунту 10–20 см, за винятком варіанту з безполицевим обробітком ПРН-31000, на якому вища целюлозолітична активність була зафіксована у шарі ґрунту 20–30 см, а об'єм розкладеного полотна склав 25,0 %. Дисковий обробіток ґрунту на глибину 10–12 см негативно впливав на целюлозолітичну активність.

Оранка як основний обробіток ґрунту забезпечила умови для отримання високого врожаю зерна кукурудзи. У цьому варіанті він був на рівні 6,70 т/га, а продуктивність склала 7,04 т к.-п. од./га. У варіанті з дискуванням на глибину 10–12 см відбулося зниження врожайності на 0,63 т/га, а продуктивності на 0,67 т к.-п. од./га. Серед інших обробітків, найближчі значення врожайності кукурудзи було отримано після проведення безполицевого обробітку ПРН-31000 на глибину 33–35 см. Варто зазначити, що на початковій стадії росту і розвитку кукурудзи було помічено високий рівень забур'яненості, однак після внесення гербіцидної суміші її шкідлива дія на культурні рослини була нівельована.

Встановлено, що варіанти основного обробітку істотно не впливали на ґрунтозахисну ефективність посівів кукурудзи, однак наявність агрегатів розміром понад 1 мм у шарі ґрунту 0–10 см у межах 44,8–50,2 % вказувала на

перевагу безполицевого обробітку ПРН-31000 на глибину 33–35 см у створенні найбільш оптимальних умов для протидії дефляційним процесам на поверхні ґрунту.

Дослідження врожайності насіння гібриду кукурудзи ДБ Хотин на ділянках гібридизації показало, що розміщення рядів материнських рослин по схемі 2:6 найбільш ефективно, зокрема на відстані 1,4 м від батьківських. Найвища частка отриманого врожаю кукурудзи була отримана на ділянках із віддаленістю до 0,7 м – 21–22 %. Застосування оранки на глибину 25–27 см сприяло отриманню максимального врожаю насіння кукурудзи – 1,50 т/га. Майже однаковий врожай отримано після чизельного локального обробітку ПЧ-2,5 та безполицевого обробітку ПРН-31000 – 1,23–1,28 т/га, відповідно. При систематичному проведенні дискування БДМ-2,5 на глибину 10–12 см зафіксовано зниження врожайності насіння кукурудзи на 0,31 т/га. Подібні дані отримано і при виробничій перевірці результатів досліджень. Окрім того, при вивченні систем контролювання забур'яненості виявлено максимальну ефективність застосування гербіциду на основі діючої речовини пропізохлор 720 г/л з нормою 3 л/га. Цей гербіцид мав позитивний вплив у формуванні високого врожаю гібриду ДБ Хотин, який склав 1,62 т/га.

У наших дослідженнях, за рахунок високої врожайності зерна та умовно чистого прибутку (3 650 грн) у варіанті з оранкою ПЛН-4-35 на 25–27 см рентабельність вирощування кукурудзи була найвищою – 13,8 %. Через низький прибуток і рівень врожайності у варіанті з дисковим обробітком БДМ-2,5, рентабельність вирощування кукурудзи виявилася нижчою на 7,5 %. Усі досліджувані обробітки ґрунту істотно впливали на енергетичну ефективність вирощування кукурудзи. Коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) був найвищим на варіанті з проведенням оранки ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см – 4,35. За показниками енергетичної ефективності варіант з безполицевим обробітком ґрунту ПРН-31000 на глибину 33–35 см наближався до контролю, при цьому коефіцієнт енергетичної ефективності склав 4,24.

Ключові слова: кукурудза, оранка, безполицевий обробіток ґрунту, урожайність, агрофізичні показники, водно-фізичні показники, зернові культури, ґрунтозахисна ефективність, гібридизація, насіння, целюлозолітична активність ґрунту, гібрид, економічна ефективність, енергетична ефективність.

ANNOTATION

Dolia S. M. Efficiency of tillage methods during the corn growing in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Qualifying scientific paper, manuscript copyright.

Thesis for the Academic Degree of the Doctor of Philosophy in specialty 201 «Agronomy» (20 Agricultural and Food Sciences). State Biotechnological University, Kharkiv, 2024.

The main factors affecting the fertility of typical chernozem and the yield of crops, including corn, are soil tillage. Taking into account the ambiguity of the impact of both ploughing and moldboardless tillage on soil agrophysical parameters, moisture accumulation, the disclosure of genetic potential by corn hybrids, etc., there is a need to study and clarify the method of basic tillage that should be followed in the agrotechnical process of growing corn.

Scientific novelty of the research. *For the first time:* under conditions of unstable and insufficient moisture on typical black soils, the expediency of using the PRN-31000 moldboardless tillage at a depth of 33–35 cm for growing corn for grain has been substantiated; The impact of local tillage with chisel tools on agrophysical, water-physical and microbiological soil parameters was studied; the dependence of soil surface condition and resistance of corn agrocenosis to erosion processes on the background of minimal tillage was determined; on the corn hybridisation sites of DB Khotyn, it is recommended to plough to a depth of 25–27 cm in combination with the complex application of a soil herbicide based on the active ingredient propizochlor 720 g/l and insurance herbicides with the active ingredients clopyralid 300 g/l + tifenulfuron-methyl 750 g/kg.

Improved: distinct technological processes of corn growing at hybridisation sites aimed at increasing yields and quality of seed material.

Further development was made in the study of the impact of basic tillage methods for growing grain corn in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

The aim of the research is to determine the effectiveness of different methods of basic soil tillage for corn growing in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

To achieve this goal, the following tasks were envisaged: to investigate changes in the agrophysical state of the tilth layer depending on the degree of intensity and depth of tillage; to determine the impact of different methods of basic tillage on the provision of moisture to the root layer of the soil; to investigate the cellulolytic activity of the soil depending on the methods of basic tillage; determine the level of soil protection efficiency of different methods of basic tillage; to investigate the impact of primary tillage methods on herbological changes and phytosanitary conditions in corn crops; to investigate the impact of different methods of basic tillage on maize hybridisation plots at the DB Khotyn against the background of integrated use of soil and insurance herbicides; to determine the level of corn grain yield and the effectiveness of basic tillage methods; to give an economic and energy assessment of growing the corn hybrid DB Khotyn under different methods of soil tillage.

The dissertation was carried out within of the initiative theme of the farming and herbology named after O.M. Mozheiko chair in the period 2021–2023 «Developing the theoretical foundations of a soil protection system of farming in the Left-Bank Forest-Steppe and Northern Steppe of Ukraine» (state registration number 0121U108245), as well as the economic contractual topic with LLC «MAYAK VVV» (research and development work № 8-24 D), which was carried out under the research programme of the Ministry investigative project № 2-24-26 BO of 12 January 2024 «Development of measures to ensure the sustainable productivity of agrophytocenoses under the influence of abiotic and biotic stress factors».

To solve the tasks, the following methods of basic tillage were investigated: ploughing PLN-4-35 to a depth of 25–27 cm; chisel local tillage PC-2.5 to a depth of 33–35 cm; moldboardless tillage PRN 31000 to 33–35 cm and discing BDM-2.5 to 10–12 cm. The yield of the maternal form of the corn hybrid DB Khotyn on the hybridization sites was determined. Herbicide protection systems based on active substances were investigated: nicosulfuron 45 g/l; 2,4 D-ethylhexyl ether 452 g/l +

florosulam 6.25 g/l; acetochlor 900 g/l; clopyralid 300 g/l + thifensulfuron-methyl 750 g/kg and propizochlor 720 g/l; clopyralid 300 g/l + thifensulfuron-methyl 750 g/kg.

It has been established that replacing ploughing with deep moldboardless or shallow discing leads to an increase in the values of certain agrophysical indicators of soil fertility. After ploughing, the value of the density of compaction in the arable soil layer was the lowest -1.18 g/cm^3 , and the highest after chisel local and disc cultivation -1.23 and 24 g/cm^3 , respectively. It is important to note that the density of the compaction did not exceed the optimum values for both typical chernozem and corn cultivation.

The soil hardness showed similar trends to the density of the compaction, and the correlation between these indicators was 0.99. There was no significant difference in the effect of the studied tillage on the topsoil 0–10 cm $-7.8-8.9 \text{ kg/cm}^2$. Due to the turning of the topsoil, the ploughing resulted in the lowest hardness of all the variants at 17.4 kg/cm^2 . The slightly higher values of this indicator in the moldboardless and chisel tillage variants are due to the impact of working tools that, without turning the soil over, caused its compaction, which limited aeration and increased hardness. The systematic use of disking with BDM-2-5 to a depth of 10–12 cm increased the hardness of the tilth layer of soil relative to ploughing by 3.3 kg/cm^2 .

All the variants studied provided good structure of the 0–30 cm soil layer, with higher values in the case of moldboardless and chisel tillage. For example, in these variants, the content of air-dry and water-resistant aggregates was as follows: 74.0–74.4 and 55.0–57.3%, respectively. When the soil was tillage with BDM-2.5 to a depth of 10–12 cm, the content of 0.25–10 mm aggregates decreased by about 2.6%, and that of 5–10 mm aggregates by 10%, respectively.

In terms of the impact on the water-physical parameters of the soil, the studied tillage did not have a significant difference, but chisel tillage created conditions for greater moisture accumulation in the arable layer, and moldboardless tillage in the layer of 0–100 cm: 855 and 3090 m^3/ha . Discing to a depth of 10–12 cm led to a decrease in moisture reserves by 11 and 122 m^3/ha , respectively.

The high cellulolytic activity of the 0–30 cm soil layer after ploughing to a depth of 25–27 cm was found. The linen fabric on this version was decomposed by 24%. The microbiome activity reached its maximum in the soil layer of 10–20 cm, except for the variant with moldboardless tillage of PRN-31000, where the highest cellulolytic activity was recorded in the soil layer of 20–30 cm, and the volume of decomposed fabric was 25.0%. Discing to a depth of 10–12 cm had a negative impact on cellulolytic activity.

Ploughing as the main tillage method provided the conditions for a high yield of corn grain. In this variant, it was 6.70 t/ha, and the productivity was 7.04 t of feed protein units/ha. In the variant with disking to a depth of 10–12 cm, there was a decrease in yield by 0.63 t/ha and productivity by 0.67 t feed protein units/ha. Among other treatments, the nearest values of corn yield were obtained after the PRN-31000 was tillage without moldboard at a depth of 33–35 cm. It is worth noting that at the start stage of corn growth and development, a high level of weeds was observed, but after the application of the herbicide mixture, its harmful effect on cultivated plants was levelled.

It was established that the variants of the basic tillage did not significantly affect the soil protection efficiency of corn crops, but the presence of aggregates larger than 1 mm in the soil layer of 0–10 cm in the range of 44.8–50.2% indicated the advantage of moldboardless tillage with PRN-31000 to a depth of 33–35 cm in creating the most optimal conditions for counteracting deflationary processes on the soil surface.

The research of the seed yield of the corn hybrid DB Khotyn in the hybridisation plots showed that the arrangement of rows of mother plants according to the 2:6 scheme is the most effective, in particular at a distance of 1.4 m from the father plants. The highest proportion of the corn yield was obtained in plots with a distance of up to 0.7 m – 21–22%. The use of ploughing to a depth of 25–27 cm contributed to the maximum yield of corn seeds – 1.50 t/ha. Almost the same yield was obtained after chisel local tillage of PC-2.5 and moldboardless tillage of PRN-31000 – 1.23–1.28 t/ha, respectively. With systematic disking of the BDM-2.5 to a depth of 10–12 cm, a decrease in corn seed yield of 0.31 t/ha was recorded. The similar data were obtained

during the production testing of the research results. In addition, the study of weed control systems revealed the maximum efficiency of using a herbicide based on the active ingredient propizochlor 720 g/l at a rate of 3 l/ha. This herbicide had a positive influence on the formation of a high yield of the hybrid DB Khotyn, which was 1.62 t/ha.

In our research, due to the high grain yield and conditional net profit (UAH 3,650) in the variant with PLN-4-35 ploughing at 25–27 cm, the profitability of corn growing was the highest – 13.8%. Due to the low profit and yield level in the variant with the BDM-2.5 discing, the profitability of corn growing was 7.5% lower. All of the soil tillage treatments studied had a significant impact on the energy efficiency of corn growing. The energy efficiency factor (EEF) was the highest in the variant with ploughing PLN-4-35 to a depth of 25–27 cm – 4.35. In terms of energy efficiency, the variant with moldboardless tillage PRN-31000 at a depth of 33–35 cm was approaching control, with an energy efficiency coefficient of 4.24.

Keywords: corn, ploughing, moldboardless tillage, yield, agrophysical parameters, water-physical parameters, cereals, soil protection efficiency, hybridisation, seeds, cellulosic soil activity, hybrid, economic efficiency, energy efficiency.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Доля С. М. Ефективність вирощування кукурудзи на зерно залежно від способів основного обробітку ґрунту. *Зернові культури*. 2024. Т. 8, № 1. С. 187–194. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0328>.

2. Доля С. М., Шевченко М.В. Вплив способів обробітку ґрунту на целюлозолітичну активність чорнозему типового при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика. Сільськогосподарська мікробіологія, землеробство*. 2024. № 3. С. 56–66. <https://doi.org/10.54651/agri.2024.03.06>

3. **Dolia S.**, Shevchenko M. Influence of primary tillage on some soil fertility indicators and corn yield. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2024. Vol. 28(2). P. 33–41. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2024.33> (особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні статті, участь у формулюванні висновків, підготовка статті).

4. Шевченко М. В., Круглов О. В., Коляда В. П., Доля С. М., Журавель О. М. Просторовий розподіл ґрунтової вологи навесні в схиловому агроландшафті. *AgroChemistry and Soil Science*. 2024. Вип. 96. С. 4–11. <https://doi.org/10.31073/acss96-01> (особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні статті, участь у формулюванні висновків, підготовка статті).

Монографії

5. Koliada V. P., Kruglov O. V., Shevchenko M. V., Zhuravel O. M., **Dolia S. M.** Influence of Soil Tillage Methods on the Protective Role of Vegetation Cover. Ed. by L. Kuzmych. *Sustainable Soil and Water Management Practices for Agricultural Security*. 2025. P. 135–154. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8307-0.ch006>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Шевченко М. В., Мозговий Р. С., Зубковський О. А., Доля С. М. Ефективність позакореневого підживлення соняшнику. *Агроном*. 2021. № 2(72). С. 122–125 (*особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні статті, участь у формулюванні висновків, підготовка матеріалів до опублікування*).

7. Доля С. М., Іфкірн М. Урожайність кукурудзи на зерно залежно від способів обробітку ґрунту в лівобережному Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: VI Міжнародна науково-практична конференція присв. ювілейним річницям проф. О.М. Можейка, В.В. Милого, Ю.В. Будьонного, І.І. Назаренка, 29–30 листопада 2022 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2022. С. 113 (*особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні тез, участь у формулюванні висновків, підготовка матеріалів до опублікування*).

8. Доля С. М., Комісаров С. В. Вплив основного обробітку ґрунту на агрофізичні показники чорнозему типового та врожайність кукурудзи. Інноваційні системи землеробства та землекористування – стратегічний напрям розвитку аграрного сектору держави в умовах воєнних та поствоєнних дій: Міжнародна наукова конференція, Чабани, 24 жовтня 2023 р. 2023. С. 45–49 (*особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні тез, участь у формулюванні висновків, підготовка матеріалів до опублікування*).

9. Шевченко М.В., Доля С.М. Ґрунтозахисна спрямованість сучасних технологій обробітку ґрунту. *Науково-інноваційний розвиток агровиробництва як запорука продовольчої безпеки України: вчора, сьогодні, завтра*: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 28–29 вересня 2023 р. / НААН, ННСГБ, Ін-т історії аграр. науки, освіти та техніки, Ін-т СГ Карпатського регіону НААН; наук. ред. В. А. Вергунов. Київ, Оброшине, 2023. С. 293-295 (*особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні тез, участь у формулюванні висновків, підготовка матеріалів до опублікування*).

10. Шевченко М.В., Доля С.М. Водно-фізичні показники ґрунту залежно від прийомів основного обробітку у посівах кукурудзи на зерно. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2024*: зб. мат. XXVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 17-18 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 60-61 (*особистий внесок – співавтор ідеї, літературний аналіз, участь у написанні тез, участь у формулюванні висновків, підготовка матеріалів до опублікування*).

11. Доля С. М. Методи ресурсозбереження в інтенсивних технологіях виробництва насінницької продукції. *Продовольчі системи України: повосінне відновлення за забезпечення сталого розвитку*: Міжнародний науково-практичний форум (м. Харків, 15–16 травня 2024 р.). URL: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ (огляд літератури).....	24
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
2.1. Загальні відомості про район досліджень.....	46
2.2. Ґрунтовий покрив району досліджень	46
2.3. Погодні умови під час проведення досліджень.....	48
2.4. Методика проведення досліджень.....	57
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ОКРЕМІ ПОКАЗНИКИ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО.....	64
3.1. Вплив основного обробітку ґрунту на окремі агрофізичні показники чорнозему типового	64
3.1.1. Щільність складення ґрунту залежно від основного обробітку ґрунту. ...	65
3.1.2. Твердість ґрунту залежно від основного обробітку ґрунту	68
3.1.3. Структурний стан чорнозему типового залежно від способів основного обробітку ґрунту.....	73
3.2. Водно-фізичні показники чорнозему типового залежно від способів обробітку ґрунту.....	78
3.3. Целюлозолітична активність чорнозему типового залежно від способів основного обробітку ґрунту	83
РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ	88
4.1. Урожайність кукурудзи та гербологічний стан посівів залежно від способів основного обробітку ґрунту	88
4.2. Забур'яненість посівів кукурудзи залежно від способів основного обробітку ґрунту.....	92
4.3. Ґрунтозахисна ефективність способів основного обробітку ґрунту	96
4.4. Вплив способів основного обробітку ґрунту та гербіцидів на вирощування гібриду кукурудзи ДБ Хотин у ділянках гібридизації	99
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ .	109

ВИСНОВКИ	117
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
ДОДАТКИ	161

ВСТУП

Для сталості сільського господарства та отримання високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур має бути організована система у рамках ґрунт–рослина–клімат–район–соціально-економічні умови–ефективність врожаю. Ефективність такої системи має ґрунтуватися на системі обробітку ґрунту, адже залежно від властивостей ґрунту, його агрофізичних і водно-фізичних характеристик, сівозмін та технологій вирощування, сільськогосподарські культури по-різному реагують на неї. Застосування оптимальних способів обробітку сприяє покращенню фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту, зменшенню ерозії та підтримці родючості, що є особливо важливим в умовах сучасного інтенсивного землеробства.

Взаємозв'язок між виробництвом, прибутком, енергоефективністю та обраною системою обробітку ґрунту значною мірою визначається використанням ґрунту і погодно-кліматичними умовами. Впровадження нових систем обробітку ґрунту має базуватися на дослідженнях технологій та створенні нових сортів і гібридів культур. У Лівобережному Лісостепу України, що характеризується мінливими погодними умовами, вирощування кукурудзи є однією з провідних галузей землеробства. Саме в цій зоні особливо важливо впроваджувати адаптовані до місцевих умов технології обробітку ґрунту.

Кукурудза є цінною зерною культурою, яка відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої та кормової безпеки країни. Висока продуктивність цієї культури значною мірою залежить від технологій вирощування, особливо від системи обробітку ґрунту, яка повинна враховувати місцеві агрофізичні та кліматичні особливості. Традиційні методи обробітку, такі як оранка, все більше поступаються альтернативним, енергоощадним та ґрунтозахисним технологіям, таким як чизельний і безполицевий обробіток. Однак питання ефективності цих прийомів у різних агроекологічних умовах залишаються актуальними і потребують подальших досліджень.

Актуальність теми. Ефективність способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України є надзвичайно важливою для забезпечення сталого агровиробництва і збереження родючості ґрунтів. Лівобережний Лісостеп України є унікальною кліматичною зоною з характерними для неї ґрунтовими і погодними умовами, які вимагають особливого підходу до обробітку ґрунту. В умовах цієї зони оптимальні технології обробітку ґрунту мають значний вплив на врожайність та якість зерна кукурудзи, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і підтримуючи стійкість агросистем. Зокрема, вивчення і порівняння різних способів обробітку ґрунту, таких як оранка, безполицевий, чизельний і дисковий обробітки, є критично важливим для визначення найкращих практик, які сприятимуть збереженню агрофізичного, зокрема і структурного стану ґрунту, зменшенню ерозії та покращенню його водного режиму й аерації ґрунту.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вивчення нових підходів до обробітку ґрунту, які забезпечують максимальну врожайність кукурудзи при мінімізації негативного впливу на ґрунт та навколишнє середовище в умовах Лівобережного Лісостепу України. У зв'язку з цим, тема дослідження «Ефективність способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України» є надзвичайно актуальною і спрямованою на вдосконалення технологій вирощування кукурудзи з урахуванням сучасних вимог до збереження ґрунтового середовища та підвищення стійкості агроєкосистем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота над дисертаційними дослідженнями проводилася впродовж 2021–2023 рр. у Державному біотехнологічному університеті. Дисертаційна робота була складовою частиною тематичного плану та виконувалася у рамках ініціативної тематики кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка «Розробити теоретичні основи ґрунтозахисної системи землеробства в Лівобережному Лісостепу та Північному Степу України» (№ державної реєстрації 0121U108245) та ГДТ з ТОВ «МАЯК ВВВ» (НДР № 8-24 Д).

Мета досліджень – визначити ефективність різних способів основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення наступних завдань:

- дослідити зміни агрофізичного стану орного шару залежно від ступеня інтенсивності та глибини обробітку ґрунту;
- визначити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на забезпечення вологою кореневмісного шару ґрунту;
- дослідити целюлозолітичну активність ґрунту залежно від способів основного обробітку ґрунту;
- встановити рівень ґрунтозахисної ефективності технологій на основі різних способів основного обробітку ґрунту;
- дослідити вплив способів основного обробітку ґрунту на елементи фітосанітарного стану та гербологічних змін у посівах кукурудзи;
- дослідити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на ділянках гібридизації кукурудзи ДБ Хотин на фоні комплексного застосування ґрунтових і страхових гербіцидів;
- встановити рівень урожайності зерна кукурудзи та ефективності технологій залежно від способів основного обробітку ґрунту.
- дати економічну й енергетичну оцінку вирощування гібридів кукурудзи за різних елементів технології.

Об’єкт досліджень: чорнозем типовий, кукурудза, обробіток ґрунту.

Предмет досліджень: урожайність, показники родючості ґрунту, економічна та енергетична ефективність вирощування кукурудзи.

Методи дослідження. У процесі виконання дисертаційних досліджень використовували спеціальні агрономічні та загальнонаукові методи. Польовий – для встановлення ґрунтозахисної ефективності основних обробітків ґрунту, а також їх впливу на агрофізичні, водно-фізичні та мікробіологічні показники родючості ґрунту, урожайність зерна кукурудзи. Розрахунково-порівняльний –

оцінка продуктивності, економічної та енергетичної ефективності вирощування кукурудзи за різних способів обробітку ґрунту. Математично-статистичний – установлення достовірності отриманих результатів і кореляційних залежностей між досліджуваними показниками.

Наукова новизна досліджень. *Уперше:* в умовах нестійкого та недостатнього зволоження на чорноземах типових обґрунтовано доцільність застосування глибокого безполицевого обробітку при вирощуванні кукурудзи на зерно; досліджено вплив локального обробітку чизельними знаряддями на агрофізичні, водно-фізичні та мікробіологічні показники ґрунту; визначено залежність стану поверхні ґрунту та стійкості агроценозу кукурудзи до ерозійних процесів на фоні застосування мінімального обробітку ґрунту; при вирощуванні ділянок гібридизації кукурудзи ДБ Хотин рекомендовано застосування оранки на глибину 25–27 см у поєднанні з комплексного застосування ґрунтових і страхових гербіцидів.

Удосконалено: окремі технологічні процеси вирощування на ділянках гібридизації кукурудзи, які спрямовані на підвищення урожайності та якості насінницького матеріалу.

Набуло подальшого розвитку: дослідження впливу способів основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у Лівобережному Лісостепу України

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень мають важливе практичне значення для агровиробництва. Зокрема, їхнє застосування дозволить оптимізувати технології обробітку ґрунту, знизити витрати пального та зменшити потребу в застосуванні важкої техніки, що зробить виробництво кукурудзи більш рентабельним; зменшить негативний вплив на ґрунт, сприятиме зниженню ерозійних процесів, підтримці екологічного балансу і забезпеченню сталого розвитку сільського господарства та забезпечуватиме стабільність врожаю в умовах кліматичних змін. Отже, практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють підвищити ефективність агротехнологій, зберегти родючість ґрунтів і знизити

витрати на вирощування кукурудзи, що сприяє сталому розвитку агросектору в Лівобережному Лісостепу України.

Результати досліджень пройшли виробничу перевірку у 2023–2024 рр., а також були впроваджені у навчальний процес на кафедрі землеробства та гербології ім. О. М. Можейка.

Особистий внесок здобувача. Автор безпосередньо брав участь у виборі теми, визначенні актуальності, мети та завдань досліджень, плануванні та проведенні досліджень, аналізі та інтерпретації результатів, статистичній обробці даних, формулюванні наукових висновків та рекомендацій виробництву. За результатами досліджень написано та опубліковано наукові праці відповідно до теми дисертаційної роботи.

Апробація результатів досліджень. Основні результати наукових досліджень доповідалися та обговорювалися на: VI Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва» (м. Харків, 29–30 листопада 2022 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Науково-інноваційний розвиток агровиробництва як запорука продовольчої безпеки України: вчора, сьогодні, завтра» (м. Київ, 28–29 вересня 2023 р.); XXVI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2024» (м. Харків, 17-18 квітня 2024 р.); міжнародній науковій конференції «Інноваційні системи землеробства та землекористування – стратегічний напрям розвитку аграрного сектору держави в умовах воєнних та поствоєнних дій» (сmt. Чабани, 23 жовтня 2023 р.), Міжнародному науково-практичному форумі «Продовольчі системи України: повоєнне відновлення за забезпечення сталого розвитку» (м. Харків, 15–16 травня 2024 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано у 10 наукових працях, зокрема у наукових фахових виданнях України – 4; у розділі закордонної монографії – 1; тезах і матеріалах конференцій – 6.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційну роботу викладено на 120 сторінках основного тексту, вона складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 14 таблиць, 11 рисунків та 17 додатків. Список використаних джерел налічує 352 найменування, з них 218 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ (огляд літератури)

Сучасні умови глобалізації спонукають вітчизняних аграрних виробників забезпечувати високу якість продукції, яка буде конкурувати на світовому продовольчому ринку [139]. На світовому ринку зернових культур кукурудза має частку 42 %, однак її виробництво не має стійкої динаміки. Згідно з даними Державної служби статистики України, у виробництві кукурудзи у період з 2021 р. по 2023 р. відбувалися певні коливання, що було зумовлено як змінами погодних умов, так і впливом воєнних дій на сільськогосподарське виробництво. Незважаючи на кліматичні умови та економічні виклики, загальна площа посівів кукурудзи продовжувала збільшуватися, забезпечуючи значну частину експортного потенціалу країни та продовольчу безпеку. Так, посівна площа цієї культури у 2021 р. перевищувала площу у 2020 р. на 90,5 тис. га і становила 5,5 млн га. Однак, у 2022 та 2023 рр., у зв'язку з військовою агресією росії проти України, цей показник значно знизився до 4,1 млн га, а валовий збір коливався від 26,2 млн т у 2022 р. до 42,1 млн т у 2021 р. [29]. Згідно з даними Міністерства сільського господарства США (USDA), у 2023–2024 рр. в Україні на виробництво кукурудзи припадає до 30,5 млн т. У 2021/22 маркетинговому році Україна експортувала близько 27 мільйонів тонн кукурудзи, що складало 64 % від загального виробництва. Попри війну, у 2022/23 МР експорт кукурудзи залишався на досить високому рівні – 25,5 млн т [344, 343].

За даними Міністерства сільського господарства США, лідерами по виробництву кукурудзи є США, Китай і Бразилія. США займає таку позицію завдяки високій врожайності. Всього минулого року американськими аграріями було зібрано 545,9 млн т зерна. Китай посідає друге місце в рейтингу завдяки значним площам. У 2019/2020 маркетинговому році китайські аграрії зібрали 260,8 млн т зерна, а у Бразилії – 102 млн т зерна. У 2019/2020 маркетинговому

році Україна посіла 6 місце серед світових виробників кукурудзи, зібравши 35,9 млн т зерна [344]. В Україні виробництво кукурудзи становить майже 50 % від усіх зернових. Переважно вона вирощується в 9 областях країни: Вінницькій, Дніпропетровській, Київській, Кіровоградській, Полтавській, Сумській, Харківській, Черкаській та Чернігівській.

Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найдавніших рослин, походження якої пов'язане з територією сучасної Центральної та Південної Мексики. Вона була окультурена близько 9 000 р. тому з дикорослого предка – теосінте, рослини, що зустрічається в тропічних регіонах Америки. Перші докази вирощування кукурудзи знайдені в археологічних місцях Мезоамерики, зокрема в долині річки Балсас. Кукурудза швидко поширилася по всьому американському континенту завдяки її харчовій цінності та адаптивності до різних кліматичних умов. Вона стала основною харчовою культурою для багатьох цивілізацій, включаючи майя, ацтеків та інків. Після прибуття європейців до Америки, кукурудза була інтродукована до Європи, Африки та Азії, де вона також стала однією з основних зернових культур. На сучасному етапі кукурудза вирощується на всіх континентах і є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі. Її вирощують для виробництва зерна, кормів, біопалива, а також для промислової переробки.

Із середини 1990-х років кукурудза (*Zea mays* L.) посідає провідне місце у структурі посівних площ та займає вагоме значення для економіки країн, які спеціалізуються на сільському господарстві. Це пояснюється тим, що ця культура має важливе харчове значення та початком промислового виробництва біоетанолу в світі. У зерні кукурудзи міститься велика кількість корисних речовин, таких як глюкоза, жирні кислоти, амінокислоти тощо, 72 % крохмалю, 10 % білку, 4,8 % олії та 8,5 % клітковини [127, 206, 19, 220].

Кукурудза вважається однією із ключових зернових культур світу, та України зокрема, завдяки високій потенційній продуктивності (14–15 т/га), за якою вона суттєво випереджає інші зернові культури. В Україні висівають до 100–110 тис. т гібридного насіння кукурудзи, з цієї кількості 70–75 тис. т насіння

іноземного походження. У період з 2021 р. по 2023 р. фактична врожайність культури у середньому по країні була на рівні 7,4 т/га, у той час у Харківській області цей показник складав 4,2–4,7 т/га. Таке значення зумовлено, передусім, біологічними особливостями культури, зокрема, вимогливістю на окремих стадіях органогенезу до забезпечення макро- і мікроелементами [4, 201, 350], а також своєчасності й якості проведення обробітку ґрунту. У цьому контексті, основному обробіток покращує умови для вегетативного росту і генеративного розвитку кукурудзи та формуванні урожайності [200, 273, 217, 322, 253, 187]. Зокрема, менш інтенсивний обробіток ґрунту та подовження періоду вирощування покривних культур дає змогу запобігти зниженню вмісту органічної речовини у ґрунті [28, 109, 59] та життєдіяльності ґрунтової біоти, при цьому зберігаючи структуру ґрунту та врожайність кукурудзи. Деякі науковці стверджують, що мінімальний обробіток ґрунту є найбільш вигідним прийомом, ґрунтуючись на тому, що він покращує агрофізичні та біологічні властивості ґрунту. Однак, ряд інших вчених вважають таке судження дещо перебільшеним, адже варто враховувати різну реакцію сільськогосподарських культур на мінімальний обробіток ґрунту, а також кліматичні зони і типи ґрунтів [60, 246]. Наприклад, вчені з Нідерландів [310] засвідчили про переваги мінімального обробітку ґрунту та тривалого вирощування покривних культур у системі беззмінного вирощування кукурудзи, але з точки зору зниження наслідків від зміни клімату. Водночас, такий обробіток ґрунту призвів до зниження врожайності кукурудзи порівняно з оранкою, що могло бути пов'язано з неоптимальними агрофізичними показниками ґрунту.

Історія обробітку ґрунту налічує багато тисячоліть, а перша згадка про оранку або обробіток ґрунту зустрічається з 3000 р. до н.е. в Месопотамії [227, 226]. R. Lal [249] у своїх працях пояснював, що історичний розвиток сільського господарства напряму пов'язаний з обробітком ґрунту. У XIX столітті з настанням промислової революції механічна енергія та трактори стали доступними для виконання робіт з обробітку ґрунту. З 1930-х років члени фермерських спільнот виступають за перехід до скороченої системи обробітку

грунту. Це пов'язано із використанням меншої кількості викопного палива, зменшенням проявів ерозії ґрунту і накопиченням органічного вуглецю [88]. Перші 50 років були початком руху за традиційний обробіток ґрунту, і сьогодні великий відсоток сільськогосподарських угідь обробляється за цим принципом [228, 141, 276].

Обробіток ґрунту – важлива складова сучасного землеробства, і тому цьому питанню надається чимало уваги, зокрема, такими провідними вітчизняними вченими як С. Булигін [8], Ю. Манько [65], В. Медведєв [66, 68], В. Паштецький [79], М. В. Шевченко [125, 124] та ін. В Україні існує диференційована система обробітку ґрунту, яка передбачає використання оранки, дискування, плоскорізного та чизельного обробітку на глибину від 6–8 до 40–45 см з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, вимог рослин і попередників. Водночас, вчені аграрного сектору розглядають переваги та недоліки полицевого й безполицевого, глибокого (24–32 см) і мілкового (8–16 см), а також поверхневого обробітків ґрунту [126, 184]. Деякі вчені зазначають, що внаслідок занадто частого обробітку, верхній шар ґрунту тривалий час перебуває у надмірно аерованому стані, що призводить до погіршення структурного стану, ерозії, втрат органічної речовини [280], ущільнення підорного і посівного шару через використання важких колісних тракторів, а також до перевитрат пального через велику кількість окремих технологічних операцій [27].

Оранка є одним з основних компонентів традиційного землеробства і століттями використовувалася для боротьби з бур'янами, підготовки посівного шару ґрунту, розпушування ґрунту, пригнічення хвороб, а також для покращення мінералізації та доступності поживних речовин [228]. Однак, крім цих переваг, науковці наводять й негативні наслідки: втрата органічної речовини ґрунту [59], зниження його біологічної активності [133], вилуговування карбонатів кальцію [280], зменшення вмісту і запасів елементів живлення у верхніх шарах ґрунту, а також ризик виникнення ерозійних процесів [208, 316]. Дослідження О.М. Бовсуновського показало, що обробітки ґрунту майже однаково впливають

на формування врожайності сільськогосподарських культур, а різниця між ними може бути у межах 2 % [6].

Альтернативні методи обробітку ґрунту, такі як мінімальний або нульовий, мульчування, сівозміна та міжкультурні посіви, можуть значно підвищити як родючість ґрунту, так і продуктивність сільськогосподарських культур в агроєкосистемах [99, 86, 308, 168]. За даними деяких авторів [84, 14], традиційний обробіток з використанням полицевої оранки провокує різні деградаційні процеси у ґрунті, зокрема, погіршує структурний стан через зниження кількості агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм. Водночас, мінімальний обробіток ґрунту з використанням комбінованих агрегатів призводить до збільшення вмісту водостійких агрегатів [1, 124]. Т. Rusu та ін. [298] стверджують, що застосування мінімального обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно не тільки запобігає деградації або ерозії ґрунту, але й скорочує виробничі витрати. Так, мінімальний обробіток ґрунту сприяє покращенню структурного стану ґрунту й умов життєдіяльності мікроорганізмів у ньому, запобігає розпаду гумусу тощо [298, 274]. Перехід на технологію мінімального обробітку ґрунту зумовлений не лише необхідністю збереження родючості ґрунту, а й постійним зростанням цін на паливно-мастильні матеріали, сільськогосподарську техніку та запчастини до неї. До переваг такої технології вони також відносять: економію часу, робочої сили, паливно-мастильних матеріалів і грошових ресурсів. Водночас деякі дослідники вважають, що закладений у таких технологіях обробіток ґрунту призведе до зниження врожайності деяких сільськогосподарських культур, зокрема, кукурудзи, як через збільшення кількості бур'янів у посівах, так і через погіршення фізико-механічних, мікробіологічних і технологічних умов тощо. Однак це твердження поділяють не всі науковці, які проводять дослідження у даному напрямку [219, 7, 218, 56, 222, 254]. Т. Чайка та ін. також зазначають, що такий обробіток ґрунту потребує певної мобільності та далекоглядності від сільськогосподарських виробників з метою забезпечення високої врожайності, досягнення прибутку та високої ефективності використання ресурсів [184].

В умовах зростання чисельності населення сільськогосподарське виробництво стикається з великими проблемами, зокрема у потребі зменшити потенційні екологічні загрози, яких зазнають сільськогосподарські угіддя через сільськогосподарське виробництво, водночас підвищуючи продуктивність сільськогосподарських культур [351, 160]. Ефективним способом підвищення врожайності сільськогосподарських культур є глибокий обробіток ґрунту, але постійне його використання руйнує структуру ґрунту та спричиняє втрати органічного вуглецю [95], а його шкода для оброблюваних земельних ресурсів та споживання енергоресурсів не сприяють більш чистому виробництву та сталому розвитку сільського господарства. Для отримання економічного та екологічного зиску необхідний постійний розвиток та оптимізація технологій обробітку ґрунту [188].

У Лісостеповій зоні України пріоритети розвитку сільського господарства також суттєво змінилися. Деякі вчені це пов'язують із зростанням цін на матеріальні та енергетичні ресурси, деградацією чорноземів та посилення ерозії ґрунтів [18, 279]. Тому виникає необхідність пошуку більш досконалих способів обробітку ґрунту з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, кількості та якості пожнивних решток, обсягів внесення добрив, фітосанітарного стану посівів [289, 291, 152, 137, 158].

Дослідження свідчать, що сучасним вимогам при вирощуванні різних зернових культур, зокрема кукурудзи на зерно, найбільше відповідають способи обробітку ґрунту з використанням полицевих, так і безполицевих знарядь: плугу, плоскорізів, чизелів, діагональних розпушувачів, дискових луцильників, борони, важких культиваторів тощо [218]. За рівної агротехнічної ефективності полицевого і безполицевого обробітку перевагу має безполицевий обробіток, який забезпечує підвищення протиерозійної стійкості ґрунту. Ф. М. Архипенко з іншими вченими виявили однакову ефективність оранки та прийомів безполицевого обробітку під кукурудзу тільки у перший рік її вирощування, однак у наступні відмічали перевагу оранки [3].

Дослідженнями деяких вчених встановлено високу ефективність чизельного обробітку ґрунту на глибину до 45 см при вирощуванні кукурудзи шляхом руйнування плужної «підшви». Цей спосіб обробітку сприяє більш глибокому зволоженню ґрунту навесні та поліпшенню вологозабезпеченості культури протягом другої половини вегетаційного періоду. Енергоефективність та якість роботи чизельних робочих органів у значній мірі залежить від глибини обробітку ґрунту та відстані між ними [204]. Ефективність чизельного обробітку ґрунту залежить від попередників, які характеризуються різною алелопатичною лабільністю [323, 233]. Так, якість проведення чизельного обробітку значно погіршується, якщо на полі залишається більше 5 т-га⁻¹ рослинних решток, адже необхідна глибина розпушування ґрунту не досягається і формується брилистий рельєф [235, 351].

Ґрунт – це обмежений ресурс, а швидке зростання населення в поєднанні зі збільшенням споживання чинить безпрецедентний тиск на ґрунти через інтенсифікацію сільськогосподарського виробництва – збільшення врожайності сільськогосподарських культур з одиниці площі ґрунту [312, 282]. Система комбінованого обробітку ґрунту в зерно-просапній сівозміні Лісостепової зони України створює кращі умови для оптимізації агрофізичних показників родючості чорнозему типового і забезпечує найвищу урожайність сільськогосподарських культур і продуктивність сівозміни [205]. У свою чергу, щоб отримати високі врожаї кукурудзи, потрібні достатні запаси вологи у ґрунті як на початкових етапах розвитку, так і впродовж вегетації культури. Одним із заходів є ефективний контроль забур'яненості, відповідний обробіток ґрунту під кукурудзу в оптимальні строки без запізнення.

Інтенсифікація землеробства у період реформування сільського господарства в умовах зміни прав власності на землю порушила раціональне функціонування агроєкосистем, їх саморегулювання, відбуваються незворотні процеси деградації безцінного багатства України – чорноземних ґрунтів [95]. Насамперед ці процеси виявляються у погіршені родючості ґрунтів та їх водно-

фізичних і агрофізичних властивостей. Разом з іншими показниками родючості ґрунту особливе значення має їх щільність.

Щільність складення ґрунту впливає на хімічні, фізико-хімічні процеси, біологічну активність ґрунту і пов'язаний з цим обмін поживних речовин. Протягом вегетаційного періоду під впливом обробки ґрунту та природних факторів вона може зменшуватися внаслідок розпушування плугами, культиваторами, боронами та іншими ґрунтообробними знаряддями, через вплив кореневої системи на ґрунт, застосування органічних добрив, замерзання води в капілярних і некапілярних порах, газоутворення при розкладанні органічних речовин, набухання внаслідок гідратації; а також може збільшуватися під дією руху тракторів, знарядь і агрегатів за рахунок сухого ґрунту, пилу, що осідають під власною вагою [128, 101]. Протягом останніх десятиліть ґрунти зазнають все більшого ущільнення і, на думку ряду вчених, це ставить під загрозу сучасне сільськогосподарське виробництво [320]. Розвиток механізації, важкої сільськогосподарської техніки, ґрунтообробних знарядь, збільшення попиту на продукти харчування та інтенсивне вирощування сільськогосподарських культур призводить до фізичної деградації ґрунту, тобто ущільнення ґрунту [315, 1].

У всьому світі з'являється все більше даних про сотні гектар орних земель, які зазнали переущільнення [166]. Сільськогосподарські культури реагують на ущільнення ґрунту зменшенням кількості та довжини коренів, як правило, саме за рахунок цього відбувається зниження врожайності [186]. У разі ущільнення верхнього орного та підорного шарів ґрунту знижується пористість, що призводить до погіршення водно- та газообміну [165], а це, у свою чергу, до ускладненого поглинання поживних речовин [242], зниження мінералізації органічної речовини [268] та біологічної активності ґрунту.

При існуючій системі щорічного основного обробки ґрунту на однакову глибину, багаторазовими проходами по полю тракторів та іншої сільськогосподарської техніки, відбувається сильне ущільнення орного шару ґрунту. У зонах кореневого живлення, це значення може досягати 1,4–1,6 г/см³,

що значно перевищує оптимальні значення для кукурудзи – 1,2–1,3 г/см³. Дослідженнями ряду вчених встановлено негативний вплив ущільненого орного шару ґрунту на ріст і розвиток як кореневої системи, так і рослини в цілому рослин. При дослідженні способів основного обробітку ґрунту, В. Сиромятников встановив, що при вирощуванні кукурудзи щільність складення в орному шарі може коливатися у межах від 1,27 до 1,29 г/см³ [289].

Відомо, що розпушування ґрунту є одним з найефективніших способів усунення шкідливих наслідків ущільнення. Обробіток підорного шару ґрунту створює більш щільний кореневмісний шар, що і сприяє підвищенню врожайності культур. Конкретне значення величини приросту врожайності змінюється в залежності від умов і глибини обробітку орного шару ґрунту [346, 334, 238], водночас передпосівне розпушування можна проводити окремо або одночасно з оранкою, або взагалі використовувати розпушування під час оранки плугом з передплужником [323, 292, 264].

У науковому просторі є суперечливі дані щодо впливу різних основних способів обробітку ґрунту на створення оптимальних параметрів щільності складення ґрунту для різних сільськогосподарських культур. Вчені наголошують на надмірному розпушуванні орного шару ґрунту 0–30 см, а, особливо, посівного 0–10 см при проведенні оранки. J. P. Graham та ін. [167] помітили, що в орному шарі ґрунту 0–30 см відбувається зниження щільності складення порівняно з підорним. Проте, згідно даних М. К. Шикули [77] та О. І. Цилюрника [115], цьому процесу запобігає виконання безполицевого обробітку ґрунту, при якому відбувається незначне підвищення щільності складення. Дослідження А. І. Горбатенка з іншими вченими свідчать про підвищення цього показника на 0,04–0,06 г/см³ за використання поверхневого і мілкового обробітків ґрунту [22]. Подібні результати були отримані й іншими науковцями [139, 149, 146], які зафіксували значне збільшення щільності складення шару ґрунту 0–30 см на варіантах з дискуванням порівняно з оранкою. D. A. Ussiri і R. Lal [345] стверджують, що подібні зміни залежать від тривалості дослідження, типу ґрунту та накопичення рослинних залишків.

Результати досліджень О.О. Гололобової та І.Ю. Левицького [21] свідчать, що основний обробіток ґрунту не має значного впливу на щільність складення шару ґрунту 0–10 см, однак проведення безполицевого обробітку ПРН-31000 на глибину 10–12 см і дискування БДТ-3 на 6–8 см призводять до значного ущільнення шару ґрунту 10–20 см, що перевищує значення по оранці на $0,7 \text{ г/см}^3$. Водночас, під час їхніх досліджень було виявлено, що шар ґрунту 20–30 см найбільше піддавався ущільненню після проведення дискування на глибину 6–8 см, де значення перевищувало контроль на $0,06 \text{ г/см}^3$. Вчені дійшли висновку, обробітку ґрунту на глибину 6–8 і 10–12 см призводив до ущільнення усього орного шару ґрунту.

Досліджуючи ефективність обробітків ґрунту перед початком польових робіт і вкінці вегетаційного періоду, А. В. Кохан [53] встановив, що весною щільність складення орного шару ґрунту була найнижча за оранки. Зокрема, у шарі ґрунту 0–10 см вона дорівнювала $0,95 \text{ г/см}^3$, а у шарах ґрунту 10–20 і 20–30 см: $0,99$ і $1,07 \text{ г/см}^3$. За плоскорізного обробітку ґрунту і дискування ці показники були відповідно $1,04 \text{ г/см}^3$; $1,03$; $1,17$ та $1,06$; $1,12$; $1,21 \text{ г/см}^3$. Найвища щільність ґрунту була при нульовому обробітку – $1,15$; $1,20$ і $1,30 \text{ г/см}^3$, відповідно. Залежно від основного обробітку ґрунту цей показник у шарі 0–30 см становив: $1,00$; $1,08$; $1,13$ і $1,21 \text{ г/см}^3$. Отримані результати на кінець вегетації свідчили, що проведення оранки сприяв зниженню щільності складення в шарах ґрунту 0–10 і 10–20 см на $4,2$ і $3,0 \%$, а після плоскорізного рихлення і дискування – на $4,8$ і $2,9 \%$ та $5,7$ і $7,1 \%$ відповідно. У більш глибокому шарі 20–30 см щільність ґрунту знаходилася практично на одному рівні. Середній показник щільності в усьому орному шарі за всіх способів основного обробітку ґрунту зменшився в межах $1,9$ – $2,8 \%$.

Дослідженнями Є. О. Юркевича та ін. [130] також була встановлена залежність щільності орного шару ґрунту від способу та глибини основного обробітку ґрунту. Значення цього показника коливалися від $1,19$ до $1,22 \text{ г/см}^3$. Отримані ними дані також свідчать про підвищення щільності складення порівняно з оранкою у шарі ґрунту 10–20 см на $0,06$ – $0,08 \text{ г/см}^3$, а у шарі 20–30

см на $0,07\text{--}0,08\text{ г/см}^3$ при плоскорізному обробітку та дискуванні. В. В. Сінченко та ін. зазначають [94], що щільність складення шару ґрунту 0–10 см залежить від комбінації оранки та культури, що вирощувалася у попередньому році. Вони зробили висновок, що оранка і чизельний обробіток мали близькі показники щільності складення по орному шару ґрунту, значення яких підвищувалися від верхнього до нижнього. Так, після проведення оранки на глибину 20–22 см цей показник був у межах $1,22\text{--}1,25\text{ г/см}^3$. Проведення чизельного обробітку на 20–22 см і дискового обробітку на глибину 12–14 см спричинили підвищення щільності на $0,02\text{--}0,03\text{ г/см}^3$ порівняно з контролем, а мілкого обробітку дисковою бороною на 6–8 см – на $0,02\text{--}0,06\text{ г/см}^3$.

Важливим показником, який характеризує агрофізичні властивості ґрунту, є його твердість. І Nakansson [216] зазначив, що твердість ґрунту важче помітити і відновити, ніж ущільнення, паралельно з цим, А. В. Кохан у своїх дослідженнях виявив прямий зв'язок твердості ґрунту зі щільністю [53]. Деякі автори наводять граничні значення і стверджують, що при твердості ґрунту $14,1\text{ кг/см}^2$ відбувається пригнічення росту і розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур [167], у той час G. Angebag і P. Maree [139] наполягають на $37,5\text{ кг/см}^2$, а дослідження А. Bengough та ін. [149] показало, що ріст коренів пригнічувався в ґрунтах зі значеннями твердості у межах $8\text{--}20\text{ кг/см}^2$.

Існує велика кількість літератури про вплив систем обробітку ґрунту на агрофізичні властивості ґрунту [247, 170, 161, 191, 144, 174, 240, 275], зокрема, щодо впливу дискування або оранки, які призводять до високих значень твердості. Р. Maity et al. [261] встановили, що проведення оранки підвищує твердість шару ґрунту 15–30 см від 18 кг/см^2 до 27 кг/см^2 . J. Cortez et al. [281] зафіксували збільшення твердості у шарі ґрунту 10–20 см на $9,8\text{ кг/см}^2$ під час дискового обробітку ґрунту, порівняно з шаром 0–10 см ($13,5\text{ кг/см}^2$), тобто збільшення на $3,7\text{ кг/см}^2$ у порівнянні з тим же шаром під оранкою ($18,6\text{ кг/см}^2$). У працях Ю. Сиромятникова та ін. показано, що за відвального обробітку ґрунту, твердість шару 0–30 см складала $10,9\text{ кг/см}^2$, за чизельного обробітку –

12,9 кг/см², а за дискового обробітку може досягати 15,1 кг/см² [289]. Подібні дані було отримано М. Шевченко з іншими науковцями [41], які з'ясували, що твердість ґрунту при застосуванні оранки в шарі 0–30 см була на рівні 31,7 кг/см², а використання мілкового дискування призводило до зростання цього показника на 4,7 кг/см². J. Medeiros стверджував, що глибокий обробіток ґрунту може значно знизити цей показник [175].

Структура ґрунту є важливою агрофізичною властивістю ґрунту, яка залежить від рослин та мікроорганізмів, які населяють ґрунт; рослинності, яка механічно ущільнює ґрунт, розділяє його на грудочки й головним чином бере участь в утворенні гумусу; наявності соломи, гною та сидератів [2, 329]. Однак, і сам структурний стан має вплив на ґрунт, зокрема на рух та утримання води у ньому, ерозію, утворення кірки, на доступність поживних речовин, біорізноманіття, проникнення коренів, повітряний режим та врожайність сільськогосподарських культур [329, 258, 271]. Загалом погіршення структурного стану ґрунту розглядається як форма деградації ґрунту і пов'язане з землекористуванням, обробітком ґрунту та вирощуванням сільськогосподарських культур [159].

Всі науковці розглядають структуру ґрунту у взаємозв'язку з навколишнім середовищем, біологічними компонентами ґрунту, його властивостями з метою кращого його розуміння [153]. У літературних джерелах різні автори наводять суперечливі дані про ефективність різних способів і систем основного обробітку ґрунту. Прихильники полицевої оранки [78, 26] вважають, що вона забезпечує оптимальні параметри структури під час перемішування шарів ґрунту, при цьому створюються кращі умови для росту й розвитку сільськогосподарських культур шляхом поліпшення водно-фізичних властивостей, а також відбувається краще контролювання бур'янів і захисту рослин від хвороб і шкідників. Але за даними переважної більшості дослідників [58, 25], навпаки, найкращий структурний стан ґрунту забезпечується за його безполицевого різноглибинного обробітку.

Закордонні вчені наголошують, що тривалий обробіток ґрунту сильно впливає на структуру ґрунту, що призводить до підвищення значень

макроагрегатів (грудок) [164, 205]. Відмова від сільськогосподарського використання ґрунтів і припинення механічного обробітку призводить до відновлення їх природної структури та покращення агрофізичних властивостей, що було підтверджено іншими дослідниками [131, 133, 134]. Також вони не виявили значної кореляції між характеристиками гумусу та параметрами структури ґрунту, проте спостерігали позитивні кореляції між фракційним складом гумусу та показниками структури ґрунту.

Аналіз агрегатного складу колишніх орних ґрунтів, проведений рядом авторів, показав, що вміст макроагрегатів у поверхневому шарі > 5 мм зменшується в такому порядку: рілля (39 %)– переліг 15 років (20 %) – переліг 20 років (6 %) – переліг 35 років (1–2 %). Загалом співвідношення дрібних і великих макроагрегатів змінюється в процесі вторинної сукцесії. Так, частка ґрунтових агрегатів розміром 2–0,25 мм з часом збільшується з 27,57 % на ріллі до 63,28% на 35-річному перелозі. Після періоду перелозу понад 20 років ґрунти демонструють морфологічні зміни в орному горизонті. Це було особливо помітно на 35-річній ділянці, де на поверхні ґрунту чітко проглядався пухкий дерновий шар. У шарі 0–12 см 35-річної ділянки спостерігалася відсутність макроагрегатів розміром > 10 мм і високий рівень агрегатів $< 0,25$ мм – 27 %. Вчені пояснюють це тим, що коренева система трав'янистих рослин сприяє кращому розпушуванню ґрунтової маси в процесі сукцесії порівняно з щорічним фізичним порушенням структури ґрунту під час його обробітку [164].

Агрономічно цінні агрегати розміром від 10 до 0,25 мм визначають структуру ґрунту, а грудкуваті (> 10 мм) та пилюваті ($< 0,25$ мм) агрегати є небажаними і можуть негативно впливати на агрофізичні властивості ґрунту. Оптимальна агрегатна структура в ґрунтах формується при вмісті агрономічно цінних агрегатів приблизно 70–80 %. Однак, у результаті ущільнення ґрунту сільськогосподарською технікою при тривалому обробітку ґрунту в ньому можуть домінувати більше агрегатів розміром >10 мм [136]. Зокрема, О. О. Гололобова і І. Ю. Левицький встановили, що основний обробіток ґрунту стояками СибІМЕ та ПРН-31000, дискове розпушення в системі комбінованого

обробітку, а також чизельний обробіток сприяли кращому збереженню структури, ніж оранка. Якщо при оранці у шарі 0–30 см коефіцієнт структурності становив 2,80, то у варіантах з комбінованим обробітком – 3,26, безполицевим обробітком знаряддям СибІМЕ – 3,28 та ПРН-31000 – 3,06, а з чизельним обробітком – 2,99. Кількість агрономічно цінних агрегатів в орному шарі ґрунту порівняно з оранкою була більшою при безполицевому обробітку стояками СибІМЕ на 4,1 %, при поверхневому обробітку БДТ-3 – на 3,8 %, чизельному ПЧ-2,5 – 2,8 %, знаряддям ПРН-31000 – на 2,3%. Вони також встановили, що основний обробіток ґрунту СибІМЕ та ПРН-31000, дискове розпушення БДТ-3 в системі комбінованого обробітку, а також чизельний обробіток ПЧ-2,5 поліпшили і забезпечили добрий структурний стан ґрунту за вмістом у ньому водотривких агрегатів розміром 5-0,25 мм. Найкращим цей показник був у варіанті з обробітком ПРН-31000 – кількість водостійких агрегатів в орному шарі ґрунту підвищилася на 5,4 % відносно оранки. Обробіток СибІМЕ, поверхневий і чизельний обробітки підвищили кількість водотривких агрегатів у 0–30 см шарі відносно контролю на 3,2; 3,9; 2,5 % [21]. Це може бути пов'язано з тим, що систематична оранка передбачає залучення і перерозподіл ґрунту з підорних горизонтів до орного. Така ґрунтова маса може бути добре структурованою, але менш стійкою до механічного обробітку [153, 164].

Є. О. Юркевич та ін. встановили, що за традиційною технологією вирощування кукурудзи найбільше міститься агрономічно цінних агрегатів в орному шарі (0–30 см) у варіанті з оранкою на 25–27 см – 74,7 %. Застосування плоскорізного мілкового обробітку ґрунту на 14–16 см і дискування на 10–12 см призвело до зменшення вмісту фракції 0,25–10 см до 69,5 та 69,4 %, відповідно. Водночас, порівняно з оранкою на 25–27 см, на цих варіантах збільшувався вміст ґрунтових часточок > 10 мм – 24,5–25,1 %. Найбільш розпушує ґрунт безполицевий мілкий обробіток, при якому фракція пилюватих агрегатів $< 0,25$ мм варіювала в межах 5,55–6,06 %, що майже вдвічі більше в порівнянні з полицевим обробітком, де її вміст був на рівні 3,27 %. Такі зміни в структурно-агрегатному складі відбуваються в ґрунті під дією робочих органів

грунтообробних агрегатів [130]. Однак, дослідження Сінченко В. В., Танчик С.П., Літвінов Д.В. показали, що вміст агрономічно цінних агрегатів у верхньому 0–10 см шарі ґрунту за проведення оранки на 20–22 см варіював від 62,8 до 64,7 %, а застосування безполицевого чизельного обробітку ґрунту збільшувало їх частку до 64,5–66,7 %, мілкого на 12–14 см і поверхневого на 6–8 см обробітків – до 66,2–69,6 %. У шарі ґрунту 10–20 см тенденція щодо вмісту агрономічно цінних агрегатів залежно від обробітку ґрунту залишалася. Встановлено перерозподіл структурних фракцій ґрунту залежно від його обробітку і глибини оброблюваного шару. За проведення оранки частка мікроагрегатів (<0,25) у 0–10 см шарі ґрунту становила 21,3–22,4 %, на варіанті безполицевого обробітку їх кількість зменшувалася до 19,8–21,25 %. Незалежно від обробітку ґрунту, частка пилюватої фракції ґрунту у шарі ґрунту 20–30 см зменшувалася на фоні зростання брилистої [94]. Такого ж висновку дійшли й І. Трояновська та ін., у дослідженні яких кількість агрономічно цінних агрегатів по різних обробітках ґрунту становила 73,1–75,8 % зі зростанням цих значення на фоні чизельного та дискового обробітків [341]. Ю. С. Кравченко і Г. М. Матвіїв встановили, що систематичне проведення оранки призводить до руйнування агрегатів розміром 0,25–10 мм верхнього шару 0–5 см та утворення пилюватих фракцій <0,25 мм на рівні 18,31 %. Водночас, протидефляційну здатність ґрунту найкраще забезпечував безполицевий обробітку на глибину 25–27 см, за якого вміст агрегатів більше 1 мм у верхньому шарі ґрунту 0–10 см знаходився на рівні 7,8–9,4 % [54].

Щоб досягти високої врожайності кукурудзи необхідна достатня кількість запасів вологи у ґрунті як на ранніх стадіях розвитку культури, так і протягом вегетаційного періоду. У першій половині вегетації вона менш вибаглива до вологи, але потреба зростає за 10 днів до викидання волотей та через 20 днів після цвітіння. У цей період відбувається інтенсивний ріст вегетативної маси кукурудзи і накопичення сухої речовини. На цей критичний період припадає 40–50 % загального водоспоживання, що відповідає приблизно 4–7 тис. м³/га. Ця культура має транспіраційний коефіцієнт 250–300, але оскільки вони утворюють

велику біомасу, їх загальна потреба у воді може бути більшою. Кукурудза найбільш ефективно використовує опади у другій половині літа, водночас вона погано переносить перезволоження ґрунту, адже це призводить до нестачі кисню і сповільненого надходження фосфору в корені, що погіршує білковий обмін, а це, у свою чергу, знижує врожайність [98].

Через нестійкі погодні умови, глобальні змін клімату, посухи тощо постає питання про важливість наявності у ґрунті достатньої кількості запасів вологи [82] та виникає необхідність певної оптимізації та вдосконалення технології вирощування сільськогосподарських культур [24]. Зокрема, дослідження закордонних та українських вчених показали, що спосіб обробітку ґрунту під кукурудзу має значний вплив не тільки на ефективність використання води культурою [315, 139], а також на накопичення вологи, водоспоживання сільськогосподарських культур, а, відповідно, і на формування врожаю. У дослідженнях Р. Вожегової та ін. було встановлено, що оранка на глибину 18–20 см створювала кращі умови для накопичення вологи на рівні 182,6 мм, а безполицевий, навпаки, їх погіршував – 174,1 мм [328]. А. В. Кохан з'ясував, що при застосуванні оранки кукурудза найбільш ефективно використовує вологу з ґрунту для формування 1 т зерна – 1346 м³/т, тоді як при плоскорізному та мілкому обробітках ґрунту цей коефіцієнт склав: 1523 та 1598 м³/т відповідно [53]. Ю. Сиромятников з іншими науковцями з'ясували, що під час формування вегетативної маси рослини найбільше використовували вологу у полі з чизельним обробітком ґрунту – 118–134,7 мм, а найменше після проведення дискування – 98–112,3 мм [163].

Згідно з результатами досліджень О. О. Гололобової та І. Ю. Левицького на початку вегетації кукурудзи кількість доступної вологи у шарі ґрунту 0–100 см після використання безполицевого обробітку знаряддям ПРН-31000 може бути вищою на 4,5 %, ніж після щорічної оранки – 139,3 мм, а після дискового розпушення БДТ-3 та чизельного обробітку ПЧ-2,5 на 5,1 % і 3,6 %. До кінця вегетаційного періоду у метровому шарі ґрунту різниця запасів вологи з оранкою (83,8 мм) може досягати 7,4–11,7 мм. В орному шарі ґрунту 0–30 см на початку

вегетації відповідно до контролю (40,2 мм) перевагу в накопиченні доступної вологи у 2,3 мм мав обробіток стояками ПРН-31000, у 3,1 мм – дискове розпушення БДТ-3, у 2,0 мм – чизельний обробіток ПЧ-2,5 [21].

О. М. Сайда і Д. В. Літвінов у своїх дослідженнях встановили, що при традиційній оранці у метровому шарі ґрунту запаси вологи знаходилися на рівні 164,6 мм, при безполицевому глибокому – 171,2 мм і при безполицевому мілкому – 177,3 мм, водночас її витрати за період вегетації майже не відрізнялися: 314,1, 317,5 та 317,2 мм відповідно. Однак незначна різниця між варіантами обробітку була на кінець вегетації: 67,6, 70,8, 77,2 мм відповідно [92].

Ґрунт є неоднорідною матрицею з величезним розмаїттям фізичних і хімічних характеристик, які призводять до широкого спектру різних ніш, здатних підтримувати велике мікробне різноманіття [195, 231]. У свою чергу, мікробні спільноти відповідають за мінералізацію азоту, фосфору і сірки, які життєво важливі для живлення рослин [212], в утворенні ґрунтових агрегатів [309], а також в розкладанні пестицидів [339].

Системні методи ведення сільського господарства можуть викликати структурні зміни в ґрунті, тим самим змінюючи мікробіологічні процеси, що відбуваються на мікрорівні. Ці зміни мають масштабні наслідки, такі як ерозія ґрунту, зниження його родючості та збільшення викидів парникових газів [221, 239]. На мікробіом ґрунту впливають такі показники як температура, вологість, структурно-агрегатний склад, а також надземна рослинність, обробіток ґрунту, внесення добрив або системи сівозміни [333, 209, 197, 278, 300, 173, 288, 342]. Вчені визначають, що обробіток ґрунту є основним фактором, що формує мікробне різноманіття ґрунту [204, 230, 267].

Багато досліджень вивчали вплив мінімального обробітку ґрунту, збереження рослинних залишків та сівозміни на мікробну біомасу, активність, чисельність та їх склад [257, 256, 293]. Післязбирні рештки кукурудзи більш тверді, порівняно з іншими культурами, тому їх важче подрібнювати і загортати в ґрунт [189, 232, 290], однак, прогрівання поверхневого шару ґрунту навесні

після кукурудзи прискорюється, що створює кращі умови для життєдіяльності мікробних популяцій та вивільнення іммобілізованих сполук азоту [236].

Способи обробітку ґрунту по-різному впливають на забур'яненість посівів сільськогосподарських культур [45]. Це підтверджують дослідження О. Белашова та ін., у яких при проведенні оранки кількість бур'янів була у межах від 9,8 шт./м² до 11,1 шт./м², за чизельного обробітку ґрунту від 11,2 шт./м² до 13,5 шт./м², а при дискуванні – 15,3–17,6 шт./м² [237]. П. П. Колмаков і А. М. Нестеренко зробили висновок, що за мілкового поверхневого обробітку ґрунту кращі умови для росту зернових культур і збільшення їх врожайності можливо лише на відносно чистих від бур'янів полях, а у разі зростання забур'яненості виникає потреба у поверненні до глибокої плужної оранки. У зв'язку з цим поверхневий обробіток повинен займати окреме місце у тій чи іншій системі обробітку ґрунту, де його застосування не буде призводити до збільшення кількості бур'янів у посівах та зумовлювати зниження продуктивності культур. При цьому, збільшення глибини заробляння бур'янів на дно борозни із 16 до 20, 24 і 32 см зменшує загальну кількість бур'янів із 346 до 115, 97 і 34 шт./м² відповідно [106]. Заміна оранки, як основного обробітку ґрунту на мілкий (10–12 см) і глибокий (20–22 см) безполицевий обробіток ґрунту збільшує на 41 та 3 % – кількість бур'янів та 47 і 6 % – їх біомасу відповідно [106, 61].

С. В. Філоненко відмічає, що найменша кількість бур'янів нараховувалася при застосуванні оранки на глибину 28–30 см – 36 шт./м², а найбільше – при проведенні мінімального обробітку важкими дисковими боронами на глибину 14–16 см – 126 шт./м². На ділянках з чизельним обробітком кількість бур'янів складала 64 шт./м². Найбільша маса бур'янів з 1 м² була виявлена на варіанті із мінімальним обробітком – 56 г, а мінімальну масу мали бур'яни у полі оранки – 30 г [108]. Подібна закономірність прослідковувалася у дослідженнях й інших науковців, коли за відвального обробітку ґрунту кількість бур'янів становила 4,1–6,5 шт./м². За кількістю бур'янів це у 1,6–1,7 рази менше порівняно з чизельним обробітком і в 1,2–2,0 рази менше за масою. Найбільш забур'янені виявилися ділянки з дисковим обробітком ґрунту [163].

Різні вчені сходяться на думці, що для отримання стабільно високої врожайності сільськогосподарських культур, і зокрема, кукурудзи, найбільш ефективним є поєднання у сівозміні оранки з перемішуванням орного шару ґрунту і його розпушуванням безполицевими знаряддями [172]. Так, проведеними дослідженнями І. А. Мірошника, було встановлено, що вплив безполицевого обробітку на загальну продуктивність сівозміни не значний, тоді як урожайність кукурудзи знижується досить помітно. Він це пояснює тривалою вегетацією цієї культури та глибоким проникненням її коренів у ґрунт [71]. У дослідженнях А. М. Свиридова і М. О. Колоса на варіанті глибокого комбінованого обробітку ґрунту на глибину 25–27 см отримано збільшення врожайності зерна на 0,19 т/га відносно оранки – 5,60 т/га [93]. Це стало можливим за рахунок оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту, збільшення накопичення доступної вологи та поживних речовин у ґрунті [107].

Ряд авторів зазначають, що завдяки проведенню оранки врожайність кукурудзи може сягати 8,00–9,40 т/га. Така технологія обробітку ґрунту забезпечує покращення доступності поживних речовин і вологи для кореневої системи, що врешті-решт, призводить до збільшення врожайності зерна. При цьому за мілкового дискового обробітку ґрунту цей її рівень знижується на 1–2 % [91, 132, 53 210, 214, 215, 17, 87]. В інших дослідженнях виявлено, що безполицевий основний обробіток ґрунту сприяв створенню найкращих умов для росту та розвитку рослин сільськогосподарських культур та формуванню структурних елементів врожаю. За цього способу обробітку ґрунту врожайність зерна може сягати 4,54 т/га, водночас проведення мілкового обробітку ґрунту на глибину 8–10 см знижує цей показник у рази [55, 199].

У дослідженнях С. В. Філоненко домінуюче положення займає чизельний обробіток, за якого було отримано найвищу врожайність зерна кукурудзи – 10,5 т/га, а оранка на глибину 28–30 см та мінімальний обробіток дещо поступалися – 9,6 і 7,5 т/га [108]. Однак, у багаторічній перспективі показники врожайності можуть зростати на 11 %. Особливо значні переваги мінімальний обробіток ґрунту має в посушливі роки. У господарствах з досвідченими

керівниками, відповідною технікою та відповідним виробничим режимом жодних відмінностей врожайності між плугом і мінімальним обробітком не було. У деяких господарствах спочатку проблеми проростання осипаного насіння культур-попередників можуть призвести до певних втрат врожаю через малий досвід, невідповідну механізацію або через несприятливі погодні умови [89, 190]. В окремих наукових працях, навпаки, зустрічається інформація про ефективність застосування дискового обробітку ґрунту на глибину 8–10 см, який забезпечує врожайність зерна кукурудзи у межах 14,51–14,59 т/га [337, 307].

У сучасних умовах ведення сільського господарства витрати на посів, догляд і збирання сільськогосподарських культур є визначальним фактором, який спонукає виробників віддавати перевагу безполицевим способам основного обробітку, адже при застосуванні плоскорізного способу обробітку ґрунту сума економії виробничих витрат складає 253 грн/га, а мілкого – до 576 грн/га [337]. С. Х. Пішгар-Комлех та ін. [285] встановили, що на вирощування кукурудзи витрачається 68,9 МДж/га⁻¹ енергії, при цьому енерговміст урожаю складає 148,4 МДж/га⁻¹. У ході енергетичного аналізу вони встановили, що найбільше енергоспоживання було пов'язано з використанням агротехніки та мінеральних добрив, на які припадало 42 та 28 % від загальних енерговитрат, відповідно. А. Сірхане та ін. виявили сильну залежність витрат палива на обробіток ґрунту від конструкції ґрунтообробного знаряддя, а також від глибини обробітку та вологості ґрунту. При обробітку сухого (10,71 %), середньо вологого (19,55 %) та вологого (31,47 %) ґрунту найнижчі витрати пального були у випадку вологості ґрунту 19,55 %. Незалежно від глибини обробітку та вологості ґрунту, оранка була менш економічною, ніж з дисковим знаряддям [307].

Три різні технології обробітку ґрунту та посіву: традиційний обробіток ґрунту, зменшений обробіток ґрунту та нульовий обробіток ґрунту були розглянуті в енергетичному аспекті в Хорватії. Потреба у паливі для традиційного обробітку ґрунту та сівби була визначена у межах від 48,13±11,49 до 60,99±15,23 л/га⁻¹. Мінімальний обробіток ґрунту без оранки вимагав у 1,5–2,0 рази менших витрат палива порівняно з традиційною технологією. При сівбі

в необроблений ґрунт витрати палива в 5–8 разів менші, ніж при застосуванні традиційної технології [198].

Австрійські науковці досліджуючи енергетичну ефективність проведення основного обробітку ґрунту під час вирощування кукурудзи встановили, що проведення оранки призводить до споживання дизельного пального на рівні із консерваційним глибоким обробітком – 82 л/га. Для виконання технологічних операцій при вирощуванні кукурудзи у системах плужного та консерваційного глибокого обробітків було потрібно близько 32,5 л/га пального. Вчені не виявили суттєвого впливу системи обробітку ґрунту на ефективність використання енергії. Енергоефективність вирощування кукурудза за no-till технології була на рівні 8,46 ГДж, що на 5 % вище, ніж для полицевого обробітку – 8,03 ГДж. Загальні витрати енергії становили близько 17,0 ГДж/га. Водночас, врожайність зерна кукурудзи та вихід енергії коливалися між роками від 6,7 т/га та 111,0 ГДж/га до 10,7 т/га та 177,8 ГДж/га. Вчені встановили, що вихід енергії при no-till на 3 % був вищий, ніж при проведенні плужного обробітку – 123,1 ГДж/га. Енергоємність коливалася від 1,6 до 2,8 МДж/кг сухого зерна, а ефективність використання енергії знаходилася у межах 6,3–10,4 ГДж [269]. У своїх дослідженнях М. Баран та О. Гекдоган також встановили високу врожайність кукурудзи 6,7 т/га на варіанті з полицевим обробітком ґрунту, коефіцієнт енергоефективності при цьому склав 5,52, енергопродуктивність – 1,33 кг/МДж, а вихід енергії – 227,5 МДж/га [143].

Висновки до розділу 1

Кукурудза й досі залишається важливою культурою для аграрного сектору України, а її виробництво та експорт відіграють ключову роль в економіці країни. Аналіз наукової літератури свідчить про важливість вибору оптимальних способів обробітку ґрунту для підвищення ефективності вирощування кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України. Традиційні системи, такі як оранка, поступаються місцем сучасним енергоощадним технологіям, зокрема чизельному та безполицевому обробіткам, які забезпечують кращі умови для

збереження структурного ґрунту, покращенні його агрофізичних і водно-фізичних властивостей і стійкості до ерозійних процесів. Такі системи також знижують витрати енергії та пального, що є важливим для економічної ефективності сільського господарства. Дослідження показують, що використання сучасних технологій обробітку сприяє не лише підвищенню врожайності, але й покращенню родючості ґрунтів, забезпечуючи їхню довготривалу продуктивність. Однак вибір конкретної технології має базуватися на агрофізичних особливостях ґрунту, кліматичних умовах регіону та фінансових можливостях господарств. Таким чином, подальші дослідження в напрямку удосконалення технологій обробітку ґрунту для вирощування кукурудзи є важливими для досягнення високих показників продуктивності та сталого розвитку аграрного сектора в Україні.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальні відомості про район досліджень

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконано на базі навчально-науково-виробничого центру (ННВЦ) «Дослідне поле Докучаєвське» Державного біотехнологічного університету. Дослідне поле розташоване у східній частині Харківського району Харківської області. Земельний масив дослідного поля знаходиться на четвертій терасі р. Уди, яка відрізняється добре виробленим рельєфом водно-ерозійного типу.

2.2. Ґрунтовий покрив району досліджень

Ефективність сільськогосподарського виробництва, зокрема землеробства, значною мірою залежить від якості ґрунтів. Урожайність сільськогосподарських культур та загальна ефективність господарювання безпосередньо пов'язані з родючістю ґрунтів. У Лісостеповій зоні ґрунтовий покрив представлений двома основними типами: чорноземами (типовими, опідзоленими, вилугуваними та реградованими), які виникли під впливом трав'янистої рослинності, та сірими опідзоленими ґрунтами (ясно-сірими, сірими і темно-сірими), що сформувалися під лісовою рослинністю. У геоморфологічному відношенні земельний масив, на якому проводилися дослідження, розміщений у південно-східній частині Лісостепової зони.

На чорноземах з середньою забезпеченістю гумусом, при нейтральній і слаболужній реакції ґрунтового розчину та високих валових запасах основних елементів живлення можна успішно вирощувати всі сільськогосподарські культури. Однак використання високого потенціалу їх стримується нестачею вологи та негативними фізико-хімічними показниками солонцюватих ґрунтів [321].

Кукурудза – це культура, яка має високі вимоги до родючості ґрунтів. Найбільш сприятливий рівень рН ґрунтового розчину для її росту і розвитку

коливається в межах 6–7, тоді як на кислих ґрунтах вона розвивається погано. Для отримання 1 т зерна разом із відповідною кількістю листостеблової маси різні гібриди кукурудзи, що відрізняються за скоростиглістю, в середньому споживають з ґрунту та добрив: 20–25 кг азоту, 10–14 кг фосфору, 25–35 кг калію, 6–10 кг магнію і кальцію, 3–4 кг сірки; а також 11 г бору, 14 г міді, 110 г марганцю, 0,9 г молібдену, 85 г цинку та 200 г заліза. Мікроелементи є складовою частиною понад 200 різних ферментних структур, тому їх нестача або порушення співвідношення може призвести до змін у метаболізмі рослин, що, в свою чергу, викликає серйозні фізіологічні захворювання та значне зниження продуктивності. Основним джерелом мікроелементів є ґрунт, але не всі ґрунти можуть повністю задовольнити потреби рослин у них. Дослідження показали, що в кислих ґрунтах доступність мікроелементів для рослин зростає, за винятком молібдену, тоді як у нейтральних і слаболужних ґрунтах засвоюваність молібдену підвищується, а всіх інших мікроелементів зменшується [317, 83].

Територія Лівобережного Лісостепу розташована на лівому березі Дніпра й простягається на 300 км з південного заходу на північний схід. Ця територія має характерні ландшафти лісостепоного типу, де поєднуються опідзолені ґрунти, утворені під широколистяними лісами, та чорноземи, які зазвичай зустрічаються на легкосуглинкових лесових породах. Формування рельєфу цієї території значною мірою вплинуло Дніпровське зледеніння, яке відбулося близько 290 тис. років тому.

Ґрунтовий покрив покриву ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» загалом представлений чорноземом типовим важкосуглинковим на лесовидному суглинку. Цей ґрунт характеризується високим вмістом гумусу – 4,9–5,1 %, а також підвищеною забезпеченістю легкогідролізного азоту – 8,1 мг/100 г ґрунту, рухомих форм фосфору і калію – 10 і 20 мг/100 г ґрунту. Ґрунт має нейтральну реакцію ґрунтового розчину [104]. Провівши картографування дослідного поля, Д. Г. Тихоненко та Ю. В. Дегтярьов у своїх працях наводять такий макроморфологічний опис його профілю [105]:

- Н 0–45 см гумусово-акумулятивний, темно-сірий, орний (0–20 см) слабо-зернисто-грудкувато-порохуватий, ущільнений; нижче – підорний, грудкувато-зернистий, важкосуглинковий, вологий, добре гумусований, часто трапляються корені рослин, поступово за кольором і структурою переходить у:
- Нр/к 45–73 см верхній перехідний, слабкіше гумусований, темно-сірий з палевим відтінком, важкосуглинковий, грудкувато-зернистий, слабо ущільнений, подекуди трапляються корені рослин, вологий, до 70 см безкарбонатний, глибше «кипить» від НС1, перехід поступовий у:
- Phk 73–102 см нижній перехідний, нерівномірно-гумусований, плямистий, темнувато-сірий з палевим відтінком, важкосуглинковий, грудкувато-зернистий, слабо ущільнений, вологий, багато кротовин, карбонати кальцію у вигляді псевдоміцелію, поступово за кольором і структурою переходить у:
- Рк 102–130 см і гл. материнська порода: бурувато-палевий, важкосуглинковий, пористий, лесовидний суглинок, дещо ущільнений, вологий, дуже карбонатний з виділенням карбонатів у вигляді «прожилок», місцями «псевдоміцелію».

2.3. Погодні умови під час проведення досліджень

Клімат передусім визначає метеорологічні чинники, від яких залежить водний режим поверхневих і підземних вод. Основними метеорологічними елементами, які впливають на хімічний склад природних вод, є атмосферні опади, температура повітря і випаровування [23]. Територія Лівобережного Лісостепу належить до помірного кліматичного поясу, крайньої південної частини Атлантико-континентальної помірно вологої помірно теплої кліматичної області [48]. Тут переважає перенесення повітряних мас з

Атлантичного океану, що поступово трансформується у помірно-континентальне.

На території досліджень панує континентальний тип клімату з річним розподілом опадів, який характеризується максимальною кількістю опадів влітку і мінімальною у зимовий період. У Лівобережному Лісостепу середньорічна кількість опадів зменшується з півночі на південь з 640 мм до 520 мм (рис. 1). Максимальна кількість опадів (320–340 мм) випадає влітку (квітень-жовтень) переважно у формі дощів, частково зливових [62]. У теплий період спостерігається близько 30 днів з грозами, які часто супроводжуються шквальним вітром, іноді градом. За холодний період року (листопад-березень) випадає у середньому близько 130–170 мм опадів у вигляді снігу. Сніговий покрив за даними тримається упродовж 95–110 днів [23, 48].

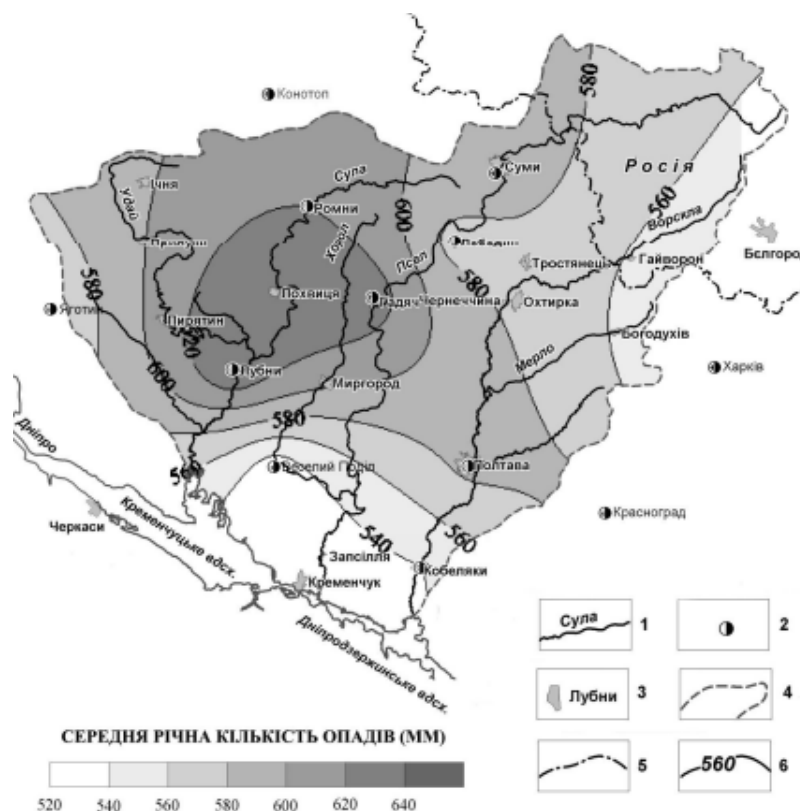


Рис. 1. Картохема розподілу річних сум опадів (мм) по території Лівобережного Лісостепу України [20]

Середньорічна температура повітря в Лівобережному Лісостепу коливається від $+6,4^{\circ}\text{C}$ до $+8,2^{\circ}\text{C}$. Протягом року температурні показники змінюються відповідно до радіаційного режиму даної території. Найхолоднішим

місяцем є січень, під час якого спостерігається надходження холодного арктичного повітря. Середня місячна температура січня варіює від $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на півдні до $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на півночі досліджуваної території. Тривалість стійких морозів становить приблизно 90 днів на півдні та понад 100 днів на півночі [48, 20]. Найтеплішим місяцем року є липень. Середні багаторічні показники температури повітря у цей період змінюються по території від $+19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Безморозний період може тривати від 140 до 160 днів на рік. У Лівобережному Лісостепу тривалість періоду з температурами повітря від $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить приблизно 90 днів, тоді як при температурах вище $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – близько 110–130 днів [20].

На ріст і розвиток кукурудзи найбільше впливають тепло і волога, які часто стають обмежувальними факторами при вирощуванні цієї культури [246]. Оптимальна денна температура для вегетаційного періоду кукурудзи становить $24\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Водночас, вночі температури повинні бути приблизно вдвічі нижчими, оскільки в умовах спекотних ночей кукурудза значно збільшує випаровування, що призводить до поступового зменшення сухої маси. Порогова температура для росту та розвитку кукурудзи становить $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; якщо температура опускається нижче цього рівня, розвиток рослини практично зупиняється.

Для досягнення фізіологічної стиглості зерна кукурудзи (вологість 35–40 %) необхідно накопичити певну суму ефективних температур, яка варіюється залежно від групи стиглості: ФАО 200 – $1030\text{--}1090\text{ }^{\circ}\text{C}$, ФАО 300 – $1140\text{--}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, ФАО 400 – $1240\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, ФАО 500 – $1360\text{--}1420\text{ }^{\circ}\text{C}$ [32, 30]. Кукурудза потребує 450–600 мм опадів за вегетаційний сезон, при чому в липні-серпні найбільше. Однак, через часті літні посухи, важливо зосередитися на накопиченні та збереженні вологи в ґрунті, покращенні доступу коренів до вологи, а також оптимізації системи живлення, обробітку ґрунту, густоти стояння рослин і системи захисту [12].

Дефіцит вологи може призвести до значного недобору врожаю зернових культур, зокрема кукурудзи, до 45–50 %, а в умовах кількох несприятливих факторів – понад 70 %. Основною загрозою для посівів кукурудзи є погодні

умови, тоді як живлення рослин займає другорядне місце [64, 20, 172, 46]. Для досягнення генетичного потенціалу продуктивності кукурудзи важливі не лише кількість опадів, а й їх розподіл протягом вегетаційного періоду. Дослідження показують, що 50–70 % витрат вологи відбувається в першій половині вегетації. Дефіцит вологи на етапах росту та розвитку кукурудзи може негативно вплинути на запилення і зменшити кількість зерен на качані, тоді як нестача вологи після запилення призводить до зменшення маси зерна. Під час достигання зерна опади не використовуються рослинами [82].

2021 р. був відносно сприятливим за погодними умовами для росту і розвитку рослин кукурудзи. У 2021 р. температура повітря коливалася від $-2,6^{\circ}\text{C}$ у січні до $25,5^{\circ}\text{C}$ у липні (рис. 2). Незначне відхилення від середніх багаторічних температур відбувалося впродовж всього року, однак найбільше у січні, липні та серпні з різницею на $4,3$, $5,0$ і $5,1^{\circ}\text{C}$. Загалом, зимовий період був значно теплішим. У середньому температура повітря за січень–лютий 2021 р. становила мінус $3,2^{\circ}\text{C}$, що майже на $2,9^{\circ}\text{C}$ більше норми. Опадів випало $82,0$ мм, що більше норми на $17,1$ %.

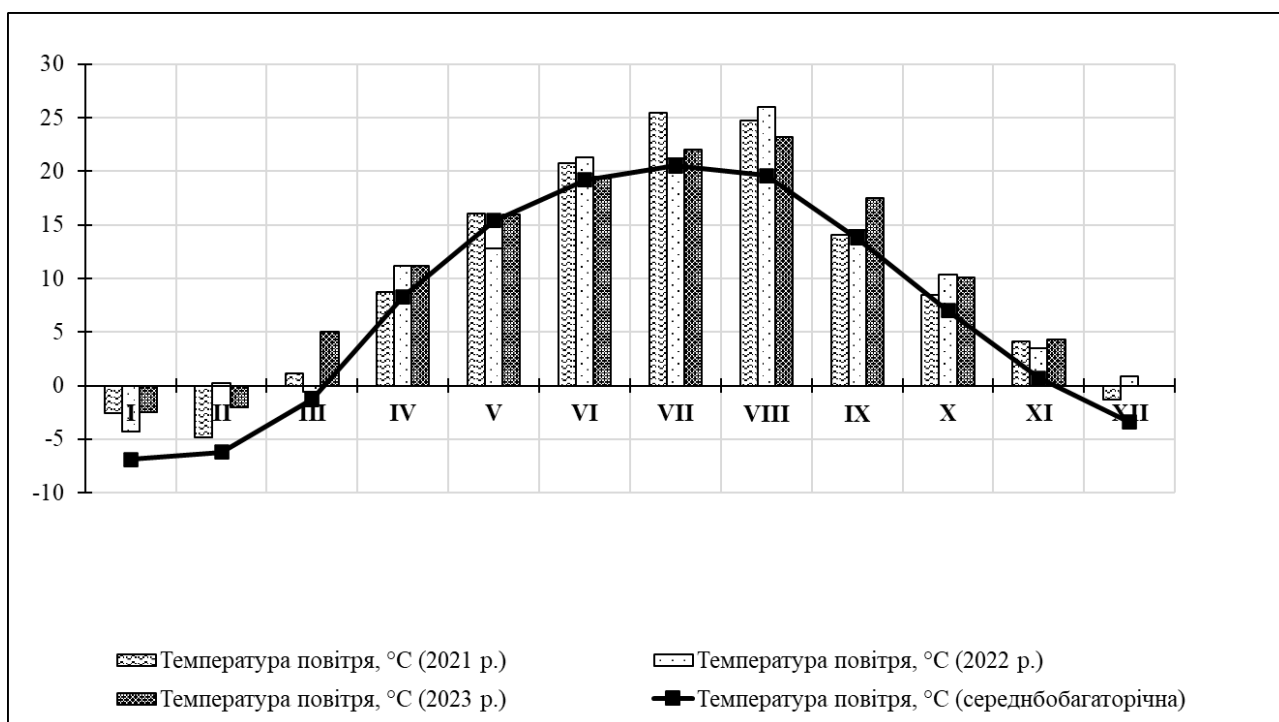


Рис. 2. Температура повітря за досліджуваний період, °C (середнє за 2021–2023 рр.)

Весна 2021 р. була рання, перехід через 5 і 10 °С відбувся у першій і другій декадах квітня, відповідно. У цілому середньомісячна температура повітря весняного періоду була вищою за багаторічну на 1,2 °С (рис. 3). У період сівби та сходів кукурудзи температурний режим був задовільним з незначним перевищенням середньобагаторічної норми на 0,7–1,6 °С. За період березень–травень кількість опадів перевищувала багаторічну норму (111 мм) на 7,7 мм. Однак, березень характеризувався зниженням кількістю опадів від норми на 13 % або 23,5 мм. Найбільша їх кількість була у травні – 51,5 мм, що більше середньобагаторічних даних на 5,1 %.

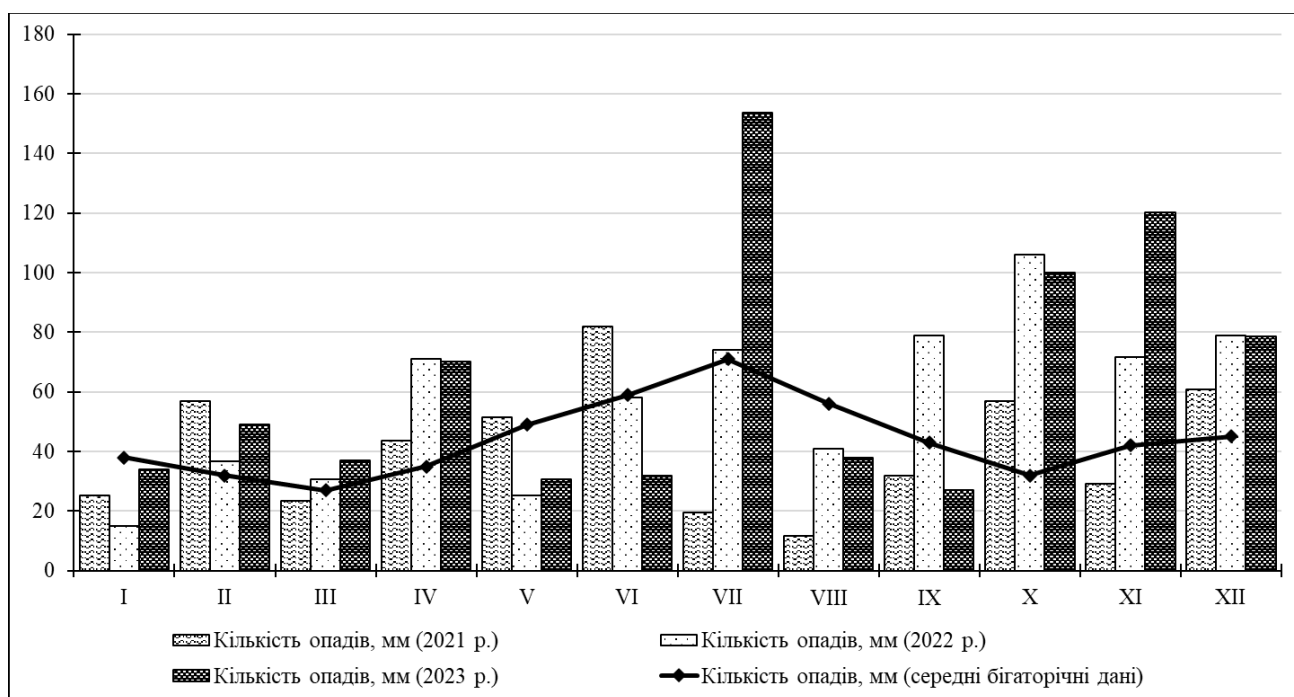


Рис. 3. Кількість опадів за період 2021–2023 рр., мм

Літній період був посушливим. Загалом за цей період випало 113,2 мм опадів, що на 39,1 % менше від норми. Незважаючи на перевищення середньобагаторічної норми опадів у червні на 22,9 мм, через нестачу тепла значення ГТК склало 0,4, що свідчить про сильну посуху (рис. 4). Найбільше відхилення за кількістю опадів було відмічено у липні – при нормі 71 мм випало лише 19,5 мм.

Погодні умови осені 2021 р. відповідали рівню сильної посухи – значення ГТК дорівнювало 0,5. На це вплинуло співвідношення кількості опадів і

температури у вересні – 32 мм до 14,1 °С, що становило на 25,6 % менше за норму. Загалом кількість опадів у період вегетації кукурудзи на зерно у 2021 р. була меншою за норму на 81 мм, з найбільш вираженою посухою у липні та серпні. У цей час значення ГТК наближалось до нуля, що викликало стрес для рослин на етапі наливу зерна. У травні та червні зафіксовано перевищення кількості опадів порівняно з середньобагаторічними показниками на 2,5 та 22,9 мм відповідно, що позитивно вплинуло на формування майбутнього врожаю культури.

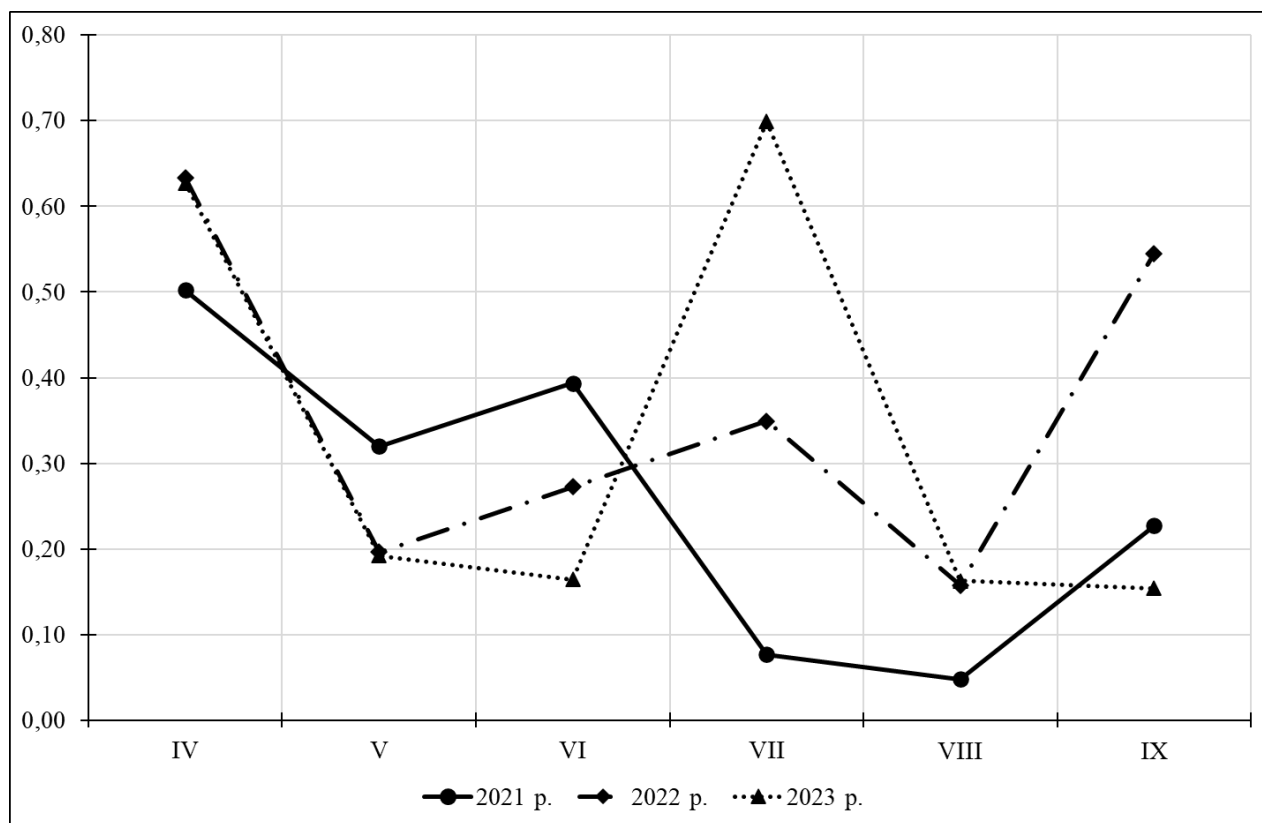


Рис. 4. Розподіл гідротермічних коефіцієнтів за Г.Т. Селянинова впродовж вегетаційного періоду кукурудзи

Погодні умови 2022 р. мали позитивний вплив на формування продуктивності зерна кукурудзи. Температурні показники варіювалися від мінус 4,3 °С у січні до плюс 26,0 °С у серпні та перевищували багаторічні дані на 2,6 і 6,4 °С. Перехід середньодобової температури повітря у бік підвищення через + 10 °С – у I декаді квітня, а через + 15 °С – у I декаді червня. З моменту сівби до збирання кукурудзи випало 198 мм опадів, що нижче середньобагаторічної

кількості на 81,3 мм, але і температура була вищою на 2,5 °С. Однак, у червні та липні кількість опадів наближалася до норми: 58 і 74 мм, а в осінній період її перевищення сягало 140 мм.

Середні річні показники температури знаходилися на рівні 10,6 °С при нормі 7,2 °С. Кількість опадів при нормі 529 мм за 2022 р. склала 687,3 мм. Січень був найбільш холодним місяцем зими з середньою температурою -4,3 °С, що перевищує середні багаторічні значення на 2,1 °С. У лютому, при нормі -6,2 °С, відбулося аномальне підвищення температури до 0,2 °С. У березні температура дещо знизилася до -0,6 °С, що свідчить про нестабільність зимово-весняного періоду, коли ще можливі зворотні похолодання. Опадів за цей місяць випало у межах багаторічної норми – 30,6 мм. Квітень за температурним режимом та кількістю опадів перевищував багаторічну норму на 34,9 та 102,9 % відповідно, при цьому травень характеризувався нижчою температурою повітря та зволоженістю – 12,8 °С і 25,1 мм при нормі 15,4 °С і 49 мм, проте у червні збільшилася до 58 мм, з чого можна зробити висновок про початок літніх злив.

Літній період 2022 р. був значно теплішим порівняно із середньобагаторічними даними. Температурний режим липня та червня знаходився на одному рівні – 21,2–21,3 °С і перевищував багаторічну норму на 0,7–2,1 °С. Серпень був найбільш спекотним місяцем року із середньою температурою 26,0 °С. Це вказує на стабільно теплий літній період, який є типовим для літа. Липень став найбільш дощовим місяцем літа, зафіксовано 74 мм опадів, що є нормою для цього сезону. У серпні кількість опадів зменшилася відносно середньої норми на 15 мм і становила 41 мм.

Для осіннього періоду 2022 р. була характерна велика кількість опадів – 256,8 мм, яка перевищувала середню багаторічну норму на 139,8 мм. Так, у листопаді та вересні цей показник сягав 71,8 і 79,0 мм, але найбільшою кількістю опадів відзначився жовтень – 106 мм. Стійкий перехід середньодобової температури повітря через +15 і +10 °С в бік зниження відбувся у I та II декадах жовтня, відповідно, а +5 °С – у I декаді листопада. У жовтні та листопаді середня температура становила 3,5 і 10,4 °С при нормі 0,7 і 7,0 °С.

Погодні умови 2023 р. були помірно сприятливими для вирощування кукурудзи, зокрема, за кількістю опадів. Так, за рік випало 769,9 мм опадів, які перевищували середні багаторічні значення на 240,9 мм. Однак, температура повітря порівняно із багаторічної нормою була вищою на 3,2 °С. За весняний період кількість опадів була більша від норми на 26,9 мм, зокрема, у квітні перевищення сягало 35,3 мм. Значний недобір опадів був відмічений у травні – 18,3 мм. Перехід середньодобової температури повітря у бік підвищення через 0 °С відбулося у I декаді березня; через +5 °С – у I декаді березня; через + 10 °С – у III декаді квітня та через + 15 °С – у III декаді травня. Найбільше відхилення від норми відбулося у березні, коли температура перевищувала багаторічні показники на 6,3 °С. Загалом, погодні умови у весняний період характеризувалися як дуже сильно посушливі, про що свідчить ГТК на рівні 0,3.

Температура повітря за літній період 2023 р. у середньому була на рівні 21,6 °С, що вище за середній багаторічний показник на 1,8 °С. Найбільш спекотним місяцем літа був серпень – 23,2 °С при нормі 19,6 °С. Найбільш оптимальним за співвідношенням температури і опадів був липень, гідротермічний коефіцієнт склав 0,7. Погодні умови цього місяця мали певний позитивний вплив на проходження запліднення та формування зернівки кукурудзи.

Восени 2023 р. сума опадів перевищувала багаторічну норму на 130,1 мм, а середньомісячна температура на 3,5 °С. Стійкий перехід середньодобової температури повітря через +15 і + 10 °С в бік зниження відбувся у третій декаді жовтня і першій декаді листопада, відповідно, а +5 °С – у I декаді грудня. Суттєва кількість опадів була відмічена у жовтні та серпні, перевищення норми становило 67,9 і 78,3 мм.

Загалом, за вегетаційний період кукурудзи у 2023 р. випало 281,2 мм опадів, що лише на 3,2 мм більше норми. Незважаючи на це, згідно гідротермічного коефіцієнту Селянинова, який у середньому склав 0,3, період росту і розвитку кукурудзи припав на сильну посуху. Лише серпень мав більш-

менш сприятливі погодні умови і характеризувався слабкою посухою з коефіцієнтом ГТК 0,7.

Отже, аналіз середньомісячних температур за період 2021–2023 рр. у порівнянні з багаторічною нормою показав тенденцію до їх підвищення. У порівнянні із середніми багаторічними показниками, значення температури повітря взимку були вищими, що свідчить про зменшення інтенсивності холодів. Зокрема, найвища температура повітря була зафіксована у лютому 2021 р. і 2023 р. – $-4,8$ і -2 °С, відповідно, тоді як норма для цього місяця становить $-6,2$ °С. У зимові місяці 2021 та 2022 рр. кількість опадів була нижчою за середні багаторічні значення – 32 мм у лютому і 38 мм у січні. Однак, у лютому 2023 р. спостерігалось значне перевищення норми опадів – 48,9 мм, що вказує на аномальні зимові погодні умови у порівнянні з кліматичною нормою.

У весняні місяці відбувалися значні коливання температури повітря, однак у всіх досліджуваних роках спостерігалось перевищення середніх багаторічних значень, особливо у квітні і травні. У 2022 і 2023 рр. температура у квітні була значно вищою за норму – $11,2$ °С проти $8,3$ °С. Весняний період 2021 та 2023 рр. характеризувався нерівномірним розподілом опадів, інколи залишаючись близькими до середньобагаторічних показників. Однак, були встановлені значні відхилення, особливо у березні 2023 р. – 36,9 мм проти норми 27 мм та у квітні – 70,3 мм проти 35 мм.

У літні місяці 2021–2023 рр. температура повітря мала вищі за багаторічні значення. Так, у липні та серпні 2021 р. були зафіксовані аномально високі середньомісячні температури – $24,7$ і $25,5$ °С, відповідно, що суттєво перевищувало норму – $19,6$ та $20,5$ °С. Літні місяці 2022 і 2023 рр. характеризувалися постійними зливами та аномально великою кількістю опадів порівняно із середніми багаторічними даними. Так, у липні 2023 р. кількість опадів становила 153,8 мм при нормі 71 мм.

Усі три роки досліджень показують тенденцію до підвищених температури повітря в осінній період порівняно з кліматичною нормою. Так, у вересні 2023 р. середня температура становила $17,5$ °С, що перевищувало середнє багаторічне

значення – 13,8 °С. У листопаді та жовтні 2022 р. було зафіксовано високий рівень опадів – 71,8 і 106 мм відповідно, що суттєво перевищувало середньобагаторічні значення. У жовтні 2023 р. випало 99,9 мм опадів, а у листопаді – 120,3 мм, що також свідчить про аномально вологий осінній сезон.

2.4. Методика проведення досліджень

У 2021–2023 рр. на дослідному полі ННВЦ «Дослідне поле «Докучаєвське»» було проведено дослідження для визначення ефективності різних способів основного обробітку ґрунту під час вирощування кукурудзи на зерно. Дослідження включали три основні польові досліді:

Дослід 1. Дослідити вплив способів основного обробітку ґрунту на окремі показники родючості чорнозему типового при вирощуванні кукурудзи.

Сівозміна у досліді:

1. Чистий пар
2. Пшениця озима
3. Кукурудза
4. Жито озиме
5. Соняшник

Вивчалися прийоми обробітку ґрунту з використанням:

- оранки ПЛН-4-35 на глибину 25-27 см (варіант 1 – контроль);
- чизельного локального обробітку ПЧ-2,5 на глибину 33-35 см (варіант 2);
- безполицевого обробітку ПРН 31000 на 33-35 см (варіант 3)
- дискового обробітку БДМ-2,5 на 10-12 см (варіант 4).

Розміщення ділянок у досліді здійснювали систематичним методом, з чотириразовою повторністю. Площа посівної ділянки становила 150 м², облікової – 50 м². Для дослідження використовували простий середньоранній модифікований гібрид кукурудзи ДБ Хотин (ФАО 280), створений у ДУ Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України, який у 2013 р.

було занесено до Реєстру сортів України. Цей гібрид характеризується високою стійкістю до вилягання та хвороб, а також демонструє високу продуктивність у стресових умовах. Потенційна врожайність в умовах Лісостепової зони може сягати 11,6–12,3 т/га, а середня вологість зерна на момент збору врожаю становить близько 16–18 %. Рослини гібриду кукурудзи ДБ Хотин досягають висоти 230–240 см, не кущаться, стійкі до вилягання. Довжина качана становить 22–24 см, кількість рядів зерен – 16–18, а висота його прикріплення – 85–95 см [47].

Головним завданням дослідження було визначити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на агрофізичні та водно-фізичні показники ґрунту, його целюлозолітичну активність, гербологічний і фітосанітарний стан агроценозу, встановити рівень ґрунтозахисної ефективності різних способів основного обробітку ґрунту; дослідити вплив способів основного обробітку ґрунту на гербологічні зміни та фітосанітарний стан у посівах кукурудзи; дослідити вплив різних способів основного обробітку ґрунту на ділянках гібридизації кукурудзи ДБ Хотин на фоні комплексного застосування ґрунтових і страхових гербіцидів; встановити рівень урожайності зерна кукурудзи та ефективності способів основного обробітку ґрунту; дати економічну та енергетичну оцінку вирощування гібриду кукурудзи ДБ Хотин за різних способів обробітку ґрунту.

Для цього були закладені та проведені польові стаціонарні досліди, а відбір зразків та їх дослідження проводили згідно загальноприйнятих методик:

- вологість ґрунту – гравіметричним методом на глибину 1,5 м через кожні 10 см у період збирання кукурудзи [295, 317];
- щільність складення шару ґрунту 0–30 см – методом ріжучого циліндра за Н. А. Качинським через кожні 10 см [36];
- структурно-агрегатний склад орного шару ґрунту ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова через кожні 10 см [34];
- твердість шару ґрунту 0–30 см через кожні 10 см твердоміром Рев'якіна [35];

– целюлозолітичну активність ґрунту – методом, що базується на інтенсивності розкладання лляного полотна у шарі 0–30 см через кожні 10 см [148, 260];

– облік урожайності кукурудзи проводили способом суцільного обмолоту та зважування основної продукції зі всієї площі облікових ділянок;

– ґрунтозахисну ефективність технологій обробітку ґрунту визначали шляхом обліку величини проективного покриття рослинними рештками поверхні ґрунту починаючи з ранньовесняного періоду і покриття рослинами кукурудзи протягом її вегетації. Рівень проективного покриття ґрунту визначався методом ліній, що перетинаються [301];

– індекс фізичного стану ґрунту – за методикою В.В. Медведєва та Т.М. Лактіонової [42], який розраховується за формулою:

$$ІФС = \sqrt[n]{A \times B \times C \times \dots \times n} \quad (1)$$

де А, В, С...n – окремі агро- та водно-фізичні показники родючості ґрунту.

– забур'яненість – кількісно-ваговим методом на початку вегетації кукурудзи [72];

– економічну ефективність розраховували з використанням технологічних карт [39] та цін станом на грудень 2023 р.;

– розраховували енергетичну ефективність вирощування кукурудзи [5];

– математично-статистичну обробку результатів досліджень проводили використовуючи дисперсійний, кореляційний і регресійний аналізу з використанням програмних засобів Microsoft Excel та Statistica 10.0.

Дослід 2. Дослід з вивчення системи контролювання забур'яненості на ділянках гібридизації батьківських форм кукурудзи гібриду ДБ Хотин.

Схема досліду включала п'ять варіантів застосування гербіцидних сумішей, серед яких були контрольні варіанти та варіанти із застосуванням різних діючих речовин.

1 – контроль 1 (без бур'янів);

2 – контроль 2 (без хімічного захисту);

3 – нікосульфурон 45 г/л у нормі внесення препарату 1,25 л/га; 2,4 Д-етилгексиловий ефір 452 г/л + флоросулам 6,25 г/л у нормі 0,6 л/га;

4 – ацетохлор 900 г/л у нормі 2,5 л/га; клопіралід 300 г/л у нормі 0,5 л/га + тифенсульфурон-метил 750 г/кг у нормі 0,012 кг/га;

5 – пропізохлор 720 г/л у нормі 2,5 л/га; клопіралід 300 г/л у нормі 0,5 л/га + тифенсульфурон-метил 750 г/кг у нормі 0,012 кг/га.

Контроль 1 (без бур'янів) – ділянки, де бур'яни видаляли вручну для створення ідеальних умов для росту і розвитку кукурудзи, що дозволяло оцінити максимально можливий рівень врожайності.

Контроль 2 (без хімічного захисту) – ділянки, на яких не застосовували хімічний захист проти бур'янів, а лише механічний обробіток ґрунту.

Система основного обробітку була представлена оранкою ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см.

Гербіцид Мілагро на основі діючої речовини *нікосульфурон*, 45 г/л – системно-селективний препарат післясходового використання у нормі 1,25 л/га для пригнічення багаторічних, злакових та деякі різновидів дводольних бур'янів. Застосовується у фазу 3–10 листків рослин кукурудзи. Ріст бур'янів починає пригнічуватися через 6 годин, кінцевий результат їх життєдіяльності настає у період 7–20 днів від моменту внесення. Застосування гербіциду Мілагро на основі діючої речовини нікосульфурон 45 г/л у нормі 1,25 л/га та бакової суміші з гербіцидом Прима на основі діючих речовин 2,4 Д-етилгексиловий ефір 452 г/л + флоросулам 6,25 г/л у нормі 0,6 л/га має системну дію та спрямована на знищення більш широкого спектра бур'янів, включаючи злакові та дводольні види, але має регламент застосування з 3 до 5 листків кукурудзи.

Харнес на основі діючої речовини *ацетохлор*, 900 г/л відноситься до ґрунтових гербіцидів. Препарат вносили у нормі 2,5 л/га без заробки у ґрунт, сходи бур'янів поглинають його у процесі проростання і гинуть. Цей гербіцид необхідно застосовувати до появи сходів кукурудзи. За умов оптимального зволоження гербіцид зберігає активність більше 12 тижнів. Гербіцид Лонтрел на

основі діючої речовини *Клопіралід 300 г/л* у нормі 0,5 л/га у баковій суміші з гербіцидом Хармоні на основі діючої речовини *тифенсульфурон-метил 750 г/кг* у нормі 0,012 кг/га – забезпечують додатковий захист від дводольних бур'янів.

Пропізохлор 720 г/л є діючою речовиною ґрунтового гербіциду Пропаніту. Препарат необхідно вносити у нормі 2,5 л/га без заробки у ґрунт. Завдяки вологоємкості пропізохлору цей гербіцид проявляє найвищу ефективність порівняно з іншими гербіцидами, навіть, при низькій вологості ґрунту. Пропаніт забезпечує тривалу захисну дію – не менше 12 тижнів. Застосування гербіциду Пропаніт на основі діючої речовини пропізохлор 720 г/л в нормі 2,5 л/га при ґрунтовому внесенні і додатково внесення по вегетації у фазу 3–5 листків у комбінації препаратів селективної контактної дії у баковій суміші гербіциду Лонтрел на основі *клопіраліду 300 г/л* у нормі 0,5 л/га та гербіциду Хармоні на основі діючої речовини *тифенсульфурон-метилу 750 г/кг* у нормі 0,012 кг/га дозволяє знищувати однорічні і дворічні злакові бур'яни на ранніх етапах їх розвитку. Норма робочого розчину, яка застосовувалася у досліді – 200 л/га.

Ефективність кожного варіанта оцінювали шляхом визначення кількості бур'янів, що залишилися, їхньої біомаси, впливу на врожайність кукурудзи та фітотоксичність.

Технологія вирощування кукурудзи гібриду ДБ Хотин у досліді. Передпосівний обробіток ґрунту розпочинався з проведення боронування К-701 + С-21 та із використанням двох передпосівних культиваций К-701 + КПС-12. Сівбу здійснювали з міжряддям 70 см агрегатом NEW HOLLAND TD 5110 + John Deere 7000 з подальшим формуванням передзбиральної густоти 75 тис. шт./га. Для внесення ґрунтових і страхових гербіцидів було використано NEW HOLLAND TD 5,110 + BERTHOUD Traker 3200. На стадії розвитку кукурудзи 8–10 листків перед змиканням рядів було проведено міжрядний обробіток з використанням NEW HOLLAND TD 5.110 + КРН-5,6. Збирання врожаю проводили комбайном John Deere.

Дослід 3. Визначення врожайності материнської форми кукурудзи на ділянках гібридизації.

Дослідження проводили методом розщеплених ділянок [73] із просторовою ізоляцією 250–300 м. Насіння першого покоління на ділянках гібридизації вирощували на стерильній основі за схемою 2:6, при якій батьківські рослини займали 25 % загальної площі (рис. 5). Така схема розміщення дає змогу не лише ефективніше здійснити сівбу та збирання врожаю з материнських рядків, але й збільшити врожайність завдяки раціональному використанню ґрунтових ресурсів [75]. За даними ДУ Інститут зернових культур НААН України, потенційна врожайність материнської форми гібрида ДБ Хотин становить 4,48 т/га, а збиральна вологість зерна – 16,5 % [47].



Рис. 5. Схема розташування батьківського компонента ДК 680МВЗС (♂) та материнського компонента Крос 255 М (♀) на ділянках гібридизації за схемою посіву 2:6

Для отримання кінцевого результату щодо кількості посівних одиниць та визначення якості посівного матеріалу було проведено калібрування насіння кукурудзи [74].

Висновки до розділу 2

Ґрунтово-кліматичні умови ННВЦ «Дослідне поле «Докучаєвське»» були типовими для зони Лівобережного Лісостепу України, де проводили дослідження. Середньорічна температура повітря демонструвала стабільне підвищення порівняно із середньобагаторічними показниками: 9,6 °С у 2021 р.,

10,6 °C у 2022 р. і 10,4 °C у 2023 р. проти норми 7,2 °C. Ці дані свідчать про поступове потепління клімату, що є частиною загальної глобальної тенденції до підвищення температури повітря. Загальна кількість опадів у період 2021–2023 рр. суттєво відрізнялася від середньобагаторічного показника – 529 мм. Так, у 2022 р. кількість опадів була на рівні 687,3 мм, а у 2023 р. – 769,9 мм, що значно перевищувало кліматичну норму. Польовий стаціонарний дослід і відбір зразків для дослідження було проведено згідно із загальноприйнятими методиками.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ОКРЕМІ ПОКАЗНИКИ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

3.1. Вплив основного обробітку ґрунту на окремі агрофізичні показники чорнозему типового

В умовах інтенсифікації землеробства проведення обробітку ґрунту має важливе значення. Правильно підібрана технологія обробітку ґрунту створює оптимальні умови для росту та розвитку сільськогосподарських культур, покращує родючість ґрунту та попереджає фізичну деградацію на чорноземних ґрунтах [67, 16, 117, 66], що, у свою чергу, позитивно впливає на сталу продуктивність агрофітоценозу [304, 196, 129]. Водночас неправильний обробіток спричиняє небажані наслідки, такі як: руйнування структури ґрунту, прискорює ерозію, порушує кругообіг води, органічного вуглецю та поживних речовин [125, 272, 183, 107], тому виникає значний інтерес щодо переходу до консерваційного та нульового обробітку ґрунту з метою контролю цих процесів [332, 302].

Урожайність сільськогосподарських культур, зокрема і кукурудзи, значною мірою залежить від агрофізичного стану ґрунту [262]. Тому правильний вибір способу обробітку ґрунту та типу ґрунтообробних знарядь [306], а також його належне виконання запобігає його деградації, підтримує та покращує агрофізичні, агрохімічні та біологічні показники ґрунту [303]. Застосування певного способу і глибини основного обробітку ґрунту багато у чому залежить від його природного стану. Так, у Лісостеповій зоні України чорноземи типові мають задовільні агрофізичні властивості, вони не потребують обробітку з перевертанням орного шару, адже у посушливих умовах це може призводити до надмірного його розпушення та швидкого випаровування вологи [290]. Так деякі вчені стверджують, що чизельний обробіток на глибину 33–35 см забезпечує показники близькі з оранкою, однак, застосування його у якості локального

розпушування може погіршувати фізичний стан орного шару на рівні з мілким дисковим обробітком [123].

3.1.1. Щільність складення ґрунту залежно від основного обробітку ґрунту.

При виборі способу обробітку ґрунту велика увага приділяється щільності складення як основному показнику агрофізичних властивостей ґрунту. Фактично всі дослідження, пов'язані з обробітком ґрунту, розглядають з точки зору впливу на цей показник. У разі, коли відсутня чітка тенденція змін щільності складення ґрунту між системами обробітків ґрунту, варто звернути увагу на тип вирощуваних культур та тривалість дослідів. Іноді короткострокові дослідження не представляють належним чином помітних або значних змін фізико-механічних властивостей ґрунту [162].

Результати досліджень учених вказують на тісну залежність зниження врожайності сільськогосподарських культур від підвищення щільності ґрунту, особливо після проведення поверхневого та плоскорізного обробітків [319, 169, 234]. При оптимальній щільності складення знижується коефіцієнт водоспоживання, збільшується вміст водотривких агрегатів, активізуються мікробіологічні процеси у ґрунті, покращується живлення рослин. У разі збільшення цього показника вище оптимальних значень для конкретного ґрунту або сільськогосподарських культур порушується водний і повітряний режими, ускладняється процес нітрифікації і створюються умови для денітрифікації, що обмежує використання рослинами азоту з ґрунту [348]. Цей показник безпосередньо впливає на ріст коренів рослин, тому надмірне ущільнення істотно перешкоджає їх проникненню, що в подальшому негативно позначається на врожайності сільськогосподарських культур [4, 15, 313]. Для рослин із дрібним розміром насіння краще, щоб ґрунт був помірно ущільненим, а із середнім і великим розміром насіння – менш ущільненим, але не повинен виходити за межі допустимих параметрів, зокрема, для кукурудзи оптимальна

щільність складення орного шару ґрунту знаходиться у межах від 1,1 до 1,3 г/см³ [76]. М. В. Шевченко зазначає, що для створення близької до оранки щільності складення ґрунту необхідно проводити глибокий обробіток ґрунту. Водночас він наголошує, що повна заміна оранки безполицевими обробітками не завжди забезпечує схожий на традиційний обробіток вплив. Обробіток безполицевим плугом ПРН 31000 на глибину 20–22 см викликав незначне підвищення щільності складення орного шару порівняно з оранкою на 0,03 г/см³ [125].

Дослідження, проведенні у 2021–2023 рр., показали, що щільність складення 0–30 см шару ґрунту після збирання кукурудзи була у межах від 1,18 г/см³ до 1,24 г/см³ (рис. 6). Ця величина, згідно із загальноприйнятою шкалою [33], була у межах оптимальних значень для вирощування даної культури. Так, у варіанті з оранкою ПРН на глибину 25–27 см (контроль) шар ґрунту 0–30 см був найбільш розпушеним, про що свідчить значення щільності складення на рівні 1,18 г/см³.

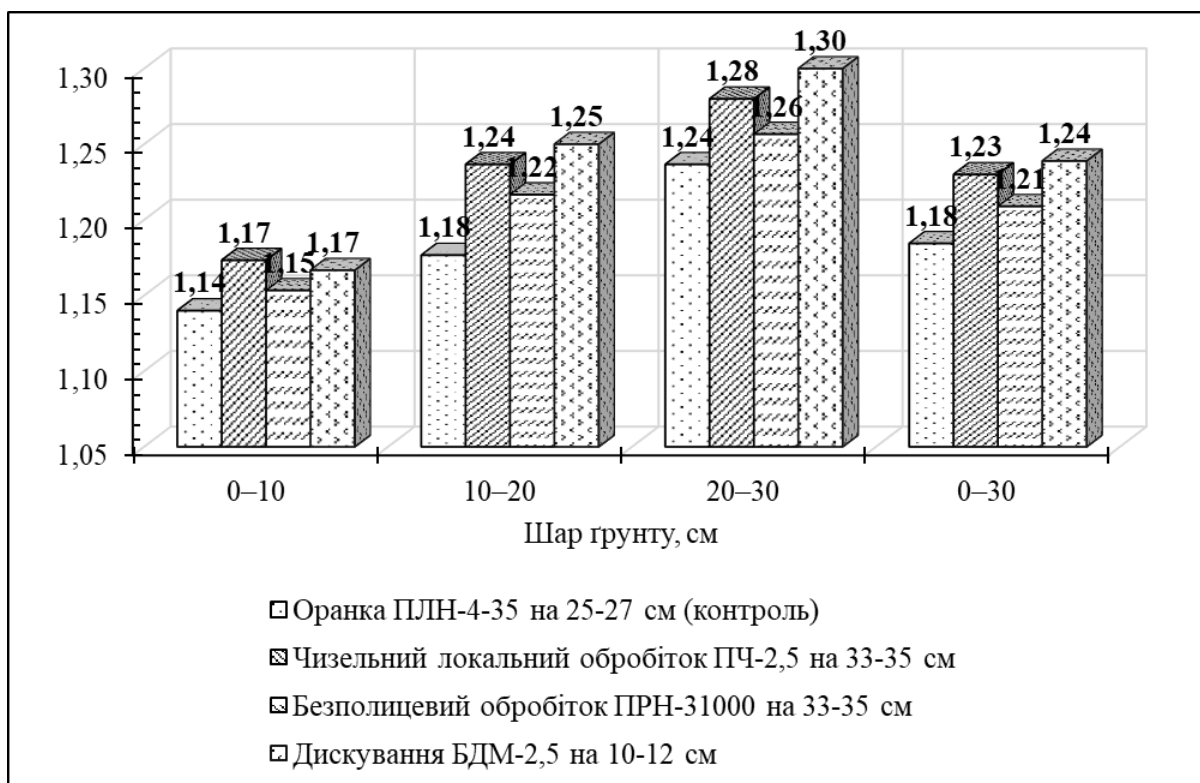


Рис. 6. Щільність складення орного шару ґрунту у посівах кукурудзи під впливом способів основного обробітку ґрунту, г/см³ (середнє за 2021–2023 рр.)

На ділянках, де проводився безполицевий обробіток ПРН-31000 на глибину 33–35 см, значення цього показника в орному шарі ґрунту перевищувало контроль на $0,03 \text{ г/см}^3$. Так як робочі органи агрегату розпушують ґрунт без перевертання, це дозволило залишити щільність складення оброблюваного шару фактично незмінним [125]. Також незначне ущільнення орного шару ґрунту виявлено після застосування чизельного обробітку ПЧ-2,5 на 33–35 см та дискування БДМ-2,5 на 10–12 см, перевищення значень порівняно з контролем склало $0,05$ і $0,06 \text{ г/см}^3$. Не дивлячись на різні принципи чизельного локального обробітку, який лише підрізає оброблюваний шар ґрунту та дискування, який розпушує лише його верхній шар, значення щільності складення знаходилося майже на одному рівні. Окремі вчені зазначають, що ці способи обробітку ґрунту краще використовувати у комбінації, наприклад, дискування для первинного обробітку та подрібнення верхнього шару, а чизельний обробіток – для глибшого розпушування та покращення дренажу і аерації ґрунту [10, 96]. Різниця між варіантами та диференціація орного шару за досліджуваним показником пов'язана з механізмом дії робочих органів на поверхню ґрунту, внаслідок чого шари ґрунту 10–20 і 20–30 см більш піддаються ущільненню.

Тривале застосування досліджуваних обробітків ґрунту мало тенденцію до розподілення щільності складення по орному шару ґрунту: по відношенню до верхнього шару ґрунту 0–10 см у шарах 10–20 і 20–30 см цей показник збільшувався. Шар ґрунту 0–10 см мав порівняно низькі значення щільності складення по всіх варіантах, а особливо при використанні оранки та безполицевого обробітку ґрунту. Незначне його підвищення порівняно з контролем відбулося під впливом застосування чизельного та дискового обробітків – $1,17 \text{ г/см}^3$. На нашу думку, причиною цього могла бути значна кількість рослинних решток, яка залишилася на поверхні ґрунту та не була розподілена по всьому орному шару.

Досліджувані обробітки ґрунту впливали на щільність складення шару ґрунту 10–20 см. Найменш ущільненим цей шар був на варіанті полицевого обробітку ПЛН-4-35 – $1,18 \text{ г/см}^3$. У незначній мірі значення цього показника

підвищувалося до $1,22 \text{ г/см}^3$ за безполицевого обробітку ПРН-31000 ($\text{НІР}_{05} = 0,04$). На варіантах чизельного обробітку ПЧ-2,5 і дискування БДМ-2,5 тенденція до ущільнення порівняно з контролем зберігалася.

У шарі ґрунту 0–30 см щільність складення збільшувалася по усіх варіантах. Найнижчим цей показник був на варіантах проведення оранки та безполицевого обробітку ґрунту: $1,24$ і $1,26 \text{ г/см}^3$. Оранка перевертає ґрунт і розпушує ущільнені шари до 25 см, тоді як безполицевий обробіток ПРН–31000 до глибини 35 см. Обидва ці прийоми сприяють покращенню аерації та водопроникності ґрунту, що дозволяє досягти нижчої щільності складення у порівнянні з дисковим обробітком, який впливає в основному на верхні шари. Проведення дискового обробітку на глибину 10–12 см призвело до значного ущільнення нижнього шару ґрунту 20–30 см.

Таким чином, порівняно з оранкою всі досліджувані обробітки викликали підвищення щільності складення ґрунту. Після застосування ПРН-31000 на 33–35 см значення щільності складення була майже на одному рівні з контролем. Прослідковувалася тенденція щодо ущільнення орного шару ґрунту при дискуванні БДМ-2,5 на глибину 10–12 см. Локальне розпушування при чизельному обробітку ПЧ-2,5 на 33–35 см також була причиною підвищення щільності складення ґрунту порівняно з оранкою. Важливо відмітити, що цей показник не перевищував оптимальні значення для вирощування кукурудзи на чорноземі типовому.

3.1.2. Твердість ґрунту залежно від основного обробітку ґрунту

Твердість ґрунту – важливий показник ґрунту, який впливає на схожість насіння, ріст і розвиток рослин, визначає водний, повітряний і тепловий режим ґрунту [13, 113]. Підвищення твердості ґрунту є ознакою погіршення фізико-хімічних та агрофізичних властивостей. Як правило, ущільнення ґрунту підвищує його твердість, а при наявності достатніх запасів вологи та добрій структурності цей показник знижується [213, 277]. Твердість ґрунту також

безпосередньо пов'язана зі складом увібраних основ. Так, у чорноземних ґрунтах насичених кальцієм, твердість у 10–15 разів менша, порівняно з іншими ґрунтами. Ґрунти з високим вмістом гумусу, насичені двовалентними основами, характеризуються меншою твердістю, ніж малогумусні [277, 17].

Завдяки тривалим дослідженням В. В. Медведєва з'ясовано, що твердість ґрунту на рівні 35–40 кг/см² призводить до низької водопроникності, обмеження росту коренів, зрідження та недружніх сходи, низького рівня врожайності [70, 37]. Водночас, Д. Литвинов з іншими вченими вважають, що оптимальним для початкових етапів росту і розвитку кукурудзи є значення твердості у межах 5–8 кг/см² [335], а з розвитком рослин та їхніх кореневої системи – 20–25 кг/см² [248, 335]. Твердість понад 30 кг/см² порушує водний, повітряний та біологічний режими ґрунту, а також сильно пригнічує і, навіть, зупиняє ріст кореневої системи сільськогосподарських культур, що у кінцевому підсумку негативно впливає на формування врожаю [113].

Багаторазові проходи по полю тракторів, комбайнів та іншої техніки призводять до ущільнення орного шару ґрунту, у результаті чого виникає плужна підшва, яка негативно впливає на його родючість ґрунту та знижує врожайність культур. Плужна підшва – це ущільнення в орному шарі ґрунту або під ним, яке утворюється внаслідок тиску площині робочих органів ґрунтообробних агрегатів при обробітку ґрунту на одну і ту ж глибину. Плужною її називають, оскільки раніше акцент при обробітку ґрунту робився на оранку, проте дослідження показують, що аналогічну проблему може створювати будь-який робочий орган, зокрема диски, лапи плоскоріза або культиватор, а тиск леза робочого органу на ґрунт у точці контакту може досягати 1000 кг/см² [287, 51]. Визначення твердості дозволяє більш точно встановити параметри плужної підшви, збитки від якої з'являються при підвищенні твердості вище 35–40 кг/см² [113].

Н. А. Качинський [243] звертав увагу на залежність твердості ґрунту від способу обробітку та вмісту у ньому запасів вологи. Він дослідив, що зі зменшенням вмісту вологи у ґрунті твердість значно зростає і негативно впливає на кореневу систему сільськогосподарських культур. Варто зазначити, що

Ю. Ревякін [294] також рекомендував використовувати значення твердості для оцінки якості обробітку ґрунту. Твердість ґрунту є найбільш надійним показником для вирішення проблем руйнування поверхневої кірки та утворення плужної підшви. Зокрема, існують успішні приклади діагностики стійкості ґрунтової кірки за допомогою показників твердості [156, 259].

У наших дослідженнях, твердість ґрунту відображала ті ж тенденції, що і щільність орного шару. Результати досліджень свідчать про те, що всі варіанти обробітків створювали оптимальні умови у ґрунті, оскільки твердість у 0–20 см шарі ґрунту знаходилася у межах 13,3–15,1 кг/см² (рис. 7), що за класифікацією Н. А. Качинського вважається як розпушений [35].

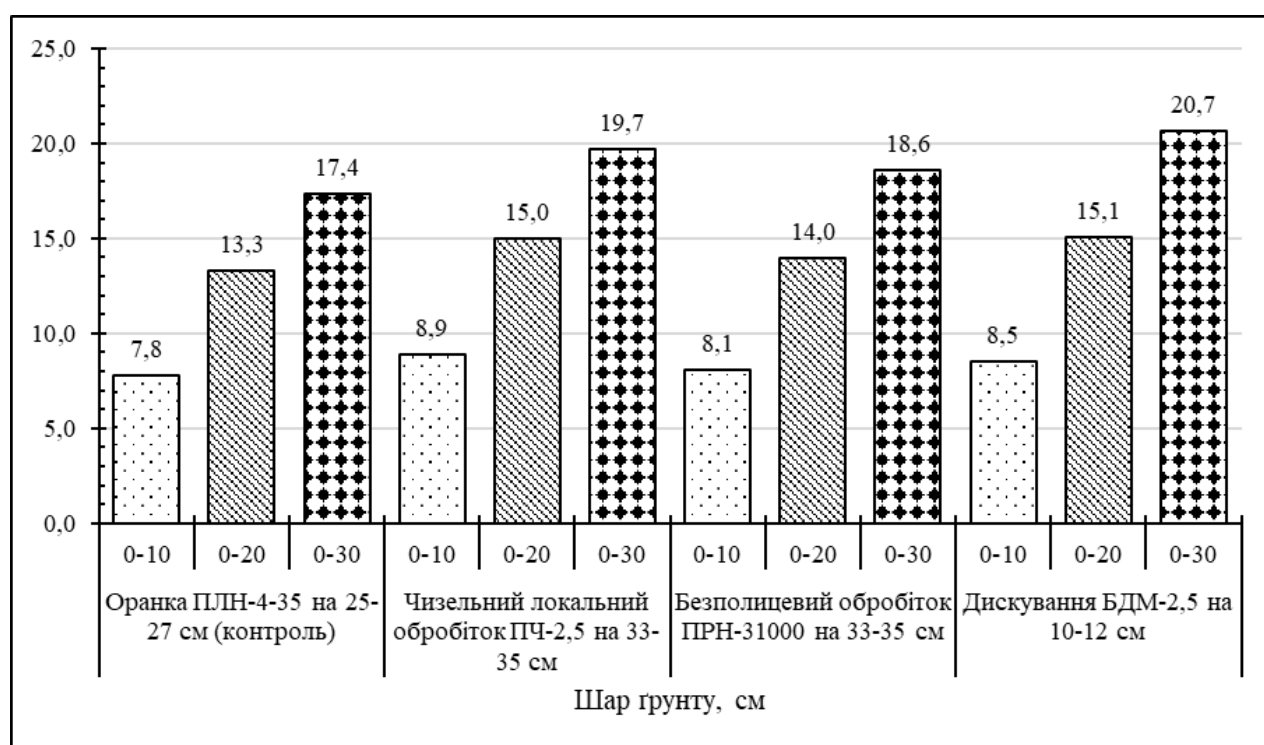


Рис. 7. Твердість орного шару ґрунту у посівах кукурудзи під впливом способів основного обробітку ґрунту, кг/см² (середнє за 2021–2023 рр.)

У верхньому шарі ґрунту 0–10 см помітне підвищення цього показника відбулося на варіанті із чизельним локальним обробітком ПЧ-2,5 на 33–35 см, значення якого перевищувало контроль (7,8 кг/см²) на 1,1 г/см² ($HP_{05} = 1,18$), однак за шкалою Н. А. Качинського ґрунт вважається пухким. У цілому, в орному шарі величина твердості підвищилася після глибокого суцільного розпушування ПРН-31000 на 1,2 кг/см², після локального обробітку ПЧ-2,5 – на

2,3 кг/см², а після мілкового дискового обробітку – на 3,3 кг/см² порівняно з оранкою.

Твердість ґрунту значним чином впливає на формування врожаю сільськогосподарських культур, зокрема і кукурудзи [327], про що свідчить висловлений обернений коефіцієнт кореляції $r = -0,84$, однак, яка межа цього значення досі дискусійне питання. Нами був проведений математичний аналіз залежності врожайності кукурудзи від твердості ґрунту, який був виражений у вигляді квадратичної функції:

$$Y = aT^2 + bT + c \quad (2)$$

За методом найменших квадратів знаходимо:

$$a = -0,008$$

$$b = 0,245$$

$$c = 4,758$$

Таким чином, отримали математичну модель:

$$Y = -0,008T^2 + 0,245T + 4,758 \quad (3)$$

Оптимальне значення твердості відповідає максимуму функції і знаходиться за формулою:

$$T_0 = -\frac{b}{2a} \quad (4)$$

Було визначено значення, при яких урожайність дорівнює нулю: $T_1 = -13,5$ і $T_2 = 44,4$ кг/см². Перше значення від'ємне, що означає, мінімальної необхідної твердості ґрунту не існує. Друге значення показує максимально можливу твердість ґрунту за якої урожайність ще є. Отже, функції $T_0 = 15,4$ кг/см² відповідає максимальна прогнозна врожайність 6,64 т/га.

Графік на рис. 8 демонструє зростання врожайності кукурудзи при збільшенні твердості ґрунту до 15,4 кг/см², після чого урожайність досягає

максимуму, близько 6,64 т/га. При подальшому збільшенні твердості врожайність різко падає і наближається до нуля при твердості 44,4 кг/см². Це свідчить про те, що існує оптимальний рівень твердості ґрунту для вирощування кукурудзи, після якого надмірна твердість негативно впливає на врожайність.

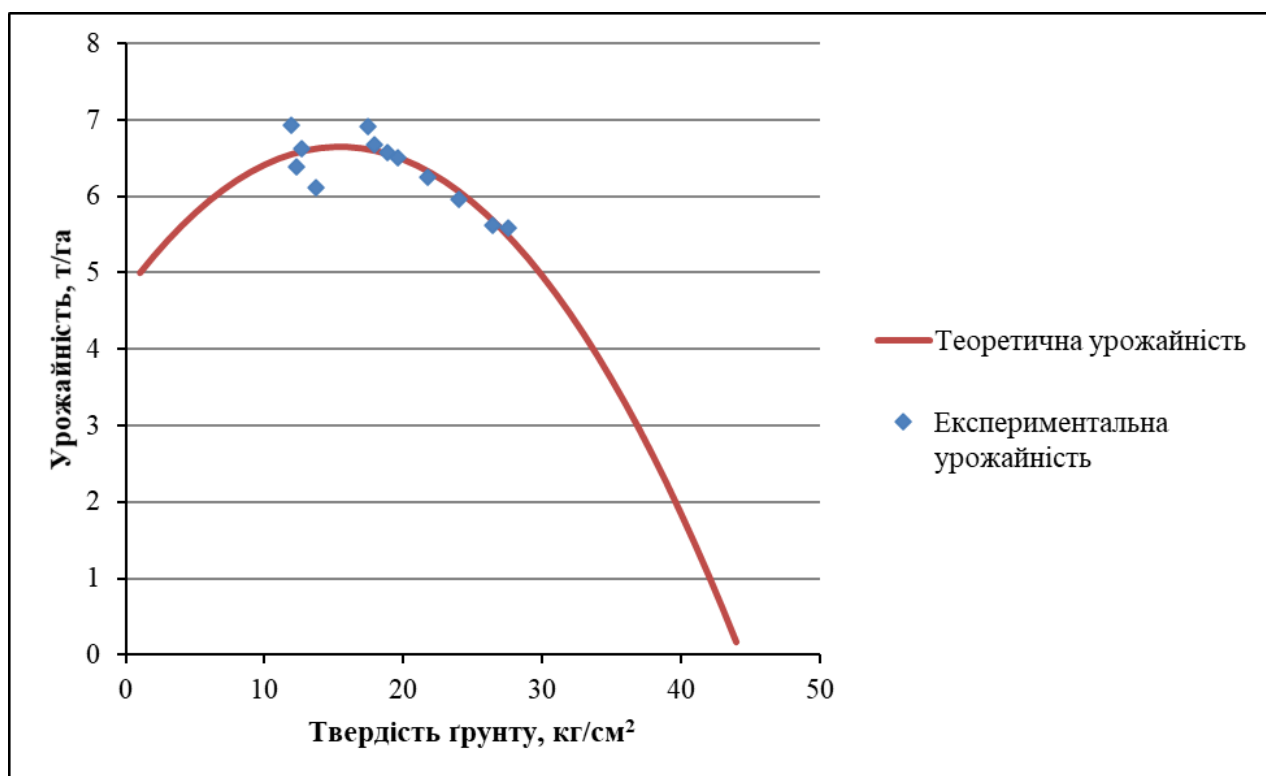


Рис. 8. Залежність урожайності кукурудзи на зерно від твердості ґрунту

Отже, майже у всіх варіантах дослідження не відчувалося наявності щільного прошарку в орному шарі, лише після застосування мілкового дискового обробітку БДМ-2,5 було підвищення сили опору у шарі 8–13 см. Після глибокого безполицевого обробітку зафіксовано стале підвищення твердості ґрунту порівняно з оранкою у всіх шарах. Після застосування мілкового дискового обробітку БДМ-2,5 відчутне підвищення сили опору зафіксовано на глибині від 8 до 13 см через мікрорельєф поверхні і впливу робочих органів знаряддя.

3.1.3. Структурний стан чорнозему типового залежно від способів основного обробітку ґрунту.

Структура ґрунту – це один з головних показників родючості ґрунту та сталості сільського господарства, а також є основною агрофізичною властивістю ґрунту [153, 63], адже вона має значний вплив на фізичні властивості, водний, повітряний, тепловий, окисно-відновний, мікробіологічний і поживний режими, фізико-механічні властивості й протиерозійну стійкість ґрунтів, і зрештою, на врожайності сільськогосподарських культур [299]. Підвищення її стійкості є ефективним методом покращення якості ґрунту та вирішення проблем, пов'язаних з деградацією ґрунтів [138].

У природних умовах більшість гранулометричних елементів ґрунтів (крім піщаних) утворюють структурні агрегати різної генези, складності, величини, форми та водостійкості. Серед науковців існує два поняття структури ґрунту: морфологічне та агрономічне. Агрономічно-цінною є тільки така структура, яка забезпечує родючість ґрунту, а розміри агрегатів становлять 0,25–10 мм [112]. Хоча окремими дослідженнями встановлено, що агрегати розміром більше 5 мм характеризуються невеликою механічною міцністю та слабкою вологостійкістю [57], що свідчить про необхідність уточнення оптимального розміру структурно-агрегатного складу ґрунту. Сухе просіювання відображає стійкість до механічного впливу, а вологе просіювання вказує на схильність до ущільнення. Щоб оцінити структурний стан ґрунту використовують значення кількості агрономічно-цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм для сухого просіювання, для мокрого – 0,25–5 мм та коефіцієнт структурності. З літературних джерел відомо, що у зоні з помірною кількістю опадів найбільше агрономічне значення мають грудочкувата та зерниста фракції розміром від 1 до 5 мм, у перезволожених ґрунтах цей показник наближається до 10 мм, а для ґрунтів посушливих районів – до 2 мм [111]. Частка агрегатів > 0,25 мм слугує індикатором змін у якості ґрунту, тобто якість ґрунту загалом підвищується, коли збільшується

співвідношення великих до дрібних агрегатів [318]. Останніми роками структура ґрунту на орних землях погіршилася через високу інтенсивність обробітку.

В умовах інтенсивних систем землеробства, де суттєво підвищується вплив дії антропогенного фактора, головна задача обробітку ґрунту – створення оптимальних умов для росту й розвитку сільськогосподарських культур, поліпшення родючості ґрунту, попередження його фізичної деградації. Особливого значення цей факт набуває для чорноземних ґрунтів. Загальновідомо, що під час обробки ґрунту разом із кришінням ґрунту на окремі агрегати відбувається й інтенсивне їх руйнування [131, 101, 131, 69]. Традиційні способи обробітку ґрунту модифікують структуру ґрунту, змінюючи фізичні та водно-фізичні властивості, такі як щільність складення, твердість ґрунту та запаси вологи. Рядом вчених встановлено, що систематичне проведення традиційного обробітку ґрунту впливає на розпушування ґрунту краще, ніж консервація чи нульовий обробіток, які залишають ґрунт недоторканим. Ця різниця призводить до зміни кількості, форми, безперервності та розподілу розмірів пор, які контролюють аерацію ґрунту та накопичення вологи, що у свою чергу, контролює ерозійні процеси. З іншого боку, обробіток ґрунту руйнує ґрунтові агрегати, ущільнює ґрунт і порушує рослинні та тваринні спільноти, які сприяють агрегації [225, 147]. Інші вчені зазначають, що зменшення обробітку ґрунту призводить до кращої агрегації, більшої кількості макропор і біоканалів, які впливають на рух і доступність вологи [229, 241]. Незважаючи на це, традиційні системи обробітку ґрунту, засновані на оранці, все ще домінують, однак їх альтернативи стають економічно та екологічно привабливішими, оскільки вони економлять енергію та забезпечують більш сприятливі ґрунтові умови. Зокрема, це викликано наявністю більшої кількості мікробної маси, що має великий вплив на утворення та стабілізацію структурних агрегатів [151].

Нашими дослідженнями встановлено, що всі варіанти обробітку ґрунту, згідно ДСТУ 4362:2004, забезпечили хороший структурний стан орного шару ґрунту 0–30 см [33]. За кількістю у ґрунті агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм перевагу мали безполицевий обробіток ПРН 31000 на глибину 33–

35 см та чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см (табл. 1). Так, кількість цих фракцій у шарі ґрунту 0–30 см становила 74,0 і 74,4 %, відповідно.

Таблиця 1

**Уміст агрономічно цінних агрегатів залежно від способів обробітку ґрунту,
% (середнє за 2021–2023 рр.)**

Варіант обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Розмір фракцій мм, і їх кількість		
		>10	0,25-10	<0,25
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	0–10	16,6	74,2	9,1
	10–20	19,0	73,0	7,8
	20–30	19,2	73,2	7,4
	0–30	18,3	73,5	8,1
Чизель локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	0–10	17,5	73,6	8,9
	10–20	18,4	75,1	6,5
	20–30	19,1	74,4	6,4
	0–30	18,3	74,4	7,3
Безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33–35 см	0–10	18,6	72,7	8,6
	10–20	20,0	74,3	6,7
	20–30	17,5	75,0	7,6
	0–30	18,7	74,0	7,6
Дисковий обробіток БДМ-2,5 на 10-12 см	0–10	18,9	70,5	10,5
	10–20	19,6	72,3	7,4
	20–30	20,1	72,6	7,2
	0–30	19,5	71,8	8,4

Кількість агрегатів розміром 0,25–10 мм на варіанті з оранкою ПЛН–4-35 на 25–27 см та дисковим обробітками БД-2,5 на 10–12 см мала тенденцію до збільшення з глибиною. Варто зазначити, що проведення дискування БДМ-2,5

на 10–12 см мало дещо негативний вплив на оструктурування орного шару ґрунту 0–30 см. Загалом, не зважаючи на важливість агрономічно цінних агрегатів для збереження родючості ґрунту, вплив на формування врожайності кукурудзи був не значним з коефіцієнтом кореляції $r = 0,39$. У верхньому шарі ґрунту 0–10 см найбільшу кількість агрегатів розміром 0,25–10 мм визначено на варіанті з оранкою – 74,2 %, а найнижчу – з дискуванням БДМ-2,5 на 10–12 см – 70,5 %. Водночас, на цьому варіанті сума агрегатів >10 і $<0,25$ була найбільшою з-поміж варіантів і склала 29,4 %. Щодо вмісту агрономічно цінних агрегатів у шарах ґрунту 10–20 і 20–30 см перевагу мали чизельний локальний та безполицевий обробітки – 74,3–75,1 %. Це пов'язано з тим, що під час проведення цих обробітків не відбувається перемішування ґрунту, а на його поверхні залишається 80–90 % рослинних решток, що у свою чергу, сприяє створенню умов, за яких максимально реалізовується здатність чорнозему до структуроутворення [122].

Результати мокрого просіювання свідчать про створення хорошого структурного стану орного шару ґрунту (згідно ДСТУ 4362:2004) при застосуванні безполицевого обробітку ПРН-31000 та чизельного локального обробітку на глибину 33–35 см (табл. 2). Так, уміст водотривких агрегатів на цих варіантах знаходився на одному рівні – 55,0 і 57,3 %. Загалом кількість агрегатів розміром 0,25–5 мм мала тенденцію до збільшення з глибиною, а найменша їх кількість була зосереджена у шарі ґрунту 0–10 см.

Дослідження засвідчили задовільний структурний стан верхнього шару ґрунту 0–10 см при застосуванні глибоких обробітків. Дисковий обробіток БДМ-2,5 на 10–12 см порівняно з іншими варіантами мав дещо гірший вплив на міцність структурних агрегатів – 40,1 %, що, згідно шкали [33], відповідає незадовільному структурному стану. У шарі ґрунту 10–20 см вміст цих агрегатів по всіх варіантах дещо підвищувався, однак найвище значення було визначено на варіанті з локальним чизельним обробітком – 63,9 %, а найнижче з дискуванням – 51,6 %. Локальний і безполицевий ПРН-31000 обробітки

створили умови для хорошого оструктурування нижнього шару ґрунту 20–30 см, де вміст водотривких агрегатів склав 56,1 і 60,4 %.

Таблиця 2

**Уміст водостійких агрегатів залежно способів основного обробітку ґрунту,
% (середнє за 2021–2023 рр.)**

Варіант обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Розмір агрегатів (мм) та їх вміст, %	
		>5	0,25–5
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	0-10	1,2	44,7
	10-20	1,0	54,2
	20-30	1,2	53,9
	0-30	1,1	53,9
Чизель локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	0-10	0,5	46,8
	10-20	1,2	63,9
	20-30	1,6	56,1
	0-30	1,1	57,3
Безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33–35 см	0-10	1,0	49,5
	10-20	1,5	56,7
	20-30	1,9	60,4
	0-30	1,5	55,0
Дисковий обробіток БДМ-2,5 на 10–12 см	0-10	1,4	40,1
	10-20	1,0	51,6
	20-30	0,7	50,1
	0-30	1,0	47,3

Отже, орний шар ґрунту мав добру оструктуруєність по усіх варіантах обробітку, водночас вищий вміст агрономічно-цінних агрегатів був на варіантах з чизельним та безполицевим обробітками, що варто пояснити більшою щільністю складення, яка забезпечувала кращий контакт між фракціями та особливістю проведення цих операцій. При використанні дискового обробітку БДМ-2,5 на 10–12 см домінуючий вміст мала брилувата та пилувата фракція, що

пояснюється дією робочих органів та глибиною проведення обробітку. Отримані нами результати підтверджуються літературним даним Є. О. Юркевича та ін. [129].

3.2. Водно-фізичні показники чорнозему типового залежно від способів обробітку ґрунту

Найбільш значним ґрунтовим стресом вважається надлишок або дефіцит вологи. Гідрологічна функція ґрунту – здатність утримувати оптимальну кількість води, а потім поступово робити її доступною для споживання рослинами – є однією з найважливіших властивостей, що визначає родючість ґрунту. Для її збереження необхідно використовувати правильну систему обробітку ґрунту, яка оптимізує потреби рослин відповідно до властивостей ґрунту та забезпечить отримання стабільних високих врожаїв [297, 338].

Основний обробіток відіграє ключову роль у регулюванні водно-фізичних властивостей ґрунту, а моніторинг водного стресу є передумовою ефективного управління його механізмами [336]. З огляду на це, необхідно проводити якісний обробіток ґрунту з урахуванням сучасних технологій та використовувати техніку, яка легко адаптується у процесі підготування ґрунту з частими змінами виробничих умов. Проведені дослідження показують, що забезпечення достатньої кількості вологи на час сівби кукурудзи суттєво впливає на її продуктивність під час вегетації та на врожай зерна. Зокрема американські вчені надають перевагу безполицевому обробітку, який за їхніми даними, сприяє кращому накопиченню вологи у ґрунті у порівнянні з традиційною оранкою [331].

У середньому за 2021–2023 рр. виявлено незначну різницю між варіантами обробітку ґрунту за впливом на запаси вологи при вирощуванні кукурудзи ($НІР_{05} = 15$) (рис. 8). Наші дослідження показали, що варіанти обробітків ґрунту не мали суттєвого впливу на накопичення вологи у шарі ґрунту 0–10 см, а її запаси знаходилися у межах 252–261 м³/га. Варто зазначити, що коефіцієнт

кореляції $r = 0,85$ вказує на прямий зв'язок між запасами вологи в орному шарі ґрунту та вмістом агрономічно цінних агрегатів 0,25–10 мм.

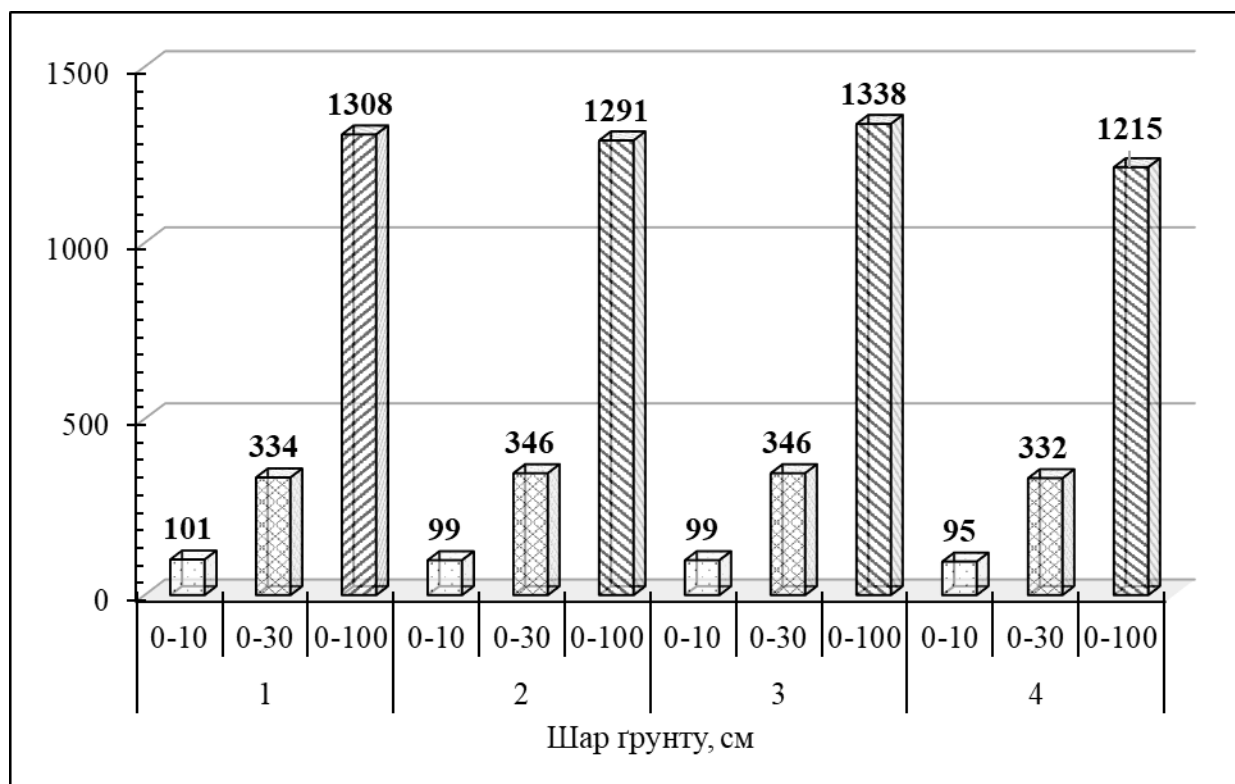


Рис. 8. Запаси вологи у метровому шарі ґрунту залежно від способів основного обробітку ґрунту, м³/га (середнє за 2021–2023 рр.) (НІР₀₅ = 15).

Примітки: 1. Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль). 2. Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см. 3. Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см. 4. Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см.

В орному шарі ґрунту 0–30 см кількість доступної вологи була більшою на варіанті із застосуванням чизельного локального обробітку ПЧ-2,5 на 33–35 см порівняно з контролем на 31 м³/га. Однією з причин можливої переваги цього обробітку над оранкою є створення певного «захисного екрану» поверхні з післяжнивних решток, що сприяло збереженню вологи від непродуктивного випаровування. Дослідження вказують, що перевагу над оранкою мали також дисковий обробіток БД-2,5 на глибину 10–12 см і безполицевий обробіток ПРН-31000 на глибину 33–35 см. На цих варіантах встановлено підвищення запасів вологи в орному шарі на 20 і 22 м³/га, що є наслідком підвищення величини щільності та твердості орного шару, а також наявністю рослинних решток на

поверхні поля. Запаси вологи у метровому шарі ґрунту фактично не відрізнялися за варіантами обробітку, але виявлено їх незначне зниження з чизельним та дисковим обробітками відносно оранки на 17 і 93 м³/га. Запаси вологи за безполицевого обробітку ПРН-31000 перевищили значення отримані при оранці ПЛН-4–35 на 25-27 см (контроль) на 29 м³/га.

Таким чином, запаси вологи у метровому шарі ґрунту коливалися у межах 2968 м³/га на варіанті з дискуванням БДМ-2,5 до 3090 м³/га на варіанті безполицевого обробітку ПРН-31000. Це можна пояснити тим, що безполицевий обробіток ґрунту створює густу мережу щілин, так званий «ефект густого щілювання», що, у цілому, і сприяло значному накопиченню вологи.

Індекс фізичного стану ґрунту. Методика визначення індексів фізичного стану ґрунту, розроблена В. В. Медведєвим та Т. М. Лактіоною, використовується для оцінки агрофізичного стану ґрунтів [70]. Максимально цей індекс дорівнює 1 бал: чим ближче фактичний індекс до оптимуму, тим менше фізичні та водно-фізичні показники ґрунту обмежують урожай сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи. У наших розрахунках було використано такі показники як: щільність складення, твердість, запаси вологи, уміст агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм і кількість водотривких агрегатів розміром 0,25–5 мм. Вихідні еталонні та фактичні дані з агрофізики під кукурудзою наведено у табл. 3.

Оптимальні та фактичні показники родючості ґрунту для кукурудзи

№ п/п	Показники	Варіанти обробітку ґрунту				
		Оптимальні	фактичні			
			оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	дискування БДМ-2,5 на 10–12 см
1	Щільність шару ґрунту 0–30 см, г/см ³	1,30	1,18	1,23	1,21	1,24
2	Твердість шару ґрунту 0–30 см, кг/см ²	14,0	17,4	19,7	18,6	20,7
3	Структурно-агрегатний склад шару ґрунту 0–30 см (0,25–10 мм), %	80,0	73,5	74,4	74,0	71,8
4	Водотривкі агрегати у шарі ґрунту 0–30 см (0,25–5 мм), %	70,0	53,9	57,3	55,0	47,3
5	Запаси вологи, мм у шарі 0–100 см	140	130,8	129,1	133,8	121,5

Примітка: оптимальні показники родючості ґрунту згідно літературних даних [70, 33].

Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см як традиційний спосіб глибокого обробітку ґрунту, має значний вплив на його структурний стан. Індекс фізичного стану на рівні 0,86 свідчить про те, що при полицевому обробітку, ґрунт має меншу стабільність структури, більшу ерозійність та нижчу водопроникність порівняно з іншими прийомами (табл. 4). Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 та безполицевий обробіток ПРН-31000 на глибину 33–35 см спрямовані на глибоке розпушування ґрунту без обертання шару. Індeksi 0,90 і 0,93 вказують на створення кращого структурного стану ґрунту при проведенні чизельного локального обробітку ПЧ-2,5 та безполицевого обробітку ПРН-31000 на глибину

33–35 см у порівнянні з оранкою. Систематичне проведення дискування БД-2,5 на глибину 10–12 см здатне руйнувати структуру ґрунту, що підтверджується проведеними розрахунками. Індекс 0,85 вказує на погіршення фізичного стану ґрунту порівняно з іншими прийомами обробітку за рахунок зниження агрономічно цінних та водостійких агрегатів в орному шарі ґрунту.

Таблиця 4

Індекс фізичного стану ґрунту під впливом способів основного обробітку ґрунту у посівах кукурудзи

№ п/п	Варіанти обробітку ґрунту	оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	дискування БДМ-2,5 на 10-12 см
1	Щільність шару ґрунту 0–30 см, г/см ³	0,91	0,95	0,93	0,95
2	Твердість шару ґрунту 0–30 см, кг/см ²	0,80	0,88	1,06	0,90
3	Структурно-агрегатний склад шару ґрунту 0–30 см (0,25–10 мм), %	0,92	0,93	0,93	0,90
4	Водотривкі агрегати у шарі ґрунту 0–30 см (0,25–5 мм), %	0,77	0,82	0,79	0,68
5	Запаси вологи, мм у шарі 0–100 см	0,93	0,92	0,96	0,87
Індекс фізичного стану (ІФС)		0,86	0,90	0,93	0,85

Таким чином, безполицевий обробіток ПРН-31000 та чизельний локальний обробіток сприяли кращому збереженню агрофізичних та водно-фізичних показників ґрунту, ніж оранка і дискування.

3.3. Целюлозолітична активність чорнозему типового залежно від способів основного обробітку ґрунту

Мікробні спільноти – це чутливі індикатори змін навколишнього середовища [255, 250]. В агроєкосистемах ґрунтовий мікробіом є багатим джерелом інформації про властивості ґрунту, які зазнають антропогенного впливу [179], зокрема за рахунок проведення обробітку ґрунту [325]. Ґрунтові мікроорганізми є активними учасниками процесів, що лежать в основі так званого «здоров'я» ґрунту [250], таких як утворення ґрунтових агрегатів [252, 251], пригнічення хвороб і бур'янів [340], а також утримання вологи та боротьби з ерозією [296]. Целюлоза є основним структурним компонентом рослинної біомаси і служить ресурсом для продуктивних і різноманітних ґрунтових мікроорганізмів [349].

Мікроорганізми у ґрунті постійно зазнають впливу від абіотичних та біотичних стресових факторів, зокрема від антропогенного навантаження. Оранка вважається головним прийомом обробітку ґрунту у традиційному землеробстві, однак вона має певні негативні наслідки, такі як ерозія ґрунту та втрата органічної речовини ґрунту. Окремі вчені вважають, що перехід до більш стійких способів обробітку ґрунту, таких як мінімізація або мульчування, може зменшити не лише вище наведені наслідки, але й позитивно вплинути на структуру та функціонування ґрунтової мікробіоти [325].

Не дивлячись на те, що з'являється все більше доказів того, що різні способи обробітку ґрунту змінюють мікробіом ґрунту, вчені досі мають обмежене розуміння часової динаміки цих ефектів. Наразі більшу увагу приділяють двом способам основного обробітку ґрунту: з обертанням і без обертання оброблюваного шару, які мають різний вплив на зміну його стану. Мінімізація обробітку може призводити як до активації мікрофлори, так і до її зниження через зміни мікроклімату ґрунту, яку спричиняють агротехнологічні прийоми. Обробіток ґрунту впливає на мікроклімат ґрунту за рахунок зміни швидкості розкладання післяжнивних решток на дрібніші частинки, підвищенню

аерації та температури ґрунту і зниженню його вологості. Наприклад, проведення оранки створює прохолодний вологий мікроклімат на поверхні ґрунту, тоді як чизельний обробіток підвищує температуру поверхні ґрунту. Вчені також з'ясували, що проведення оранки значно зменшує вміст вуглецю та азоту в мікробній біомасі ґрунту порівняно з чизельним обробітком [352, 202, 88].

Результати досліджень свідчать, що спосіб та глибина основного обробітку ґрунту у посівах кукурудзи у певній мірі впливали на діяльність целюлозоруйнівних мікроорганізмів в орному шарі чорнозему типового (рис. 9). Найвищу інтенсивність розкладу целюлози у шарі ґрунту 0–30 см забезпечив варіант з оранкою ПЛН-4–35 на глибину 25–27 см (контроль) – 24,0 %, а найнижчу – мілке дискування БДМ-2,5 на 10–12 см – 16,4 %.

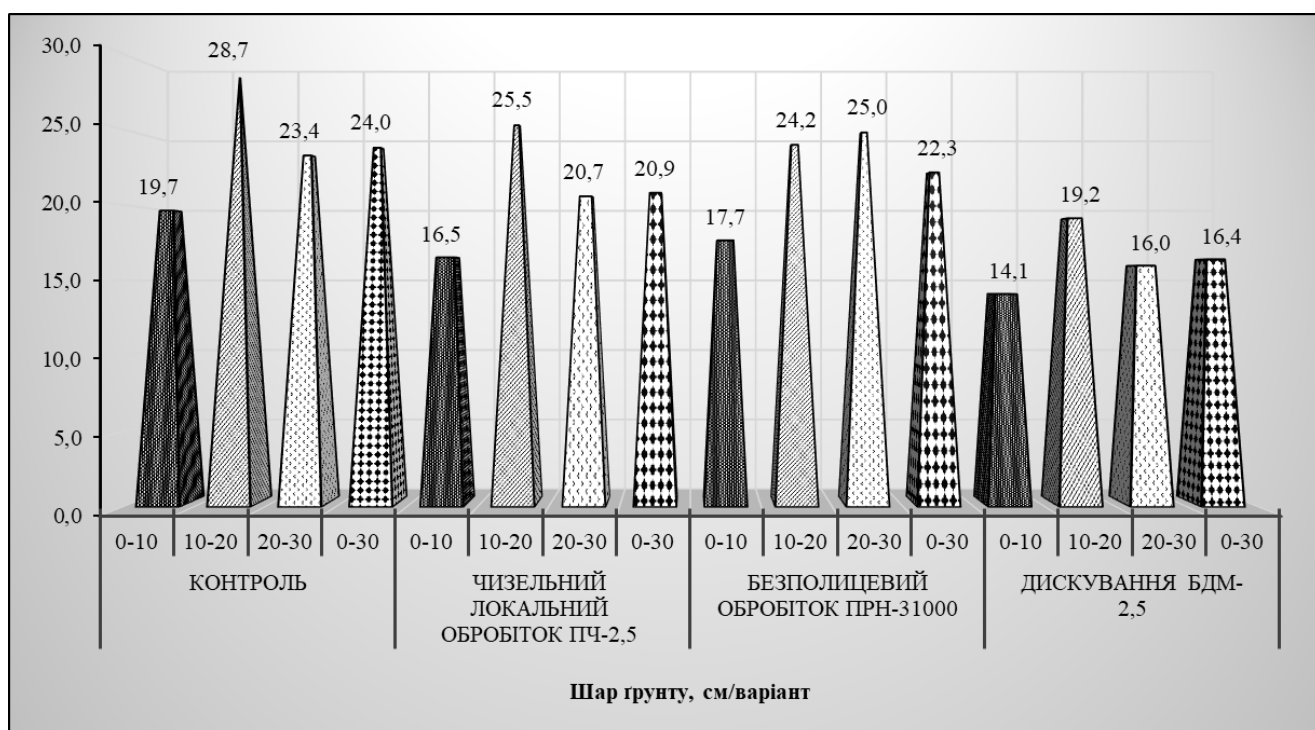


Рис. 9. Целюлозолітична активність мікроорганізмів в орному шарі ґрунту, % від початкової маси полотна (середнє за 2021–2023 рр.)

Чизельний локальний обробіток та безполіцевий ПРН-31000 майже на рівні з оранкою створювали умови для активної життєдіяльності мікроорганізмів. Така подібність між варіантами обумовлена тим, що оранка забезпечувала кращі водно-фізичні та агрофізичні показники ґрунту, а обертання

пласта дозволяло рівномірно розподілити збагачені азотом рослинні рештки по всьому оброблюваному шарі, які необхідні для життєдіяльності мікроорганізмів. Оранка, як основний обробіток, за рахунок створення оптимальних водно-фізичних умов, значно активізувала процес розкладання целюлози, на відміну від інших способів. Ці твердження ґрунтуються на встановленій тісній залежності целюлозолітичної активності від запасів вологи у ґрунті $r = 0,87$.

По всіх варіантах у шарі ґрунту 0–10 см встановлено низьку активність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у порівнянні з нижніми шарами. Це відбулося за рахунок недостатньої зволоженості. Проведення оранки ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см сприяло вищому ступеню розкладання лляного полотна – 19,7 % за рахунок оптимальних агрофізичних показників та кількості вологи на цьому варіанті. Проведення дискового обробітку БДМ-2,5 на 10–12 см призвело до зниження інтенсивності розкладання целюлози до 14,1 %. При безполицевому обробітку ПРН-31000 та чизельному локальному ПЧ-2,5 на глибину 33–35 см значення цього показника знизилося від контролю на 2,0 і 3,2 %.

Істотне збільшення целюлозолітичної активності ґрунту відбулося у шарі 10–20 см. Зокрема, на варіанті з оранкою зафіксовано найвищу трансформацію целюлози – 28,7 %. Значення отриманні по чизельному локальному обробітку та безполицевому ПРН-31000 були нижчі контролю на 3,3 і 4,6 % ($HP_{05} = 4,5$). Варто відмітити значну перевагу оранки над дискуванням БДМ-2,5. Проведення мілкового обробітку на глибину 10–12 см погіршувало умови життєдіяльності целюлозоруйнівних мікроорганізмів, про що свідчить низький відсоток розкладеного полотна – 19,2 %. Подібна тенденція зберігалася і у нижньому шарі ґрунту 20–30 см. Погіршення агрофізичних властивостей та повітряного режиму у нижній частині орного шару ґрунту 20–30 см спричинило пригнічення діяльності целюлозоруйнівних мікроорганізмів. За тривалого проведення оранки ПЛН-4–35 на глибину 25–27 см та безполицевого обробітку ПРН-31000 на 33–35 см відбулося підвищення целюлозоруйнівної дії мікроорганізмів порівняно з іншими варіантами. Підсилення мікробіологічних процесів на цих досліджуваних ділянках пояснюється кращою аерацією ґрунту.

Отже, оранка забезпечила найбільш сприятливі умови для життєдіяльності целюлозоруйнівних мікроорганізмів, зокрема за рахунок рівномірного розподілу післяжнивних решток по всьому орному шару, які є головним живильним матеріалом життєдіяльності мікроорганізмів, а також за низької щільності складення ґрунту, яка підсилювала аерацію. Значне зниження активності целюлозолітичних мікроорганізмів відбулося на варіанті з дискуванням БДМ-2,5 на глибину 10–12 см через ущільнену будовою орного шару і локалізацію в обмеженому середовищі великої кількості післяжнивних решток.

Висновки до розділу 3

Дослідження впливу способів основного обробітку ґрунту на окремі показники родючості чорнозему типового показали що:

1. На варіанті із полицевим обробітком ґрунту ПЛН-4-35 щільність складення орного шару ґрунту була найнижчою – $1,18 \text{ г/см}^3$. Проведення чизельного ПЧ-2,5 та безполицевого обробітків і ПРН-3100 на глибину 33–35 см спричинили підвищення значень цього показника на $0,05$ і $0,06 \text{ г/см}^3$ відповідно, проте за межі оптимальних вони не виходили.

2. Прийоми обробітків ґрунту, які вивчалися мали значний вплив на його твердість. Варіант мінімального обробітку ґрунту БДМ-2,5 на рівні із чизелюванням спричиняв значне підвищення цього показника у шарі ґрунту 0–20 см порівняно із контролем на $1,8 \text{ кг/см}^2$. Тенденцію до зниження твердості орного шару ґрунту демонстрував безполицевий обробіток ПРН-31000.

3. Проведення досліджуваних обробітків ґрунту сприяли хорошему оструктуренню орного шару ґрунту. На варіантах безполицевого та локального розпушування ґрунту не було встановлено суттєвої різниці щодо вмісту агрономічно цінних агрегатів в орному шарі ґрунту, їх кількість була рівні $74,0$ і $74,4 \%$. Кращі умови для міцної структури були створені глибокими обробітками ґрунту. Кількість водотривких агрегатів на цих варіантах були у межах $53,9$ –

55,0 %. На варіанті дискування на глибину 10–12 см структурний стан шару ґрунту 0–30 см був у задовільному стані.

4. Систематичне проведення різних прийомів основного обробітку ґрунту не мало значного впливу на водно-фізичні показники; як в орному, так і у метровому шарах ґрунту запаси вологи були на задовільному рівні. Лише застосування мілкового дискового обробітку спричинило незначне відхилення значень вологості у метровому шарі від контролю на 93 м³/га.

5. Найкращі умови для розвитку целюлозолітичних мікроорганізмів були створенні за рахунок проведення оранки ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см, про це свідчить відсоток розкладеного полотна на рівні 24,0 %. Погане розкладання лляного полотна на варіанті дискування БДМ-2,5 свідчить про низьку ефективність даного прийому.

РОЗДІЛ 4

ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ

4.1. Урожайність кукурудзи та гербологічний стан посівів залежно від способів основного обробітку ґрунту

Урожайність культури опосередковано пов'язана з рівнем ґрунтозахисної ефективності. З одного боку, вища урожайність культури є наслідком кращого розвитку рослин і ефективнішому захисту поверхні у процесі вегетації, з іншого – з утворенням вищої врожайності, відповідно збільшується і маса побічної продукції, яка традиційно залишається у полі і може створювати захисний екран. С. Шевченко з іншими вченими [336] встановили, що під впливом оранки відбувалося більш швидке прогрівання ґрунту і проростання насіння, що у подальшому впливає на всі етапи росту і розвитку кукурудзи. Вчені наголошують, що менша висота рослин, площа листя, кількість качанів на 100 рослин і нижча маса 1000 зерен були пов'язані із проведенням мінімального обробітку ґрунту, а це, у свою чергу, призвело до втрати врожаю у середньому на 0,37–0,88 т/га порівняно з оранкою. В. Гангур та ін. [330] також отримали найвищу врожайність кукурудзи після проведення оранки на глибину 25-27 см – 7,91 т/га, а проведення мінімального обробітку на 8–10 см призвело до суттєвого її зниження.

У наших дослідженнях відзначено істотне зниження врожайності за всіма обробітками ґрунту порівняно з оранкою (табл. 5). Урожайність зерна кукурудзи у 2021 р. була достатньо високою з урахуванням умов вирощування. Головними чинниками цього результату були добрий попередник, якісна сівба, догляд за посівами. Урожайність зерна кукурудзи після заміни оранки будь-яким обробітком виявилася істотно нижчою. Зокрема, після застосування обробітку ПРН-31000 вона була нижчою від контролю на 0,25 т/га (3,6 %), після локального

обробітку ПЧ-2,5 – на 0,34 т/га (4,9 %), а після дискового мілкового обробітку – на 0,41 т/га або 5,9 %.

Таблиця 5

Урожайність кукурудзи на зерно залежно від способів основного обробітку ґрунту, т/га

Способи обробітку ґрунту	Роки			
	2021	2022	2023	2021–2023
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	6,92	6,25	6,93	6,70
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	6,58	5,62	6,39	6,20
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	6,67	5,96	6,62	6,42
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	6,51	5,59	6,11	6,07
НІР ₀₅	0,10	0,22	0,12	

В умовах 2022 р. всі обробітки ґрунту, що вивчалися, поступалися оранці за впливом на врожайність зерна кукурудзи. Після обробітку ПРН-31000 це зниження становило 0,29 т/га, після локального обробітку – 0,63 т/га і після дискового обробітку – на 0,66 т/га. Дисковий обробіток в умовах 2023 р. знижував урожайність кукурудзи порівняно з оранкою на 0,82 т/га, суцільний чизельний обробіток на 25-27 см – на 0,71 т/га, локальний обробіток чизельним плугом – на 0,54 т/га. Причиною такого зниження було погіршення фізичного стану ґрунту, що традиційно відбувається після ресурсозберігаючого обробітку, що також доведено нашими дослідженнями: щільність складення – 1,21–1,24 г/см³, твердість – 18,6–20,7 кг/см². Найменше зниження урожайності зерна кукурудзи в досліді отримано після глибокого розпушування ПРН 31000 на 0,31

т/га порівняно з оранкою, що вказує на перевагу цього обробітку серед інших ґрунтозахисних. Однак, застосування глибокого безполицевого обробітку ПРН-31000 та чизельного локального сприяло підвищенню ґрунтозахисної ефективності поверхні і доброму накопиченню вологи в ґрунті.

У середньому за 2021–2023 рр. за впливом на врожайність зерна кукурудзи всі досліджувані обробітки ґрунту поступалися оранці. Безполицевий обробіток ПРН-31000 на глибину 33–35 см зумовив зниження урожайності порівняно з оранкою на 0,28 т/га, а чизельний локальний ПЧ-2,5 на глибину 33–35 см – на 0,50 т/га. Зниження урожайності відбулося на варіанті з дискуванням БДМ-2,5 на глибину 10–12 см, де різниця з контролем склала 0,63 т/га. Такі значення були отримані за рахунок впливу обробітків на агрофізичні показники. Зокрема, коефіцієнт кореляції між рівнем урожайності твердістю склав $r = -0,84$.

Проведення оранки знаряддям ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см за впливом на продуктивність кукурудзи мало вагому перевагу над іншими варіантами обробітку (табл. 6). Так, на цьому варіанті обробітку вихід продукції з 1 га склав: 8,71 т кормових одиниць, 0,54 т перетравного протеїну і 7,04 т кормопротеїнових одиниць.

Варто зазначити, що за виходом перетравного протеїну варіанти основного обробітку ґрунту були майже рівноцінними. Значення цього показника коливалися у межах 0,49–0,54 т зі зниженням при дискуванні БДМ-2,5 на глибину 10–12 см. Чизельний та безполицевий обробітки ґрунту забезпечили збір кормових одиниць з 1 га майже на рівні – 8,06 і 8,34 т. Проведення дискування БДМ-2,5 на глибину 10–12 см знизило значення виходу кормових одиниць від контролю на 0,82 т. Така дія мінімального обробітку ґрунту пов'язана з уповільненням мінералізації азоту у ґрунті навесні та конкуренцією культури з бур'янами, що підтверджують і літературні дані [108].

У формуванні кормопротеїнових одиниць відносно перевагу мав контроль – 7,04 т. Згідно з отриманим даними, застосування чизельного та дискового обробітків ще більше знижувало вихід кормопротеїнових одиниць, однак

перевагу в отриманих значеннях мав чизельний обробіток знаряддям ПЧ-2,5 на глибину 33–35 см – 6,51 т к.-п. од.

Таблиця 6

Продуктивність кукурудзи на зерно залежно від способу основного обробітку ґрунту (у середньому за 2021–2023 рр.)

Способи обробітку ґрунту	Урожайність зерна, т/га	Збір з 1 га, т		
		кормових одиниць	перетравного протеїну	кормопротеїнових одиниць
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	6,70	8,71	0,54	7,04
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	6,20	8,06	0,50	6,51
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	6,42	8,34	0,51	6,74
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	6,07	7,89	0,49	6,37
НІР ₀₅	0,10–0,22			

Дослідження А. О. Бутенко та ін. [9] також вказують на перевагу оранки у формуванні врожайності силосної маси та продуктивності кукурудзи. Так, застосування полицевого обробітку знаряддям ПН-3-35 на глибину 22–25 см порівняно з мілким безполицевим сприяло отриманню найвищих значень кормових одиниць, перетравного протеїну та кормопротеїнових одиниць: 22,2; 3,37; 27,6 т/га відповідно.

4.2. Забур'яненість посівів кукурудзи залежно від способів основного обробітку ґрунту

У посівах кукурудзи Лівобережного Лісостепу України домінують різні види бур'янів, що залежать від умов вирощування, вологості та інших факторів. Серед них найпоширенішими є: мишій зелений (*Setaria viridis*) – активно конкурує з кукурудзою за вологу та поживні речовини; щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus*) – дуже стійкий до посушливих умов і може серйозно пригнічувати кукурудзу; лобода біла (*Chenopodium album*) – може викликати значні втрати врожайності через конкуренцію за ресурси; плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli*); осот рожевий (*Cirsium arvense*) – стійкий до механічного обробітку; кострець безостий (*Bromus inermis*). Ці види бур'янів мають високу конкурентоспроможність, що значно знижує врожайність кукурудзи за відсутності належного контролю [114]. Сучасний підхід до контролю чисельності бур'янів у посівах включає комплекс заходів, таких як врахування погодних умов, забезпечення вологою, оптимальне живлення та щадний хімічний захист, однак основним методом залишається обробіток ґрунту, від якого залежить час появи, кількість та видовий склад бур'янів [100].

У 2021 р. перед сівбою кукурудзи, на варіанті з оранкою поверхні ґрунту була повністю чиста від рослинних решток. Дисковий обробіток через активне перемішування їх із поверхнею забезпечив 12–15 % проективного покриття протягом двох місяців до сівби кукурудзи. Глибоке розпушування знаряддям ПРН 31000 сприяв залишенню післяжнивних решток на рівні 22–24 %, а локальне розпушування чизельним плугом ПЧ-2,5 – 28–30 %. Після сівби кукурудзи проективне покриття внаслідок активного обробітку та сівби різко зменшилося у всіх варіантах. Тому захисну функцію поверхні здійснювали рослини культури у процесі розвитку та бур'яни, які з'являлися у період між внесенням ґрунтових та страхових гербіцидів, а також у другій половині вегетації кукурудзи.

Як вказують результати наших досліджень (табл. 7), перед збиранням урожаю кількість і маса бур'янів підвищилася у всіх варіантах досліду по рівняно з контролем.

Таблиця 7

Забур'яненість посівів кукурудзи залежно від способів основного обробітку ґрунту

Способи обробітку ґрунту	Показники забур'яненості	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2021–2023 рр.
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	загальна кількість бур'янів, шт./м ²	15,0	13,0	14,0	14,0
	багаторічних видів, шт./м ²	1,0	–	1,0	1,0
	маса сухих бур'янів, г/м ²	20,4	28,4	18,1	22,3
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	загальна кількість бур'янів, шт./м ²	24,0	29,0	22,0	25,0
	багаторічних видів, шт./м ²	2,0	2,0	2,0	2,0
	маса сухих бур'янів, г/м ²	34,1	42,5	25,4	34,0
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	Загальна кількість бур'янів, шт./м ²	19,0	23,0	20,0	21,0
	Багаторічних видів, шт./м ²	1,0	1,0	1,0	1,0
	Маса сухих бур'янів, г/м ²	27,2	39,1	23,2	29,8
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	Загальна кількість бур'янів, шт./м ²	28,0	32,0	21,0	27,0
	Багаторічних видів, шт./м ²	2,0	2,0	2,0	2,0
	Маса сухих бур'янів, г/м ²	38,2	43,7	26,7	36,2

Незважаючи на досить низьку частку бур'янів у агроценозі (1,5–2,0 %), безполицевий обробіток ПРН 31000 підвищував їх кількість і масу порівняно з оранкою в середньому на 35 %, чизельний локальний – на 70 %, мілке дискування – на 80 %. У 2022 р. застосування безполицевих обробітків сприяло певному підвищенню рівня забур'яненості посівів кукурудзи. Навесні внаслідок пізніх строків сівби розвиток небажаної рослинності відзначено у всіх варіантах обробітку ґрунту. За відсутності будь-яких обробітків, бур'яни активно розвивалися і вкривали поверхню ґрунту у варіантах безполицевого обробітку на 24–30 %, тоді як після оранки вони були зрідженими до 14–18 % проективного покриття.

Після сівби кукурудзи, під час якої була внесена суміш гербіцидів на основі ацетаклору і гліфосату, забур'яненість посівів кукурудзи на тривалий час була відсутньою, лише у кінці літа з'явилася актуальна забур'яненість, яка традиційно була вищою у варіантах безполицевого обробітку. Після безполицевих обробітків чисельність багаторічних видів була незначною – 1–2 шт./м², водночас оранка сприяла більш кращому контролюванню їх протягом усього сезону. Загальна кількість, переважно малорічних бур'янів, після безполицевих обробітків виявилася вищою порівняно з оранкою в середньому у два рази, а після дискового обробітку – у 2,5. Маса бур'янів у повітряно-сухому стані після безполицевих обробітків підвищилася на 38–56 % відносно контролю, що підтверджує раніше встановлені тенденції і перевагу оранки над будь-яким заходом безполицевого обробітку.

У 2023 р. інтенсивний хімічний захист посівів кукурудзи від бур'янів забезпечив високу ефективність їх контролювання. У зв'язку з цим, питома вага маси небажаної рослинності у загальному рослинному масиві складала незнаний і не визначальний рівень для захисту ґрунту від ерозії. З іншого боку, навіть незначна забур'яненість посівів кукурудзи, вказує на підвищення її рівня у разі застосування безполицевих обробітків порівняно з оранкою. Нами зафіксовано підвищення кількості і маси бур'янів у цих варіантах на 50–70 %.

Забур'яненість має значний вплив на врожайність кукурудзи, тому контроль її рівня є одним із ключових агротехнічних заходів для забезпечення високої продуктивності. Так, провівши моделювання залежності врожайності кукурудзи від маси бур'янів у сухому стані було отримано оптимальне значення забур'яненості, яке відповідає максимуму функції та знаходиться за формулою:

$$B_0 = -\frac{b}{2a} \quad (5)$$

Отримана функції $B_0 = -3,75 \text{ г/м}^2$ означає, що оптимальної забур'яненості не існує, а із збільшенням її рівня врожайність буде зменшуватися. Високий рівень врожайності – $Y_{\max} = 7,09 \text{ т/га}$ – прогнозується при відсутності бур'янів. Значення, при яких урожайність дорівнює нулю – $B_1 = -112,3$ означає, що мінімальної необхідної забур'яненості не існує, а $B_2 = 104,8 \text{ г/м}^2$ показує максимально можливу забур'яненість за якої урожайність ще є. Значення B_2 досить високе, що свідчить про ймовірність отримання врожайності при будь-якому рівні забур'яненості (рис. 10).

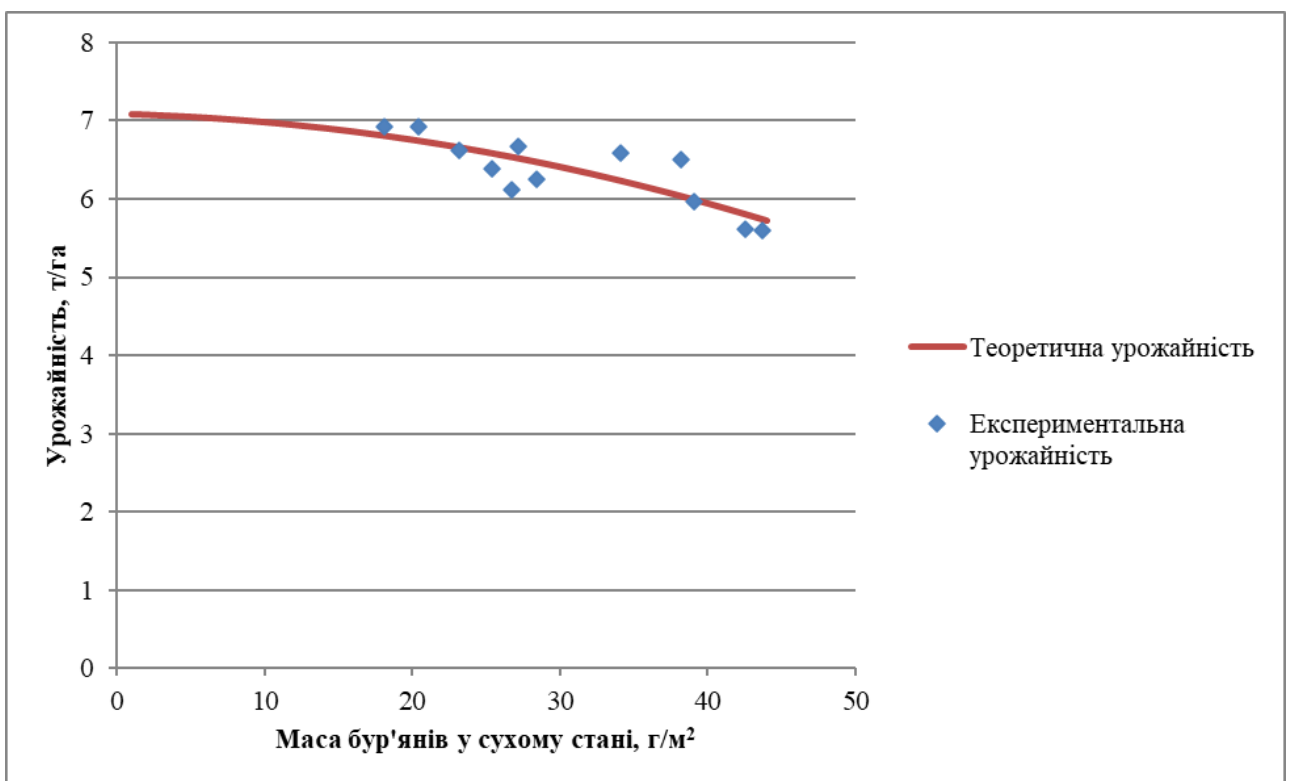


Рис. 10. Залежність урожайності кукурудзи від рівня забур'яненості

Таки чином, безполицеві обробітки ґрунту забезпечували частковий захист поверхні ґрунту післяжнивними рештками у передпосівний період на рівні 5–15 % порівняно з відсутнім захистом після оранки. Протягом вегетації кукурудзи і в середньому за всю вегетацію різниці між технологіями обробітку за цим показником не спостерігалось. Низька забур'яненість при застосуванні оранки пояснюється заорюванням насіння бур'янів у нижні шари ґрунту, що ускладнює їх проростання [161].

4.3. Ґрунтозахисна ефективність способів основного обробітку ґрунту

Дослідження щодо стійкості ґрунтів до ерозії під впливом інтенсифікації систем землеробства та способів обробітку ґрунту є необхідними для зниження деградаційних процесів навколишнього середовища [182]. Одним з основних показників стійкості поверхні проти деградації є коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності поля. А. В. Волошонюк стверджує, що ступінь протидефляційної стійкості верхнього шару визначається як безпосередньо стійкістю самого ґрунту, так і наявністю рослинних решток на його поверхні [11]. Згідно з Інформаційним центром природоохоронних технологій у Західному Лафайєті, штат Індіана, США, ґрунтозахисний обробіток ґрунту визначається як «будь-яка система обробітку ґрунту, в якій щонайменше 30 % поверхні ґрунту покрито рослинними рештками після сівби сільськогосподарських культур для зменшення водної ерозії. У разі прогресування вітрової ерозії на поверхні ґрунту має залишатися щонайменше 1120 кг/га^{-1} дрібних рослинних решток». Відсутність обробітку ґрунту, мінімальний або скорочений обробітку ґрунту, а також мульчування є синонімами ґрунтозахисного обробітку.

П. Антап і Т. Анген повідомляють, що збереження рослинних залишків на поверхні ґрунту зменшує випаровування, збільшує швидкість інфільтрації та пригнічує ріст бур'янів [140]. При визначенні цього коефіцієнту враховується наявність на поверхні ґрунту післяжнивних решток та оцінюється проективне покриття вегетуючими рослинами у процентному відношенні протягом всього

періоду вегетації щомісячно. Власне коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності є безпосереднім відображення сумарного проективного покриття ґрунту рослинами та рештками на час визначення.

Результати вимірювання проективного покриття (табл. 8) вказують, що навесні до сівби кукурудзи на поверхні після безполицевих обробітків зберігалася частина післяжнивних решток після збирання попередника пшениці озимої. На відміну від варіанту з оранкою, де покриття було відсутнім, кількість решток у всіх досліджуваних обробітках знаходилася у межах від 5 до 15 %. Найменшою вона була після дискування, а найбільшою – після локального обробітку чизельним плугом.

Таблиця 8

Вплив способів обробітку ґрунту на величину ґрунтозахисної ефективності посівів кукурудзи (середнє за 2021–2023 рр.)

Способи обробітку ґрунту	Агрегати розміром понад 1 мм у шарі ґрунту 0–10 см	Коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності за вегетаційний період							
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	середнє
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	47,4	0	0,08	0,20	0,51	0,63	0,59	0,35	0,34
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	48,2	0,15	0,12	0,20	0,50	0,61	0,57	0,35	0,36
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	50,2	0,09	0,11	0,21	0,52	0,62	0,57	0,36	0,35
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	44,8	0,05	0,10	0,19	0,50	0,60	0,55	0,32	0,33

Сівба кукурудзи у другій половині травня і поява сходів з одного боку підвищувала рівень покриття поверхні у всіх варіантах, включно з оранкою, однак кількість післяжнивних решток поступово зменшувалася за ґрунтозахисних обробіток через часткове перемішування їх з ґрунтом після передпосівного обробітку. У травні зберігалася певна перевага за цим показником після безполицевих обробіток порівняно з оранкою, але з розвитком рослин ця різниця поступово нівелювалася. Протягом літнього і осіннього періоду головним фактором наявності захисту поверхні були рослини культури, а її ефективність залежала від ступеня розвитку кукурудзи та її біометричних показників. Як видно з результатів досліджень, рослини краще розвивалися у варіанті з оранкою і глибоким розпушуванням ґрунту, що позначилося на певній тенденції до підвищення рівня проективного покриття у цих варіантах.

Стійкість ґрунту проти вітрової ерозії можна оцінити за кількістю структурних агрегатів розміром від 1 мм і більше, які вважаються вітростійкими. Уміст таких агрегатів до 50 % від маси повітряно-сухого ґрунту виникає процес видування, що дає підстави вважати цей ступінь грудкуватості вважається ерозійно небезпечним. Поріг стійкості верхнього шару ґрунту 0–10 см проти вітрової ерозії настає при співвідношенні ґрунтозахисних та ерозійно небезпечних агрегатів 1:1 [38]. Так, О. Піковська встановила, що за наявності на поверхні ґрунту достатньої кількості рослинних решток та при застосуванні скороченого обробітку ґрунту вміст вітростійких агрегатів розміром понад 1 мм склав понад 75 % [284].

У наших дослідження, безполицевим обробіток ПРН-31000 забезпечив досить високу кількість агрегатів розміром понад 1 мм – 50,2 %, що свідчить про кращу оструктуреність верхнього шару ґрунту 0–10 см та ґрунтозахисну ефективність. Кількість агрегатів на рівні 47,4 % свідчить, що під час проведення оранки велика їх частина руйнується через перевертання ґрунту. Проведення дискування БД-2,5 на глибину 10–12 см було найменш ефективним для створення противітрової стійкості верхнього шару ґрунту 0–10 см. Так, кількість агрегатів розміром більше 1 мм на цьому варіанті склала 44,8 %.

Отже, у середньому за вегетаційних період ґрунтозахисна ефективність посівів кукурудзи майже не відрізнялася за варіантами обробітку ґрунту, за винятком наявності високої кількості агрегатів розміром понад 1 мм на варіанті з безполицевим обробітком ПРН 31000. Це свідчить про те, що навіть при незначних відмінностях у ґрунтозахисній ефективності, краща структурованість ґрунту забезпечує стабільність його фізичних властивостей і довгострокову ефективність цього обробітку.

4.4. Вплив способів основного обробітку ґрунту та гербіцидів на вирощування гібриду кукурудзи ДБ Хотин у ділянках гібридизації

Забур'яненість є однією з основних причин зниження врожайності насіння кукурудзи. Бур'яни конкурують із рослинами за воду, світло, поживні речовини та простір, що особливо критично на ранніх етапах розвитку кукурудзи [13]. За відсутності належного контролю за бур'янами, втрати врожаю кукурудзи можуть досягати 30–70 %. Найкритичніший період конкуренції між бур'янами і кукурудзою – це фаза 3–5 листків, коли кукурудза ще недостатньо сильна. Тому контроль бур'янів у перші 4–6 тижнів після сходів є вирішальним для збереження потенціалу врожайності [52]. Гербіциди залежно від умов застосування можуть по-різному впливати на урожай зернових культур [85, 45, 172]. Дослідження із вивчення гербіцидного впливу у посівах кукурудзи свідчать, що у разі знищення бур'янів на рівні 68–98 % приріст зерна може сягати 30 % [44].

Важливим показником ефективності застосування досліджуваних систем у посівах кукурудзи є її врожайність (табл. 9). За роки досліджень, врожайність насіння гібриду ДБ Хотин була вищою у сприятливий за погодними умовами 2021 рік, однак, на фоні цього, вона також залежала від гербіцидного навантаження. Отримані дані свідчать про позитивну дію усіх досліджуваних гербіцидних систем у порівнянні з контролем, де взагалі не застосовувався хімічний захист (1,03 т/га). У середньому за 2021–2023 рр. найбільшу дію на

врожай кукурудзи мало внесення гербіциду з діючою речовиною пропізохлор 720 г/л безпосередньо після проведення сівби. Так, на цьому варіанті приріст врожаю відносно безгербіцидного контролю склав 0,59 т/га. Гербіциди на основі ацетохлору 900 г/л одразу після сівби кукурудзи та нікосульфурону 45 г/л у фазу 3–5 листків за показником врожайності значно поступалися гербіциду на основі діючої речовини пропізохлор 720 г/л, різниця склала 0,33 т/га.

Таблиця 9

Вплив систем контролювання забур'яненості на врожайність посівів насіння в ділянках гібридизації кукурудзи гібриду ДБ Хотин, т/га

Діючі речовини гербіцидів, їх норма	Урожайність по роках досліджень			
	2021	2022	2023	середня
Контроль 1 (без бур'янів)	1,92	1,58	1,84	1,78
Контроль 2 (без хімічного захисту)	1,09	0,94	1,05	1,03
Нікосульфурон 45 г/л; 2,4 Д-етилгексилловий ефір 452 г/л + флоросулам 6,25 г/л	1,36	1,18	1,34	1,29
Ацетохлор 900 г/л; клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/кг	1,45	1,25	1,31	1,34
Пропізохлор 720 г/л; клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/кг	1,75	1,48	1,62	1,62
НІР ₀₅	0,19	0,15	0,20	

Причиною низької врожайності на деяких варіантах гербіцидного захисту було те, що внесення ґрунтового гербіциду на основі діючої речовини ацетохлор 900 г/л, у нормі 3 л/га, мав фітотоксичний вплив на проростання кукурудзи. За умови випадіння опадів у період сходів, так зване «промивання гербіциду», на

ділянках гібридизації кукурудзи було виявлено значний «фітотокс», і як результат, не співпадіння цвітіння і запилення знижується від 20 до 70 %.

Внесення найбільш поширеної схеми гербіцидного захисту на товарній кукурудзі, а саме гербіциди на основі діючої речовини нікосульфурон 45 г/л – 1,25 л/га та гербіциду на основі 2,4 Д-етилгексиловий ефір 452 г/л + флоросулам 6,25 г/л – 0,6 л/га, також мало негативний вплив на материнську форму кукурудзи у вигляді пожовтіння деяких частин листків, так звана «перетяжка», і як результат недозапилення та деяка деформація рядів нижньої частини початка зниження маси на 25–40 %. Варто зазначити, що негативного впливу дії вказаної схеми гербіцидного захисту на батьківській формі не спостерігалась.

Отримання врожаю кукурудзи на високу рівні можливе за умови дотримання високої типовості за морфологічними, біологічними та господарсько-цінними ознаками. Загалом, гібридне насіння кукурудзи виробляють двома методами: з використанням цитоплазматичної чоловічої стерильності, який дає змогу повністю виключити на ділянках гібридизації необхідність обривання волотей на материнських рослинах, забезпечити повноту перехресного запилення і тим самим підвищити врожайні якості гібридного насіння та на фертильній основі з обриванням волоті в рядках материнської форми. Схема вирощування з обриванням волотей найбільш трудомістка, через що мало поширена у вітчизняному виробництві. При сівбі за цією схемою рядки батьківських форм чергують між собою, а впродовж цвітіння материнської форми проводять періодичне видалення волотей, не допускаючи викидання пилку. Для кращого запилення материнських форм рослин сівбу на ділянках гібридизації бажано проводити впоперек до напрямку вітрів, які панують у період цвітіння та викидання волоті тому, що в іншому випадку може відбутися змішування материнських та батьківських форм [81, 50].

Контрастні фони випробувань можуть по-різному впливати на генетичні ознаки кукурудзи, що призводить до порушення параметрів екологічної стабільності. Існуюча проблема маскує ідентифікацію генотипів за типом реакції на умови середовища [31, 120, 119, 121]. Для підвищення продуктивності

кукурудзи необхідно збільшити виробництво насіння гібридів першого покоління з високим рівнем гетерозису, яке допоможе не тільки розширити посівні площі культури, але й отримати посівний матеріал і врожай високої якості. Для створення оптимальних умов росту і розвитку під час виробництва гібридного насіння кукурудзи на ділянках гібридизації важливо розміщувати рослини так, щоб переважна частина площі була зайнята рослинами материнської форми. Однак, збільшення частки материнської форми на ділянках гібридизації не завжди призводить до росту урожайності насіння [68].

У ході перевірки досліджень у виробничих умовах на базі ТОВ «АГРОЕКСПЕРТ» Харківського р-ну було виявлено тенденцію, яка показує, що чим більша відстань рослин материнської форми від батьківської, тим менший відсоток запилення. Н. Пащенко та Т. Лобко у своїх дослідженнях також встановили, що віддаленість рядів батьківських компонентів не повинна перевищувати 2,1 м [80].

За період 2021–2023 рр. розподіл урожайності насіння гібриду кукурудзи ДБ Хотин значно варіювався та залежав від відстані між рядами материнської та батьківської форм (рис. 11). Наші дослідження показали, що віддаленість рядів материнської форми не повинна перевищувати 1,4 м. Так, на цих ділянках частка врожаю досягала 18 і 19 %. Найбільш ефективно батьківські рослини запилювали материнські рослини на відстані 0,7 м, про що свідчить частка врожаю 22 і 21 %. Схема розміщення 2:6 є максимально оптимальна з точки зору оптимізації та механізації технологічних процесів. Більша відстань від батьківської форми кукурудзи до віддалених материнських рядків призводить до низької ефективності запилення в центральній частині посіву, зниження урожайності в цих рядках і нерівномірного формування насіння.

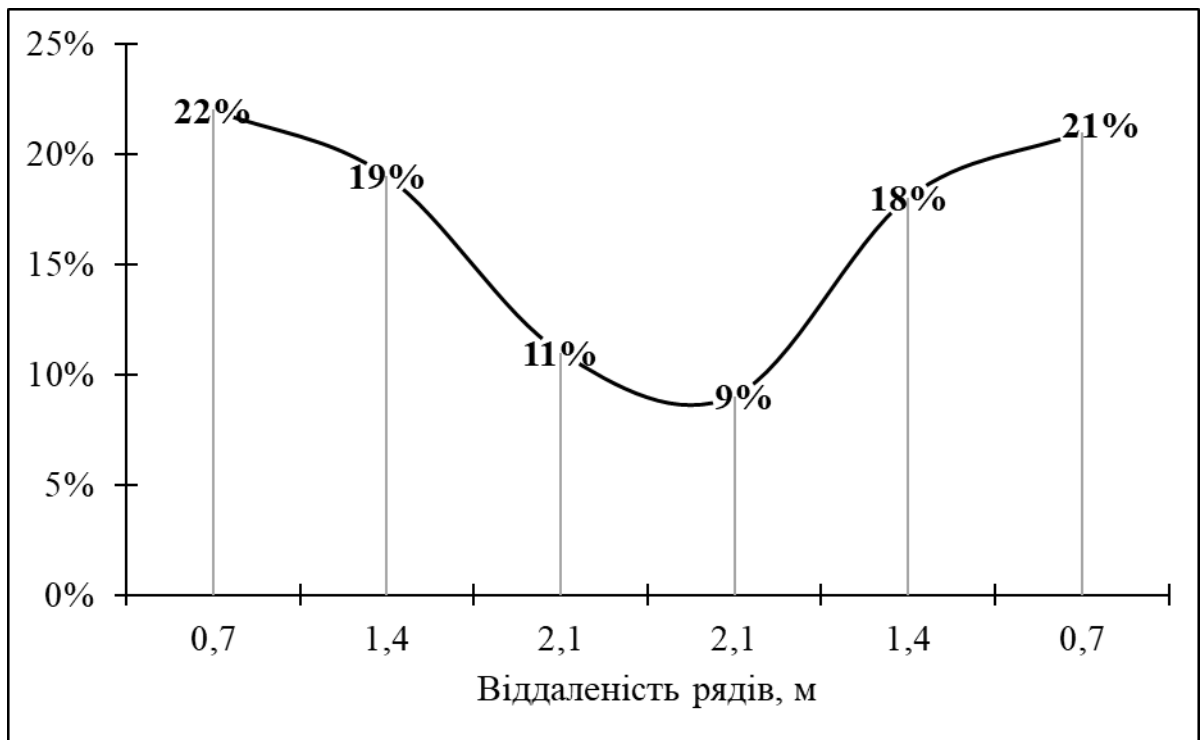


Рис. 11. Розподіл урожайності насіння гібриду кукурудзи ДБ Хотин залежно від розміщення материнських форм рослин (за схемою 2:6), % (середнє за 2021–2023 рр.)

Максимальну врожайність гібридного насіння кукурудзи було отримано у полі із використанням оранки ПЛН-4-35 – 1,50 т/га (табл. 10).

Таблиця 10

Урожайність насіння гібриду ДБ Хотин залежно від способів основного обробітку ґрунту

Способи обробітку ґрунту	Урожайність по роках досліджень, т/га			
	2021	2022	2023	середня
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	1,52	1,38	1,59	1,50
Чизельне локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	1,27	1,12	1,29	1,23
Безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33-35 см	1,33	1,20	1,31	1,28
Дискування БДМ-2,4 на 10-12 см	1,30	1,09	1,19	1,19
НІР ₀₅	0,17	0,25	0,22	

Зниження врожайності порівняно з контролем було визначено на варіантах безполицевих глибоких обробітках ПРН-3100 і ПЧ-2,5, недобір склав 0,22 і 0,27

відповідно. При мілкому дисковому обробітку врожайність знизилася до 1,19 т/га. Варто зазначити, що у сприятливому за погодними умовами 2021 році на цьому варіанті було отримано приріст врожаю порівняно з чизельним обробітком (1,27 т/га) на 0,03 т/га.

Комерційний вихід насіння з одиниці площі. Кінцевим етапом доробки насіння є посівна одиниця – «мішок», що представляє собою 80 тис. кондиційних насінин в одиниці ваги. За роки доробки насіння гібриду ДБ Хотин середня вага посівної одиниця дорівнювала 23,1 кг (табл. 11). Загалом, маса насіння коливалася від 18 до 30 кг.

Таблиця 11

Вихід насіння з одиниці площі

Способи обробітку ґрунту	Посівні одиниці			
	2021	2022	2023	середня
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	65,8	59,2	69,1	64,7
Чизельне локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	55,0	48,1	56,1	53,0
Безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33-35 см	57,6	51,5	57,0	55,3
Дискування БДМ-2,4 на 10-12 см	56,3	46,8	51,7	51,6

Найвищий середній показник посівних одиниць за трирічний період спостерігався при традиційній оранці – 64,7 од., тоді як найнижчий – при дискуванні, із середнім значенням 51,6 од. Чизельний локальний та безполицевий обробіток показали середні результати – 53,0 та 55,3 од. відповідно, що свідчить про дещо нижчу ефективність у порівнянні з

традиційною оранкою. Ці результати дозволяють порівняти продуктивність різних методів обробітку ґрунту щодо посівних одиниць і можуть бути використані для оцінки ефективності та доцільності впровадження альтернативних підходів у сільськогосподарському виробництві.

Отже, ефективність запилення і, як наслідок, урожайність кукурудзи на ділянках гібридизації залежить від відстані між батьківськими і материнськими формами. Найвищі показники досягаються при розміщенні материнських рослин на відстані до 1,4 м від батьківських, що підкреслює важливість оптимальної схеми посіву для максимізації врожайності насіннєвого матеріалу.

Розвиток зернового господарства відбувається на основі підвищення економічної ефективності виробництва насіння. Збільшення валової і товарної продукції зернових культур, у тому числі кукурудзи, можливо за рахунок збільшення економічної ефективності виробництва насіння та розвитку матеріально-технічної бази.

У нашому дослідженні економічна ефективність вирощування насіння гібриду ДБ Хотин залежно від основного обробітку ґрунту характеризувалася системою таких показників: урожайність, загальний прибуток, умовно чистий прибуток, повна собівартість, собівартість насіння та рівень рентабельності (табл. 12).

На фоні повної собівартості технологічного процесу вирощування кукурудзи досліджувані варіанти обробітку ґрунту не мали суттєвої різниці – 41,0–41,7 тис. грн/га. Водночас, отримані дані свідчать про значний вплив основного обробітку ґрунту на інші економічні показники, зокрема, заміна глибокого полицевого обробітку ПЛН-4-35 на локальне розпушування ПЧ-2,5 або на дискування БДМ-2,4 сприяє зниженню частки витрат з 3,2 до 2,5 і 1,6 %. Однак, внаслідок високої врожайності кукурудзи на контрольному варіанті, оранка забезпечила найвищий умовно чистий прибуток – 18,3 тис. грн/га.

Таблиця 12

Економічна ефективність вирощування насіння гібриду ДБ Хотин за різних способів основного обробітку ґрунту

Показники ефективності	Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	Локальне розпушування ПЧ-2,5 на 33-35 см	Безполицевий обробіток ПРН 31000 на 33-35 см	Дискування БДМ-2,4 на 10-12 см
Прибуток, тис. грн/га	60,0	49,2	51,2	47,6
Повна собівартість, тис. грн/га	41,7	41,4	41,6	41,0
Частка витрат на основний обробіток, %	3,2	2,5	3,0	1,6
Умовний чистий прибуток, тис. грн/га	18,3	7,8	9,6	6,6
Собівартість насіння, тис. грн/т	27,8	33,7	32,5	34,5
Рівень рентабельності, %	43,9	18,8	23,1	16,1

Дані економічної ефективності чизельного локального розпушування показують, що цей спосіб обробітку ґрунту має певні недоліки порівняно з іншими технологіями. Вирощування кукурудзи на цьому варіанті приносить прибуток у 49,2 тис. грн/га, що менше від оранки на 10,8 тис. грн/га, водночас, умовний чистий прибуток становить лише 7,8 тис. грн/га, що значно нижче порівняно з оранкою і безполицевим обробітком. Дискування БДМ-2,4 на глибину 10–12 см є найменш ефективним за показниками прибутку та рентабельності, хоча воно має найнижчі витрати на обробіток ґрунту – 1,6 %. Проте його економічна ефективність є значно нижчою порівняно з іншими прийомами, такими як оранка чи локальне розпушування.

Таким чином, найбільший прибуток і рівень рентабельності забезпечує традиційна оранка, проте вона потребує найбільших затрат на основний обробіток. Локальне розпушування та безполицевий обробіток є альтернативами з меншими затратами, але мають нижчий прибуток і рентабельність. Дискування виявляється економічно менш ефективним, хоча потребує найменше витрат на обробіток ґрунту.

Висновки до розділу 4

1. Урожайність та продуктивність кукурудзи значним чином залежали від агрофізичних показників орного шару ґрунту, що підтверджує високий коефіцієнт кореляції. Завдяки позитивному впливу оранки на ці показники, було отримано досить високий врожай зерна кукурудзи – 6,92 т/га, водночас, безполицевий обробіток ПРН-31000 також мав певну перевагу відносно інших варіантів за показником врожайності. При вирощуванні кукурудзи після застосування дискового обробітку було помітне зниження цього показника порівняно з контролем на 0,85 т/га. Оранка забезпечила найвищий збір кормопротейінових одиниць – 7,04 т/га, водночас було виявлено значне зниження цього показника після проведення чизельного та дискового обробітків на 0,53 і 0,67 т/га відповідно.

2. Безполицеві обробітки ґрунту по рівняно з оранкою викликали підвищення загальної кількості бур'янів у посівах кукурудзи. Найменша різниця з контролем була виявлена після проведення безполицевого обробітку ПРН-3100 на глибину 33-35 см. Так, кількість бур'янів на цьому варіанті склала 21 шт./м². Заміна оранки ПРН-4-35 на дискування БДМ-2,5 спричинило збільшення рівня забур'яненості у 2 рази.

3. Завдяки тому, що безполицевий і чизельний обробітки не порушують шар ґрунту 0–10 см так інтенсивно, як традиційний оранка, поверхня залишалася менш розрихленою, що зменшувало ризик вивітрювання та змиття верхнього шару. Вони сприяли підвищенню ґрунтозахисної ефективності ще й завдяки

високому вмісту вітростійких агрегатів розміром 1–0,5 мм – 15,2 і 17,3 % відповідно.

4. Проведення досліджень у виробничих умовах на базі ТОВ «АГРОЕКСПЕРТ» свідчать про те, що застосування оранки ПЛН-4-35 на ділянках гібридизації кукурудзи сприяло отриманню високого врожаю насіння – 1,50 т/га. Значення врожайності на варіанті з чизельним обробітком були максимально наближені до безполицевого обробітку ПРН-31000 – 1,23 і 1,28 т/га. Мінімальний обробіток на глибину 10–12 см спричинив зниження врожайності гібриду кукурудзи порівняно з оранкою на 20,7 %. Важливе значення для отримання високого врожаю насіння є схема розміщення рядів материнської та батьківської форм на ділянці гібридизації. Так, було встановлено, що на відстані понад 1,4 м процес запилення мало ефективний і призводить до значного зниження врожайності насіння. Це пов'язано з тим, що більша відстань між рядами знижує ймовірність ефективного переносу пилку, що негативно впливає на запліднення та формування насіння. Оптимальна схема розміщення рядів дозволяє забезпечити кращий контакт між пилком і материнськими рослинами, що є ключовим для максимізації врожаю.

5. Максимальний приріст врожаю порівняно з варіантом, де не проводили хімічний захист (контроль 2) було отримано при обробці посівів кукурудзи гербіцидом Пропізохлор 720 г/л та страховою сумішкою клопіралід 300 г/л + тифенсульфурон-метил 750 г/кг.

6. Використання оранки було найбільш ефективним з точки зору отриманого умовно чистого прибутку і рівня рентабельності: 18,3 тис. грн/га і 43,9 %. Застосування безполицевого обробітку ПРН-31000 сприяло отриманню умовно чистого прибутку на рівні 9,6 тис. грн/га. Отримані результати вказують на зниження виробничих витрат порівняно з оранкою при застосуванні дискового обробітку БДМ-2,5 у 2 рази, однак низька врожайність насіння кукурудзи робить це варіант найменш рентабельним – 16,1 %.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ

Оцінка способів основного обробітку ґрунту свідчить про суттєвий вплив цих агротехнічних прийомів на базові економічні показники. М. С. Шевченко та ін. [40] стверджують, що головну роль при оцінці ефективності відіграють паливо і мінеральні добрива, які становлять в структурі енергетичних витрат до 60 %. Проте вирішальним фактором енергетичної ефективності залишається рівень урожайності зерна і накопичений в ньому енергетичний потенціал.

Економічна ефективність вирощування кукурудзи залежить від складного комплексу природно-економічних, технологічних, науково-технічних та інших факторів [49]. Наприклад, високі виробничі витрати на проведення глибокої оранки знижують собівартість та рівень рентабельності виробництва. Це підтверджується даними Б. А. Тернового та В. М. Зубко [103], у дослідях яких показано, що на обробленій площі в 196 га, витрати пального при проведенні глибокого рихлення склали 4704 л. Вартість такого обробітку, не враховуючи зносу техніки та обладнання, становила 13 6416 грн.

Витрата палива на одиницю площі в системах обробітку ґрунту визначається вибором знаряддя та глибини обробітку. Вчені наголошують [116], що мінімізація обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи суттєво скорочує витрати на паливно-енергетичні ресурси, зокрема при чизельному обробітку на 8,3 л/га та плоскорізнному на 13,8–14,8 л/га, водночас, прибуток збільшується на 127–132 та 161–279 грн/т відповідно, а рентабельність виробництва – на 6–13 %. Також є дані, що за рахунок цих обробітків ґрунту можна заощадити, зокрема, паливно-енергетичні ресурси: за чизельного обробітку – на 7,0–8,3 л/га, плоскорізного – 17,4–22,1, дискового – 15,7–17,6 л/га, що позитивно впливає на збільшення умовного чистого прибутку та рівня рентабельності виробництва зерна до 81,3–121,0 %. Т. Салай та ін. виміряли витрату палива на рівні 8,6 л/га для обробітку ґрунту дисковою бороною [324].

У наших дослідженнях, визначення економічної ефективності вирощування кукурудзи на зерно залежно від способів основного обробітку ґрунту проводилося на основі технологічних карт із урахуванням витрат на оплату праці, вартості насіння, засобів захисту і добрив, а також отриманої продукції (табл. 10). Розрахунки були проведені згідно закупівельних цін станом на грудень 2023 р. Проведені розрахунки свідчать, що витрати палива відрізнялися за варіантами досліджень, враховуючи глибину обробітку й врожайність кукурудзи. Найбільші витрати на пальне при вирощуванні кукурудзи на варіанті проведення оранки на глибину 25–27 см – 25 л/га (табл. 13).

Таблиця 13

**Економічна ефективність вирощування кукурудзи залежно від способу
основного обробітку ґрунту**

Способи обробітку ґрунту	Урожайність зерна, т/га	Витрати палива на обробіток ґрунту, л/га	Витрати на обробіток ґрунту, грн/га	Прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	6,70	25	1340,0	3650,0	13,8
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	6,20	17	1055,0	1800,0	6,9
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	6,42	21	1248,0	2650,0	10,1
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	6,07	12	645,6	1615,0	6,3

Незважаючи на досить високі витрати на проведення оранки відносно інших варіантів, цей спосіб обробітку ґрунту був найбільш економічно вигідним, зокрема, найвище значення умовно чистого прибутку склало 3 650 грн/га. Застосування безполицевого обробітку ґрунту на глибину 33–35 см наближало цей показник до контролю з різницею у 1000 грн. С. В. Тараненко та ін. [102] також довели доцільність проведення оранки, про що свідчать рівень рентабельності – 125 % та отриманий чистий дохід з 1 га, який на 3480 і 6920 грн вищий, ніж за плоскорізного та поверхневого основного обробітку ґрунту. Подібні результати були отримані М. С. Шевченко та ін. [40], у дослідженнях яких встановлено, що заміна глибокого полицевого обробітку на ґрунтозахисний безполицевий зумовлює зниження виробничих витрат з 1022 до 681 грн/га.

Проведення дискування на глибину 10–12 см було найменш затратним агротехнологічним процесом. Так витрати палива та коштів становили лише 12 л/га та 645,6 грн/га відповідно, однак, такі низькі показники не дали високого економічного ефекту. Дисковий та чизельний локальний обробітки створили найгірші умови для росту і розвитку кукурудзи. Низька врожайність на цих варіантах не дала змоги отримати високий прибуток, тому і рівень рентабельності був найнижчий: 6,3 і 6,9 %. Аналогічні результати були отримані М. С. Шевченком та ін. [40], згідно яких мінімізація обробітку ґрунту також зумовлювала зниження виробничих витрат, однак економічного ефекту від цього не було. Унаслідок позитивного впливу оранки на урожайність культур сівозміни цей спосіб обробітку ґрунту зумовив найвищу рентабельність виробництва – 20,7–245,2 %. Однак, проведені розрахунки О. І. Цилюриком [116] свідчать, що мінімальний обробіток ґрунту під час вирощування кукурудзи дає можливість суттєво скоротити витрати паливно-енергетичних ресурсів порівняно з чизелюванням на 8,3 л/га, а з плоскорізним обробітком на 14,8 л/га, із зростанням рентабельності на 9,0–12,6 %. Аналогічні результати були отримані у дослідженнях А. О. Бутенко та ін. [9], які встановили, що проведення полицевого обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи дає змогу отримати чистий прибуток до 1,95 тис. грн/га та максимальний рівень рентабельності –

44,1 %. Однак, деякі автори [178] зазначають, що застосування оранки при вирощування кукурудзи порівняно із сучасними технологіями значно поступається у показниках рівня рентабельності та отриманому прибутку.

Ефективність вирощування кукурудзи необхідно розглядати не тільки з точки зору економічної складової, але й енергетичної [180] та бути орієнтованим на ресурсо- та енергозберігаючі технології [193]. Соціально-економічний і науково-технічний прогрес призводять до постійного зростання споживання електроенергії [142]. Для задоволення потреб у харчових продуктах, використовують мінеральні добрива, пестициди, сільськогосподарську техніку, електроенергію та інші природні ресурси [145]. У зв'язку з цим, здійснюється пошук нових методів отримання енергії, удосконалення існуючих і збільшення участі відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі [211].

Енергетичні ресурси мають важливе значення для виробництва та переробки сільськогосподарської продукції. Більшість з них є дорогими, тому ефективне використання енергії є передумовою ефективного ведення сільськогосподарського виробництва [155]. Співвідношення надходження і витрат енергії у системах землеробства змінюється залежно від сівозмін, технологічних операцій під час вирощування сільськогосподарських культур, застосування добрив, заходів захисту рослин і рівня врожайності [150]. У наукових працях Дж. Мойці та ін. вказано, що витрати прямої енергії до непрямой для обробітків ґрунту мають таке співвідношення: полицевий обробіток на глибину 25–30 см – 40:60, глибокий безполицевий на 16–20 см – 40:60, мілкий безполицевий на 8–10 см – 39:61, нульовий – 36:64. Вони також встановили, що сушіння зерна кукурудзи було другим за величиною споживачем енергії – близько 22 %, а частка паливно-мастильних матеріалів при полицевому та безполицевому глибокому обробітках склала 19 %, при безполицевому мілкому – 16 %, а при нульовому – 13 %. Близько 13 % від загальних енерговитрат припадало на насіння. Енергозатрати, які виділяються на техніку, яка необхідна для полицевого, глибокого безполицевого та мілкового безполицевого обробітків склали 10 %, а для нульового – 9 %. Найнижча

частка енерговитрат припадала на гербіциди. Так, при проведенні полицевого, глибокого безполицевого та мілкового безполицевого обробітків це значення складало близько 1 %, однак при нульовому обробітку енергії було витрачено понад 5 %.

Дж. Мойці та ін. стверджують, що для традиційної системи землеробства характерним є високий вміст енергії за рахунок використання азотних добрива [269, 270]. Так, Е. Гетцом було встановлено, що для більшості культур, у тому числі і кукурудзи, витрати палива та мінеральних добрив (N і P) становлять найбільшу частку – > 75 % від усіх енергетичних витрат [224]. У той же час, G. Pellizzi визначив, що найбільш енерговитратним агротехнічним прийомом є обробіток ґрунту, так на нього припадає близько 55–65 % загального споживання енергії [194]. У наукових працях Дейке та ін. також повідомляється про відмінності між енерговитратами при різних способах обробітку ґрунту [177]. Так, Т. Салай та інші пояснюють це тим, що зменшення прямих енерговитрат у безполицевих технологіях компенсується зростанням непрямих витрат енергії через додаткове використання гербіцидів. Перехід від оранки до безполицевих систем обробітку ґрунту знижує не тільки прямі витрати енергії, а й скорочує робочий час [324].

Традиційна система обробітку ґрунту базується на дуже інтенсивному впливі механічної сили на ґрунт та перевертанні його шарів. Оскільки після цього залишаються відносно великі грудки і нерівна поверхня ріллі, роботу необхідно завершити додатковим обробітком, а саме дисковим боронуванням [245]. Згідно даних Н. Малінович та ін., при використанні традиційної технології вирощування кукурудзи із застосуванням плуга під час зяблевого основного обробітку ґрунту, споживання пального коливається від 30 до 60 л/га з використанням енергії від 90 до 120 кВт-год/га [263]. У традиційних системах обробітку ґрунту з оранкою на підготовку ґрунту та посів зазвичай витрачається понад 50 % загального споживання пального [270]. Так, за розрахунками Л. Гернанца [223] енергетичні витрати одного літра пального становили 47,8 МДж.

На сьогоднішній день тенденція до мінімізації обробітку ґрунту очевидна. Це відбувається за рахунок зменшення енергоспоживання агротехнологій, що призводить до ресурсозбереження [244]. Рациональне використання енергії допомагає досягти збільшення продуктивності виробництва, яке у свою чергу, сприяє підвищенню прибутковості та конкурентоспроможності агропідприємства [305, 203]. Дослідження Т. Маракоглу та ін., які були проведені з 2017 по 2021 рр. свідчать, що застосування ґрунтозахисного обробітку порівняно з оранкою, забезпечує найвищу енергоефективність, продуктивність енергії та чистий енергетичний приріст [265, 157].

Вирощування кукурудзи вимагає великих енерговитрат, а отже, необхідно проводити дослідження для підвищення енергоефективності виробництва [192], яке визначається співвідношенням накопиченої енергії до загальної кількості енерговитрат [180]. Р. Г. Фіппс та ін. стверджують, що енергоефективність можна підвищити, зменшуючи споживання вхідної енергії через контроль за її витратами та заміну менш енергоефективних ресурсів. Крім того, її можна покращити, підтримуючи баланс вхідної енергії та підвищуючи продуктивність, що, у свою чергу, збільшить вихідну енергію, яку генерує виробнича система [283].

У наших дослідженнях, різниця у витратах енергії на вирощування кукурудзи зумовлена передусім відмінностями у рівні її врожайності, яка варіювала залежно від способу основного обробітку ґрунту, де максимальне значення було при оранці – 6,70 т/га, а найнижче при дискуванням – 6,07 т/га (табл. 14). Енергетичні витрати демонстрували подібну тенденцію. Так, на варіанті з проведенням оранки ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см було витрачено 29495 МДж, тоді як з дискуванням було витрачено найменшу кількість енергії – 28282 МДж.

**Енергетична ефективність основного обробітку ґрунту
в розрахунку на 1 га**

Показник	Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	Чизельний локальний обробіток ПЧ- 2,5 на 33–35 см	Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см
Урожайність, т/га	6,70	6,20	6,42	6,07
Енергетичні витрати, МДж	29495	28555	28955	28282
Енерговміст урожаю, МДж/т	128305	118606	122814	116120
Коефіцієнт енергетичної ефективності (К _{еє})	4,35	4,15	4,24	4,11

Енерговміст урожаю відрізнявся по кожному варіанту, досягаючи максимуму при оранці – 128305 МДж/т, і мінімуму при дискуванні – 116120 МДж/т. Коефіцієнт енергетичної ефективності (К_{еє}) був найбільший для оранки – 4,35, що свідчить про її відносну енергоефективність, тоді як дискування мало найнижчий К_{еє} – 4,11. Отримані дані свідчать про різницю в енергетичній ефективності способів основного обробітку ґрунту, що є важливим критерієм для оптимізації енергетичних ресурсів у сільському господарстві.

Отже, незважаючи на те, що оранка ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см і безполицевий обробіток ПРН-31000 на глибину 33–35 см з-поміж інших варіантів були найбільш витратними, однак за рахунок високої врожайності кукурудзи на цих варіантах – були найбільш рентабельними. Чизельний та дисковий обробітки не дали значного приросту врожайності порівняно з затратами на їх виконання,

тому це призвело до зниження рентабельності через менший чистий прибуток. Вплив обробітку ґрунту на властивості ґрунтів та енергетичну ефективність є важливими факторами збереження родючості ґрунтів та оцінки стійкості сільськогосподарської системи [298, 185].

Висновки до розділу 5

Безполицевий обробіток у стаціонарному досліді на базі ННВЦ «Дослідне поле «Докучаєвське»» максимально наближає економічну ефективність його проведення до показників оранки ПЛН-4-35. На цих варіантах було отримано найвищий умовно чистий прибуток 2 650–3 650 грн/га з рівнем рентабельності від 10,1 до 13,8 %. Рентабельність проведення чизельного та дискового обробітків знаходилася майже на одному рівні у межах 6,3–6,9 %. Водночас ці варіанти були менш енергозатратними порівняно з контролем, де вони склали 29495 МДж.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати дослідження ефективності різних способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України. Виявлено вплив різних обробітків на продуктивність культури, агрофізичні, водно-фізичні та мікробіологічні показники ґрунту, видовий склад бур'янів, а також на економічну ефективність виробництва. У ході досліджень сформульовано такі висновки:

1. Згідно з агрофізичними показниками родючості ґрунту встановлено:

– щільність складення шару ґрунту 0–30 см була найнижчою на варіанті проведення оранки ПЛН-4-35 на глибину 25–27 см – 1,18 г/см³, а найвищою на варіанті із застосуванням дискуванням БДМ-2,5 на глибину 10–12 см – 1,24 г/см³, при цьому, найбільше підвищення значень цього показника відбулося у шарах ґрунту 10–20 і 20–30 см. Однак, щільність складення по досліджуваних варіантах обробітку ґрунту була у межах оптимальних значень для вирощування кукурудзи на чорноземі типовому;

– збільшення величини твердості орного шару ґрунту відбулося при застосування дискового мінімального та чизельного локального обробітків, де вона була вищою за контроль на 1,0 і 2,3 кг/см²;

– застосування безполицевого обробітку ПРН-31000 та чизельного розпушування ПЧ-2,5 сприяло підвищенню агрономічно цінних агрегатів у шарі ґрунту 0–30 см на 0,5–0,9 % і водостійких – на 1,1 і 3,4 % порівняно з контролем. При застосуванні дискування на глибину 10–12 см відзначався високий вміст брилистої і пилюватої фракції.

2. Застосування безполицевого обробітку ПРН-31000 сприяло кращому накопиченню вологи у метровому шарі ґрунту – 1338 м³/га. На варіанті проведення оранки були зафіксовані дещо нижчі показники зволоження – 1308 м³/га. Зменшення глибини основного обробітку до 10–12 см створювало гірші умови зволоження ґрунту, при якому запаси вологи становили 1215 м³/га.

3. Найкраще мікробіологічні процеси протікали на варіанті з проведенням оранки на глибину 25–27 см, на якому було зафіксовано розкладання целюлози на рівні 24 %. Низька життєдіяльність целюлозоруйнівних мікроорганізмів була зафіксована при мілкому дисковому обробітку на глибину 10–12 см, частка розкладеного полотна склала лише 16,4 %.

4. Найвищу врожайність та продуктивність кукурудзи було отримано після застосування оранки у якості основного обробітку ґрунту, при цьому рівень врожаю склав 6,70 т/га, а вихід кормопротеїнових одиниць – 7,04 т/га. Найнижчими ці показники були визначені на варіанті з проведенням дискового обробітку БДМ-2,5 на глибину 10–12 см: 6,07 і 6,37 т/га відповідно.

5. Усі досліджувані обробітки ґрунту призводили до підвищення кількості бур'янів у посівів кукурудзи порівняно з оранкою на 33–49 %, а за масою на 25–38 %.

6. Найвищий ступінь захисту верхнього шару ґрунту було виявлено на варіантах із безполицевим ПРН-31000 та чизельним локальним обробітками на глибину 33–35 см. Величина коефіцієнта ґрунтозахисної ефективності на цих варіантах був вищим за оранку на 0,01–0,02 %. Застосування безполицевого обробітку ПРН-31000 забезпечило високу ґрунтозахисну ефективність. Так, вміст вітростійких агрегатів розміром більше 1 мм у шарі ґрунту 0–10 см склав 50,2 %. Використання дискування БД-2,5 на глибину 10–12 см дещо погіршувало протидефляційну стійкість поверхні ґрунту.

7. Ефективну дію на врожай кукурудзи мало внесення гербіциду на основі діючої речовини пропізохлор 720 г/л з нормою внесення препарату 3 л/га безпосередньо після проведення сівби. Так, на цьому варіанті приріст врожаю відносно безгербіцидного контролю склав 0,59 т/га. На варіантах із застосуванням гербіцидів на основі ацетохлору 900 г/л з нормою 2,5 л/га у вигляді ґрунтового внесення до сходів культури і нікосульфурону 45 г/л у дозі препарату 1,25 л/га у фазу 3–5 листків було зафіксовано зниження рівня врожайності кукурудзи на 0,33 т/га.

8. Розподіл урожайності насіння кукурудзи гібриду ДБ Хотин на ділянках гібридизації свідчить про високу ефективність запилення рядів материнської форми на відстані в 1,4 м від батьківської. Максимальна врожайність гібридного насіння кукурудзи була досягнута при використанні оранки – 1,50 т/га, що підтверджує її ефективність у підвищенні продуктивності культури. Інші способи обробітку ґрунту, зокрема безполицеві та мілкий дисковий обробітки, показали зниження врожайності на 0,22–0,27 т/га, хоча чизельний локальний обробіток у сприятливих погодних умовах також продемонстрував певний приріст.

9. Заміна оранки ПЛН-4-35 як найбільш затратного способу обробітку ґрунту на чизельне локальне розпушування або дискування БДМ-2,5, окрім скорочення як економічних, так й енергетичних витрат, спричиняє зниження прибутку у 2 рази. Варто зазначити, що безполицевий обробіток ПРН-31000 дозволив скоротити виробничі витрати порівняно з оранкою на 92 грн/га, однак дещо нижча врожайність кукурудзи на цьому варіанті призвела до зниження умовно чистого прибутку на 1000 грн, а рівня рентабельності на 3,7 %. З енергетичної точки зору, ці два варіанти знаходилися майже на одному рівні. Так, згідно коефіцієнту енергетичної ефективності – 4,24, безполицевий обробіток ґрунту дещо поступався оранці – 4,35.

10. Аналізуючи отримані дані отримані після впровадження результатів у виробничий процес ТОВ «АГРОЕКСПЕРТ», було встановлено, що незважаючи на досить високу частку витрат на проведення оранки ПЛН-4-35 – 3,2 %, вона є найефективнішим прийомом обробітку ґрунту, що забезпечує найбільший загальний прибуток і найвищий рівень рентабельності. Заміна полицевого обробітку на дисковий ДБМ-2,5 сприяло скороченню витрат на проведення основного обробітку ґрунту у 2 рази.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для умов Лівобережного Лісостепу на чорноземах типових з метою забезпечення ґрунтозахисної ефективності, захисту ґрунтів від деградації, покращання водно-фізичних показників і отримання близької з оранкою урожайності при вирощуванні кукурудзи на зерно рекомендується застосування безполицевого обробітку ПРН 31000 на глибину 33–35 см у складі диференційованої системи обробітку ґрунту в польових сівозмінах.

2. При вирощуванні гібриду кукурудзи ДБ Хотин на ділянках гібридизації доцільно застосовувати оранку на глибину 25–27 см у поєднанні з комплексним внесенням ґрунтових (на основі пропізахлору 720 г/л) і наземних (страхових) гербіцидів (на основі клопіраліду 300 г/л і тифенсульфурон-метилу 750 г/кг), що забезпечує найвищу врожайність насіння і показники економічної ефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрофізична й екологічна оцінка нульового обробітку при вирощуванні сільськогосподарських культур / В. В. Медведєв та ін. *Вісник Харківського ДАУ імені В. В. Докучаєва*. 1999. Вип. 2. С. 92–99.
2. Албул С. І. Продуктивність кукурудзи в залежності від обробітку ґрунту та застосування біодеструкторів в органічному землеробстві степу України. *Аграрний вісник Причорномор'я. Сільськогосподарські науки*. Одеса, 2018. Вип. 88. С. 16–25.
3. Архипенко Ф. М., Артюшенко О. О., Кухарчук П. І. Агротехнічні заходи підвищення продуктивності та поживності кукурудзи. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 6. С. 15–18.
4. Баган А. В., Шакалій С. М., Юрченко С. О. Формування продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Аграрні інновації. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2022. № 13. С. 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1>.
5. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва / Ю. О. Тараріко та ін.; за ред. Ю. О. Тараріка. Київ: Аграрна наука, 2005. 200 с.
6. Бовсуновський О. М. Засміченість та врожайність кукурудзи при різній обробці ґрунту. *Агроном*. 2008. № 1. С. 132–134.
7. Будьонний Ю. В., Шевченко М. В. Ґрунтозахисна ресурсозберігаюча система основного обробітку ґрунту під культури в польових сівозмінах для умов лівобережного Лісостепу України. *Вісник Львівського ДАУ. Агрономія*. 2004. № 8. С. 67–72.
8. Булигін С. Ю. Регламентація технологічного навантаження земельних ресурсів. *Землевпорядний вісник*. 2003. Вип. 2. С. 9–12.
9. Бутенко А. О., Данильченко О. М., Собко М. Г. Вплив способів і глибини основного обробітку ґрунту на продуктивність кукурудзи при вирощуванні на силос. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агрономія і біологія*. 2017. Вип. 2. С. 73–77.

10. Васильченко В. Дискові знаряддя для обробітку ґрунту. *Агронам*. 2019. URL: <https://www.agronom.com.ua/dyskovi-znaryaddy-dlya-obrobitku-gruntu/>
11. Волошенюк А. В. Вплив систем обробітку ґрунту та no-till на грудкуватість чорнозему південного. *Таврійський науковий вісник. Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. 2015. № 91. С. 24–29.
12. Волощук О. П., Волощук І. С., Глива В. В., Пащак М. О. Біологічні вимоги гібридів кукурудзи до умов вирощування в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 22–36. [https://doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-3](https://doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-3).
13. Вплив забур'яненості посівів на продуктивність і врожайність кукурудзи / Л. П. Матюха та ін. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. Вип. 39. С. 131–136.
14. Вплив нульового обробітку ґрунту на його фізичні властивості в Правобережному Лісостепу України / В. Ф. Петриченко та ін. *Агробіологія*. 2013. № 11. С. 183–187.
15. Вплив щільності складення ґрунту на урожайність сільськогосподарських культур за різних систем обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах / Г.З. Тимошенко та ін. *Зрошуване землеробство. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2016. Вип. 66. С.82–85.
16. Гавришко О. С., Оліфір Ю. М., Партика Т. В. Структурно-агрегатний стан ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за тривалого агрогенного впливу в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 36–46. [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-4](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-4).
17. Гангур В. В., Руденко В. В. Вплив способів основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27(1). С. 36–40. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.06>.

18. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив різних систем обробітку на поживний режим ґрунту під пшеницею озимою та ячменем ярим в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2022. Вип. 1. С. 38–44. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.04>.
19. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур Ю. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін за максимальної частки в них сої та кукурудзи при вирощуванні в умовах недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу. *Зернові культури*. 2017. Т. 1. Вип. 2. С. 313–319.
20. Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України: навчальний посібник / В. К. Хільчевський та ін.; за ред.: В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. 2014. 230 с.
21. Гололобова О. О., Левицький І. Ю. Агроекологічна ефективність способів основного обробітку ґрунту в умовах Лівобережжя Лісостепу України. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2010. Вип. 2. С. 68–74.
22. Горбатенко А. І., Горобець А. Г., Цилюрик О. І. Вплив способів основного обробітку чистого пару на агрофізичний стан ґрунту і урожайність озимої пшениці. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. № 38. С. 40–45.
23. Горєв Л. М., Пелешенко В. Ц., Хільчевський В. К. Гідрохімія України. Київ: Вища школа, 1995. 307 с.
24. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Підбуртній О. В. Урожайність кукурудзи залежно від вологозабезпеченості та удобрення у Правобережному Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика. Рослинництво, кормовиробництво, луківництво*. 2024. Вип. 2(12). С. 72–84. <https://doi.org/10.54651/agri.2024.02.09>.
25. Грабак Н. Х. Поліпшення обробітку ґрунту в Степу. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 3. С. 12–14.
26. Грабак Н. Х. Основні шляхи вдосконалення обробітку ґрунту в степовій зоні України. *Вісник аграрної науки південного регіону*. 2001. Вип. 2. С. 68–72.

27. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство: підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. / за ред. В.П. Гудзя. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.
28. Дегтярьов В. В., Головач Ю. В. Баланс гумусу в чорноземі типовому залежно від способів основного обробітку ґрунту. *Збалансоване використання та відтворення родючості ґрунтів в умовах глобальних змін клімату*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присв. Всесвітньому Дню Ґрунту та 130-річчю заснування кафедри ґрунтознавства ДБТУ, 5–6 грудня 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2023. С. 187–188.
29. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
30. Дзюбецький Б. В., Рибка В. С., Черчель В. Ю. Скоростиглі гібриди як фактор енерго- і ресурсозбереження у виробництві зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 53. С. 27–36
31. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Боденко Н. А., Ільченко Л. А. Особливості гібридів кукурудзи отриманих за схемою змішування. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2011. Вип. 40. С. 11–14.
32. Дзюбецький Б. В., Рябченко Е. М. Адаптивна характеристика гібридів кукурудзи, створених на основі подвоєногаплоїдних ліній плазми Lancaster. *Селекція і насінництво*. 2015. № 107. С. 37–41.
33. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунту. [Чинний від 2004-12-09]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.
34. ДСТУ 4744:2007. Якість ґрунту. Визначення структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова. [Чинний від 2008-01-01.]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 12 с.
35. ДСТУ 5096:2008. Якість ґрунту. Визначання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна. Ю. Будьонний та ін. [Чинний від 2009-03-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 4 с.

36. ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, ITD). Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу. [Чинний від 2003-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2003. 15 с.
37. Екологічний стан ґрунтів України / С. А. Балюк та ін. *Український географічний журнал*. 2012. Вип. 2. С. 38–42.
38. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Примак. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 456 с.
39. Економічний довідник аграрника / В. І. Дробот та ін.; за ред.: Ю. Я. Лузана, П. Т. Саблука. Київ: Преса України, 2003. 800 с.
40. Енерго-економічна ефективність систем землеробства / М. С. Шевченко та ін. *Зернові культури*. 2019. Т. 3. № 2. С. 377–384. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0099>.
41. Ефективність прийомів обробітку ґрунту з урахуванням просторової неоднорідності агрофізичних показників / М. В. Шевченко та ін. *Вісник ХНАУ. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2020. №1. С. 131–140.
42. Земельні ресурси України / за ред. Медведєва В. В. Київ: Аграрна наука, 1998.
43. Землеробство з основами екології, ґрунтознавства та агрохімії: навч. посіб. / В. Ф. Петриченко та ін. Київ: Аграрна наука, 2011. 492 с.
44. Зуза В. С. Гербіциди на посівах гороху. *Карантин і захист рослин*. 2006. № 5. С. 10–12.
45. Зуза В. С., Шевченко М. В., Гутянський Р. А., Кузьменко Н. В. Гербіциди в посівах соняшнику в умовах Східного Лісостепу України. *Фітосанітарна безпека*. 2022. Вип. 68. С. 98–113. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.98-113>.
46. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Особливості росту і розвитку рослин кукурудзи в посівах а їх фотосинтетична діяльність залежно від технології вирощування в умовах Лісостепу *Передгірне та гірське землеробство*

і тваринництво. 2020. Вип. 67. С. 92–112. [https://doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-2-6).

47. Каталог гібридів кукурудзи ДУ Інститут зернових культур НААН України / В. Ю. Черчель та ін. Дніпро: ДУ ІЗК НААН України. 2023. С. 32.

48. Клімат України / за ред.: В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

49. Ковальчук М. І. Економічний аналіз у сільському господарстві: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисципліни. Київ: КНЕУ, 2002. С. 52–56.

50. Коковіхін С. В., Пілярський В. Г., Пілярська О. О. Ріст і розвиток рослин кукурудзи на ділянках гібридизації в умовах зрошення півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2015. Вип. 63. С. 95–97.

51. Комісар Є. О., Зубко В. М. Твердість ґрунту – огляд сучасних методів та пристроїв. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2020. № 4(42). Р. 26–31. <https://doi.org/10.32782/msnau.2020.4.6>.

52. Косолап М. П., Кротінов О. П. Система землеробства No-till: навч. посіб. Київ: Логос, 2011. 352 с.

53. Кохан А. В. Ефективність різних способів обробітку ґрунту. *Новітні агротехнології*. 2016. Вип. 4. С. 11–12. [https://doi.org/10.21498/na.1\(4\).2016.118261](https://doi.org/10.21498/na.1(4).2016.118261).

54. Кравченко Ю. С., Матвіїв Г. М. Структурно-агрегатний склад чорнозему типового зарізнних систем обробітку ґрунту. *Вісник ХНАУ. Ґрунтознавство*. 2014. № 1. С. 36–41.

55. Кривенко А. І., Почколіна С. В. Продуктивність пшениці озимої за різних систем основного обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах із сидеральним паром. *Аграрні інновації*. 2021. Вип. 5. С. 60–67. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.10>.

56. Крижанівський В. Г. Вміст структурних агрегатів ґрунту на період цвітіння гороху, пшениці озимої та буряку цукрового за різних заходів основного обробітку. *Корми і кормовиробництво*. 2017. Вип. 84. С. 150–155.

57. Крилач С. І. Ріст та продуктивність кореневої системи сільськогосподарських культур залежно від агрофізичних характеристик ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 68–73. <https://doi.org/10.31073/acss88-09>
58. Круть В. М., Пабат І. А. Система обробітку ґрунту в зоні Степу. Обробіток ґрунту в системі інтенсивного землеробства / за ред. В. М. Крутя. Київ: Урожай, 1986. С. 24–41.
59. Кудря С., Тараріко Ю., Кудря Н., Личук Г. Гумусний режим чорнозему типового в короткоротаційних сівозмінах із різним бобовим компонентом. *Вісник аграрної науки*. 2024. Вип. 102(1). С. 64–70. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202401-09>.
60. Кудря С., Тараріко Ю., Личук Г., Кудря Н. Наукові основи формування органічних агроєкосистем у Лівобережному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2021. Вип. 99(10). С. 68–74. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-09>.
61. Курдюкова О. М. Засміченість посівів сівозміни в залежності від обробітку ґрунту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 1. С. 51–54.
62. Курило С. М., Винарчук О. О. Аналіз багаторічних змін мінералізації і вмісту головних іонів у воді лівобережних приток басейну Дніпра. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2012. Т. 2(27). С. 96–107.
63. Лебідь Є. М., Андрусенко І. І., Пабат І. А. Сівозміни при інтенсивному землеробстві. Київ: Урожай, 1992. 222 с.
64. Малієнко А. М., Борис Н. Є. Типовість гідротермічних умов зони Правобережного Лісостепу та їх вплив на продуктивність кукурудзи. *Агробіологія*. 2019. № 1. С. 55–64. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2019-146-1-55-64>.
65. Манько Ю., Танчик С., Примак І. Зміст сучасних систем землеробства в Україні та пропозиції щодо їх класифікації. *Вісник аграрної науки*. 2015. Вип. 93(12). С. 17–21.

66. Медведєв В. В., Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Фізика ґрунту: навч. посіб. Київ: Видавництво, 2018. 289 с
67. Медведєв Е. Б. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від способу обробітку в умовах північного Степу України. *Зернові культури*. 2019. Т. 3, № 1. С. 102–109. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0066>.
68. Медведєв В. Плужний, мінімальний, нульовий? URL: <https://a7d.com.ua/machines/10194-pluzhniy-mnmalniy-nuloviy.html>
69. Медведєв В. В. Мінімалізація обробітку ґрунтів України: *рекомендації*. Харків, 2004. 47 с.
70. Медведєв В. В., Словінська-Юркевіч А., Брик М., Бігун О. М. Критерії фізичної деградації ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. № 80. С. 5–16.
71. Мірошник І. А. Щільність ґрунту і врожайність цукрових буряків. *Науковий вісник НАУ*. 2002. № 47. С. 30–35.
72. Мойсейченко В. А., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа, 1994. 334 с
73. Муляр М. М. Урожайність насіння кукурудзи в залежності від схем посіву і густоти рослин батьківських форм. *Таврійський науковий вісник*. 1997. Вип. 2. С. 54–57.
74. Насінництво кукурудзи: навч. посіб. / Б. В. Дзюбецький та ін. Аграрна наука, 2019. 200 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-453-8>.
75. Новак Ж. М. Урожайність і якість гібридного насіння кукурудзи залежно від розміщення материнських та батьківських форм. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2008. Вип. 11(16). С. 82–85.
76. Оптимальні фізичні властивості посівного шару ґрунту як агровимоги до передпосівного обробітку / В. В. Медведєв та ін. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 196 с.
77. Охорона ґрунтів: навч. посіб. / М. К. Шикуча та ін. Київ: Знання, 2001. 400 с.

78. Пабат І. А. Ґрунтозахисна система землеробства. Київ: Урожай, 1992. 158 с.
79. Паштецький В. С. Мінімізація обробітку ґрунту в системі агроекологічного захисту ґрунтів. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 2. С. 74–81.
80. Пащенко Н., Лобко Т. Система насінництва та основні принципи добору гібридів кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 19. С. 180–184. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.27>.
81. Польове інспектування кукурудзи: рекомендації. URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/1896-polove-inspektuvannia-kukurudzy-rekomendatsii>
82. Польовий А. М., Костюкевич Т. К., Толмачова А. В. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 1. С. 29–36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)).
83. Попірний М. А., Сябрук О. П., Акімова Р. В., Шевченко М. В. Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 13–28. <https://doi.org/10.31073/acss90-02>.
84. Природоохоронне значення консервуючого обробітку ґрунту на еродованих чорноземах Степу України / І. А. Пабат та ін. *Земельні ресурси України: рекультивація, раціональне використання та збереження*: зб. тез. Дніпропетровськ, 1996. С. 161–162.
85. Притуляк Р. М. Урожайність озимого тритикале залежно від внесення різних норм гербіцидів Пріми та Пуми Супер окремо і в сумішах з біостимулятором росту Біоланом: матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених. Умань, 2008. Ч. 1. С. 59–61
86. Проблеми селекції кукурудзи на фоні кліматичних змін / Н. М. Музафаров та ін. *Селекція та насінництво*. 2024. Вип. 125. С. 102–113. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.306977>.

87. Продуктивність кукурудзи за мінімізованого обробітку ґрунту та органо-мінеральних систем удобрення на зрошенні Півдня України / Р. А. Вожегова та ін. *Аграрні інновації*. 2021. Вип. 5. С. 123–127. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.20>.

88. Протиерозійна оптимізація території аграрних господарств на прикладі Харківської області, Україна / О. В. Круглов та ін. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Екологія*. 2019. Вип. 20. С. 134–142. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-20-13>.

89. Розвиток органічного ринку в Україні. URL: <https://ukraine.fibl.org/ua/ua-resources.html>.

90. Рудаков Ю. М. Урожайність кукурудзи на зерно в залежності від попередника, обробітку ґрунту та добрив у Північному Степу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2003. № 2. С. 46–48.

91. Рудська Н. О. Ефективність системи захисту посівів кукурудзи від бур'янів за різних способів обробітку ґрунту. *Напрями досліджень в аграрній науці: стан та перспективи*. Всеукр. наук.-практ. конф, 5–6 лист. 2019. Вінниця, 2019. 3 с.

92. Сайдак О. М., Літвінов Д. В. Вплив основного обробітку ґрунту на водний баланс ґрунту в посівах кукурудзи на зерно. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика*: матеріали III Міжнар. наук. інтернет-конф. (20–22 жовт. 2021 р.). Київ, 2021. С. 254–255.

93. Свиридов А. М., Колос М. О. Ефективність мінімальних технологій обробітку ґрунту під кукурудзу і сорго на зерно в Північному Степу України. *Вісник ХНАУ. Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*. 2017. Вип. 2. С. 157–165.

94. Сінченко В. В., Танчик С. П., Літвінов Д. В. Вплив різних способів обробітку ґрунту на агрофізичні показники чорнозему типового Правобережного Лісостепу України. *Рослинництво і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 10(2). С. 41–49. <https://doi.org/10.31548/agr2019.01.041>.

95. Сок С. В. Екологічні аспекти розвитку біологічної системи землеробства в умовах глобальних змін клімату. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2023. Т. 1, № 101. С. 193–205. <https://doi.org/10.31713/vs1202313>
96. Смолінський С., Новицький А., Мельник В., Марченко В. Технологія та засоби механізації чизелювання ґрунту. 2021. URL: <https://agroexpert.ua/tekhnohiiia-ta-zasoby-mekhanizatsii-chyzeliuvannia-gruntu/>
97. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату / В. В. Гамаюнова та ін. *Наукові горизонти*. 2020. Вип. 2(87). С. 89–101. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101>.
98. Танчик С., Миколенко Я. Вплив систем основного обробітку ґрунту на вміст доступної вологи та продуктивність кукурудзи в Правобережному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2017. Вип. 95(4). С. 12–16. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201704-02>.
99. Танчик С. П., Манько Ю. П., Бабенко А. І. Зміст сучасних систем землеробства та їх класифікація. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Агронія*. 2012. Вип. 176. С. 130–138.
100. Танчик С. П., Миколенко Я. Ефективність контролю бур'янів у посівах кукурудзи при різних системах основного обробітку ґрунту в Правобережному Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2016. Вип. 4. С. 20–23. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.04.02>
101. Танчик С. П., Цюк О.А., Центило Л. В. Наукові основи систем землеробства: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.
102. Тараненко С. В., Яснолоб І. О. Оцінка способів основного обробітку ґрунту на посівах кукурудзи. *Енергетична незалежність сільських територій як пріоритетна модель розвитку: міжнародний та вітчизняний досвід: I Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Полтава, 20 трав. 2020 р.)*. Полтава: ПДАА, 2020. С. 98–100.

103. Терновий Б. А., Зубко В. М. Доцільність використання диференційованого обробітку при глибокому розпушуванні ґрунту. *Молодь і технічний прогрес в АПВ: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.* 2020. С. 113–114.

104. Тихоненко Д. Г., Дегтярьов Ю. В. Ґрунтовий покрив дослідного поля «Роганського стаціонару» Харківського НАУ ім. В. В. Докучаєва. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство.* 2016. № 2. С. 5–15.

105. Тихоненко Д. Г., Дегтярьов Ю. В. Генеза і класифікація агрочорноземів України. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство.* 2014. № 1. С. 5–10.

106. Ткаліч Ю. І., Шевченко О. М., Матюха В. Л. Забур'яненість та врожайність соняшнику при різних способах обробітку ґрунту і внесенні гербіцидів. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2013. № 4. С. 29–33.

107. Удосконалення системи охорони ґрунтів від ерозії в умовах змін клімату / В. П. Коляда та ін. *Вісник аграрної науки.* 2020. № 12. С. 70–78. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-09>.

108. Філоненко С. В. Формування зернової продуктивності кукурудзи за різних способів основного обробітку ґрунту. *Scientific Progress & Innovations.* 2013. Вип. 3. С. 56–60. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.03.09>.

109. Філоненко Т. А., Дегтярьов В. В. Уміст гумусу в чорноземах типових за різних систем землеробства в умовах органічного й традиційного землеробства. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва.* 2020. Вип. 1. С. 5–11.

110. Фомішина В. М., Федорова Н. Є., Огородник Р. П., Батура І. С. Дослідження кон'юнктури світового ринку кукурудзи та визначення місця України на ньому. *Вісник ЛТЕУ. Економічні науки.* 2022. Вип. 66. Р. 22–28.

111. Цандур М. О. Наукові основи землеробства Південного Степу України. Одеса: Папірус, 2006. 180 с.

112. Цвик Т. І. Оцінка структурно-агрегатного стану ґрунтів за різних умов агрогенного навантаження. *Modern technologies of human development: The VIII International Scientific and Practical Conference (November 06–08, 2023)*, Bordeaux, France. P. 24.

113. Центи́ло Л. В., Цюк О. А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 1. С. 147–153. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.19>.

114. Циков В. С., Матюха Л. П. Бур'яни: шкодочинність і система захисту. Дніпропетровськ: ТОВ Енем, 2006. 86 с.

115. Циліорик О. І. Вплив способів основного обробітку чистого пару на агрофізичні властивості та водний режим ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2009. № 71. С. 31–36.

116. Циліорик О. І., Судак В. М., Шапка В. П. Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту на фоні суцільного мульчування післяжнивними рештками. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2015. № 8. С. 66–72

117. Цюк О. А., Центи́ло Л. В., Мельник В. І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. *Біоресурси і природокористування. Агрономія*. 2018. Т. 10, № 5–6. С. 139–145. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.017>.

118. Цюк О. А. Агрофізичні властивості ґрунту під посівами буряків цукрових за умов екологізації землеробства. *Цукрові буряки*. 2016. Вип. 3. С. 7–9.

119. Черчель В. Ю., Борисова В. В., Дзюбецький Б. В., Сатарова Т. М. Оцінка різних типів гібридів кукурудзи за генетичними дистанціями та ступенем гетерозису. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 8. С. 33–37.

120. Черчель В. Ю., Стасів О. Ф., Боденко Н. А., Купар Ю. Ю. Екологічна стабільність урожайності зерна гібридів кукурудзи визначальна умова підвищення валового виробництва. *Сільське господарство та лісівництво*.

Збірник наукових праць. 2020. № 4(19). С. 177–195. <https://doi.org/10.37128/2707-5826>.

121. Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Оцінка адаптивної здатності та екологічної стабільності скоростиглих гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) в контрастних умовах випробування. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2016. Вип. 6(3). С. 18–25.

122. Шевченко М. В., Коміссал О. П. Вивчення нових способів основного обробітку ґрунту під соняшник в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Вісник ХДАУ*. 1998. № 2. С. 123–127.

123. Шевченко М.В., Дьомкін О.О. Ґрунтозахисна ефективність та вплив чизельного обробітку ґрунту на агрофізичні показники чорнозему типового. *Вісник ХНАУ. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2018. № 1. С. 110–116.

124. Шевченко М. В. Вплив способів обробітку та гербіцидів на врожайність просапних культур в Лівобережному Лісостепу. *Науковий проспект Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 20. С. 138–142.

125. Шевченко М. В. Наукові основи систем обробітку ґрунту в умовах нестійкого та недостатнього зволоження: монографія. Харків: ХНАУ, Майдан, 2019. 210 с.

126. Шевченко М. К. Мінімізуємо обробіток ґрунту. Що маємо? *Кукурудза. Фермерське господарство*. 2006. № 47. С. 12–15.

127. Шимкова М. Світовий ринок кукурудзи та місце України на ньому. URL: <https://pricereview.com.ua/articles/svitovij-rinok-kukurudzi-ta-misce-ukraini-na-nomu>.

128. Шувар І. А., Снітинський В. В., Бальковський В. В. Екологічні основи збалансованого природокористування: навч. посіб. Львів-Чернівці: Книги-XXI, 2011. 760 с.

129. Юркевич Є. О., Валентюк Н. О., Албул С. І. Особливості формування структурно-агрегатного складу ґрунту під час вирощування кукурудзи за

системи органічного землеробства в Придунайському Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 79–86. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.12>.

130. Юркевич Є. О., Валентюк Н. О., Албул С. С. Зміни щільності ґрунту у посівах кукурудзи за системи органічного землеробства в умовах Придунайського Степу України. *Таврійський науковий вісник Землеробство, рослинництво, овочівництво та багтанництво*. 2020. № 116. Ч. 2. С. 95–102. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.14>.

131. Юркевич Є. О., Коваленко Н. П., Бакума А. В. Агробіологічні основи сівозмін Степу України: монографія. Одеса: Одеське видавництво «ВМВ», 2011. 240 с.

132. Якунін О. П., Храмцов Л. І., Трубілов О. В. Вплив способу основного обробітку ґрунту на формування врожайності зерна кукурудзи. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. Сільськогосподарська екологія. Рослинництво. Землеробство. Селекція*. 2015. Вип. 3. С. 29–31.

133. Яцук І. П., Дегтярьов В. В., Тихоненко Д. Г., Горін М. О. Моніторинг ґрунтів природних та агроєкосистем як наукова основа збереження ґрунтового різноманіття. *Агроєкологічний журнал*. 2016. Вип. 4. С. 57-66. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271211>.

134. Adderley W. P., Wilson C. A., Simpson I. A., Davidson D. A. Anthropogenic features. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Eds. by G. Stoops, V. Marcelino, F. Mees. 2019. Chapter 26. P. 753–777.

135. Afzalinia S., Khosravani A., Javadi A., Mohammadi D., Alavimanesh S. M. Effect of tillage and planting methods on the soil properties, grain drill performance, and wheat yield. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012. Vol. 2. 537 p.

136. Aggregate stability and physical protection of soil organic carbon in semi-arid steppe soils / M. Wiesmeier et al. *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63. P. 22–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01418.x>.

137. Agro-ecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the forest steppe of western Ukraine / N. Ivaniuk et al. *Journal*

of *Elementology*. 2021. Vol. 26(2). P. 433–445.
<https://doi.org/10.5601/jelem.2021.26.1.2120>.

138. Aksakal E. L., Angin I., Sari S. A new approach for calculating aggregate stability. *Mean weight aggregate stability*. 2020. Vol. 194. P. 104708.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104708>.

139. Angebag G. A., Maree P. C. J. The effect of tillage on root environment, plant development and yield of wheat (*Triticum aestivum*) in stony soil. 11th International soil tillage research organization conference. 1988. Vol. 2. Edinburg, Scotland. P. 531–536.

140. Antapa P. L., Angen T. V. Tillage practices and residue management in Tanzania. *Organic-matter Management and Tillage in Humid and Sub-humid Africa*. 1990. P. 49–57.

141. Baker C.J, Saxton K.E., Ritchie W.R No-tillage seeding: science and practice. 2nd edn. 2002 Oxford, UK:CAB International.

142. Balsalobre-Lorente D., Shahbaz M., Roubaud D., Farhani S. How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions? *Energy Policy*. 2018. Vol. 113. P. 356–367.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>.

143. Baran M. F., Gokdogan O. Comparison of energy use efficiency of different tillage methods on the secondary crop corn silage production. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2016. Vol. 25(9). P. 3808–3814.

144. Barré P., McKenzie B. M., Hallett P. D. Earthworms bring compacted and loose soil to a similar mechanical state. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41(3). P. 656–658. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.12.015>.

145. Barut Z. B., Ertekin C., Karaagaç H. A. Tillage effects on energy use for corn silage in mediterranean coastal of Turkey. *Energy*. 2011. Vol. 36. P. 5466–5475.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.035>.

146. Barut Z., Celik I. Tillage effects on some soil physical properties in semi-arid Mediterranean region of Turkey. *Chemical Engineering Transactions*. 2017. Vol. 58. P. 217–222. <https://doi.org/10.3303/CET1758037>.

147. Bauder J. W., Randall G. W., Swan J. B. Effects of four continue tillage systems on mechanical impedance of a clay-loam soil. *Soil Science Society of America Journal*. 1981. Vol. 45. P. 802–806. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500040026x>.
148. Béguin P., Aubert J. P. The biological degradation of cellulose. *FEMS microbiology reviews*. 1994. Vol. 13, № 1. P. 25–58. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6976.1994.TB00033.X>.
149. Bengough A. G., McKenzie B. M., Hallett P. D., Valentine T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62(1). P. 59–68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>.
150. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India / K. G. Mandal et al. *Biomass and bioenergy*. Vol 23(5). P. 337–345. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00058-2).
151. Boxberger J., Moitzi G., Schlichtner H., Wagentristl H. Produktionskosten und Erträge bei Anwendung alternativer Bodenbearbeitungsstrategien. *Wintertagung–Ackerbautag II Hollabrunn*. 2005. P. 1–7.
152. Brankatschk G., Finkbeiner M. Modeling crop rotation in agricultural LCAs. Challenges and potential solutions. *Agricultural Systems*. 2015. Vol. 138. P. 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.008>.
153. Bronick C. J., Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 2005. Vol. 124(1-2). P. 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
154. Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2011. Vol. 9(2). P. 207–209.
155. Canakci M., Topakci M., Akinci I., Ozmerzi A. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy conversion and Management*. 2005. Vol. 46(4). Pp. 655–666. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008>.

156. Carisson G., Huss-Daneli K. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 253(2), P. 353–372. <https://doi.org/10.1023/A:1024847017371>.

157. Carman K., Cıtlı E., Marakoglu T. Energy use efficiency of strip tillage systems for corn silage production in Middle Anatolia. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2021. Vol. 23(2). P. 293–306.

158. Çerçioğlu M., Anderson S. H., Udawatta R. P., Alagele S. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. *Geoderma*. 2019. Vol. 343. P. 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.027>.

159. Chan K. Y., Heenan D. P., So H. B. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2003. Vol. 43(4), P. 325–334. <https://doi.org/10.1071/EA02077>.

160. Changes in agricultural land requirements for food provision in China 2003–2011: A comparison between urban and rural residents / L. Jiang et al. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 725, 138293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138293>.

161. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction / S. Grzesiak et al. *Environmental and Experimental Botany*. 2013. Vol. 88. P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.01.010>.

162. Changes in soil physical and mechanical properties under different tillage and cropping systems in alfisol soil of southwestern Nigeria / F. F. Akinola et al. *Farming System*. 2023. Vol. 1(3). <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100050>.

163. Chisel tillage under spring barley in the Forest-Steppe / Y. Syromyatnikov et al. *Acta Technologica Agriculturae*. 2024. Vol. 27(1). P. 30–34. <https://doi.org/10.2478/ata-2024-0005>.

164. Ćirić V., Manojlović M., Nešić Lj., Belić M. Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant*

Nutrition. 2012. Vol. 12. P. 689–703. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025>.

165. Comb former parameters for a cotton seeder / F. Mamatov et al. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 9. P. 4824–4826. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A2932.109119>.

166. Combined machine for preparing soil for cropping of melons and gourds / B. Mirzaev et al. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. Vol. 403. 012158. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012158>.

167. Compaction of a silt loam by wheeled agricultural vehicles. Effects on growth and yield of direct-drilled winter wheat / J. P. Graham et al. *Soil & Tillage Research*. 1986. Vol. 7(3). P. 189–203. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(86\)90463-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(86)90463-0).

168. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review / E. Scopel et al. *Agronomy for sustainable development*. 2013. Vol. 33. P. 113–130. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9>.

169. Corn productivity and soil characteristic alterations following transition from conventional to conservation tillage / R. K. Afshar et al. *Soil and Tillage Research*. 2022. Vol. 220. 105351. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105351>.

170. Correa J., Postma J. A., Watt M., Wojciechowski T. Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70(21). P. 6019–6034. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz383>.

171. Crop capacity and quality of soybean grain depending on seed sowing rate and width of inter-rows / A. O. Rozhkov et al. *Psychology and education*. 2021. Vol. 58(4). P. 3282–3299.

172. Crop capacity and quality of soybean grain depending on seed sowing rate and width of inter-rows / A. O. Rozhkov et al. *Psychology and education*. 2021. Vol. 58(4). P. 3282–3299.

173. Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming / K. Hartman et al. *Microbiome*. 2018. Vol. 6(14). <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0389-9>.

174. Decision № 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 ‘Living Well, within the Limits of Our Planet’ URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013D1386>.

175. Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical hapludult under citrus orchard / J. C. Medeiros et al. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2013. Vol. 37(4), P. 911–919. <http://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400008>.

176. Dehtiarova Z. Nutrient regime of the soil depending on the share of sunflower in short-rotational crop. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27. № 2. Pp. 87–95. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87>.

177. Deike S., Pallutt B., Melander B., Strassemeyer J., Christen O. Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: a case study of two long-term field experiments in Germany and Denmark. *European Journal of Agronomy*. 2008. Vol. 29. P. 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.06.001>.

178. Didenko N., Lavrenko S., Lavrenko N. et. al. Economic efficiency of corn grain cultivation with the new technologies of tillage and irrigation / N. Didenko et al. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2022. Vol. 22(3). P. 187–194.

179. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming / M. Hartmann et al. *The ISME Journal*. 2015. № 9(5). P. 1177–1194. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>.

180. Dobek T. Efektywność ekonomiczna produkcji ziemniaków jadalnych w wybranych gospodarstwach. *Inżynieria rol.* 2006. T. 10, № 2. P. 239–246. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR8-0008-0037>

181. Domuta C., Sandor M., Ciobanu G. et al. Influence of the crop system on soil erosion and on the soil physical properties under the Romanian north-western area conditions. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2012. Vol. 13(2). P. 736–745.

182. Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stroganov A. spatial modeling of the effects of deflation destruction of the Steppe Soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21(2). P. 166–177. <https://doi.org/10.12911/22998993/116321>.

183. Dymytrov S. H., Sabluk V. T. Improving of soil structural and aggregate state through mycorrhization of the crop root system by mycorrhizaforming fungi. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology*. 2022. Vol. 48(2). P. 59–62. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.9>.

184. Eco-balance of soil tillage systems to restore and increase soil fertility / T. O. Chaika et al. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2019. Vol. 3. P. 92–102.

185. Economic and energetic evaluation of sustainable tillage and cereal sowing technologies in Lithuania / E. Sarauskis et al. *Rural Development*. 2009. Vol. 4(1). P. 280–285.

186. Effect of fragmentation and pacing at spot ploughing on dry soils / B. Mirzaev et al. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 135. 01065. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501065>.

187. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe / J. Lipiec et al. *Inter-national Agrophysics*. 2003. Vol. 17(2). P. 61–69.

188. Effects of different tillage practices on the carbon footprint of wheat and maize production in the Loess Plateau of China / L. He et al. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 234. P. 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.161>

189. Effects of sunflower residue management options on productivity and profitability of succeeding rice under different crop establishment methods /

T. R. Sahoo et al. *Field Crops Research*. 2023. Vol. 290. 108763. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108763>.

190. Elements of plant productivity and biological yield capacity of grain sorghum hybrids depending on the inter-row width and seed sowing rate / S. Davydenko et al. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25(6). P. 55–64. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(6\).2022.55-64](https://doi.org/10.48077/scihor.25(6).2022.55-64)

191. Elfadil A. D., Salih H. A. Effect of soil compaction on shoot and root development and nutrients uptake of sesame plant. *European Academic Research*. 2017. Vol. 5(7). P. 3054–3064.

192. Energy efficiency of maize production technology: evidence from Polish farms / A. Konieczna et al. *Energies*. 2021. Vol. 14(1). 20 p. <https://doi.org/10.3390/en14010170>.

193. Energy efficiency of sweet corn cultivation at drip irrigation in dependence on depth of plowing, fertilization and plants density / R. Vozhehova et al. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020. Vol. 26(4). https://journal.agrojournal.org/page/en/details.php?article_id=3011.

194. Energy savings in agricultural machinery and mechanization. Eds. by: G. Pellizzi, A. Guidobono-Cavalchini, M. Lazzari. Elsevier Applied Science, London-New York, 1988. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1365-3>.

195. Falkowski P. G., Fenchel T., Delong E. F. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science*. 2008. Vol. 320(5879). P. 1034–1039. <https://doi.org/10.1126/science.1153213>.

196. Field K. J., Daniell T., Johnson D., Helgason, T. Mycorrhizal mediation of sustainable development goals. *Plants, People, Planet*. 2021. Vol. 3(5). P. 430–432. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10223>.

197. Fierer N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature reviews microbiology*. 2017. Vol. 15. P. 579–590. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>.

198. Filipovic D., Kosutic S., Gospodaric Z., Zimmer R., Banaj D. The possibilities of fuel saving and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2006 Vol. 115, P. 290–294.

199. Filonenko S. V., Tyshchenko M. V. Winter wheat yield capacity in short-rotation rowcrop succession depending on fertilization and basic soil tillage. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2020. Vol. 3. P. 61–69. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.07>.

200. Filonenko S. V. Formation of grain productivity of maize under different soil tillage. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2013. Vol. 3. P. 56–60. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.03.09>

201. Formation of biometric indicators and yield level of corn hybrids by maturity groups / A. V. Bahan et al. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*. 2022. Vol. 77. P. 5–8. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.1>.

202. Formation of soil microflora in *Trifolium pratense*'s agrocenosis depending on the method of tillage / I. Shuvar et al. *Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture: International Scientific and Practical Conference*. 2021. Vol. 36. 03008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213603008>.

203. Franzluebbbers A. J., Francis C. A. Energy output: input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. *Agriculture, ecosystems & environment*. 1995. Vol. 53(3). P. 271–278. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00568-Y](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00568-Y)

204. Fungal community profiles in agricultural soils of a long-term field trial under different tillage, fertilization and crop rotation conditions analyzed by high-throughput ITS-amplicon sequencing / L. Sommermann et al. *PLoS One*. 2018. Vol. 13(4). e0195345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195345>.

205. Gajic B., Durovic N., Dugalic G. Composition and stability of soil aggregates in Fluvisols under forest, meadows and 100 years of conventional tillage.

Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2010. Vol. 173. P. 502–509. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700368>.

206. Gangur V. V., Yeremko L. S., Rudenko V. V. The impact of cultivation technology elements on productivity formation in maize hybrids of different maturity groups. *Taurian Scientific Herald*. 2021. Vol. 117. P. 37–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6>.

207. Garbeva P., van Veen J. A., Van Elsas J. D. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu Rev Phytopatho*. 2004. Vol. 42. P. 243–270. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.012604.135455>.

208. Gilley J., Doran J. Tillage effects on soil erosion potential and soil quality of a former Conservation Reserve Program site. *Soil and Water Conservation*. 1997. Vol. 52. P. 184–188.

209. Global diversity and geography of soil fungi / L. Tedersoo et al. *Science*. Vol. 346(6213). 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1256688>.

210. Gomma M. R., Gibbons A. K., Ei D. Maize grain yield as influenced by nitrogen levels with and without organic manures under different tillage systems. *Annals of Agricultural Sciences*. 2002. Vol. 40. P. 723–739.

211. Górka K. Zasoby Naturalne Jako Czynniki Rozwoju Społeczno-Gospodarczego. *Gospodarka w Praktyce i Teorii*. 2014. T. 36, № 3. P. 35–51. <https://doi.org/10.18778/1429-3730.36.03>.

212. Grayston S. J., Wang S., Campbell C. D., Edwards A. C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol Biochem*. 1998. Vol. 30. P. 369–378. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00124-7).

213. Grunwald S., Rooney K., McSweeney, Lowery B. Development of pedotransfer functions for a profile cone penetrometer. *Geoderma*. 2001. Vol. 100. P. 25–47. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00079-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00079-3).

214. Gul B., Marwat K. B., Hassan G., Khan A., Hashim S., Khan I. A. Impact of tillage, plant population and mulches on biological yield of maize. *Pakistan Journal of Botany*. 2009. Vol. 41(5). P. 2243–2249.

215. Habtegebrail K., Singh B. R., Haile M. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 94(1). P. 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.002>.

216. Håkansson I. Soil tillage for crop production and for protection of soil and environmental quality: A Scandinavian viewpoint. *Soil and Tillage Research*. 1994. Vol. 30(2-4). P. 109–124. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90002-7).

217. Halvorson A. D., Wienhold B. J., Black A. L. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*. 2001. Vol. 93(4). P. 836–841. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934836x>.

218. Hanhur V. V., Len O. I., Hanhur N. V. Effect of minimizing soil tillage on moisture supply and spring barley productivity in the zone of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2021. Vol. 1. P. 128–134. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.15>.

219. Hanhur V. V., Len O. I., Hanhur N. V. Impact of different tillage systems on soil nutrient regime in the field of winter wheat and spring barley in the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2022. Vol. 1. P. 38–44. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.04>.

220. Hanhur V., Rudenko V. Biometric parameters of plants and maize (*Zea mays* L.) productivity depending on sowing period. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26(3). P. 36–41. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07>.

221. Hartmann M., Six J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023. Vol. 4(1). P. 4–18. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00366-w>.

222. Heggin D. Reduced tillage. FiBL. 2015. 20 p.

223. Hernanz L. J., Ortiz-Canavate J. Energy saving in crop production. Ed. by O. Kitani. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. 1999. Vol. 5. P. 24–39.

224. Hetz E. J. Energy utilization in Chilean agriculture. 1992. Vol. 23. № 2. P. 52–56. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19922454481>.

225. Hill R. L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*. 1990. Vol. 54. P. 161–166. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010025x>.
226. Hillel D. Environmental soil physics. 1998 San Diego, CA:Academic Press.
227. Hillel D. Out of the earth: civilization and the life of the soil. 1992. New York, NY:Free Press.
228. Hobbs P. R., Sayre K., Gupta R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008. Vol. 363(1491). P. 543–555. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>.
229. Horne D. J., Ross C. W., Hughes K. A. Ten years of maize/oats rotation under three tillage systems on a siltloam soil in New Zealand. A comparison of some soil properties. *Soil and Tillage Research*. 1992. Vol. 22. P. 131–143. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(92\)90027-9](https://doi.org/10.1016/0167-1987(92)90027-9).
230. Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities / D. Babin et al. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 129. P. 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>.
231. Impact of organic cultivation technology of fiber hemp (*Cannabis Sativa L.*) on soil agrochemical and bioecological properties / A. Rozhkov et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(12). P. 356–365. <https://doi.org/10.12911/22998993/174092>.
232. Impact of short-term organic amendments incorporation on soil structure and hydrology in semiarid agricultural lands / L. Dong et al. *International Soil and Water Conservation Research*. 2022. Vol. 10(3). P. 457–469. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.10.003>.
233. Improvement of the design of the plow-subsoiler-fertilizer to increase soil fertility / N. Romanyuk et al. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 106. P. 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.01.001>.

234. Increased topsoil depth required to support increased grain yield production in high density maize / X. Zhang et al. *Field Crops Research*. 2024. 308 p. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109282>.

235. Influence of agrotechnical practices and sowing time in various weather on soybean yield / Y. Syromyatnikov et al. *Acta Technologica Agriculturae*. 2023. Vol. 26(1). P. 9–16. <https://doi.org/10.2478/ata-2023-0002>.

236. Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops / M. Horobets et al. *International Journal of Botany Studies*. 2021. Vol. 6, № 2. P. 340–345.

237. Influence of pre-sowing application of mineral fertilizers, root and foliar nutrition on productivity of winter triticale plants / O. Bielashov et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23(6). P. 1–14. <https://doi.org/10.12912/27197050/152118>.

238. Integrating of GIS and GPS for ionospheric perturbations in d- and f-layers using vlf receiver / B. J. Ahmedov et al. *InterCarto. InterGIS*. 2020. Vol. 26. P. 547–560. <http://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-1-26-547-560>.

239. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe / M. A. Tsiafouli et al. *Global change biology*. 2015. Vol. 21(2). P. 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>.

240. Jarvis P. E., Woolford A. E. Economic and ecological benefits of reduced tillage in the UK. *Frank Parkinson Agricultural Trust, Game & Wildlife Conservation Trust*. 2017. 1–13.

241. Jastrow J. D., Boutton T. W., Miller R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*. 1996. Vol. 60. P. 801–807. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000030017x>

242. Justification of machine parameters for ridge forming with simultaneous application of fertilizers / F. Mamatov et al. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 883. 012165. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012165>.

243. Kachinsky N. A. Soil properties as a factor determining the working conditions of agricultural machines. *Soil Science*. 1937. Vol. 8. P. 1119–1138.
244. Khatri-Chhetri A., Aggarwal P. K., Joshi P. K., Vyas S. Farmers' prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 151. P. 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.005>.
245. Köller K. Soil Tillage. Eds. by: H. J. Matthies, F. Meier. *Yearbook Agricultural Engineering*. Münster, Germany, 2004. P. 83–88.
246. Kudria S. I. Effects of hydrothermal conditions on agrophysical properties of typical chernozem and crop rotation productivity in the system of organic farming. *Land Reclamation and Water Management*. 2020. Vol. 2. P. 70–80. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-250>.
247. Kuhwald M., Dörnhöfer K., Oppelt N., Duttmann R. Spatially explicit soil compaction risk assessment of arable soils at regional scale: The SaSCiA-model. *Sustainability*. 2018. Vol. 10(5). P. 16–18. <https://doi.org/10.3390/su10051618>.
248. Laboski C. L., Dowley R. H., Allmaras R. R., Lamb J. A. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant and Soil*. 1998. Vol. 203(2). P. 239–247. <https://doi.org/10.1023/A:1004391104778>.
249. Lal R. Managing world soils for food security and environmental quality. *Adv. Agron.* 2001. Vol. 74. P. 155–192.
250. Larkin R. P. Soil health paradigms and implications for disease management. *Annual Reviews of Phytopathology*. 2015. № 53. P. 199–221. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120357>.
251. Lehmann A., Zheng W., Rillig M. C. Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature ecology & evolution*. 2017. № 1(12). P. 1828–1835. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0344-y>.
252. Lehmann J., Bossio D. A., Kögel-Knabner I., Rillig M. C. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2020. № 1(10). P. 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
253. Len O. I., Totskyi V. M., Hanhur V. V., Yeremko L. S. The effect of fertilization system and primary soil tillage on the productivity of corn hybrids. *Bulletin*

of *Poltava State Agrarian Academy*. 2021. Vol. 2. P. 52–58.
<https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06>.

254. Li Y., Zhang Q., Cai Y., Yang Q., Chang S. X. Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 716, 137164.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137164>.

255. Longitudinal survey of microbiome associated with particulate matter in a megacity / N. Qin et al. *Genome biology*. 2020. № 21(1). P. 1–11.
<https://doi.org/10.1186/s13059-020-01964-x>.

256. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on selected soil micro-flora groups in the subtropical highlands / B. Govaerts et al. *Applied soil ecology*. 2008. Vol. 38(3). P. 197–210.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.10.009>.

257. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil / K. Enwall et al. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39(1). P. 106–115.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.015>.

258. Lupwayi N. Z., Arshad M. A., Rice W. A., Clayton G. W. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. *Applied Soil Ecology*. 2001. Vol. 16(3). P. 251–261.
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00123-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00123-2).

259. Lychuk T. E. Crusting and sealing as soil degradation processes in North-Western Region of Ukraine: formation reasons and prevention methods. *Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science*. 2006. P. 14.

260. Lynd L. R., Weimer P. J., Van Zyl W. H., Pretorius I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews*. 2002. Vol. 66, № 3. P. 506–577.
<https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>.

261. Maity P., Aggarwal P., Dey P. Model for calculation of penetration resistance from easily measurable soil physical properties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2013. Vol. 83(3). P. 294–299.
262. Malecka I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Dobrzeniecki T. The effect of various long-term tillage systems on soil properties and spring barley yield. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2012. Vol. 36(2). P. 217–226. <https://doi.org/10.3906/tar-1104-20>.
263. Malinović N, AnĀelković S, Meši M. Ecological and energy aspects of various tillage technologies. In. Proc. The fifth scientific expert assembly ‘InterRegioSci 2010’. 2010. P. 23–24.
264. Mamatov F. M., Eshdavlatov E., Suyuno A. Continuous Feed Mixer Performance. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020. Vol. 12. P. 2195–2200.
265. Marakođlu T., Āarman K. A. Comparative study on energy efficiency of wheat production under different tillage practices in middle Anatolia of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2017. Vol. 26(5). P. 3163–3169. URL: http://www.prt-parlar.de/download_feb_2017/
266. Marin D. I., Mihalache M., Ciontu C., Bolohan C., Ilie L. Influence of soil tillage of pea, wheat and maize crop in the Moara Domneasca-Ilfov area. *Soil Minimum Tillage System*. In 5th International Symposium. 2011. P. 111–118.
267. Microbial communities associated with long-term tillage and fertility treatments in a corn-soybean cropping system / A. Y. Srour et al. *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. 1363. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01363>.
268. Mirzaev B., Mamatov F., Avazov I., Mardonov S. Technologies and technical means for anti-erosion differentiated soil treatment system. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. 05036. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705036>.
269. Moitzi G., Neugschwandtner R. W., Kaul H., Wagentristl H. Comparison of energy inputs and energy efficiency for maize in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions. *Plant Soil Environ*. 2021. Vol. 67(5). P. 299–306. <https://doi.org/10.17221/67/2021-PSE>.

270. Moitzi G., Thünauer G., Robier J., Gronauer A. Energieeinsatz und Energieeffizienz in der Körnermaisproduktion bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung in der Südsteiermark. *Die Bodenkultur. Journal for Land management, food and environment*. 2015. Vol. 66(1-2). P. 25–37.

271. Munyanziza E., Kehri H. K., Bagyaraj D. J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. *Applied soil ecology*. 1997. Vol. 6(1), P. 77–85. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00152-7).

272. Mycorrhiza as a biotic factor, influencing the ecosystem stability / I. Yasnolob et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8(1). P. 363–370.

273. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Mid-western soils / D. L. Dinnes et al. *Agronomy Journal*. 2002. Vol. 94(1). P. 153–171. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1530>.

274. No-tillage and minimum tillage-their impact on soil compaction, water dynamics, soil temperature and production on wheat, maize and soybean crop / T. Rusu et al. *Bulletin UASVM Agriculture*. 2011. Vol. 68(1). P. 318–323.

275. No-tillage improvement of soil physical quality un calcareous, degradation prone semiarid soils / O. Fernandez-Ugalde et al. *Soil and Tillage Research*. 2009. Vol. 106(1). P. 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.012>.

276. No-tillage seeding in conservation agriculture / C. J. Baker et al. 2nd edn. Oxford, UK: CAB International, 2006.

277. Nutrient balance of sod–podzolic soil depending on the productivity of meadow agrophytocenosis and fertilization / U. Karbivska et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23(2), P. 70–77. <https://doi.org/10.12912/27197050/144957>.

278. Olsson S., Alström S. Characterisation of bacteria in soils under barley monoculture and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry*. 2000. Vol. 32(10). P. 1443–1451. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00062-6).

279. Optimisation of crop rotations: A case study for corn growing practices in foreststeppe of Ukraine / M. Romashchenko et al. *Journal of Water and Land*

Development. 2023. Vol. 2023, № 56. P. 194–202.
<https://doi.org/10.24425/jwld.2023.143760>.

280. Organic carbon content in the old-arable soils of the Ukrainian Polissia Forest ecosystems / S. P. Raspopina et al. *European Association of Geoscientists & Engineers*. 2019 Vol. 2019, № 1.P. 1–5.

281. Penetration resistance and agronomic characteristics of soybean affected by soil management and sowing speed systems / J. W. G. Cortez et al. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 36(4). P. 664–672.
<https://doi.org/10.1590/1809-4430>.

282. Pereira P., Bogunovic I., Muñoz-Rojas M., Brevik E. C. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Environmental Science & Health*. 2018. Vol. 5. P. 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>.

283. Phipps R. H., Pain B. F., Mulvany P. M., A comparison of the energy output/input relationship for forage maize and grass leys on the dairy farm. *Agriculture and Environment*. 1976. Vol. 3. P. 15–20. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(76\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0304-1131(76)90003-5).

284. Pikovska O. Changes in antideflation resistance of chernozem typical under different tillage and fertilizers. *Plant & Soil Science* 2021. Vol. 12(1). P. 86–93. <https://doi.org/10.31548/agr2021.01.0086>.

285. Pishgar-Komleh S. H., Keyhani A. R., Rafiee Sh., Sefeedpari P., Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in tehran province of Iran. *Energy*. 2011. Vol. 36. P. 3335–3341. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.029>.

286. Post W. M., Kwon K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 2000. Vol. 6. P. 317–328. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>.

287. Post-harvest siderates and soil hardness / Y. Mishchenko et. al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23(3). P. 54–63. <https://doi.org/10.12912/27197050/147148>.

288. Preceding crop and tillage system affect winter survival of wheat and the fungal communities on young wheat roots and in soil / H. Friberg et al. *FEMS Microbiology Letters*. 2019. Vol. 366(15). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz189>.

289. Productivity of tillage loosening and separating machines in an aggregate with tractors of various capacities / Y. Syromyatnikov et al. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 98. P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.09.002>.

290. Pysarenko P.V., Chaika, T.O., Tsiova, Y.A. Soil cultivation technologies and their impact on soil quality in organic farming: materials of the 3th International Scientific and Practical Conference. Poltava: PDAA, 2016. P. 43–50.

291. Research and development of a combined unit for tillage with a layer turnover / B. Tarasenko et al. *Journal of Terramechanics*. 2022. Vol. 99. P. 29–33. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.11.002>.

292. Research of the penetration process of the frontal plow / F. Mamatov et al. *Journal of Physics*. 2021. Vol. 1779, 012002. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1779/1/012002>.

293. Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations / J. Esperschütz et al. *FEMS Microbiology Ecology*. 2007. Vol. 61(1). P. 26–37. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00318.x>.

294. Revyakin Yu. Application of the Goryachkin density meter to control the quality of tillage. *Dokl. TSCA*, 1956. Vol. 12. P. 11–14.

295. Reynolds S. G. The Gravimetric method of soil moisture determination. A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*. 1970. № 11. P. 258–273.

296. Rodríguez-Caballero E., Cantón Y., Chamizo S., Afana, A., Solé-Benet A. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology*. 2012. № 145, P. 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.042>.

297. Romaneckas K., Pilipavičius V., Šarauskis E., Sakalauskas A. Effect of sowing depth on emergence and crop establishment of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2009. Vol. 7(2). P. 571–575.
298. Rusu T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. *International Soil and Water Conservation Research*. 2014. Vol. 2(4). P. 42–49. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30057-5](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30057-5).
299. Sekaran U., Sagar K. L., Kumar S. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 208, P. 104885. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104885>.
300. Sharma-Poudyal D., Schlatter D., Yin C. et al. Long-term no-till: a major driver of fungal communities in dryland wheat cropping systems / D. Sharma-Poudyal et al. *PLoS One*. 2017. Vol. 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184611>.
301. Shelton D. P., Diki E. C. Approximate calculation of the plant residues covering. *Systems and methods of rational land using*. 1998. P. 30–36.
302. Shevchenko S., Derevenets-Shevchenko K., Desyatnyk L., Shevchenko M., Sologub I., Shevchenko O. Tillage effects on soil physical properties and maize phenology. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81(1). P. 393–402. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320032>
303. Shukla M. K., Lal R., Owens L. B., Unkefer P. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Science*. 2003. Vol. 168(3). P. 167–177. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000058889.60072.aa>.
304. Sinanaj B., Bidartondo M. I., Pressel S., Field K. J. Molecular evidence of Mucoromycotina «fine root endophyte» fungi in agricultural crops. *Biology and Life Sciences Forum*. 2020. Vol. 4(1). P. 88. <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08728>.
305. Singh H., Mishra D., Nahar N. M. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone. *Energy conversion and management*. 2002. Vol. 43(16). P. 2275–2286. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00161-3).

306. Singh R., Serawat M., Singh A., Babli A. Effect of tillage and crop residue management on soil physical properties. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*. 2018. Vol. 10(2). P. 200–206.
307. Sirhan A., Snobar B., Baltikhi A. Management of primary tillage operation to reduce tractor fuel consumption. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2002. Vol. 33. № 4. P. 9–11.
308. Six J., Elliott E. T., Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*. 1999. Vol. 63(5). P. 1350–1358. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351350x>.
309. Six J., Elliott E. T., Paustian K., Doran J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1998. Vol. 62. P. 1367–1377. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x>.
310. Sleiderink J., Deru J. G., van der Weide R., van Eekeren N. Effects of reduced tillage and prolonged cover cropping in maize on soil quality and yield. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 244. 106196. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106196>.
311. Soil aggregation and intra-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau, China / M. Cheng et al. *Catena*. 2015. Vol. 124. P. 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.006>.
312. Soil and the intensification of agriculture for global food security / P. M. Kopittke et al. *Environment international*. 2019. Vol. 132. 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.
313. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview / A. Shah et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. P. 10056–10067. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>.
314. Soil compaction-induced changes of physicochemical properties of cereal roots / A. Szatanik-Kloca et al. *Soil and Tillage Research*. 2018. Vol. 175. P. 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.016>.

315. Soil degradation and soil quality in Western Europe: current situation and future perspectives / I. Virto et al. *Sustainability*. 2015. Vol. 7(1). P. 313–365. <http://doi.org/10.3390/su7010313>.
316. Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: an analytical framework / K. Prager et al. *Land Degradation & Development*. 2010. № 22. P. 32–46.
317. Soil moisture estimation using gravimetric technique and FDR probe technique: a comparative analysis / A. Shukla et al. *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*. 2014. Vol. 8. P. 89–92.
318. Soil quality – a critical review / E. K. Bünemann et al. *Soil biology and biochemistry*. 2018. Vol. 120. P. 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
319. Soil resistance and bulk density under different tillage system / M. Stošić et al. *Poljoprivreda*. 2020. Vol. 26(1), P. 17–24. <https://doi.org/10.18047/poljo.26.1.3>.
320. Soil threats in Europe / J. Stolte et al. Luxembourg: Publications Office, 2015. <https://doi.org/10.2788/828742>.
321. Soil Water Availability on Growth and Development of Safflower Plants / E. M. Bonfim-Silva et al. *American Journal of Plant Sciences*. 2015. Vol. 6. P. 2066–2073. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.613215>.
322. Straw retention combined with plastic mulching improves compensation of intercropped maize in arid environment / W. Yin et al. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 204. P. 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.005>.
323. Substantiation the technology and parameters of the «paraplau» type soil dredger for a two-tier plow / F. Mamatov et al. *E3S Web of Conferences* 2021. Vol. 304, № 03014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403014>.
324. Szalay T., Moitzi G., Weingartmann H., Liebhard P. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf für den Winterweizenanbau im semiariden Produktionsgebiet. *Die Bodenkultur. Journal for Land management, food and environment*. 2015. Vol. 66. P. 39–48.

325. Temporal dynamics of soil microbial communities below the seedbed under two contrasting tillage regimes / F. Degruene et al. *Frontiers in Microbiology*. 2017. № 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01127>.
326. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases / S. Mangalassery et al. *Soil and Tillage Research*. 2013. Vol. 132. P. 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.003>.
327. The effect of soil strength on the yield of wheat / W. R. Whalley et al. *Plant Soil*. 2008. Vol. 306. P. 237–247. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9577-5>.
328. The effect of tillage system and fertilization on corn yield and water use efficiency in irrigated conditions of the South of Ukraine / R. A. Vozhehova et al. *Biosystems Diversity*. 2019. Vol. 27(2). P. 125–130. <https://doi.org/10.15421/011917>.
329. The influence of seed sowing norms rate and row spacing on the yield of sorghum grain grown at eastern forest-steppe of Ukraine / A. Rozhkov et al. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*. 2020. Vol. 7(3). P. 237–255. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2020.110444>.
330. The influence of the methods of main tillage on the yield of maize hybrids in the conditions of the Left Bank Forest Steppe / V. Hanhur et al. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26(4). P. 19–23 <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.04>.
331. The microbiome stress project: toward a global meta-analysis of environmental stressors and their effects on microbial communities / J. D. Rocca et al. *Frontiers in microbiology*. 2019. № 9. 3272. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03272>.
332. The potential role of Mucoromycotina «fine root endophytes» in plant nitrogen nutrition / N. Howard et al. *Physiologia Plantarum*. 2022. Vol. 174(3), e13715. <https://doi.org/10.1111/ppl.13715>.
333. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms / H. P. Bais et al. *Annu Rev Plant Biol*. 2006. Vol. 57. P. 233–266. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>.

334. The stability stroke of cotton seeder moulder / F. Mamatov et al. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 883. 012145. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012145>.

335. The typicality of hydrothermal conditions of the Forest Steppe and their influence on the productivity of crops / D. Litvinov et al. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. Vol. 76(3). P. 84–95. <https://doi.org/10.5755/j01.arem.76.3.25365>.

336. Tillage effects on soil physical properties and maize phenology / M. Shevchenko et al. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81(1). P. 393–402. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320032>.

337. Tillage practices affected yield and water use efficiency of maize by regulating soil moisture and temperature in semi-arid environment / Z. Peng et al. *Water*. 2023. Vol. 15(18). 3243. <https://doi.org/10.3390/w15183243>.

338. Tillage quality affecting physical characteristics, number of plants and carrot root yield under flat and ridge cultivation / O. O. Ponjičan et. al. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2012. Vol. 10(2). P. 304–311.

339. Torstensson L. Role of microorganisms in decomposition. *Interaction between Herbicides and the Soil* / Ed. By R. J. Hance. 1980. P. 159–177.

340. Trognitz F., Hackl E., Widhalm S., Sessitsch A. The role of plant–microbiome interactions in weed establishment and control. *FEMS Microbiology Ecology*. 2016. № 92(10), <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw138>.

341. Troyanovskaya I., Karnaukhov A., Orekhovskaya A., Voinash S. Influence of agrotechnical practices and sowing time in various weather on soybean yield. *Acta Technologica Agriculturae*. 2023. Vol. 26(1). P. 9–16. <https://doi.org/10.2478/ata-2023-0002>.

342. Tyler H. L. Bacterial community composition under long-term reduced tillage and no till management. *Journal of Applied Microbiology*. 2019. Vol. 126(6). P. 1797–1807. <https://doi.org/10.1111/jam.14267>.

343. Ukraine remains a major corn producer despite the war. URL: <https://www.agflow.com/agricultural-markets-news/ukraine-corn-market-my-2022-2023-overview/>

344. United States Department of Agriculture. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/statsByCommodity>.

345. Ussiri D. A. N., Lal R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. *Soil & Tillage Research*. 2009. Vol. 104(1). P. 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>.

346. Uzakov Z. U., Mamatov F. M., Begulov O. Implementation of object-oriented Programming technology in the one-dimensional oil displacement problem. *International Conference on information Science and Communications Technologies*, Tashkent, Uzbekistan. 2019. <http://doi.org/10.1109/ICISCT47635.2019.9012008>.

347. Wang F., Mu X., Li R., Jiao J. Runoff and sediment change based on paired-years with similar precipitation in the Beiluo River. *Journal of Water Resources and Water Engineering*. 2008. Vol. 19(6). P. 24–28.

348. Webster C. P., Donedell R. J., Cannel R. Q. Uptake of labelled nitrate by roots of winter barley on a direct-drilled or ploughed silt loam soil. *Soil and Tillage Research*. 1985. Vol. 5, № 4. P. 381–389. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(85\)80006-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(85)80006-4).

349. Wohl D. L., Arora S., Gladstone J. R. Functional redundancy supports biodiversity and ecosystem function in a closed and constant environment. *Ecology*. 2004. № 85. P. 1534–1540. <https://doi.org/10.1890/03-3050>.

350. Yermakova L. M., Krestianinov Ye. V. Maize yields in reliance on fertilizers and hybrids on dark gray ashed soils. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2016. Vol. 4. P. 63–65. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.04.12>.

351. Yield level and stability in corn hybrids of different ripeness groups / M. V. Kapustian et al. *Plant Breeding and Seed Production*. 2021. № 120. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.251032>

352. Zuber S. M., Behnke G. D., Nafziger E. D., Villamil M. B. Carbon and nitrogen content of soil organic matter and microbial biomass under long-term crop rotation and tillage in Illinois, USA. *Agriculture*. 2018. № 8(3). 37 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture8030037>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Погодні умови під час вегетації кукурудзи

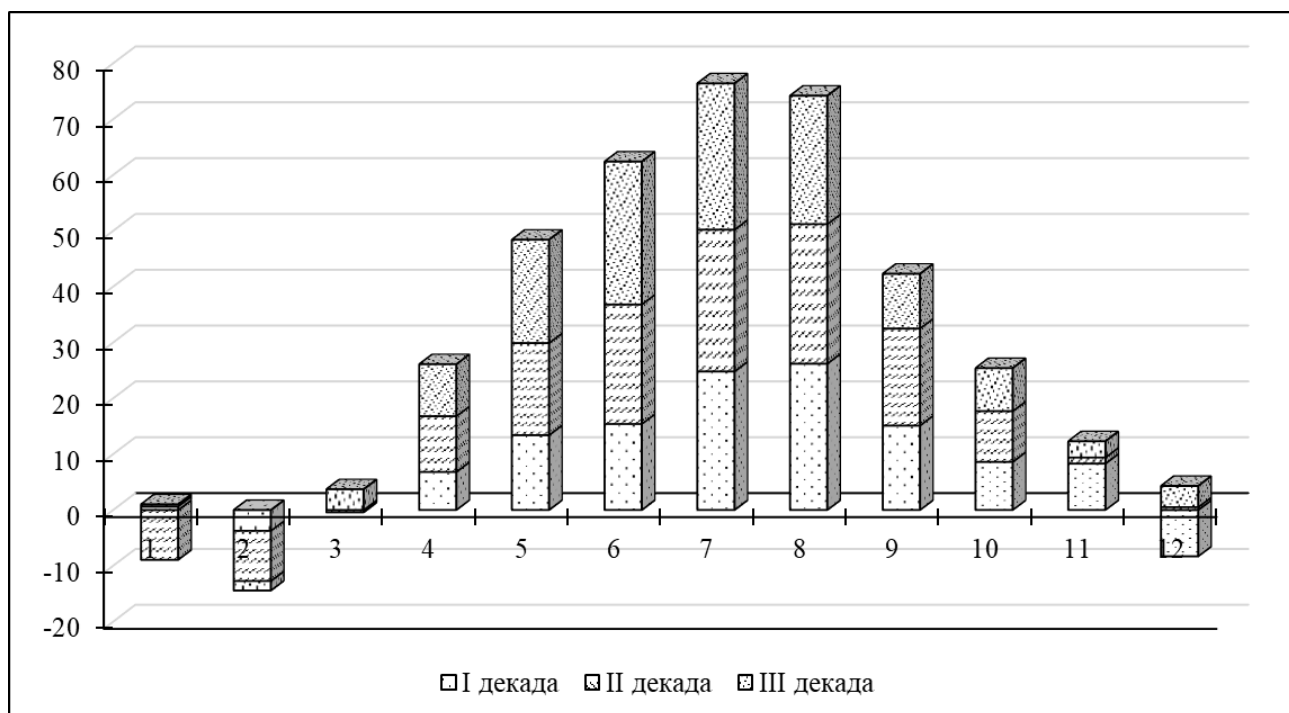


Рис. А. 1. Температура повітря, °С (2021 р.)

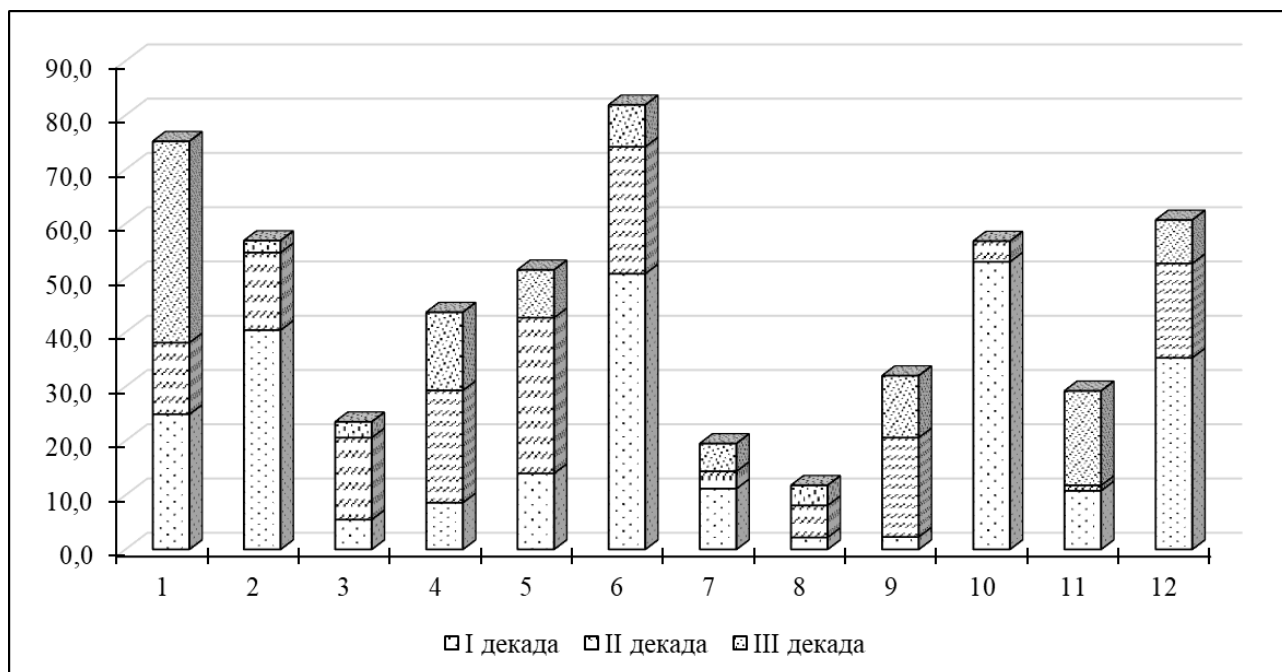


Рис. А. 2. Опади у 2021 р., мм

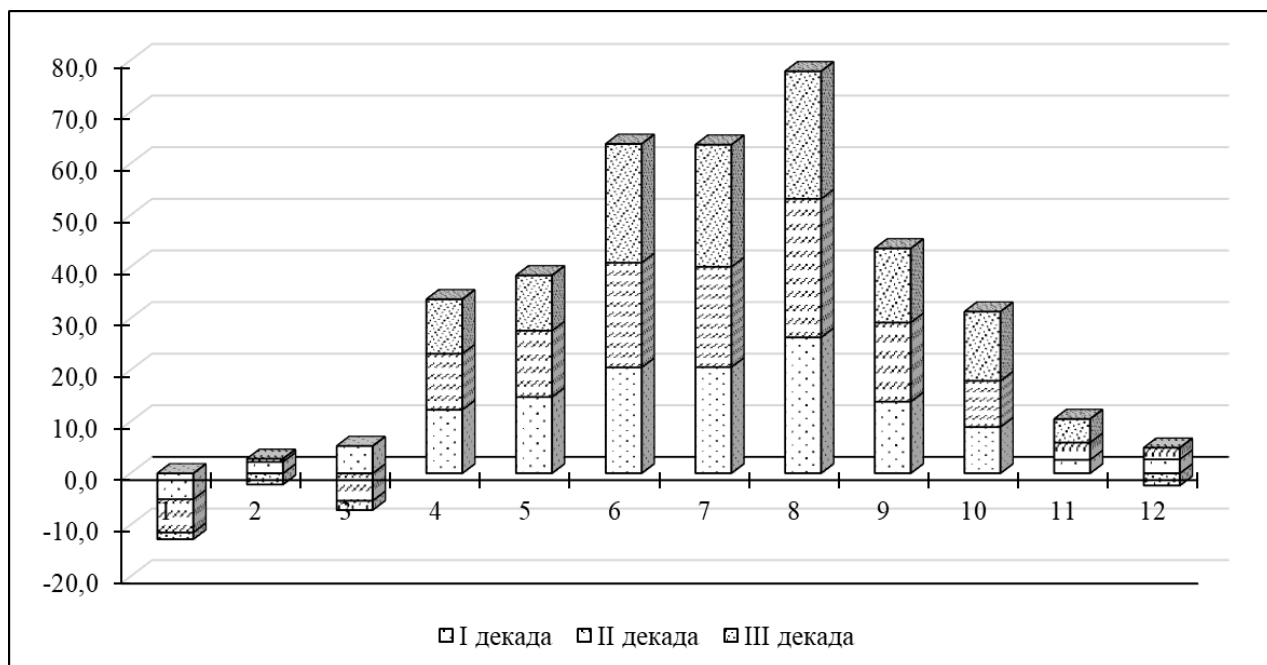


Рис. А. 3. Температура повітря у 2022 р, °С

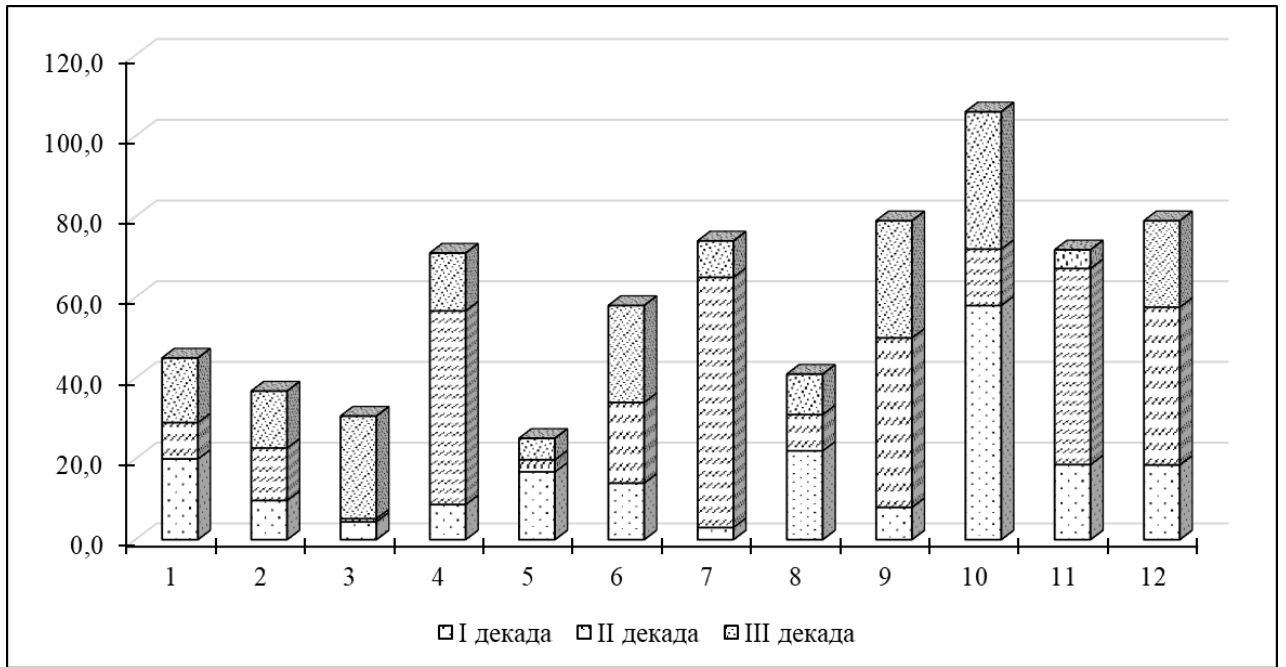


Рис. А. 4. Опади у 2022 р., мм

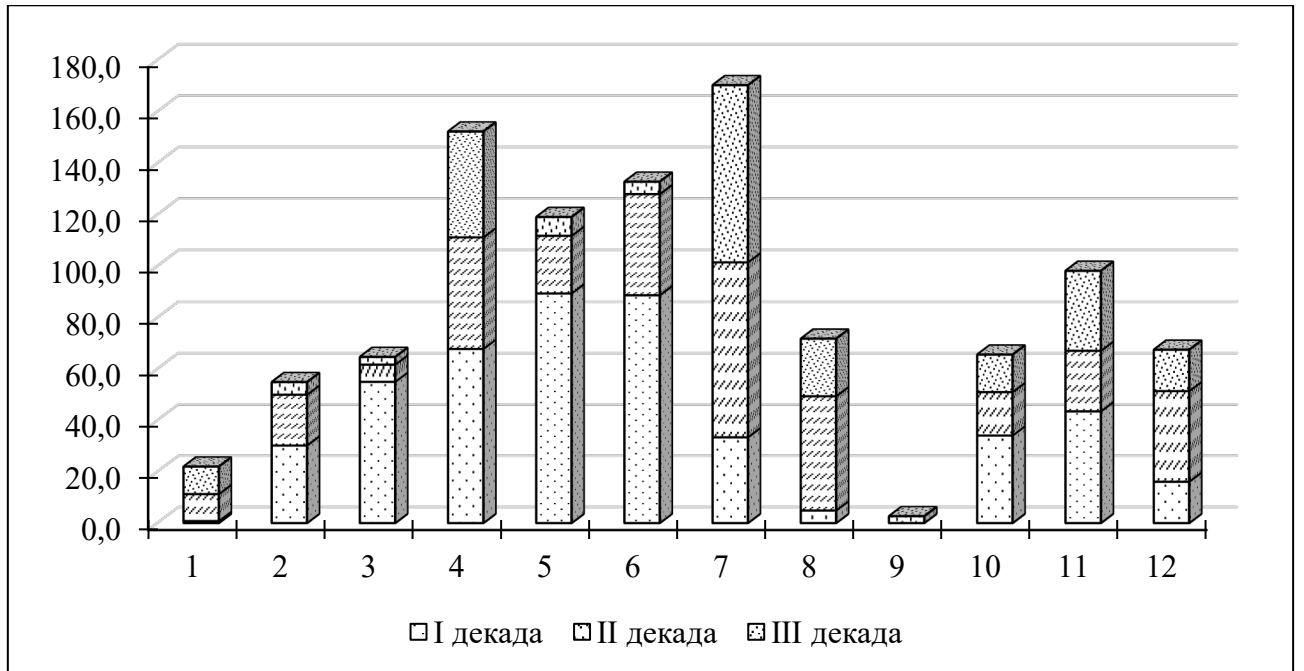


Рис. А. 5. Температура повітря у 2023 р., °С

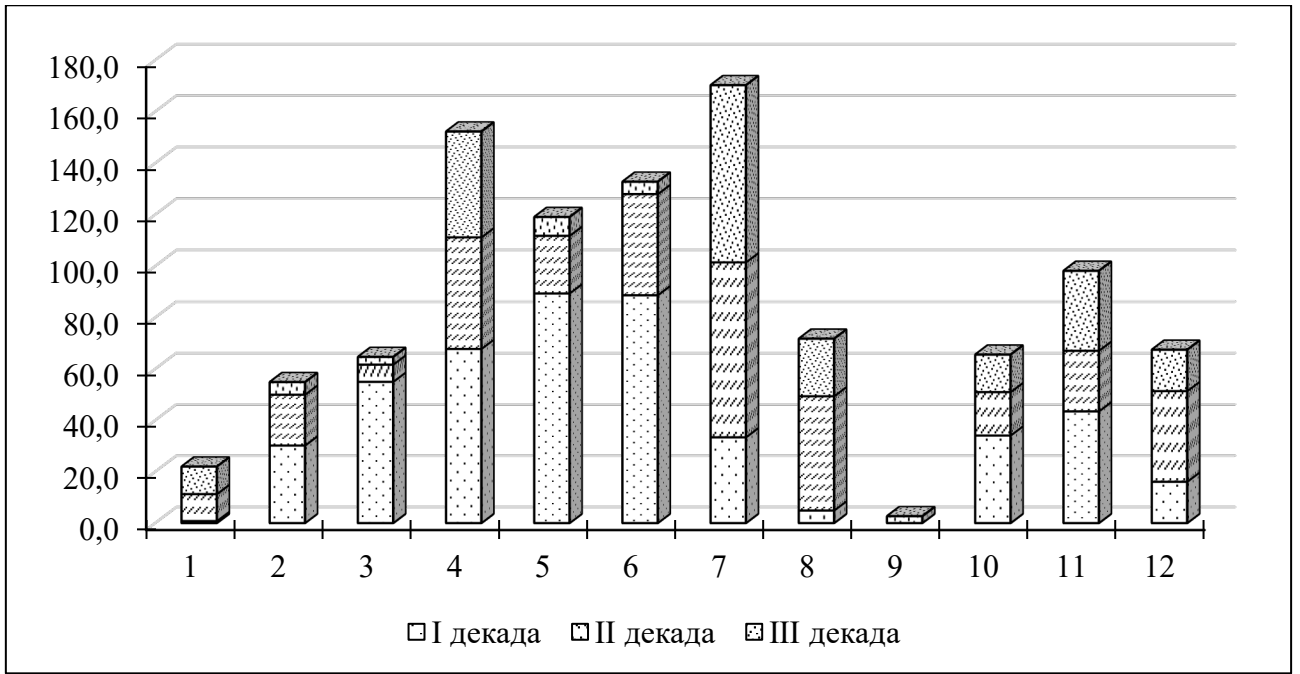


Рис. А. 6. Опади у 2023 р., мм

Додаток Б
Агрофізичні показники ґрунту

Таблиця Б. 1

Вплив способів основного обробітку ґрунту на щільність орного шару в посівах
кукурудзи у 2021 р., г/см³

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см			
	0–10	20–30	20–30	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	1,09	1,13	1,24	1,15
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	1,11	1,22	1,28	1,2
Безполицевий обробіток ПРН- 31000 на 33-35 см	1,09	1,19	1,25	1,18
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	1,1	1,23	1,29	1,21

Таблиця Б. 2

Вплив способів основного обробітку ґрунту на щільність орного шару в посівах кукурудзи у 2022 р., г/см³

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см			
	0–10	20–30	20–30	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	1,09	1,15	1,22	1,15
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	1,14	1,22	1,27	1,21
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	1,12	1,18	1,24	1,18
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	1,11	1,22	1,31	1,21

Таблиця Б. 3

Вплив способів основного обробітку ґрунту на щільність орного шару в посівах кукурудзи у 2023 р., г/см³

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см			
	0–10	20–30	20–30	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	1,24	1,25	1,25	1,25
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	1,27	1,27	1,29	1,28
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	1,25	1,28	1,28	1,26
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	1,29	1,3	1,3	1,29

Таблиця Б. 4

Вплив способів основного обробітку ґрунту на твердість орного шару в посівах кукурудзи у 2021 р., кг/см²

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см		
	0–10	0–20	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	7,0	15,2	17,4
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	8,1	15,9	18,8
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	7,3	15,0	17,9
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	8,4	15,9	19,6

Таблиця Б. 5

Вплив способів основного обробітку ґрунту на твердість орного шару в посівах кукурудзи у 2022 р., кг/см²

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см		
	0–10	0–20	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	5,8	12,4	21,7
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	7,6	15,9	26,4
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	6,3	13,8	24
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	6,2	15,7	27,5

Таблиця Б. 6

Вплив способів основного обробітку ґрунту на твердість орного шару в посівах кукурудзи у 2023 р., кг/см²

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см		
	0–10	0–20	0–30
Оранка ПЛН-4-35 на 25-27 см (контроль)	7,8	13,3	17,4
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33-35 см	8,9	15,0	19,7
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33-35 см	8,1	14,0	18,6
Дискування БДМ-2,5 на 10-12 см	8,5	15,1	20,7

Додаток В
Водно-фізичні показники ґрунту

Таблиця В. 1

Вологість ґрунту залежно від способів основного обробітку в посівах
кукурудзи, 2021 р.

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см	Вологість ґрунту, %	Запаси вологи, мм
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	0–10	22,3	9,3
	0–30	23,5	33,5
	0–100	23,8	127,0
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	0–10	22,9	10,1
	0–30	23,8	36,0
	0–100	23,7	125,7
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	0–10	22,4	9,4
	0–30	24,0	36,1
	0–100	23,5	123,2
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	0–10	22,5	9,6
	0–30	23,2	34,1
	0–100	23,0	116,8

Вологість ґрунту залежно від способів основного обробітку в посівах
кукурудзи, 2022 р.

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см	Вологість ґрунту, %	Запаси вологи, мм
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	0–10	23,2	10,2
	0–30	24,1	35,5
	0–100	24,4	134,6
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	0–10	22,9	10,4
	0–30	23,8	36,3
	0–100	24,2	132,1
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	0–10	23,1	10,4
	0–30	24,2	36,8
	0–100	24,3	133,4
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	0–10	23,1	11,7
	0–30	23,7	35,9
	0–100	23,6	124,5

Вологість ґрунту залежно від способів основного обробітку в посівах
кукурудзи, 2022 р.

Способи обробітку ґрунту	Шари ґрунту, см	Вологість ґрунту, %	Запаси вологи, мм
Оранка ПЛН-4-35 на 25–27 см (контроль)	0–10	22,4	10,7
	0–30	22,1	31,1
	0–100	24,1	130,8
Чизельний локальний обробіток ПЧ-2,5 на 33–35 см	0–10	21,1	9,3
	0–30	22,0	31,5
	0–100	24,0	129,5
Безполицевий обробіток ПРН-31000 на 33–35 см	0–10	21,8	10,0
	0–30	22,0	31,0
	0–100	25,2	144,8
Дискування БДМ-2,5 на 10–12 см	0–10	19,5	7,4
	0–30	21,4	29,4
	0–100	23,5	123,2

Додаток Г

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПОГОДЖЕНО

Проректор наукової роботи ДБТУ

Валерій МИХАЙЛОВ
 М.П. «30» серпня 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «МАЯК ВВВ»

Валерій МІЩАНЕНКО
 М.П. «30» серпня 2024 р.

А К Т

ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ У ВИРОБНИЦТВО

Замовник Міщаненко Валерій Вікторович

Цим актом підтверджується, що результати роботи, яку виконано на тему № 8-24 Д
 «Розробити заходи з оптимізації водно-фізичного стану чорнозему типового і
 антистресових прийомів вирощування кукурудзи на основі впровадження
 ресурсозберігаючого обробітку ґрунту»

на кафедрі землеробства та гербології ім. О.М.Можейка
 вартістю 50 000,00 грн (п'ятдесят тисяч грн 00 коп.)


(цифрами та прописом)

яка виконувалася з 04 квітня 2024 р. по 30 серпня 2024 р.
 впроваджені в ТОВ «МАЯК ВВВ»

(найменування підприємства, де здійснювалось впровадження)

1. Вид впроваджених результатів експлуатація технології
 (експлуатація виробу, роботи, технології; виробництво виробу, роботи, технології, функціонування систем)
2. Характеристика масштабу впровадження універсальне
 (унікальне, одиночне, партія, масове, серійне)
3. Форма впровадження: передача результатів досліджень підприємству для застосування у виробничих умовах
4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно-нові
 (піонерські, принципово нові, якісно нові, модифікація, модернізація старих розробок)
5. Дослідно-промислова перевірка – ТОВ «МАЯК ВВВ» 2023-2024 рр
6. Впроваджені:
 - в промислове виробництво ТОВ «МАЯК ВВВ»
7. Річний економічний ефект: скорочення витрат на основний обробіток ґрунту при вирощуванні кукурудзи на 600 грн/га із забезпеченням оптимальних водно-фізичних показників ґрунту, підвищенням ґрунтозахисної стійкості поверхні та отриманням рівня урожайності гібриду ДБ Хотин на рівні з традиційною технологією.
 Загальний очікуваний ефект з урахуванням посівної площу кукурудзи складає 60 тис. грн.
8. Соціальний і науково-технічний ефект полягає у забезпеченні умов для збереження родючості ґрунтів шляхом підвищення стійкості їх від деградації, покращенні умов праці завдяки скороченню витрат і оптимізації технологічних процесів, а також посиленні стійкості рослин кукурудзи до абіотичних і біотичних стресових факторів.

ВІД ВИКОНАВЦІВ


 С.М. ДОЛЯ

ВІД ПІДПРИЄМСТВА

ТОВ «МАЯК ВВВ»


 В.В. МІЩАНЕНКО


Додаток Д

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи
Державного біотехнологічного університету Максим СЕРІК

_____ 2024 р.

УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Державного біотехнологічного університету Валерій МИХАЙЛОВ

М. П. «__» _____ 2024 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських
і технологічних робіт в освітній процес закладів вищої освіти**

Замовник

Державний біотехнологічний університет

В. о. ректора ДБТУ к. т. н. Кудряшов А. І.

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи:
«Ефективність способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного
Лісостепу України»

виконаної на кафедрі: здобувачем освітньо-наукового ступеня «доктор філософії» Долею
Сергієм Миколайовичем

впроваджено в освітній процес кафедри: землеробства та гербології ім. О. М. Можейка

1. Вид впроваджених результатів: методологічний (ефективність основного обробітку
ґрунту при вирощування кукурудзи).

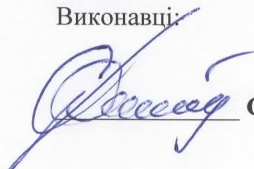
2. Форма впровадження: застосування результатів досліджень в освітньому процесі.

3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: модифікації (досліджено вплив способів
основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у Лівобережному Лісостепу
України).

4. Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких впроваджено результати НДР: – по кафедрі
землеробства та гербології ім. О. М. Можейка, за дисциплінами «Землеробство», «Системи
землеробства», «Ґрунтозахисне землеробство» (спеціальність – 201 Агрономія).

5. Соціальний і науково-економічний ефект: отримані результати мають вагоме значення для
сталості сільського господарства, у свою чергу, це вплине на розвиток, ефективність,
стабільний виробничий процес і прибутковість аграрного бізнесу, а також забезпечить
підвищення ґрунтозахисної стійкості і покращання фізичного стану чорноземів.

Виконавці:

 Сергій ДОЛЯ

«__» _____ 2024 р.

Завідувач кафедри землеробства та
гербології ім. О. М. Можейка, професор Микола ШЕВЧЕНКО

«__» _____ 2024 р.