

АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**ПОГОДЖЕНО**

Декан агробіологічного факультету

_____ **Віталій КОВАЛЕНКО**

«___» _____ 2025 р

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУЗавідувач кафедри
агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О.І. Душечкіна_____ **Дмитро Літвінов**

«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Оптимізація живлення соняшнику за використання елементів
прецизійного агровиробництва»**Спеціальність: 201 АгрономіяОсвітня програма: Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництвіОрієнтація освітньої програми: освітньо-професійна**Гарант освітньої програми**

доктор с-г наук., професор,

академік НААН України

Анатолій БИКІН**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

Доктор філософії (PhD),

старший викладач

Тимур ПАНЧУК**Виконав**

Юрій КОЖЕМ'ЯКІН**КИЇВ – 2025****НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри агрохімії та якості
продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна

д. с.-г. н., проф. _____ Дмитро ЛІТВІНОВ

« ____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Кожем'якін Юрій Васильович

Спеціальність: 201 Агрономія

Освітня програма: «Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Оптимізація живлення соняшнику за використання елементів прецизійного агровиробництва»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від « ____ » _____

20__ р. № _____

Термін подання завершеної роботи на кафедрі

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Літературні джерела за темою роботи
2. Дані з господарства

Перелік питань які підлягають дослідженню:

1. Визначити та проаналізувати просторову неоднорідність дослідного поля за допомогою даних дистанційного моніторингу (NDVI) та виділити зони з різними рівнями продуктивності.
2. Дослідити динаміку агрохімічних показників ґрунту в різних зонах продуктивності протягом вегетації рослин соняшнику.
3. Встановити вплив позакореневих підживлень на ріст і розвиток рослин соняшнику в різних зонах продуктивності.

4. Визначити рівень впливу досліджуваних факторів на структуру врожаю та кінцеву врожайність соняшнику.
5. Провести економічну оцінку ефективності застосування позакореневих підживлень.

Дата видачі завдання «___» _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Тимур ПАНЧУК

Завдання прийняв до виконання _____ Юрій КОЖЕМ'ЯКІН

РЕФЕРАТ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Оптимізація живлення соняшнику за використання елементів прецизійного агровиробництва».

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 69 сторінках друкованого тексту, містить 16 таблиць та 8 рисунків.

У першому розділі «Теоретичні основи живлення соняшнику та принципи прецизійного агровиробництва» розглянуто поняття, інструменти і переваги прецизійного агровиробництва, детально описано потреби соняшнику в основних макро- та мікроелементах живлення на різних етапах вегетаційного періоду, а також проаналізовано вплив неоднорідності поля на продуктивність сільськогосподарських культур.

Другий розділ «Методика та умови проведення досліджень» містить характеристику ґрунтових та кліматичних умов території проведення досліджень (СТОВ ім. Чкалова, Черкаська обл.). Описано технологію вирощування соняшнику в досліджуваному господарстві, схему досліду з виділенням зон продуктивності та застосуванням позакореневих підживлень, а також описано методику проведення польових спостережень та лабораторних аналізів.

У третьому розділі «Результати досліджень» представлено дані дистанційного моніторингу посівів за допомогою програмного забезпечення GeoPard Agriculture та визначенню індекс NDVI, проаналізовано динаміку агрохімічних показників ґрунту в різних зонах продуктивності протягом вегетації, детально висвітлено вплив неоднорідності поля та позакореневих підживлень на біометричні показники (висота, товщина стебла, площа листя), кінцеву врожайність та елементи її структури (діаметр кошика, маса насінин з кошика, маса 1000 насінин).

У четвертому розділі «Економічна ефективність вирощування соняшнику за використання елементів прецизійного агровиробництва» проведено розрахунок вартості валової продукції, виробничих витрат, прибутку,

собівартості та рівня рентабельності для всіх варіантів дослідів з метою визначення економічної доцільності застосування позакоренових підживлень в різних зонах продуктивності.

Об'єктом дослідження є процес росту, розвитку та формування врожайності соняшнику в умовах різного мінерального живлення за неоднорідності поля.

Предметом дослідження є агрохімічний стан ґрунту, біометричні показники рослин та урожайність соняшнику за використання елементів прецизійного агровиробництва.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЖИВЛЕННЯ СОНЯШНИКУ ТА ПРИНЦИПИ ПРЕЦИЗІЙНОГО АГРОВИРОБНИЦТВА	10
1.1 Прецизійне агровиробництво: поняття, інструменти, переваги	10
1.2 Потреба соняшника в елементах живлення	15
1.3 Вплив неоднорідності поля на продуктивність сільськогосподарських культур	21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень	25
2.2 Кліматичні умови території проведення досліджень	28
2.3 Методика та методи проведення досліджень	30
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Дистанційний моніторинг рослин соняшнику	36
3.2 Вплив неоднорідності поля на агрохімічні показники ґрунту	40
3.3 Вплив неоднорідності поля на біометричні показники соняшника	43
3.4 Урожайність та соняшнику за різних умов живлення	52
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА ЗА ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕЦИЗІЙНОГО АГРОВИРОБНИЦТВА	57
ВИСНОКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64

ВСТУП

Актуальність теми. Соняшник є однією з основних олійних культур в світі та стратегічно важливою культурою для економіки України. Отримання стабільних та високих врожаїв соняшнику є пріоритетним завданням для аграрного сектору, особливо в умовах збільшення попиту на продовольство та необхідності раціонального використання ресурсів. Внесення добрив відіграє вирішальну роль у формуванні врожаю соняшнику, проте за традиційного підходу до удобрення, який базуються на усереднених показниках по полю часто такий підхід є недостатньо ефективним [1].

Наукові та виробничі дослідження доводять, що майже на кожному полі є неоднорідності (строкатості) агрохімічних показників ґрунту, рельєфу та вологозабезпечення. При застосуванні однакових норм добрив на ділянках із різним потенціалом зумовлює неефективне використання ресурсів. Це не лише знижує рівень економічної ефективності виробництва, а й створює екологічні ризики для природи і території загалом [2].

Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є впровадження елементів прецизійного агровиробництва, які базуються на використанні даних супутникового моніторингу, геоінформаційних систем (ГІС) та диференційованого внесення ресурсів (VRT), які враховують просторову варіабельність умов у межах поля. Оптимізація системи живлення соняшнику за допомогою таких підходів є актуальним науково-практичним завданням, яке спрямоване на збільшення врожайності, покращення якості продукції та підвищення економічної ефективності [3].

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської роботи є наукове обґрунтування та розробка способів оптимізації системи живлення соняшнику на основі використання елементів прецизійного агровиробництва.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- Визначити та проаналізувати просторову неоднорідність дослідного поля за допомогою даних дистанційного моніторингу (NDVI) та виділити зони з різними рівнями продуктивності.

- Дослідити динаміку агрохімічних показників ґрунту в різних зонах продуктивності протягом вегетації рослин соняшнику.
- Встановити вплив позакоренових підживлень на ріст і розвиток рослин соняшнику в різних зонах продуктивності.
- Визначити рівень впливу досліджуваних факторів на структуру врожаю та кінцеву врожайність соняшнику.
- Провести економічну оцінку ефективності застосування позакоренових підживлень.

Об'єкт дослідження: процес росту, розвитку та формування врожайності соняшнику в умовах різного мінерального живлення за неоднорідності поля.

Предмет дослідження: агрохімічний стан ґрунту, біометричні показники рослин та урожайність соняшнику за використання елементів прецизійного агровиробництва.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в комплексному вивченні впливу позакоренових підживлень на фоні ґрунтової неоднорідності, встановленні закономірностей динаміки агрохімічних показників та біометричних параметрів, що дозволило науково обґрунтувати доцільність диференційованого підходу до живлення соняшнику.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані агровиробниками при плануванні та впровадженні систем диференційованого живлення соняшнику для підвищення ефективності використання добрив, підвищення врожайності та рентабельності виробництва.

Структура та обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, огляду літератури, умов та методики проведення досліджень, експериментальної частини, економічної ефективності, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 69 сторінках друкованого тексту, містить 16 таблиць, 8 рисунків. Список використаних джерел включає 77 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЖИВЛЕННЯ СОНЯШНИКУ ТА ПРИНЦИПИ ПРЕЦИЗІЙНОГО АГРОВИРОБНИЦТВА

1.1 Прецизійне агровиробництво: поняття, інструменти, переваги

Прецизійне агровиробництво – це концепція сучасного ведення сільського господарства з використанням цифрових технологій для моніторингу та оптимізації процесів сільськогосподарського виробництва. Це дозволяє вносити різну кількість добрив по площі поля, а також завдяки точному землеробству можна встановити різні відмінності в умовах конкретного поля та відповідно адаптувати стратегію живлення або збору врожаю. Також можна оцінити потреби та стан рослин в реальному часі [4].

Методи точного землеробства дозволять збільшити кількість і якість сільськогосподарської продукції при менших витратах (води, енергії, добрив, пестицидів тощо). Це сприяє зниженню економічних витрат, зменшення впливу на навколишнє середовище та забезпечує виробництво більшої кількості продуктів харчування вищої якості [5].

Вони базуються насамперед на поєднанні нових технологій, що використовують датчики, супутникову навігацію та позиціонування, а також інтернет [6].

За допомогою супутників і датчиків для вимірювання швидкості потоку зерна збираються дані про коливання врожайності в межах поля. Позиціонування GPS використовується для визначення положення машини або транспортного засобу, де оператор обладнання має незначний вплив на роботу системи з точністю у межах 1 см. У галузі сільськогосподарської техніки розвиток технологій точного землеробства зосереджений на вдосконаленні методів вимірювання параметрів, які можна використовувати для моніторингу ключових змінних з прийнятною точністю. Дані, що передаються на комп'ютер, оснащений відповідним програмним забезпеченням, обробляються в карту врожайності з диференційованими кольорами, кольори яких відповідають діапазнам врожайності на конкретному полі. Аналіз та інтерпретація цих

кольорів є вирішальною складовою та одним з найважливіших елементів технології [6].

Для використання засобів точного землеробства потрібні машини, оснащені системами управління та регулюванням робочих агрегатів із швидкозмінними параметрами, обумовлює додаткові витрати, які компенсуються більшим урожаєм вищої якості. При цьому зменшується забруднення навколишнього середовища та сільськогосподарських продуктів [7].

Застосування GPS полегшує керування трактором на великих площах, де немає орієнтирів. Таким прикладом є паралельне керування трактором. Це полегшує проведення польових робіт при удобренні з використанням культиваторів або розкидачів, які підтримують системи паралельного керування [7].

Для господарств, які лише починають впроваджувати елементи точного землеробства, встановлення систем паралельного водіння є першим кроком. Дана технологія є простою в освоєнні та не потребує складного програмного обслуговування, але водночас дозволяє одразу відчутти значний економічний ефект [7].

Основним завданням таких систем є забезпечення руху техніки по полі з чітко визначеними траєкторіями, що буде сприяти мінімізації перекриттів та пропусків. Це є особливо актуальним при роботі з широкозахватними агрегатами, де при відсутності точних орієнтирів на місцевості може відбуватись перекриття до 1 метра, що є особливо важливим при сівбі та внесенні мінеральних добрив. Дану систему можна використовувати для багатьох операцій від обробітку ґрунту та сівби до внесення добрив [8].

На даний час існує три основні типи таких систем, що відрізняються за точністю, ступенем автоматизації та вартістю.

1. Системи асистованого водіння (з ручним керуванням)

Вона є найпростішим і найдоступнішим варіантом. Ця система складається з терміналу (екрана або світлодіодного дисплея) та антени. Вона

подає оптичні сигнали, які вказують на відхилення від заданої траєкторії. Механізатор з кабіни орієнтуючись на підказки системи вручну коригує напрямок руху. Її точність становить 15–30 см. Даний тип системи не потребує платних корекційних сигналів та вона легко встановлюється на будь-який трактор, а її вартість є найнижчою серед усіх типів систем [8].

2. Напівавтоматичні системи (з автоматичним підрулюванням)

Такі системи є більш досконалішими та потребують модернізації системи керування. На кермо встановлюють електродвигун, який автоматично його повертає утримуючи трактор на заданому курсі. Точність становить ± 5 –10 см. Для досягнення такого рівня точності потрібні платні корекційні сигнали від мобільної або стаціонарної станції RTK. Сигнал від стаціонарної станції може покривати радіус близько 30 км. Сучасні системи використовують супутники GPS та GLONASS і мають технології компенсації короткочасної втрати сигналу до 20 хвилин [8].

3. Автоматичні системи (повна інтеграція)

Є найточнішим та найскладнішим рішенням. Її система керування напряму інтегрується в гідравлічну систему трактора. Всі елементи (термінал, комп'ютер, гідравлічний клапан) комунікують між собою через шину CAN або ISOBUS. Її точність становить до 2,5 см. Вона часто оснащується додатковими датчиками нахилу для ефективної компенсації нерівностей поля. Її використання потребує високоточних корекційних сигналів, що в свою чергу є найдорожчим варіантом з найдовшим терміном окупності [9].

Незалежно від типу, системи паралельного водіння надають ряд переваг:

- ✓ Дозволяють працювати в умовах обмеженої видимості, що забезпечує ефективність роботи вночі чи при сильній запиленості.
- ✓ Економія ресурсів, яка обумовлюється зменшенням витрат на паливо, насіння, добрива та засоби захисту завдяки мінімізації перекриттів.
- ✓ Підвищення продуктивності – скорочується час на виконання польових робіт.

- ✓ Покращення умов праці, що зумовлено автоматизацією керування і зниженню навантаження на механізатора [9].

Сучасні системи підтримують різні режими руху:

- Прямолінійний (рух паралельними прямими лініями).
- Контурний (криволінійний) (повторення траєкторії першого проходу вздовж межі поля неправильної форми).
- Рух під кутом (прокладання курсу під заданим кутом до напрямку на північ).
- Круговий рух (робота по колу).

Окрім того, доступні розширені функції, такі як автоматичний розворот на розворотній смузї та програмування послідовності дій (зменшення обертів двигуна при підйомі агрегата), що краще оптимізує робочі процеси [9].

Ще одним із елементів точного землеробства є моніторинг просторової мінливості ґрунту з використанням електромагнітного сканування. Ця технологія дозволяє з високою точністю та деталізацією створювати карти полів, що відображають відмінності у властивостях ґрунту. Цей метод полягає у вимірюванні електропровідності ґрунту за допомогою пристрою, оснащеного дисковими електродами, що прорізають ґрунт. Електроди комплектуються парами, оскільки одні диски подають напругу на ґрунт, а інші вимірюють її падіння. Електрична провідність ґрунту залежить від його типу, механічного складу і вологості, а також концентрації іонів, тому пристрої цього типу дозволяють визначити родючість ґрунту. Цей метод дозволяє з дуже високою роздільною здатністю 250-300 проб/га визначати вміст глинистих частинок у ґрунті [10].

На основі досліджень було встановлено, що піски мають низьку провідність, суглинки – середню, а глина – високу. Недоліком цього методу є значний вплив на результат вологості ґрунту, яка сильно варіюється на різних глибинах. Струми, що проходять між електродами, можуть бути в різних шарах ґрунту, через що результат вимірювання усереднюється на занадто великій глибині ґрунту [10].

Важливою складовою в точному землеробстві є створення карт врожайності, наприклад, під час збору зернових. Для цього встановлюють комплекти обладнання на комбайн, або купують комбайни вже оснащені GPS-приймачем з набором датчиків для вимірювання врожаю, зерна та його вологості [10].

Виміряна маса зерна відноситься до місця – шляхом запису GPS-координат, з якого було зібрано врожай. Враховуючи вологість зерна визначається фактичний урожай і формується карта врожайності [11].

Карта врожайності є лише одним шаром інформації. Для комплексного аналізу її необхідно поєднувати з іншими даними, такими як, карти родючості ґрунту (вміст NPK та мікроелементів), рельєфу та електропровідності ґрунту [11].

Накладаючи ці карти одна на одну можна отримати безліч необхідної інформації, яку можна використовувати в подальших заходах таких, як підживлення або сівба. Інструментом для такої інтеграції є геоінформаційна система (ГІС). Вона дозволяє аналізувати взаємозв'язки та виявляти причини мінливості врожайності на полі. Наприклад, можна визначити, як тип ґрунту чи рельєф вплинули на врожайність у конкретній зоні [12].

Результатом аналізу є створення карт-завдань для диференційованого внесення агроресурсів. Комп'ютер використовуючи зібрану інформацію, передає сигнали до сільгосптехніки (розкидача добрив або сівалки). Техніка рухаючись полем автоматично змінює дозу внесення добрив чи норму висіву відповідно до потенціалу та потреб кожної елементарної ділянки. Такий процес є циклічним і після проведення всіх агротехнічних операцій знову проводиться картування врожайності, щоб оцінити ефективність застосованих рішень [12].

Отже, прецизійне землеробство являє собою комплексну, науково обґрунтовану систему управління агровиробництвом, що трансформує традиційний підхід від уніфікованої обробки полів до високоточного, диференційованого менеджменту поля. Ключові технології, такі як картування врожайності, електромагнітне сканування ґрунту та системи паралельного

водіння, слугують інструментами для збору об'єктивних даних про неоднорідність полів. Таким чином, точне землеробство формує безперервний циклічний процес моніторингу, аналізу та прийняття рішень, що в кінцевому підсумку спрямований на підвищення врожайності та якості продукції, раціоналізацію витрат і мінімізацію екологічного навантаження [12].

1.2 Потреба соняшника в елементах живлення

Соняшник має найвищі потреби в азоті та калії. Кількість калію, що поглинається з ґрунту, значно перевищує фактичну потребу рослини в цьому елементі. Соняшник також поглинає відносно велику кількість кальцію та магнію, але значно менше фосфору [13].

Серед мікроелементів соняшник має високі потреби в поживних речовинах щодо бору та молібдену. Інтенсивність поглинання поживних речовин соняшником протягом вегетаційного періоду сильно варіюється. Фосфор поглинається найінтенсивніше від появи сходів до утворення кошиків, азот - від утворення кошиків до кінця цвітіння, а калій - від утворення кошиків до воскової стиглості насіння. Найбільше поглинання поживних речовин відбувається в період інтенсивного росту рослин, особливо під час розвитку суцвіття та цвітіння [14].

Серед усіх поживних речовин азот є основним поживним елементом, що впливає на ріст і розвиток рослин, а також на врожайність і якість насіння. Цей елемент є одним із основних компонентів нуклеїнових кислот, а також входить до складу структурних, резервних та ферментативних білків, які беруть участь у різних метаболічних процесах, які забезпечують рослині правильний ріст і розвиток, як вегетативний, так і генеративний. У ґрунті азот міститься в більшій мірі у вигляді органічних сполук, головним чином у перегної, поживних рештках та біомасі та лише невелика частина (1-2 %) ґрунтового азоту міститься у мінеральних формах (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), які безпосередньо засвоюються рослинами [15].

Азот також є основним поживним елементом для соняшника. Він має найбільший вплив на формування таких ознак: розмір і кількість листя, розмір і маса насіння, врожайність і вміст олії. Багато досліджень вказують на те, що більша доза азоту сприяє збільшенню врожаю насіння соняшнику, що пояснюється більшим діаметром кошиків і більшою масою насіння [16].

Соняшник має великі потреби в азоті. Для отримання 1 т насіння і відповідної кількості вегетативної маси (стебел і листя) соняшник споживає від 45 до 60 кг азоту. Більшу його частину він використовує в період від сходів до кінця цвітіння. Азот активно взаємодіє з іншими поживними речовинами, в першу чергу з фосфором і калієм, а також із сіркою, яка також бере участь у формуванні листової поверхні, що збільшує фотосинтетичні можливості рослини і забезпечує виробництво асимілятів, необхідних для розвитку суцвіть і насіння. Дефіцит азоту і сірки зумовлює зменшення маси і кількості насіння, а також впливає на погіршення його якості [17].

Рослини соняшнику мають значно меншу потребу у фосфорі, ніж у калії. Фосфор є основним поживним елементом усіх живих організмів. У рослині він є необхідним компонентом низки органічних сполук та ферментів, важливих для метаболізму рослини. Високоенергетичні фосфатні сполуки є основним носієм і акумулятором енергії в біохімічних процесах, таких як: фотосинтез, дихання, перетворення жирів і азотних сполук [18].

На початковому етапі розвитку рослини фосфор відіграє важливу роль у формуванні та зростанні кореневої системи. На подальших етапах вегетації він позитивно впливає на ріст і продуктивність соняшнику збільшуючи швидкість фотосинтезу, а отже і доступність асимілятів, що впливає на зв'язування і наповнення насіння. Доступність фосфору збільшує врожайність насіння і вміст олії у ньому [19].

Також фосфор бере активну участь у синтезі жирів і білків у рослині та сприятливо впливає на прискорення дозрівання. Підвищена доступність фосфору покращує використання азоту та інших поживних речовин. Дефіцит

фосфору обмежує фотосинтез та зменшує вміст білка і хлорофілу в листі соняшнику [20].

Калій у рослинах міститься у вигляді іонів K^+ , який присутній у хлоропластах, клітинному соку та цитоплазмі. Він не утворює стійких органічних сполук. Є дуже мобільним і за умов дефіциту легко переміщується від старих листків до молодих. Сприяє активному поглинанню азоту та бере участь у утворенні, перетворенні та транспорті асимілятів, стимулюючи синтез АТФ активуючи численні ферментативні реакції [21].

Він керує водним балансом, регулюючи разом з натрієм, кальцієм і магнієм гідратацію плазми. Відіграє важливу роль у відкритті та закритті продихів. Збільшує стійкість до різних видів стресу, наприклад, вилягання. При дефіциті калію стебла соняшника менш жорсткі, що може обумовлювати до їх ламання під час дозрівання кошиків. Калій також позитивно впливає на вміст жиру в насінні. Велика кількість калію міститься у вегетативних частинах (стебла), які у вигляді пожнивних решток повертаються в ґрунт [22].

Найбільша потреба в калії проявляється в період максимального зростання маси рослини. З огляду на високі вимоги, ґрунти, бідні на калій, не підходять для вирощування соняшнику.

Кальцій рослинам необхідний для клітинного поділу, а також модифікації та регулювання ферментативних процесів. Він стабілізує та обмежує проникність клітинних мембран. Оптимальний вміст кальцію в рослині впливає на ріст коренів і утворення корневих волосків, а також уповільнює процеси старіння листя [23].

У рослині цей елемент є слабо рухливим, тому необхідна його постійна присутність у ґрунтовому середовищі, де він, у свою чергу, легко реагує з іншими елементами, утворюючи різні солі. Внесення кальцію у ґрунт сприяє регуляції реакції ґрунту, до якої соняшник дуже чутливий. Рослини соняшнику ростуть і розвиваються нормально, а доступність і засвоюваність поживних речовин не порушується, якщо рН ґрунту знаходиться в діапазоні 6,3–7,2. Кисла реакція ґрунту для розвитку соняшнику є небажаною. На таких ґрунтах його

ріст після сходів слабкий, можуть спостерігатися симптоми пожовтіння сходів і їх відмирання, а врожайність буде знижуватись [24].

Кальцій не тільки регулює реакцію ґрунту, але й є важливим елементом живлення для соняшника. Соняшник поглинає велику кількість кальцію, реагуючи на це підвищенням врожаю. Для отримання 1 т насіння потрібно близько 50–60 кг/га Са [25].

Сірка є одним з основних і необхідних елементів, який визначає правильний розвиток рослин. Цей елемент, є важливим компонентом структурних сполук таких як амінокислоти, білки, ферменти та ін.. Завдяки функціям, які вона виконує в рослинах, а саме синтез білків, вуглеводів, жирів, хлорофілу, участь у фотосинтез, визначає величину та якість врожаю рослин. Потреби сільськогосподарських культур у цьому елементі є схожими, а іноді навіть перевищують потребу у фосфорі [26].

Сірка є важливим поживним елементом для соняшника. Для виробництва 1 тонни насіння він споживає 4–6 кг/га сірки. Найбільше сірки соняшник споживає від фази розвитку суцвіття до початку цвітіння. Значна частина також споживається після цвітіння [27].

Магній відповідає за ряд життєвоважливих функцій рослини. Він має істотний вплив на врожайність, оскільки є активатором процесів, відповідальних за поглинання мінеральних речовин з ґрунту та активує ферментні системи, що регулюють важливі процеси в рослині, такі як фотосинтез, синтез вуглеводів, білків, жирів. Він також контролює поглинання азоту [28].

Недостатнє забезпечення рослин магнієм пов'язане насамперед із закисленням ґрунтів, оскільки поглинання цього елемента з ґрунту в умовах кислого рН є слабким. Недостатнє забезпечення рослин магнієм може бути також спричинене перенасиченням кальцієм і калієм, які є його антагоністами. За дефіциту магнію у соняшнику проявляється міжжилковий хлороз, який з'являється на нижніх листках [29].

Рослини поглинають з ґрунту катіони Mg^{2+} , які досягають коренів із потоком транспіраційної води. Недостатня вологість ґрунту може значно обмежити поглинання іонів магнію навіть у ґрунтах з високим його вмістом. За умов дефіциту магнію зменшується ефективність удобрення, особливо азотом. Серед олійних культур соняшник має найбільшу потребу в магнії. Це обумовлено великою кількістю вегетативної біомаси. Для отримання 1 т насіння соняшник поглинає близько 9–12 кг/га магнію [30].

Мікроелементи є, перш за все, каталізаторами ферментативних реакцій. Рослинам вони потрібні лише в невеликих кількостях, проте дуже часто саме вони визначають правильне та ефективне використання інших поживних речовин. На жаль, не завжди ці потреби можуть бути повністю задоволені за рахунок природних ресурсів ґрунту. Систематично проведені хімічні аналізи ґрунту дозволяють оцінити стан цих компонентів у ґрунті та запобігти їх можливому дефіциту. Важливою є також діагностика, що визначає стан живлення соняшника даним компонентом. Серед мікроелементів соняшник має великі потреби в борі та молібдені. Дефіцит бору та молібдену зумовлює слабкий ріст та розвиток рослин [31].

Бор необхідний для нормального розвитку рослин соняшнику. Він впливає на ріст коренів і листя, оскільки бере участь у процесі поділу та диференціації клітин ростових конусів стебел і коренів. Оптимізує цвітіння та наповнення кошиків. Нестача бору послаблює цвітіння та обмежує зав'язування насіння. Цей елемент також виконує важливі функції в перетворенні вуглеводів на жири, а також у синтезі нуклеїнових кислот. За його дефіциту знижується вміст жиру в насінні. Цей мікроелемент легко доступний для рослин з кислим рН та на добре зволжених ґрунтах, тоді як на лужних його засвоєння є меншим [32].

Потреба олійного соняшнику в борі становить близько 400 г/га, з яких 80 % рослини поглинають від фази 4-6 листків до фази бутонізації. Дослідження показують, що бор є одним з найбільш дефіцитних поживних елементів рослин. Низький вміст цього мікроелемента спостерігається майже

на багатьох типах ґрунтів, особливо легкі, утворені з пісків з високою проникністю [33].

Дефіцит цього елемента, який виникає насамперед на легких ґрунтах, а також на сильно ущільнених. Також його нестача може спостерігатись за несприятливих волого-температурних умов, оскільки він поглинається рослинами разом з водою. Ризик виникнення дефіциту може з'явитися також після рясних опадів. Нестача бору у живленні рослин призводить до нижчого врожаю та меншого вмісту олії в насінні соняшнику [34].

За дефіциту бору відбувається деформація листя, з'являються зміни кольору між жилками та некрози. В результаті зменшується асиміляційна поверхня листя, що призводить до слабшого наповнення насіння. Ранній дефіцит може призвести до деформації суцвіття, а в крайніх випадках може статися опадання суцвіття (квіткового кошика) [35].

Молібден є другим мікроелементом за потребою в живленні соняшника. Цей мікроелемент входить до складу двох ферментів (нітратредуктази та нітрогенази), необхідних для поглинання азоту рослинами [36].

Він регулює обмін азоту і фосфору, також бере участь у відновленні нітратів, тобто у першому етапі утворення білків. Нестача молібдену є причиною поганого постачання азоту. Дефіцит молібдену зумовлює накопичення нітратів, ослаблення росту рослин і пригнічення синтезу білка [37].

Нестача засвоюваного молібдену в ґрунті може бути причиною пожовтіння рослин соняшнику. Лимонно-зелені листки мають ложкоподібну форму з некротичними, світло-коричневими краями. Дефіцит молібдену може з'явитися на кислих ґрунтах, оскільки в таких умовах цей елемент сильно зв'язується і практично недоступний для рослин [38].

У кислому середовищі втрати врожаю можуть досягати 30%. Зі збільшенням рН ґрунту засвоюваність молібдену зростає, а в ґрунтах з регульованою реакцією дефіцит цього елемента практично не зустрічається [39].

Отже, забезпечення оптимального мінерального живлення соняшника є фундаментальною умовою для досягнення високої врожайності та якості олії. Соняшник вимагає значних обсягів азоту та калію, водночас інтенсивність їх поглинання тісно пов'язана з фазами активного росту, особливо під час бутонізації та цвітіння. Критично важливим є також запобігання дефіциту фосфору на ранніх етапах, що впливає на кореневу систему та обов'язкове внесення бору і молібдену, які контролюють процеси цвітіння та засвоєння азоту відповідно. Ефективна стратегія живлення має бути комплексною, з урахуванням потреби культури у сірці, кальції і магнії, а також обов'язково включати регулювання кислотності ґрунту (оптимально рН 6,3–7,2), оскільки кислотність обмежує доступність низки ключових елементів, зокрема молібдену і значно знижує продуктивність соняшника [40].

1.3 Вплив неоднорідності поля на продуктивність сільськогосподарських культур

За традиційного ведення сільського господарства поле розглядається, як однорідна виробнича одиниця, де застосовують усереднені норми удобрення, висіву та захисту до всієї його площі. Однак даний підхід є хибним: жодне поле не є ідеальним з однаковими умовами в кожній точці. Насправді ж більшість полів складаються з багатьох ділянок, що відрізняються за своїми властивостями та, як наслідок, за своїм продуктивним потенціалом. Це явище, відоме як просторова неоднорідність або варіабельність поля. Воно є ключовою концепцією, яка основою сучасного прецизійного агровиробництва [41].

Просторова неоднорідність означає, що в межах одного поля існують значні відмінності у властивостях ґрунту, елементах живлення, рельєфі, доступності вологи та інших факторах, що безпосередньо впливають на ріст, розвиток та кінцеву врожайність сільськогосподарських культур. Ігнорування цієї варіабельності обумовлює неефективне використання агроресурсів [42].

Окрім просторової, існує також часова варіабельність, яка обумовлена зміною погодних умов протягом сезону. Поєднання цих двох типів варіабельності дозволяє створювати унікальну картину продуктивності поля. Розуміння чинників які впливають на неоднорідність, а також наслідків цього у поєднанні з володінням інструментами її аналізу є першим і найважливішим з кроків до переходу від традиційного управління полем до науково обґрунтованого, який буде дозволить збільшити прибутковість та мінімізувати екологічні ризики [43].

Неоднорідність поля є результатом природних факторів, а також тривалої людської діяльності. Причини виникнення такої неоднорідності можна розділити на дві групи: природні (внутрішні) та антропогенні (управлінські) [44].

Природні (внутрішні) фактори є невід'ємною характеристикою будь-якої ділянки поля, яка сформувалась в процесі біологічного та геологічного її розвитку, до них відносять:

- Властивості ґрунту, які є найважливішою групою факторів, що визначають потенціал поля. Просторова неоднорідність властивостей ґрунту є нормою. Вона проявляється у відмінностях за такими показниками:
 - Гранулометричний склад, який характеризує співвідношення вмісту піску, мулу та глини і визначає текстуру ґрунту, його здатність утримувати вологу та поживні речовини. Відомо, що одному полі можна зустріти, як важкі глинисті ділянки, так і легкі піщані.
 - Вміст гумусу, який є джерелом поживних речовин та виступає головним фактором в структурі ґрунту. Її вміст зазвичай значно коливається в різних частинах поля та безпосередньо впливає на родючість.
 - Кислотність (рН) має істотний вплив на доступність елементів живлення для рослин. Зміна рН у ґрунті може блокувати засвоєння ключових макро- та мікроелементів.

- Щільність та структура ґрунту. При ущільненні ділянок поля відбувається обмеження розвитку кореневої системи, погіршується інфільтрація води та аерація ґрунту, що зумовлює пригнічення росту рослин.
 - Забезпеченість елементами живлення, а саме їх доступними та рухомим формами зрідка буває рівномірною по всій ділянці поля [45].
- Рельєф поля та його форма є другим за значущістю фактором, який обумовлює неоднорідність. За різними оцінками вчених до 85% варіабельності врожайності має зв'язок саме з нерівномірністю рельєфу. Вплив рельєфу є комплексним:
- Нерівномірність вологи, яка обумовлена тим, що вода з схилів стікає та накопичується в пониженнях. Це зумовлює створення зон з різним рівнем вологозабезпечення, який виступає одним із критичних факторів, особливо в умовах недостатнього зволоження.
 - Водна ерозія зумовлює змивання найбільшого родючого шару ґрунту з поживними речовинами та органікою з схилів і переносить його в низовини. В результаті чого пагорби стають збідненими, а низини – надмірно збагаченими та зволоженими [46].
- Антропогенні (управлінські) фактори пов'язані з історією використання поля та агротехнічними операціями, які проводилися на ньому.
- Теперішні великі поля часто були створені шляхом об'єднання менших полів, кожне з яких мало певну історію удобрення, обробітку та сівозмін. Колишні межі ділянок можуть проявлятися у вигляді смуг з різними властивостями ґрунту.
 - Системи обробітку ґрунту, а особливо відвальна оранка на однакову глибину обумовлює формування ущільненого підземного шару – плужної підшви. Рух важкої техніки по полі, що особливо відчутно проявляється за умов надмірної вологості зумовлює утворення локальних зон з переущільненням, зокрема на розворотах.
 - Нерівномірне внесення агроресурсів, а саме внесення вапна, добрив та органіки часто може бути нерівномірним через недосконалість

агротехніки. Це зумовлює зони з надлишковим або недостатнім вмістом поживних речовин [47].

Ряд вищезазначених факторів створює різноманітні умови для росту і розвитку рослин у кожній окремій точці поля, що має прямі та вимірювані наслідки.

Утворення зон продуктивності є проявом неоднорідності поля, де відбувається формування стабільних зон з різним рівнем врожайності. Зазвичай виділяють зони низької, середньої та високої продуктивності. Рослини у таких зонах мають різний розвиток: на високопродуктивних ділянках вони отримують кращий доступ до поживних речовин та вологи, сформовують більшу біомасу та вищу врожайність. А на низькопродуктивних ділянках ріст та розвиток рослин є пригнічений певними лімітуючими факторами [48].

Різні ділянки поля забезпечують різну врожайність, де різниця може значно коливатись, досягаючи 50-90% в межах одного поля. За традиційного підходу, який орієнтований на визначення середньої врожайності по полю відбувається «маскування» цієї варіабельності, не дозволяючи оцінити та визначити справжню економічну ефективність кожної ділянки [49].

Таким чином, неоднорідність полів є об'єктивною реальністю, яка обумовлена комплексом природних та антропогенних чинників. Вона має безпосередній вплив на продуктивність сільськогосподарських культур, зумовлюючи значну варіабельність врожайності та неефективне використання агроресурсів при традиційному та усередненому підході до менеджменту поля. Аналіз цієї неоднорідності за використання новітніх технологій, таких як картографування врожайності, агрохімічне аналіз ґрунтів з GPS-прив'язкою та дистанційне зондування землі є ключовою умовою для впровадження елементів прецизійного агровиробництва. Лише розуміючи строкатість кожного окремого поля, можна перейти до адаптивного, диференційованого менеджменту, який дозволяє провести оптимізацію внесення агроресурсів відповідно до потенціалу кожної окремої зони, тим самим збільшуючи економічну ефективність та екологічну стійкість агровиробництва [50].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень

Дослідження проводилися на території господарства СТОВ ім. Чкалова розташованого в межах Золотоніського району Черкаської області, поблизу села Жовнине. Цей регіон знаходиться в зоні Лівобережного Лісостепу України, що визначає його характерні ґрунтово-кліматичні особливості.

З географічної точки зору, ця місцевість є частиною великої Придніпровської низовини та знаходиться в межах Лівобережної Лісостепової природної зони України. Таке положення визначає фундаментальні риси місцевого ландшафту, клімату та, як наслідок, ґрунтового покриву.

Рельєф території є одним із ключових факторів ґрунтоутворення. Для даної місцевості характерний рівнинний, місцями слабохвилястий характер поверхні, що є типовим для лесових рівнин Лівобережжя. Абсолютні висоти тут незначні, а ухили поверхні мінімальні. Таким чином, геоморфологічні особливості території дослідження створюють ідеальні передумови для реалізації потенціалу інших ґрунтоутворюючих факторів, зокрема клімату та рослинності, у формуванні високородючих ґрунтів [51].

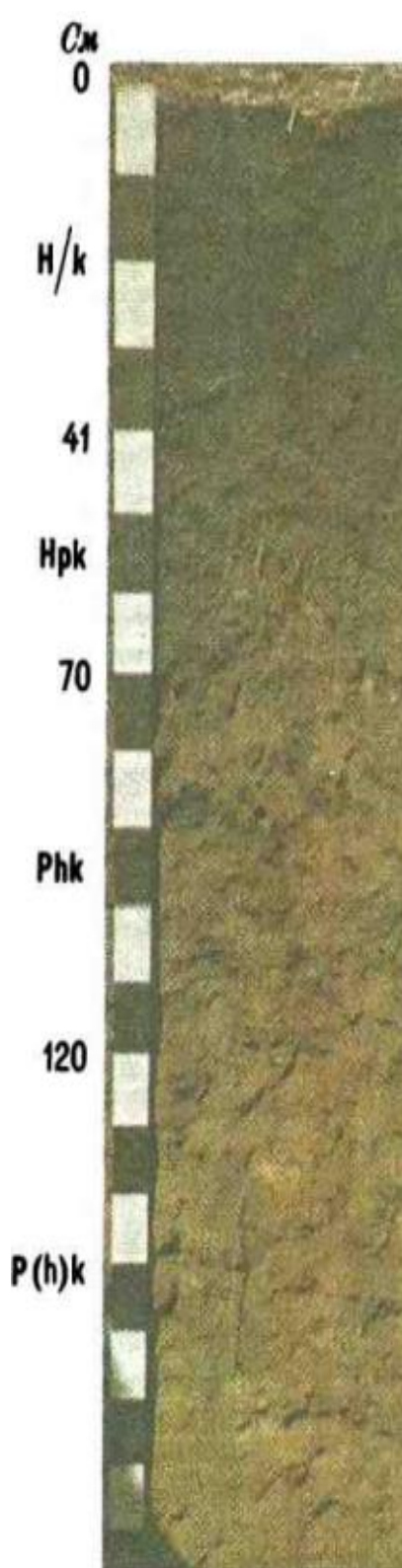
Характерним для господарства є чорноземи типові. Це дуже родючі ґрунти і в однаковій мірі є придатними під вирощування більшості сільськогосподарських культур. Бонітети їх складають 65, 82, 63 бали. Ґрунти добре реагують на органічні та мінеральні, особливо фосфорні та азотні добрив [52].

Материнською (ґрунтоутворюючою) породою для ґрунтів на досліджуваній території слугують лесові породи, зокрема лесоподібні суглинки. Це нешаруваті, пористі, карбонатні породи палево-жовтого кольору [52].

Чорноземи типові, які переважають на території господарства, належать до найбільш родючих ґрунтів у світі. А їхні властивості є результатом тисячоліть природного розвитку [53].

За аналізом морфологічної будови профілю встановлено, що ґрунтовий профіль чорнозему типового має потужну, глибоку будову, яка досягає близько 120-150 см і більше [53].

Чорнозем типовий має чітко диференційовані генетичні горизонти (рис. 2.1):



Н/к 0-41 см – гумусовий, темно-сірий, вологий, крупнопилуватий-важкосуглинний; 0-27 см орний – порошкоподібний-грудкуватий, пухкий, 27-41 см підорний – карбонатний, неміцнозернистий-грудкуватий, ущільнений; перехід поступовий.

Нр/к 42-70 см – верхній перехідний, добре, але нерівномірно гумусований, карбонатний, темно-сірий, вологий, крупнопилуватий-середньосуглинний, неміцнозернистий-грудкуватий, пухкий, по червороїнах зустрічається карбонатна цвіль, перехід поступовий.

Phk 71-120 см – нижній перехідний, слабо і нерівномірно гумусований, карбонатний, сіро-бурий, вологий, крупнопилувато-середньосуглинний, неміцнокусковатий, багато кротовин і червороїн з карбонатною цвільлю; перехід поступовий.

P(h)k 121-203 см – лес, по кротовинах слабогумусований, карбонатний, сірувато-бурий, плямистий, свіжий, крупнопилуватий-середньосуглинний, грудкуватий, пухкий, сильно переритий землерийками, по кротовинах і червороїнах багато карбонатної цвілі.

Pk 204-220 см – лес, карбонатний, бурувато-палевий, крупнопилуватий-середньосуглинний з рясною карбонатною цвільлю [54].

Рис. 2.1 Профіль чорнозему типового

Отже, ґрунтовий покрив території проведення досліджень в районі с. Жовнине представлений чорноземами типовими на лесових породах. Їхні морфологічні, хімічні та фізичні властивості, а також потужний гумусовий горизонт, високий вміст елементів живлення, водостійка структура у поєднанні з оптимальним водно-повітряним режимом – створюють сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур [54].

Агрохімічний аналіз орного шару ґрунту (0–20 см) свідчить про високий рівень потенційної родючості та сприятливі умови для вирощування більшості сільськогосподарських культур (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрохімічна характеристика чорнозему типового

Показник	Глибина, см	Показник
Гумус, %	0–20	3,85
pH (сольове)	0–20	6,30
Гідролітична кислотність (Нг) ммоль-екв/100 г	0–20	1,21
Сума вбирних основ (S) ммоль-екв/100 г	0–20	34,2
Азот (мінеральний, N-NO ₃ + N-NH ₄), мг/кг	0–20	40,5
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	0–20	135
Рухомий калій (K ₂ O), мг/кг	0–20	115

Ключовою характеристикою є високий вміст гумусу на рівні 3,85%, який є типовим для чорноземних ґрунтів та забезпечує значний запас органічної речовини і поживних елементів, а також сприяє формуванню доброї структури. Реакція ґрунтового розчину є нейтральною (pH 6,30), яка сприяє кращій для рослин доступності основних макро- та мікроелементів. Гідролітична кислотність становить – 1,21 ммоль-екв/100 г, сума вбирних основ – 34,2 ммоль-екв/100 г). Щодо забезпечення елементами живлення, ґрунт містить хороший стартовий запас мінерального азоту – 40,5 мг/кг, вміст рухомого фосфору був підвищений і досягав – 135 мг/кг, водночас вміст обмінного калію був середнім – 115 мг/кг.

Таким чином, для того, щоб у повній мірі реалізувати потенціал родючості даного ґрунту рекомендується застосування збалансованої системи удобрення з додатковим поповненням запасів калію відповідно до його виносу із запланованим врожаєм.

2.2 Кліматичні умови території проведення досліджень

Територія проведення досліджень, на якій розташоване господарство СТОВ ім. Чкалова, знаходиться в межах Золотоніського району Черкаської області, поблизу села Жовнине. Цей регіон знаходиться в межах помірно-континентального клімату Лісостепу України, що визначає основні агрокліматичні особливості, які є сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур [55].

Клімат території характеризується теплим, помірно вологим літом та порівняно м'якою зимою з частими відлигами, що призводить до нестійкого снігового покриву [55].

Температурний режим 2025 року досліджуваної території має чітко виражений річний хід, характерний для помірно-континентального клімату. Амплітуда коливань середньомісячних температур протягом року є значною, що свідчить про контрастність сезонів (Рис. 2.2).

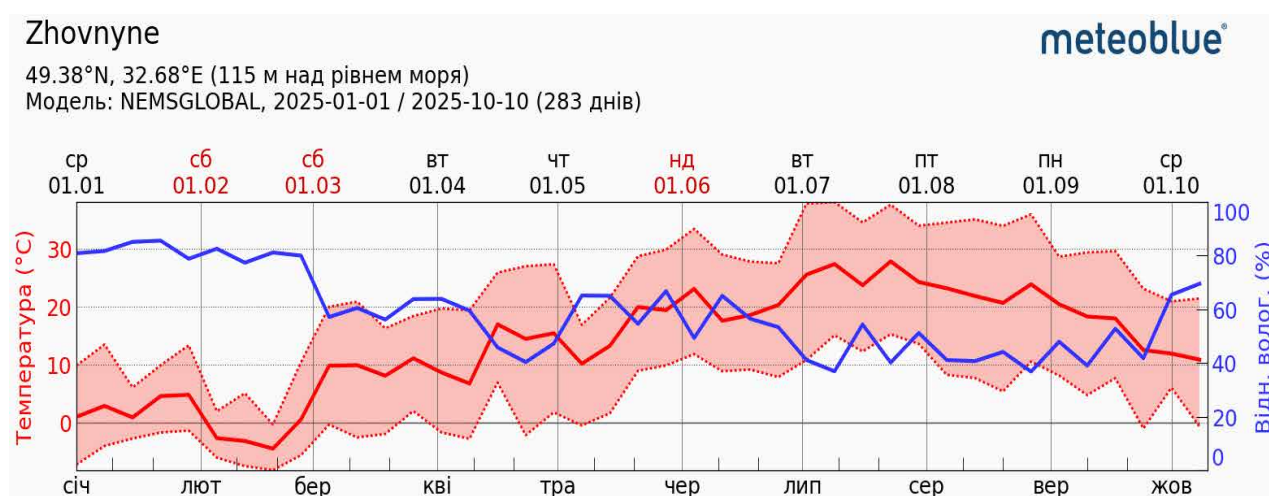


Рисунок 2.2 Температурний режим території господарства у 2025 р.

Зимовий період (січень-лютий) характеризується найнижчими температурними показниками. Середня температура січня коливалася близько

0°C, із зниженнями до -5°C . У лютому на початку місяця спостерігалася тенденція зниження температури до -8°C з поступовим підвищенням температури до кінця місяця, середні показники якої становили близько $+2^{\circ}\text{C}$.

Весняний період (березень-травень) відзначався інтенсивним наростанням тепла. У березні середньомісячна температура перевищувала позначку $+5^{\circ}\text{C}$, а у квітні досягала $+10^{\circ}\text{C}$. Травень був найтеплішим весняним місяцем із середньомісячною температурою $+16^{\circ}\text{C}$, що сприяло початку активного вегетаційного періоду.

Літній період (червень-серпень) був найтеплішим. Максимальна середньомісячна температура фіксується в липні, досягаючи $+22^{\circ}\text{C}$. Середня температура червня та серпня коливалась в межах $+20^{\circ}\text{C}$ та $+21^{\circ}\text{C}$ відповідно. Впродовж цього періоду денні максимуми регулярно перевищували $+25^{\circ}\text{C}$, а іноді досягали $+30^{\circ}\text{C}$ і вище.

Осінній період (вересень-жовтень) характеризувався поступовим зниженням температури. У вересні ще утримувалась тепла погода із середньою температурою близько $+16^{\circ}\text{C}$, однак вже в жовтні відбулось різке похолодання, і середній показник знизився до $+11^{\circ}\text{C}$.

Режим зволоження досліджуваної території, характеризувався вираженою нерівномірністю розподілу опадів протягом року та має три чітко виражених максимуми. Загалом, аналіз дозволяє виділити декілька ключових періодів (Рис. 2.3).

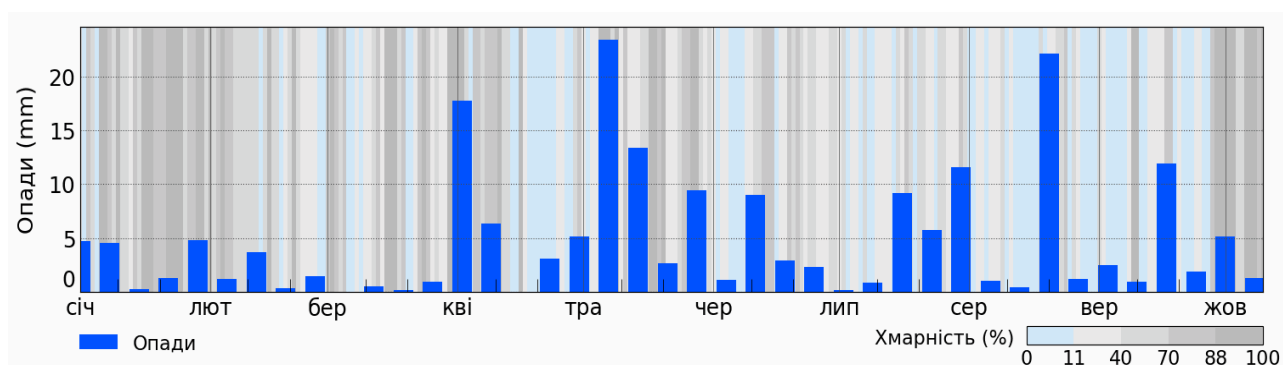


Рисунок 2.3 Режим опадів території господарства у 2025 р.

Протягом зимового періоду (січень-лютий): Кількість опадів була незначною, в середньому 4-5 мм.

Весняний період (березень-травень) характеризувався стрімким зростанням кількості опадів. Після «сухого» березня відбулося значне збільшення у квітні (пік -18 мм), а перший максимум опадів припадав на травень, коли фіксувалися найвищі показники за весь рік (понад 22 мм). Опади в цей час, мали зливовий характер.

Впродовж літнього періоду (червень-серпень) відмічалось нестабільне зволоження. Після активного травня, у червні та особливо в липні спостерігався різкий спад кількості опадів. Липень був найсухішим місяцем аналізованого періоду з мінімальною рівнем опадів. У серпні кількість опадів знову зроста.

В осінній період (вересень-жовтень) відмічався другий пік випадання опадів (близько 22 мм), що пов'язано із проходженням атмосферних фронтів.

Отже, встановлено, що гідротермічні умови досліджуваної території відзначалися вираженою контрастністю та нерівномірністю. Сприятливе поєднання поступового наростання тепла та значної кількості опадів у першій половині вегетаційного періоду з піком у травні, створювало оптимальні умови для накопичення ґрунтової вологи та активізації біологічних процесів. Водночас, ключовим лімітуючим фактором став гідротермічний стрес для рослин в середині літа. У цей період відмічались піки максимальних температур у липні, які збігалися з відсутністю опадів, що обумовлювало посушливі умови, які суттєво обмежували продуктивність сільськогосподарських культур, незважаючи на сприятливий початок сезону.

2.3 Методика та методи проведення досліджень

Польовий дослід був закладений на території землекористування СТОВ ім. Чкалова, яке знаходиться у Золотоніського району Черкаської області, у с. Жовнині. Цей регіон відноситься до зони Центрального Лісостепу України та характеризується сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для вирощування соняшнику, зокрема переважанням чорноземних типів ґрунтів.



Рисунок 2.4 Розташування господарства

Таблиця 2.2

Схема дослідів

Тип ділянки	Варіант	Підживлення
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га

Схема дослідів (табл. 2.2) передбачала виділення трьох дослідних ділянок на основі даних дистанційного моніторингу посівів. Зонування поля за рівнем продуктивності проводилося за допомогою супутникової платформи GeoPard Agriculture. Для проведення дослідів було визначено на три зони з високим, середнім та низьким рівнями продуктивності на основі нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI). Для кожної із цих зон було

розроблено та застосовано систему позакоренових підживлень, що передбачала внесення добрив з різними нормами.

Попередником у сівозміні була пшениця озима. Посівний матеріал соняшнику використовували від компанії Syngenta, гібрид: Sumatra HTS з густотою стояння на момент збирання 55 тис./га з шириною міжрядь 70 см.

Позакореневе підживлення добривом «Авангард® Комплекс Соняшник» проводили за допомогою акумуляторного обприскувача згідно варіантів досліду у фазах 6-8 листків та «зірочки». У межах кожної виділеної зони розмір варіанту становив 50 м².

Зразки ґрунту і рослин соняшнику відбирали перед підживленням на таких стадіях органогенезу: ВВСН 16-18, ВВСН 30-32, ВВСН 51, ВВСН 65-67, ВВСН - 89. Лабораторні аналізи проводили у лабораторіях кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна. Відбір і підготовка зразків ґрунту до аналізів здійснювалась згідно ДСТУ ISO 10381-2:2004 а ДСТУ ISO 11464-2001.

Збирання врожаю проводили механізованим способом на всій площі дослідних ділянок у фазі технічної стиглості культури, дотримуючись загальноприйнятих методик.

У досліді застосовували добриво «Авангард® Комплекс Соняшник» (рис. 2.5) формула якого розроблена з урахуванням фізіологічних потреб культури, передусім у борі (B), дефіцит якого критично позначається на запиленні та виповненості кошика. Препарат забезпечує рослини не лише бором, а й іншими важливими елементами, як-от сірка (S), що сприяє синтезу олій, та комплексом металів (Zn, Mn, Cu та ін.) у формі хелатів [56].

Властивості добрива:

- легкозасвоюваність;
- сприяє активації обмінних процесів, має антистресовий ефект;
- активує ріст і розвиток рослин;
- зумовлює підвищення імунітету та має фунгіцидний ефект;
- обумовлює підвищення врожайності та якості продукції [56].



Рис. 2.5 Добриво «Авангард Соняшник»

Склад комплексного добрива «Авангард® Комплекс Соняшник»:

Азот N	Калій K ₂ O	Магній MgO	Сірка SO ₃	Бор B	Залізо Fe	Марганець Mn	Мідь Cu	Цинк Zn	Молібден Mo	Кобальт Co	α-амінокислоти
20	10	20	60	3	1	7	3	6	0.025	0.025	42

*Fe, Mn, Cu, Zn, хелатовані ЕДТА.

Посівний матеріал соняшнику у досліді використовувався від компанії Syngenta, гібрид **Sumatra HTS** — це високопродуктивний гібрид соняшнику, розроблений компанією Syngenta. Він належить до середньостиглої групи і поєднує в собі стійкість до гербіцидів з високим потенціалом урожайності та відмінними агрономічними властивостями [57].

Основні властивості:

- Технологія: гібрид адаптований для системи HTS, що передбачає використання гербіцидів на основі трибенурон-метилу. Це дозволяє ефективно контролювати широкий спектр дводольних бур'янів у посівах,

забезпечуючи чистоту полів та максимальну реалізацію потенціалу культури.

- Група стиглості: середньостиглий. Це робить його універсальним вибором для більшості регіонів вирощування соняшнику в Україні, дозволяючи оптимізувати терміни посіву та збору врожаю.
- Тип олії: лінолевий. Гібрид формує насіння з високим вмістом класичної лінолевої олії, що має стабільний попит на ринку.
- Потенціал урожайності: Sumatra HTS демонструє високий та стабільний рівень урожайності за сприятливих умов вирощування та дотримання агротехніки.
- Стійкість до стресів: гібрид характеризується відмінною посухостійкістю, що є критично важливим для зон із недостатнім зволоженням [57].



Рис. 2.6 Поле соняшнику, гібрид Sumatra HTS

Технологія вирощування соняшнику передбачала наступні агрозаходи: Основний обробіток передбачав оранку на глибину 25–27 см. Для цього використовували агрегат у складі трактора New Holland T8 та оборотного плуга Kuhn Master 183.

У передпосівний обробіток проводився комплекс заходів, який включав ранньовесняне закриття вологи дисковим агрегатом Väderstad Carrier CR400 на глибину 5–7 см, а також для якісного посіву проводилась передпосівна культивация комбінованим агрегатом «Європак».

Система удобрення соняшнику включала внесення фосфорних та калійних добрив з осені під основний обробіток ґрунту в нормі $P_{60}K_{100}$. Передпосівне удобрення передбачало застосування азотних добрив з нормою N_{70} , а також комплексного добрива YaraMila NPK 7-20-28.

Для захисту рослин соняшнику від бур'янів використовували гербіцид Експрес™ 75, (ФМС) ВГ в нормі 40 г/га.

Для захисту від хвороб використовували фунгіцид Дункан 1 л/га, а для захисту від шкідників інсектецид Шокер 0,2 л/га.

Десикацію проводили застосувавши Альфа Дикват 4 л/га.

Таким чином, методика проведення досліджень базувалася на поєднанні польового дослід з елементами прецизійного агроворобництва (зонування поля за NDVI), лабораторних аналізів та загальноприйнятих агрономічних спостережень.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

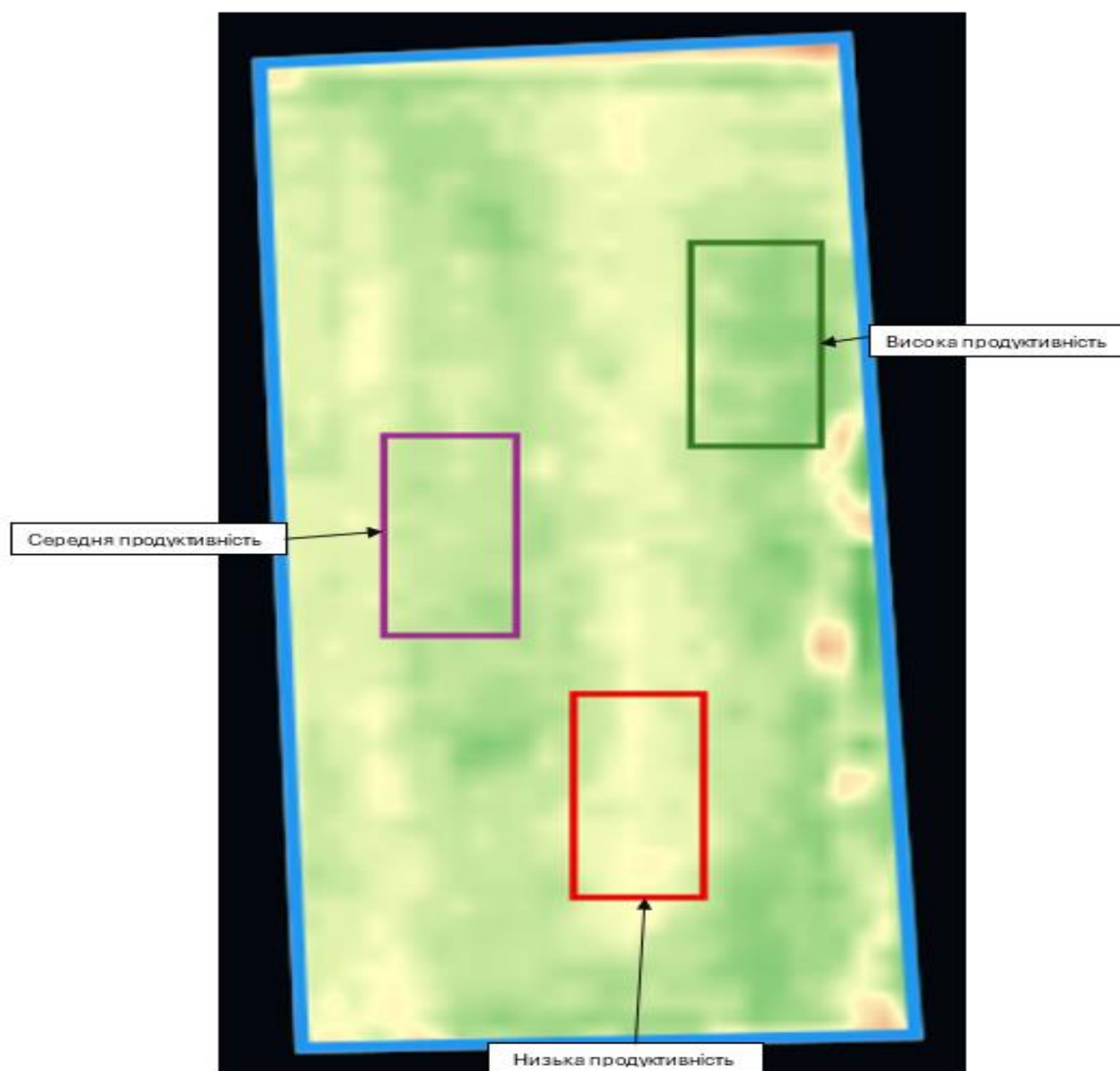
3.1 Дистанційний моніторинг рослин соняшнику

Застосування елементів точного землеробства, які є невід'ємно пов'язані з використанням цифрових технологій та дистанційним моніторингом є передумовою для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. В нинішніх умовах, де відбулось глобальне підвищення попиту на сільськогосподарську продукцію ефективне картографування та оперативне спостереження за станом полів набувають пріоритетного значення [58].

Використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) зарекомендувало себе, як швидкий та економічно вигідний інструмент для контролю посівів вирощуваних культур на великих територіях. Наше дослідження було зосереджене на пошуку ділянок з різною продуктивністю та моніторингу рослин соняшнику протягом його вегетаційного періоду на цих ділянках. Для оцінки динаміки стану рослин використовували мультитимчасові супутникові знімки на основі яких розраховували та аналізували ключові вегетаційні індекси, зокрема нормалізований диференційний індекс рослинності (NDVI) та нормалізований диференційний індекс червоного краю (NDRE) [59].

Для обґрунтування диференційованого підходу до живлення рослин та виділення дослідних ділянок було проведено дистанційний моніторинг стану посівів за допомогою програмного забезпечення GeoPard Agriculture. На основі отриманих мультиспектральних супутникових знімків було розраховано індекс (NDVI) у фазі 6-8 справжніх листків (BBCH 16-18).

Отримана карта вегетації (рис. 3.1) чітко показує наявність вираженої просторової неоднорідності в розвитку рослин соняшнику на полі. А саме, у зоні високої продуктивності (виділена зеленим кольором) відмічався найвищими значеннями індексу NDVI (0,75). Це свідчить про те, що на даному етапі рослини мали добре розвинену листову поверхню, високий вміст хлорофілу та інтенсивно нарощували вегетативну масу, що було зумовлено найсприятливішими ґрунтовими умовами.



**Рис. 3.1 Індекс (NDVI) рослин соняшника у фазі 6-8 справжніх листків
(ВВСН 16-18)**

Зона середньої продуктивності (виділена фіолетовим кольором) мала проміжні показники NDVI (0,69). Рослини тут розвивалися задовільно, однак дещо відставали у рості та формуванні біомаси від рослин у високопродуктивній зоні.

Зона низької продуктивності (виділена червоним кольором) мала найнижчі значення індексу NDVI (0,62). Світло-жовті та бежеві відтінки на карті вказують на нерівномірність посівів, пригнічений стан рослин, меншу площу листя та вищий ступінь прояву стресових факторів.

Саме на основі аналізу NDVI у цей період було визначено вихідну строкатість поля після чого було обрано три зони, як стаціонарні ділянки для подальшого закладання досліду та вивчення ефективності позакорневих підживлень.

Аналіз супутникового знімка, зробленого у період повного цвітіння (ВВСН 65-67) дозволяє візуально оцінити ефект від двох позакорневих підживлень проведених на етапах 6-8 листків та у фазу зірочки. На відміну від карти отриманої на ранніх етапах вегетації (рис. 3.1), даний знімок (рис. 3.2) показує значно вищу інтенсивність вегетації, де відмічається більша однорідність посіву.

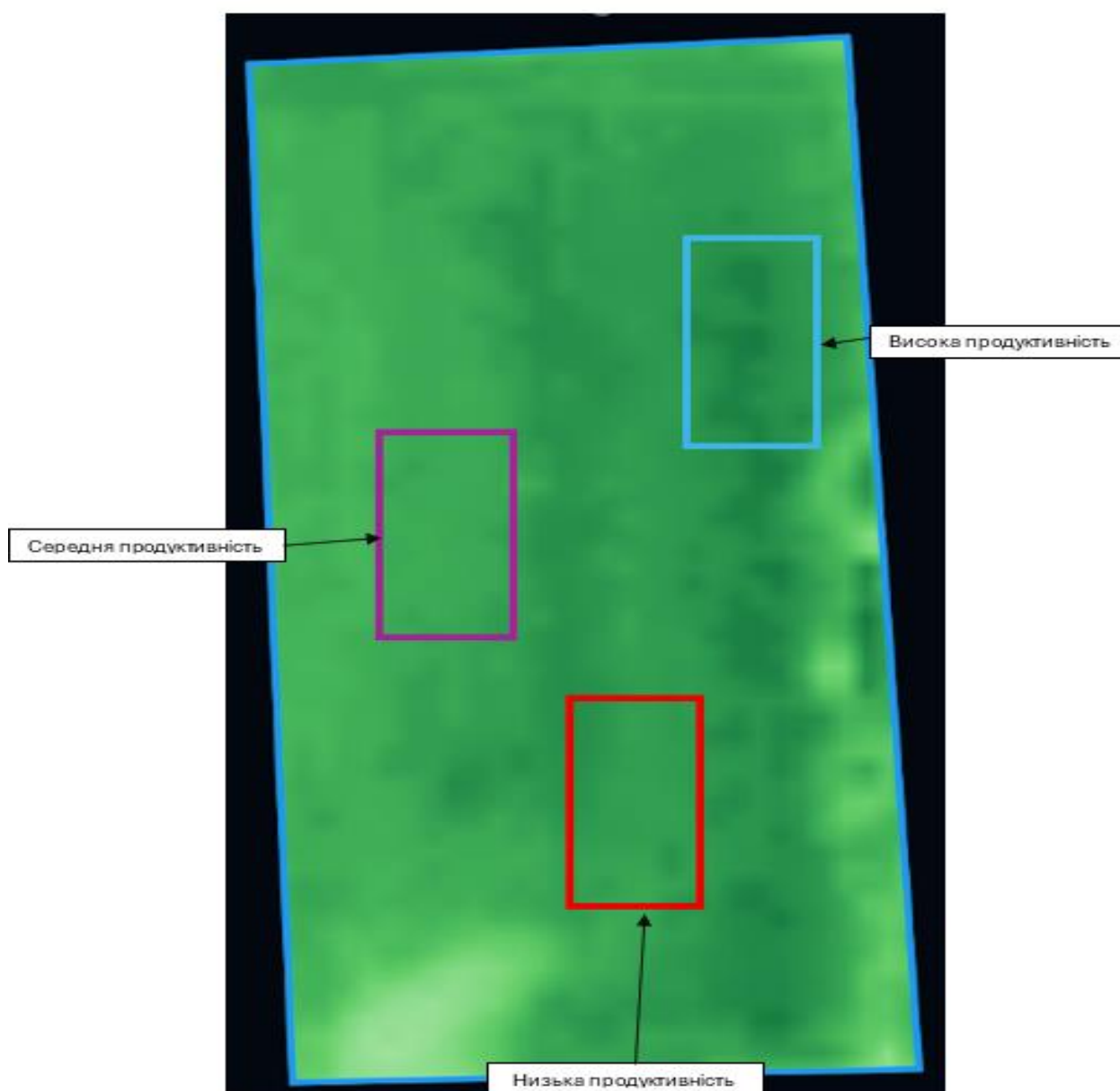


Рис. 3.2 Індекс (NDVI) рослин соняшника у період повного цвітіння

(ВВСН 65-67)

В загальному фон поля мав насичений зелений колір, що свідчить про успішне наростання максимальної площі листкової поверхні.

У зоні високої продуктивності (виділена синім кольором) були зафіксовані найвищі значення NDVI які зросли до рівня 0,97. Це перш за все обумовлено тим, що рослини в цій зоні мали найкращі стартові умови та максимально ефективно використали як ґрунтові ресурси так і поживні елементи із позакореневих підживлень.

Зона середньої продуктивності (виділена фіолетовим кольором) демонструвала суттєве покращення, а її показники NDVI значно зросли до 0,82 і наблизилися до значень високопродуктивної зони, що візуально підтверджує ефективність підживлення.

У зоні низької продуктивності (виділена червоним кольором) спостерігалась найбільш виражена позитивна динаміка. Ділянка, яка на початкових етапах мала найнижчі показники NDVI (світло-жовті відтінки) тепер мала візуально кращий вигляд та вищий індекс який становив 0,80. Це говорить про те, що внесення добрив позакоренево було важливим та ефективним заходом саме для цієї зони. Воно зумовлювало компенсацію дефіциту поживних речовин та забезпечило нівелювання стресових факторів.

Таким чином, візуальний аналіз карт NDVI підтверджує дані біометричних вимірювань та агрохімічного моніторингу. Він демонструє, що початкова неоднорідність поля була успішно скоригована за допомогою двох цільових позакореневих підживлень. Це дозволило "підтягнути" слабші за продуктивністю ділянки та сприяло зниженню негативного впливу ґрунтової неоднорідності, що в результаті сприяло виходу рослин соняшнику на пік вегетації в більш продуктивному та здоровому стані. Після цієї фази індекс NDVI починав поступово знижуватися, оскільки рослина перенаправить всю енергію з листя на налив насіння [60].

3.2 Вплив неоднорідності поля на агрохімічні показники ґрунту

Рівень родючості ґрунту є ключовим елементом, який визначає продуктивність агроценозу. Однак за реальних виробничих умов майже всі поля не є абсолютно однорідним за своїми агрохімічними характеристиками. Просторова варіабельність вмісту гумусу, елементів живлення та реакції ґрунтового розчину зумовлює формування зон із різним рівнем продуктивності. Така строкатість поля безпосередньо впливає на ріст і розвиток рослин, а саме на більш родючих ділянках формуються більші рослини, що в свою чергу зумовлює інтенсивніший виніс поживних речовин із ґрунту [61].

Неоднорідність поля обумовлює різні стартові умови для росту рослин, але й впливає на диференційовану динаміку агрохімічних показників впродовж вегетаційного періоду. Встановлення цих змін є дуже важливим, оскільки розуміння всіх процесів у живленні рослин дозволяє розробити ефективні системи диференційованого внесення добрив під сільськогосподарські культури [62].

Результати агрохімічного аналізу ґрунту, проведеного на ключових етапах органогенезу соняшнику демонструють чітку динаміку вмісту основних елементів живлення, що детермінується як вихідною строкатістю агрофону, так і інтенсивністю розвитку рослин у різних варіантах дослідів.

На початковому етапі, у фазі 6-8 листків (ВВСН 16-18), було зафіксовано базовий рівень забезпеченості ґрунту поживними речовинами, який став основою для диференціації ростових процесів (табл 3.1). Встановлено, що високопродуктивна зона характеризувалася оптимальними умовами з реакцією ґрунтового розчину, близькою до нейтральної (рН 6,30) та найвищим вмістом мінерального азоту (64,5 мг/кг), рухомого фосфору (198 мг/кг) та обмінного калію (166 мг/кг).

У низькопродуктивній зоні, навпаки, спостерігалися лімітуючі фактори, зокрема слабкокисла реакція середовища (рН 6,19) та суттєво нижчий вміст НРК, що і визначило її нижчий вихідний потенціал.

Таблиця 3.1

Вміст елементів живлення у ґрунті в фазу (ВВСН 16-18) за різних умов продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	pH, сол.	N, мін. мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	6,30	64,5	198	166
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га				
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га				
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	6,25	54,1	165	141
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га				
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га				
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	6,19	41,8	110	102
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га				
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га				

У фазу «зірочки» (ВВСН 51), яка є періодом максимального споживання поживних речовин для формування асиміляційного апарату, відбулося значне зниження вмісту NPK у ґрунті в усіх варіантах дослідів (табл 3.2).

Таблиця 3.2

Вміст елементів живлення у ґрунті в фазу (ВВСН 51) за різних умов продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	pH, сол.	N, мін. мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	6,30	35,2	145	120
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,31	30,1	132	108
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,30	32,5	139	114
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	6,25	30,0	125	109
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,25	24,8	115	98,4
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,24	27,2	120	103
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	6,18	28,5	95,1	84,2
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,18	22,6	83,2	74,5

	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,18	23,9	89,4	81,4
--	---	------------------------------	------	------	------	------

Проте простежувалася ключова закономірність: інтенсивність виносу елементів живлення була прямо пропорційною розвитку біомаси рослин. Найменший вміст елементів в ґрунті було зафіксовано у варіантах, де застосовувалося позакореневе підживлення, особливо в дозі 2 л/га.

Водночас, у низькопродуктивній зоні вміст мінерального азоту на контролі (варіант №7) становив 28,5 мг/кг, тоді як у варіанті з підживленням (варіант №8), де рослини розвивалися інтенсивніше цей показник знизився до 22,6 мг/кг. Це свідчить про те, що стимуляція росту рослин обумовлює до активніше поглинання ними поживних речовин із ґрунту.

У період повного цвітіння (ВВСН 65-67), коли триває активний налив насіння, продовжується інтенсивне споживання фосфору та калію. Кумулятивний ефект виносу поживних речовин за весь попередній період вегетації став ще більш вираженим.

Ґрунт на ділянках з найпотужнішими рослинами, а саме варіант №2 у високопродуктивній зоні та №8 у низькопродуктивній характеризувалися найнижчими залишковими показниками НРК.

Таблиця 3.3

Вміст елементів живлення у ґрунті в фазу (ВВСН 65-67) за різних умов продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	pH, сол.	N, мін. мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	6,31	26,1	125	102
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,30	23,5	118	92,2
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,31	27,2	124	98,3
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	6,24	25,5	112	97,1
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,24	19,8	100	84,3
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,24	22,4	106	90,1
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	6,18	24,1	84,0	75,2
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	6,19	20,4	72,4	64,3
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	6,18	21,9	78,2	69,4

Зокрема, у низькопродуктивній зоні вміст рухомого фосфору на варіанті №8 знизився до 72,4 мг/кг, а обмінного калію – до 64,3 мг/кг, що є найнижчими значеннями у досліді.

Результати агрохімічного моніторингу зон продуктивності протягом вегетаційного періоду соняшнику підтверджують, що інтенсифікація технології вирощування, спрямована на максимальну реалізацію генетичного потенціалу соняшнику, призводить до пропорційно більшого виносу елементів живлення з ґрунту, що необхідно враховувати при розробці системи удобрення для наступних культур у сівозміні [63].

Таким чином, проведений нами агрохімічний моніторинг показує, що саме неоднорідність поля не лише визначає стартові умови для росту соняшнику, а безпосередньо впливає на весь період його вегетації. Було становлено пряму залежність: інтенсивніший розвиток рослин, стимульований як умовами ґрунту, так і позакореновими підживленнями, зумовлює до більшого виносу основних елементів живлення. Отримані дані підкреслюють недостатню ефективність усередненого підходу до агрохімічного обстеження та підтверджують необхідність врахування просторової варіабельності родючості для розробки оптимізованих систем удобрення, що забезпечують як високу продуктивність культури, так і збереження балансу поживних речовин у ґрунті для наступних культур у сівозміні [64].

3.3 Вплив неоднорідності поля на біометричні показники соняшника

Однією з ключових перешкод на шляху до повної реалізації генетичного потенціалу врожайності соняшнику є внутрішньопольова варіабельність умов вирощування. Ідеально однорідне поле є скоріше теоретичним припущенням, тоді як на практиці кожне поле являє собою складну мозаїку ділянок, що відрізняються за гранулометричним складом ґрунту, вмістом поживних речовин, рівнем вологозабезпечення, ущільненістю та іншими агрофізичними та агрохімічними характеристиками [65].

Ця просторова неоднорідність безпосередньо впливає на ріст і розвиток кожної окремої рослини, створюючи строкатість посіву. Внаслідок цього рослини, що перебувають навіть на невеликій відстані одна від одної, розвиваються в різних умовах, що призводить до значної диференціації за ключовими біометричними показниками. Рослини на більш родючих ділянках можуть демонструвати максимальні показники висоти, діаметра стебла та розміру кошика, тоді як рослини в стресових зонах поля (наприклад, на схилах або ущільнених ділянках) помітно відстають у розвитку [66].

Аналізуючи таблицю 3.4 можна зробити висновок про вихідний стан рослин до моменту першого внесення добрива "Авангард Соняшник". Тут відмічається головна тенденція – це чіткий вплив природної продуктивності поля на розвиток соняшнику ще до початку будь-яких обробок.

Таблиця 3.4

Висота рослин соняшника (ВВСН 16-18) в різних зонах продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Висота рослин, см	Товщина стебла, мм
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	44,5	11,6
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	43,1	10,9
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	40,5	10,1
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		

На ділянці високої продуктивності рослини соняшнику є найрозвиненішими, досягаючи висоти 44,5 см з товщиною стебла 11,6 мм. На середньопродуктивній ділянці показники очікувано нижчі – висота 43,1 см а товщина стебла 10,9 мм. На низькопродуктивній ділянці рослини були найменш

розвинені, їхня висота досягала 40,5 см, а товщина стебла – 10,1 мм. З таблиці видно базовий рівень показуючи, що неоднорідність поля є ключовим фактором, який створює значну різницю в рості рослин ще на ранніх етапах вегетації.

У таблиці 3.5 представлено перший результат після застосування добрива. Він демонструє як збереження впливу зон продуктивності так і позитивну реакцію рослин на підживлення. У зоні високої продуктивності у варіанті №2 з дозою 2 л/га відмічалась більша висота рослин на 2,4 см (78,5 см проти 76,1 см), а також товщина стебла на 1,3 мм (16,8 мм проти 15,5 мм).

Таблиця 3.5

Висота рослин соняшника (ВВСН 30-32) в різних зонах продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Висота рослин, см	Товщина стебла, мм
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	76,1	15,5
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	78,5	16,8
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	77,0	16,4
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	73,2	14,9
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	75,5	15,5
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	74,1	15,2
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	70,0	14,3
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	73,1	14,9
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	72,2	14,6

На середньопродуктивній ділянці приріст висоти від внесення 2 л/га у варіанті №5 склав 2,3 см порівняно з контролем на ділянці (варіант №4).

У зоні низької продуктивності ефект від підживлення був особливо помітним у варіанті №8 – приріст висоти був 3,1 см порівняно з контролем, що свідчить про ефективність добрива для компенсації стресових умов. Таким чином, перше підживлення дало значний поштовх росту. Рослини не просто витягнулися, а й сформували міцніше стебло.

У таблиці 3.6 відображено стан рослин перед другим підживленням, демонструючи довготривалий ефект від першої обробки. Різниця між обробленими та контрольними варіантами стала ще більш вираженою. На ділянці високої продуктивності перевага варіанту з дозою 2 л/га (варіант №2) над контролем (варіант №1) за висотою зростає до 5 см (166 см проти 161 см).

Таблиця 3.6

Висота рослин соняшника (ВВСН 51) в різних зонах продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Висота рослин, см	Товщина стебла, мм
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	161	17,9
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	166	18,5
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	164	18,1
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	151	17,0
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	155	17,3
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	152	17,5
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	145	15,9
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	149	16,7
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	147	16,3

На середньопродуктивній ділянці різниця у висоті між варіантами 5 та 4 становила 4 см (155 см проти 151 см). У зоні низької продуктивності (варіант №8 та №9), були на 4 та 3 см вищими за контроль. У досліді відслідковувалась позитивна тенденція, де відмічався ефект від першого підживлення, який виявився стійким. Рослини до фази «зірочки» були значно сильнішими та краще розвиненими, що закладає основу для формування більшого кошика порівняно контролем.

На період повного цвітіння на ділянці високої продуктивності ефект від обробки дозою 2 л/га (варіант №2) дозволив досягти максимальної висоти 183 см та товщини стебла 19,9 мм, що відповідно на 6 см та 0,9 мм більше за контроль (варіант №1) (табл. 3.7). У зоні середньої продуктивності фінальна

різниця у висоті між варіантом №5 та контролем склала 4 см (174 см проти 170 см).

Таблиця 3.7

Висота рослин соняшника (ВВСН 65-67) в різних зонах продуктивності поля

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Висота рослин, см	Товщина стебла, мм
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	177	19,0
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	183	19,9
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	181	19,5
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	170	18,5
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	174	18,9
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	172	18,8
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	166	17,0
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	170	17,6
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	171	17,4

На низькопродуктивній ділянці На низькопродуктивній ділянці два підживлення у варіанті №8 дозволили рослинам досягти висоти 170 см, що на 4 см вище за контроль.

Таким чином, дворазова система підживлення показала високу ефективність. Вона дозволила максимально розкрити потенціал росту соняшнику в усіх зонах продуктивності, що в результаті сприяло формуванню вищих, міцніших та потужніших рослин на момент цвітіння.

Формування площі листкової поверхні є важливим та ключовим фізіологічним процесом, який безпосередньо визначає фотосинтетичний потенціал посівів. Площа листя рослини відповідає за синтез органічної речовини, яка потім починає трансформуватися у врожай. Цей показник дуже динамічний і залежить багатьох чинників та комплексної взаємодії генетичних, агротехнічних та екологічних факторів [67].

У таблиці 3.8 представлено вихідні дані щодо площі листкової поверхні на початковому етапі розвитку соняшнику перед першим підживленням. Дані

чітко показують, що ще до внесення добрив неоднорідність поля вже суттєво вплинула на ріст рослин.

Таблиця 3.8

Площа листя рослин соняшника (ВВСН 16-18) за різних умов живлення

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Площа листя тис.м ² /га	Листковий індекс (LAI)
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	2,60	0,26
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	2,41	0,24
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	2,11	0,21
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га		
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га		

У досліді спостерігалась чітка закономірність: у високопродуктивній зоні площа листя досягала 2,60 тис. м²/га, а листковий індекс (LAI) становив 0,26, що є найвищим показником (табл. 3.8). У середньопроодуктивній зоні цей показник знизився до 2,41 тис. м²/га, а листковий індекс до 0,24. У низькопродуктивній зоні була найменша площа листя – 2,11 тис. м²/га до 0,21.

Таблиця 3.9

Площа листя рослин соняшника (ВВСН 30-32) за різних умов живлення

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Площа листя тис.м ² /га	Листковий індекс (LAI)
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	20,1	2,01
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	22,5	2,25
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	21,1	2,11
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	19,5	1,95
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	20,3	2,03
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	20,1	2,01
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	18,7	1,87
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	19,8	1,98
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	19,1	1,91

Після першого підживлення спостерігалось стрімке наростання площі листя. Відмічався вплив зон продуктивності, а саме у контролі у зоні високої продуктивності (варіант №1) площа листя становила 20,1 тис. м²/га (LAI 2,01), тоді як у низькопродуктивній ділянці (варіант №7) — 18,7 тис. м²/га (LAI 1,87). Застосування добрива "Авангард Соняшник" сприяло значному приросту. У високопродуктивній зоні доза 2 л/га (варіант №2) забезпечила збільшення площі листя до 22,5 тис. м²/га (LAI 2,25). Важливо, що підживлення ефективно спрацювало і в гірших умовах, збільшивши площу листя у низькопродуктивній зоні до 19,8 тис. м²/га (варіант №8).

У фазу «зірочки» у посівах соняшнику між зонами відмічалась все ще виражена різниця. На контролі (варіант №1) площа листя у високопродуктивній зоні досягла 38,0 тис. м²/га (LAI 3,80), а в низькопродуктивній (варіант №7) лише 30,1 тис. м²/га (LAI 3,01).

Таблиця 3.10

Площа листя рослин соняшника (ВВСН 51) за різних умов живлення

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Площа листя тис.м ² /га	Листковий індекс (LAI)
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	38,0	3,80
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	42,5	4,25
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	40,5	4,05
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	33,2	3,32
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	37,0	3,70
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	35,5	3,55
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	30,1	3,01
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	34,6	3,46
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	32,4	3,24

Позакореневе підживлення дозволило суттєво наростити цей показник. Найбільша площа листя 42,5 тис. м²/га (LAI 4,25) була зафіксована у варіанті з дозою 2 л/га на високопродуктивній ділянці (варіант №2). Навіть у

низкопродуктивній зоні підживлення (варіант №8) дозволило збільшити площу листя до 34,6 тис. м²/га (LAI 3,46), що значно перевищує контроль.

У таблиці 3.11 описано площу листової поверхні та листовий індекс (LAI) соняшника у фазі повного цвітіння (ВВСН 65-67). Цей етап є критично важливим, оскільки саме у цей період активність фотосинтетичного апарату безпосередньо впливає на налив насіння та майбутню врожайність.

Таблиця 3.11

Площа листя рослин соняшника (ВВСН 65-67) за різних умов живлення

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Площа листя тис.м ² /га	Листковий індекс (LAI)
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	39,1	3,91
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	44,7	4,47
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	41,2	4,12
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	34,9	3,49
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	38,6	3,86
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	36,8	3,68
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	31,0	3,10
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	37,9	3,79
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	35,1	3,51

У високопродуктивній зоні площа листової поверхні на контролі (варіант №1) досягла 39,1 тис. м²/га (індекс листової поверхні LAI 3,91), тоді як у середньо- та низкопродуктивній зонах (варіанти №4 і №7) цей показник послідовно знижувався до 34,9 та 31,0 тис. м²/га відповідно. Це свідчить про те, що вплив зони продуктивності лімітує потенціал розвитку культури.

Застосування позакореневого підживлення препаратом "Авангард Соняшник" мало виражений позитивний вплив на площу листя в усіх досліджуваних зонах. Найвища ефективність була зафіксована при внесенні дози 2 л/га. У високопродуктивній зоні підживлення (варіант №2) сприяв збільшенню площі листя до 44,7 тис. м²/га (LAI 4,47), що на 14,3% перевищує контрольний показник. Особливо значущий ефект спостерігався в менш

сприятливих умовах. У низькопродуктивній зоні внесення 2 л/га добрива (варіант №8) сприяло збільшенню площі листя до 37,9 тис. м²/га, що на 22,3% більше за контроль. Важливо відзначити, що цей показник перевищив навіть контрольне значення у середньопродуктивній зоні, що доводить здатність позакореневого живлення ефективно компенсувати дефіцит поживних елементів та покращувати розвиток рослин у стресових умовах. Доза 1,5 л/га також продемонструвала стабільний приріст відносно контролю, хоча і поступалася вищій нормі внесення.

Проведені дослідження продемонстрували, що динаміка розвитку біометричних показників соняшнику, зокрема висоти, товщини стебла та площі листової поверхні, визначається двома ключовими факторами: вихідною неоднорідністю ділянок та ефективністю застосованих агротехнічних заходів. Встановлено, що контрольні варіанти забезпечували базовий потенціал росту, який проявлявся з ранніх етапів вегетації (ВВСН 16-18) і зберігався до фази цвітіння (ВВСН 65-67). Водночас дворазове позакореневе підживлення добривом «Авангард Соняшник» виявилось ефективним інструментом для покращення цих показників у всіх зонах, а доза 2 л/га стабільно забезпечувала найвищий приріст.

Ключовим результатом є підтвердження того, що застосування підживлення дозволяє частково нівелювати негативний вплив менш сприятливих умов, оскільки оброблені рослини в низькопродуктивній зоні часто демонстрували показники, співставні з контрольними варіантами в середньопродуктивній зоні. Таким чином, дослідження доводить, що максимальна реалізація генетичного потенціалу соняшнику досягається за поєднання сприятливого агрофону та інтенсивних агротехнічних заходів, а своєчасне позакореневе підживлення є дієвим способом підвищення продуктивності посівів на неоднорідних полях.

3.4 Урожайність та соняшнику за різних умов живлення

Управління мінеральним живленням є ключовим елементом впливу на продуктивність сільськогосподарських культур. Оптимізація цього процесу досягається шляхом підбору оптимальних норм, форм та термінів внесення добрив. Ефективність системи живлення має пряму залежність від ряду факторів: агрокліматичних умов, коефіцієнтів засвоєння елементів ґрунту та біологічних особливостей культури. Тому науково-обґрунтоване регулювання умов живлення стає ключовим інструментом для реалізації потенціалу врожайності культур [68].

Споживання елементів живлення кореневою системою має тісний зв'язок із їх концентрацією прикореневому шарі ґрунту. Міграція іонів до коренів відбувається під впливом дифузії, тобто їх руху із зон вищої концентрації до зон нижчої. Підтримання рівня зволоження ґрунту в оптимальних межах є критично важливим, оскільки у зволоженому ґрунті покращується мобільність іонів, що підвищує їх доступність для рослин і ефективність використання добрив [69].

Соняшник має нерівномірну потребу в елементах живлення з чітко вираженими піковими періодами, які збігаються з критичними фазами органогенезу. Азот є одним із ключових та незамінних елементів живлення на етапі інтенсивного нарощування вегетативної маси. Водночас його надлишок може провокувати надмірний ріст рослин, що зумовлює зниження механічної міцності тканин і робить рослини більш вразливими до вилягання та ураження хворобами. Потреба у фосфорі є дещо меншою, водночас він є критично важливим на ранніх етапах розвитку, а саме від сходів до фази зірочки [70]. Нестача фосфору в цей період зумовлює пригнічення поглинальної здатності коренів, що обмежує засвоєння й інших елементів. Окрім цього, цей елемент відіграє ключову роль у формуванні генеративних органів та сприяє активізації процесів синтезу олії в насінні. Калій для соняшника є одним із найважливіших елементів. Він регулює водний баланс та транспорт продуктів фотосинтезу та відіграє особливе значення в період від формування кошика до початку дозрівання насіння забезпечуючи вищий рівень врожаю та його якості [71].

Формування кінцевого рівня врожаю є інтегральним показником, який чітко відображає якість проходження рослинами всіх етапів органогенезу та ефективність застосованої технології вирощування. Генетичний потенціал нових гібридів соняшнику є надзвичайно високим, однак його повна реалізація має безпосередню залежність від можливості агроценозу забезпечити рослини всіма потрібними ресурсами протягом вегетації. Головну роль поміж цих ресурсів відіграє система живлення, яка складається з двох основних складових: природної родючості ґрунту (агрофону) та застосованих добрив [71].

Як було описано в попередніх розділах зазначені фактори суттєво впливали на параметри біометричних показників та динаміку вмісту поживних речовин у ґрунті. Проте саме аналіз кінцевої продуктивності культури дозволяє дати кінцеву оцінку ефективності досліджуваних агрозаходів [72].

Одним із заключних етапів досліджень було визначення рівня врожайності соняшнику, що дозволило встановити вплив, як продуктивності кожної ділянки, так і ефективності позакоренових підживлень. Результати, які наведені в таблиці 3.12 підтверджують певні закономірності, що спостерігалися впродовж усього вегетаційного періоду при визначенні та аналізі біометричних показників та динаміки агрохімічних властивостей ґрунту [73].

Аналіз варіантів (№1, №4, №7), де підживлення не застосовувалося, чітко демонструє вирішальний вплив родючості ґрунту на кінцеву продуктивність рослин соняшнику. У високопродуктивній зоні було отримано найвищий урожай серед контрольних варіантів – 2,85 т/га. На ділянці із середньою продуктивністю цей показник знизився до 2,70 т/га, а в низькопродуктивній зоні врожайність становила 2,45 т/га. Це свідчить про те, що вихідний потенціал поля є фундаментальною основою для реалізації генетичного потенціалу врожайності соняшнику.

Застосування позакоренового підживлення добривом "Авангард Соняшник" мало позитивний вплив на врожайність у всіх зонах досліду. Найвища ефективність відмічалась при застосуванні дози 2 л/га. У високопродуктивній зоні (варіант №2) забезпечив приріст урожайності на

0,39 т/га або 13,7% порівняно з контролем, що забезпечило отримання максимальної врожайності у досліді на рівні 3,24 т/га.

Таблиця 3.12

Вплив різних умов живлення на урожайність соняшнику, 2025 р.

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Урожайність т/га	Приріст	
				т/га	%
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	2,85	-	-
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	3,24	0,39	13,7
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	3,08	0,23	8,1
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	2,70	-	-
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	3,01	0,31	11,5
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	2,86	0,16	5,9
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	2,45	-	-
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	2,71	0,26	10,6
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	2,58	0,13	5,3

Особливо відмічалась ефективність від підживлення на менш продуктивних ділянках. А саме, приріст врожаю досягав 11,5% у зоні середньої продуктивності при внесенні 2 л/га добрива (варіант №5). А на ділянці низької продуктивності за внесення 2 л/га забезпечувало приріст на рівні 10,6%, при зниженні норми до 1,5 л/га цей показник становив 5,3%. З цього можна зробити висновок, що позакореневе підживлення є ефективним агрозаходом саме на ділянках зі стресовими умовами, оскільки воно дозволяє рослинам частково компенсувати дефіцит поживних речовин із ґрунту та суттєво підвищити свою продуктивність. Внесення дози 1,5 л/га також сприяло стабільному приросту у всіх зонах, хоча і поступалося вищій нормі внесення.

Таким чином, результати дослідження доводять, що поєднання сприятливого агрофону з інтенсивними науково обґрунтованими агротехнічними заходами забезпечує високий рівень врожайності, а

позакореневі підживлення є ефективним інструментом для підвищення продуктивності соняшнику на неоднорідних полях.

Аналіз елементів структури врожаю є основою для розуміння механізмів формування кінцевої продуктивності соняшнику. Аналіз таблиці 3.13 дозволяє кількісно оцінити вплив продуктивності кожної з ділянок та позакореневих підживлень на такі важливі показники, як діаметр кошика, маса насінин з одного кошика та маса 1000 насінин.

Таблиця 3.13

Вплив різних умов живлення на параметри структури врожаю соняшнику, 2025 р.

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Діаметр кошика, см	Маса насінин з одного кошика, г	Маса 1000 насінин, г
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	20,3	51,8	68,2
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	22,1	58,9	72,4
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	21,0	56,0	70,2
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	19,6	49,1	66,1
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	20,9	54,7	69,5
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	20,3	52,0	68,1
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	17,8	44,5	62,2
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	19,8	49,8	66,4
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	18,9	46,9	64,3

Дослідженнями встановлено, що неоднорідність поля мала прямий та суттєвий вплив на всі досліджені показники. На контрольних варіантах (без підживлення) спостерігалася чітка закономірність послідовного зменшення всіх

параметрів від більш продуктивної ділянки до менш продуктивної. Зокрема, діаметр кошика знижувався з 20,3 см (варіант №1) до 17,8 см (варіант №7), а маса 1000 насінин — з 68,2 г до 62,2 г. Це підтверджує, що кращі стартові умови живлення забезпечують формування потужніших генеративних органів та кращу виповненість насіння.

Застосування позакореневого підживлення препаратом "Авангард Соняшник" позитивно вплинуло на всі елементи структури врожаю в усіх зонах продуктивності. Найкраща ефективність відмічалась при застосуванні дози 2 л/га. У високопродуктивній зоні (варіант №2) підживлення забезпечило найбільші у досліді діаметр кошика – 22,1 см та масу 1000 насінин на рівні 72,4 г.

Найбільш показовою є реакція рослин на підживлення в менш сприятливих умовах. У низькопродуктивній зоні з підживленням з нормою 2 л/га (варіант №8) відмічалось збільшення діаметра кошика на 2,0 см та маси 1000 насінин на 4,2 г в порівнянні з контролем (варіант №7). Також варто відмітити, що маса 1000 насінин на цьому варіанті (66,4 г) зрівнялася із контрольним показником у зоні середньої продуктивності, що свідчить про ефективність позакореневого підживлення ефективно впливати на стрес та частково компенсувати дефіцит поживних речовин та паралельно покращувати налив насіння.

Таким чином, кращий розвиток рослин впродовж вегетаційного періоду був обумовлений позакореновими підживленнями, що в кінцевому результаті трансформувалося у кращі показники структури врожаю і стало основою для отримання вищого рівня врожайності.

ВОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА ЗА ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕЦИЗІЙНОГО АГРОВИРОБНИЦТВА

В умовах теперішньої ринкової економіки одним із ключових критеріїв успішності будь-якої технології вирощування є не лише її здатність забезпечувати високий урожай, але й безпосередньо її економічна доцільність. Кінцевою метою будь якого сільськогосподарського виробництва є отримання максимального прибутку з одного гектара за раціонального використання ресурсів та збереження родючості ґрунту. Вирощування соняшнику на сьогодні є однією з найбільш рентабельних галузей, але й водночас воно потребує значних економічних вкладень [74].

За традиційного підходу до вирощування, яке передбачає традиційне (суцільне) внесення добрив та інших ресурсів і не враховує значної строкатості ґрунтових умов у межах одного поля відбувається перевитрата добрив та інших агресурсів, що негативно відображається на економічній ефективності господарства [75].

Оцінка економічної ефективності вирощування соняшнику потребує комплексного підходу, який буде враховувати не лише прямі витрати на насіння та агротехнології, але й волатильність ринкових цін. Для досягнення достовірного аналізу за умов нестабільного ринку необхідно моделювати різні сценарії розвитку галузі, які будуть включати оптимістичні та песимістичні прогнози та будуть враховувати ключові фактори ризику [76].

Головною умовою економічних розрахунків є достовірне визначення врожайності, яка отримана за рахунок конкретних агрономічних факторів: чи то впровадження нового гібриду, чи то оптимізації мінерального живлення. Цей показник встановлюється виключно емпіричним шляхом, на основі даних, отриманих у польових дослідженнях [77].

Кінцевим етапом наших досліджень стала оцінка економічної ефективності вирощування соняшнику, яка дозволила визначити рентабельність

застосування позакореневих підживлень на тлі неоднорідності поля. Для цього було розраховано вартість валової продукції, виходячи з урожайності та ціни реалізації, а також визначено прибуток, собівартість однієї тони насіння та рівень рентабельності для кожного варіанту досліду.

Аналіз контрольних варіантів (№1, №4, №7), де підживлення не застосовувалося, чітко демонструє прямий вплив неоднорідності ґрунту на економічні показники. Так, у зоні високої продуктивності (варіант №1) було отримано найвищий прибуток серед контрольних варіантів у досліді – на рівні 39 730 грн/га, а рівень рентабельності досяг 155,6%. У той же час, у низькопродуктивній зоні (варіант №7), де врожайність була найнижчою, ці показники були нижчими та становили 30 570 грн/га та 119,7% відповідно. Це закономірно відобразилося на собівартості продукції, а саме у сприятливих умовах вона становила 8 960 грн/т, тоді як у лімітуючих зростала до 10 422 грн/т, оскільки фіксовані виробничі витрати розподілялися на менший валовий збір.

Застосування позакореневих підживлень добривом "Авангард Соняшник" виявилось економічно доцільним у всіх без винятку варіантах, оскільки забезпечило вищий рівень прибутку та рентабельності у порівнянні з відповідними контрольними варіантами. Додаткові витрати на препарат та його внесення були повністю компенсовані приростом урожайності та вищою вартістю валової продукції.

Найвищі економічні показники були зафіксовані у варіанті №2, де поєднання сприятливої високопродуктивної зони та внесення добрива в нормі 2 л/га обумовлювало отримання максимального прибутку в досліді – 46 546 грн/га. Це забезпечило найвищий рівень рентабельності – 168,3% та найнижчу собівартість продукції (8 534 грн/т), що робить даний варіант найбільш ефективним.

У зоні середньої продуктивності норма підживлення 2 л/га виявилася економічно доцільною, що підвищувало рентабельність порівняно з контролем

на 7,2 % забезпечивши рентабельність на рівні 149,3%, тоді як варіант із дозою 1,5 л/га зумовлював найнижчу рентабельність у досліді.

Таблиця 4.1

Економічна ефективність вирощування соняшника за різних умов живлення

Тип ділянки	Варіант	Підживлення	Урожайність т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн/т	Рівень рентабельності, %
Висока продуктивність	1	Без підживлення (контроль)	2,85	65265	25535	39730	8960	155,6
	2	Авангард Соняшник – 2 л/га	3,24	74196	27650	46546	8534	168,3
	3	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	3,08	70532	27435	43097	8907	157,1
Середня продуктивність	4	Без підживлення (контроль)	2,70	61830	25535	36295	9457	142,1
	5	Авангард Соняшник – 2 л/га	3,01	68929	27650	41279	9186	149,3
	6	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	2,86	65494	27435	38059	9593	138,7
Низька продуктивність	7	Без підживлення (контроль)	2,45	56105	25535	30570	10422	119,7
	8	Авангард Соняшник – 2 л/га	2,71	62059	27650	34409	10203	124,4
	9	Авангард Соняшник – 1,5 л/га	2,58	59082	27435	31647	10634	115,4

Застосування дози 2 л/га у низькопродуктивній зоні мало позитивний результат (варіант №8) і сприяло підвищенню рівня рентабельності на 4,7% із 119,7% до 124,4%, що підтверджує економічну доцільність цього агрозаходу. Застосування дози 1,5 л/га (варіант №9) зумовлювало нижчий рівень рентабельності – 115,4%.

Проведений економічний аналіз доводить, що рентабельність вирощування соняшнику є комплексною величиною, яка детермінується як ґрунтовими умовами так і інтенсивністю технологічних заходів. Наші дослідження підтвердили високу економічну доцільність застосування позакореневого підживлення «Авангард Соняшник» з нормою 2 л/га, оскільки цей агрозахід забезпечив приріст чистого прибутку та рівня рентабельності у всіх зонах продуктивності порівняно з контрольними ділянками. Було встановлено, що норма внесення 2 л/га стабільно демонструвала вищу економічну ефективність ніж 1,5 л/га у всіх трьох зонах. Досягнення максимального рівня рентабельності – 168,3% та найнижчої собівартості продукції 8 534 грн/т у варіанті №2 свідчить про синергетичний ефект поєднання сприятливих ґрунтових умов та оптимізованої системи живлення.

Отже, отримані результати підтверджують, що позакореневе підживлення є економічно обґрунтованим інструментом підвищення його прибутковості вирощування соняшнику. Однак, варто зазначити, що такий високий загальний рівень рентабельності в досліді до 168,3% значною мірою обумовлений сприятливою ринковою кон'юнктурою, а саме високою ціною реалізації насіння соняшнику цьогоріч, яка була використана в розрахунках.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження щодо впливу неоднорідності поля та позакореневих підживлень на ріст та розвиток соняшнику в умовах Черкаської області можна зробити наступні висновки:

1. Було встановлено суттєвий вплив польової неоднорідності на агрохімічні показники ґрунту та розвиток рослин соняшнику на визначених згідно NDVI ділянках. Виділені зони продуктивності (висока, середня, низька) відрізнялися за вихідними показниками кислотності та вмістом основних елементів живлення. Так строкатість ділянок мала вплив на біометричні показники рослин (висота, товщина стебла, площа листя) і зберігала свій вплив до кінця вегетації лімітуючи потенціал урожайності на менш родючих ділянках.

2. Проведення дистанційного моніторингу за допомогою індексу NDVI показало себе, як ефективний інструмент для оперативної візуалізації просторової неоднорідності поля. Карти вегетації, які були отримані на стадіях ВВСН 16-18 та ВВСН 65-67 відображали, як нерівномірність розвитку рослин, так і позитивний ефект від позакореневих підживлень, який відобразився у вигляді вирівнювання стану посівів та підвищенні загальної інтенсивності вегетації рослин.

3. Дворазове позакореневе підживлення препаратом «Авангард Соняшник» (у фази ВВСН 16-18 та ВВСН 51) мало позитивний вплив на біометричні показники соняшнику в усіх зонах продуктивності. Застосування добрива сприяло більш інтенсивному наростанню вегетативної маси рослин.

4. Позакореневі підживлення позитивно вплинули на формування елементів структури врожаю. На варіантах із застосуванням добрива відмічено збільшення діаметра кошика, маси насінин з одного кошика та маси 1000 насінин. Найбільший ефект спостерігався при внесенні дози 2 л/га. Особливо важливим є покращення виповненості насіння (маси 1000 насінин) у низькопродуктивній зоні, що свідчить про здатність підживлення компенсувати дефіцит поживних речовин під час критичного періоду наливу.

5. Нами встановлено, що застосування позакореневих підживлень забезпечувало приріст урожайності соняшнику. Найвищий рівень врожаю у

досліді (3,24 т/га) було отримано у зоні високої продуктивності за позакореневого підживлення добривом із нормою 2 л/га, що відповідало приросту 0,39 т/га або 13,7% до контролю. У низькопродуктивній зоні при позакореновому застосуванні добрива з нормою 2 л/га приріст відносно контролю досягав 0,26 т/га (10,6%), що підтверджує високу ефективність даного агрозаходу саме в стресових умовах.

6. Економічний аналіз підтвердив високий рівень рентабельності вирощування соняшнику та доцільність позакореневих підживлень. Усі варіанти із застосуванням добрива «Авангард Соняшник» з нормою 2 л/га показали вищий прибуток та рівень рентабельності порівняно з контролем. Найвищу економічну ефективність (прибуток 46 546 грн/га, рентабельність 168,3%, собівартість 8 534 грн/т) продемонстрував варіант №2 (зона високої продуктивності, норма – 2 л/га). Однак варто зазначити, що такий високий рівень рентабельності перш за все був обумовлений високою ринковою ціною на насіння соняшнику цього річ.

Дослідження доводить, що застосування елементів прецизійного агровиробництва, зокрема моніторингу стану посівів за NDVI та диференційованого підходу до позакореневих підживлень є науково-обґрунтованим та економічно вигідним заходом для підвищення продуктивності соняшнику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малиновський А. С., Танчик С. П. Вплив систем удобрення на врожайність соняшнику в умовах Лісостепу України. *Агроном*. 2021. № 1. С. 56–60.
2. Медведєв В. В., Пліско І. В., Назаренко І. І. Просторова мінливість агрофізичних властивостей чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 16–23.
3. Kovalenko V. P., Hutianskyi R. A., Hutianska N. O. Precision agriculture technologies as a factor for increasing the efficiency of plant growing. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25, No 5. P. 71–81.
4. Демидась Г. І., Цимбалюк О. М., Шкарівська Л. І. Елементи точного землеробства в технологіях вирощування польових культур. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія*. 2020. Вип. 315. С. 9–19.
5. Романенко О. А., Панасюк Б. Я., Танчик С. П. Економічна ефективність елементів точного землеробства в технологіях вирощування польових культур. *Економіка АПК*. 2020. № 6. С. 69–77.
6. Міхеєв В. Г., Бойко В. В., Кохан А. В. Використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу посівів. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 118. С. 147–154.
7. Панасюк Б. Я., Губенко Л. В. Економічна оцінка впровадження систем точного землеробства. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 144–151.
8. Мороз С. М., Голуб Г. А., Смоляр В. О. Сучасні системи автоматизованого керування рухом сільськогосподарських агрегатів. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 120. С. 132–140.
9. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Пастушенко С. І. Напрями розвитку автоматизації мобільних сільськогосподарських агрегатів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2020. Вип. 1 (110). С. 3–14.
10. Дегтярьов В. В., Мандигра М. С., Назарок П. П. Використання даних електромагнітного сканування для картування властивостей ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2021. Вип. 92. С. 5–12.

11. Воронюк Б. О., Голуб Г. А. Картування врожайності як інструмент аналізу просторової неоднорідності полів. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2020. Вип. 2 (106). С. 15–22.
12. Кохан А. В., Ткачук О. П., Ляшенко О. С. Застосування ГІС-технологій для аналізу факторів мінливості врожайності. Наукові доповіді НУБіП України. 2021. № 3 (91).
13. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : НУБіП України, 2021. 506 с.
14. Бикін А. В., Свидинюк І. М., Машковська С. П. Вплив системи удобрення на формування продуктивності гібридів соняшнику. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вип. 28. С. 34–41.
15. Мартинюк А. Т. Агрохімія. Київ : ЦУЛ, 2022. 488 с.
16. Shevchenko I., Kushnir K., Shevchenko S. Influence of nitrogen fertilizers on the yield and quality indicators of sunflower hybrids. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No 1. P. 66–75.
17. Господаренко Г. М., Любчич О. І., Полторецький С. П. Вплив азотного та сірчаного живлення на продуктивність соняшнику. Аграрний вісник Причорномор'я. 2020. Вип. 96. С. 12–19.
18. Plaxton W. C., Tran H. T. Metabolic adaptations of phosphate acquisition and allocation in plants. *Plant Physiology*. 2021. Vol. 187, Iss. 1. P. 10–23.
19. Бабич М. М., Гончар Л. М. Вплив фосфорного живлення на фотосинтетичні показники та продуктивність соняшнику. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2021. Вип. 29. С. 27–34.
20. Li B., Gasser T., Ciais P. et al. Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture in the future. *Earth System Science Data*. 2021. Vol. 13, Iss. 5. P. 2045–2061.
21. Hasanuzzaman M., Bhuyan M. H. M. B., Nahar K. et al. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 3. 339.

22. Мірошніченко М. М., Бацула О. О. Калійне живлення соняшнику на чорноземі типовому. Таврійський науковий вісник. 2021. Вип. 119. С. 102–109.
23. Thor K. Calcium—Nutrient and Messenger. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. 687059.
24. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019. 5794869.
25. Bybordi A., Mamedov G. Evaluation of application methods efficiency of nitrogen and potassium on yield and quality of sunflower. *Plant Soil Environ*. 2020. Vol. 66, No 1. P. 1–7.
26. Giordano M., Raven J. A. Nitrogen and Sulfur Assimilation in Plants. *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. 2020. P. 1–11.
27. Salvagiotti F., Gerde J. A. Sulphur nutrition in sunflower: effects on yield, growth and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*. 2021. Vol. 44, Iss. 10. P. 1459–1470.
28. Verbruggen N., Hermans C. Physiological and molecular responses to magnesium deficiency in plants. *Plant and Soil*. 2022. Vol. 476, Iss. 1-2. P. 13–28.
29. Gransee A., Führs H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*. 2021. Vol. 466, Iss. 1-2. P. 5–21.
30. Senbayram M., Gransee A., Wahle V., Thiel H. Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*. 2021. Vol. 72, No 9. P. 719–729.
31. Marschner P. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press, 2022. 651.
32. Landi M., Margaritopoulou T., Papadakis I. E., Araniti F. Boron in Plant Nutrition: Functions, Deficiency, Toxicity, and Tolerance Mechanisms. *Plants*. 2023. Vol. 12, Iss. 12. 2354.
33. Гораш О. С., Кулик М. І., Гораш А. С. Вміст бору в ґрунтах України та його вплив на продуктивність сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 45–52.

34. Полторецький С. П., Любчич О. І. Ефективність позакореневого підживлення соняшнику бором та мікроелементами. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2021. Вип. 98, ч. 1: Агрономія. С. 132–140.
35. Zlámalová T., Hřivna L., Lošák T. Boron fertilization effect on yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2021. Vol. 69, Iss. 1. P. 119–126
36. Mendel R. R. The mechanism of molybdopterin biosynthesis. *Coordination Chemistry Reviews*. 2020. Vol. 422. 213460.
37. Billard V. et al. Molybdenum responses in plants: Toward a functional genomics approach. *Biochimie*. 2021. Vol. 188. P. 186–198.
38. Bittner F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. 968065.
39. Шерстобоева О. В., Харитонов М. М. Молибден у живленні рослин та ефективність застосування молибденових добрив. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 98(4). С. 48–56.
40. Лісовий М. М., Писаренко П. В., Куць О. В. Оптимізація мінерального живлення соняшнику. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 91. С. 54–61.
41. Kravchenko A. N., Robertson G. P. Whole-Field Management Assessment: An Evaluation of Site-Specific Nutrient Management. *Agronomy Journal*. 2021. Vol. 113, Iss. 4. P. 3209–3221.
42. Basso B., Liu L. Targeting Inputs Based on Field Variability: The Future of Nitrogen Management. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. 687633.
43. Oliver M. A., Bishop T. F. A., Marchant B. P. Precision agriculture for sustainability and environmental protection. *Annual Review of Environment and Resources*. 2021. Vol. 46. P. 457–485.
44. Delmelle E. M. Spatial scale and pattern of soil variability. *Geoderma*. 2021. Vol. 396. 115077.
45. Cambouris A. N., Nolin M. C., Zebarth B. J. Apparent soil electrical conductivity: Applications in precision agriculture and soil mapping. *Canadian Journal of Soil Science*. 2020. Vol. 100, No 4. P. 343–364.

46. Florinsky I. V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2nd ed. Academic Press, 2023. 518 p.
47. Koch B. et al. Long-term impacts of manure application and soil tillage on soil physical properties and crop yield. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 200. 104618.
48. Peralta N. R. et al. Delineation of management zones in soybean and corn based on the spatial and temporal variability of soil properties and crop yield. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 198. 107066.
49. Griffin T. W., Mark T. B., Ferrell S. L. Profitability maps: Making yield maps pay. *Journal of the ASFMRA*. 2020. P. 83–91.
50. Zhang X., Davidson E. A., Mauzerall D. L., Searchinger T. D., Dumas P., Shen Y. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 2020. Vol. 582, Iss. 7810. P. 51–59.
51. Атлас адміністративно-територіального устрою України. Том 1. Центральна Україна. Київ : ДНВП «Картографія», 2020.
52. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / За ред. С. А. Балюка, Р. С. Трускавецького. Харків : Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 2021. 248 с.
53. Truskavetskyu R. S., Averyanov V. K., Tsapko Yu. L. Chernozems of Ukraine: Genesis, properties and management. *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55, No 8. P. 977–988.
54. Земельний фонд України станом на 1 січня 2023 року. Київ : Держгеокадастр, 2023.
55. Бойченко С. Г., Волощук В. М., Дорошенко І. А. Сучасні кліматичні зміни в Україні. *Український географічний журнал*. 2020. № 1. С. 3–13.
56. Авангард Комплекс Соняшник [Електронний ресурс] / UKRAVIT SCIENCE PARK. URL: <https://www.ukravit.ua/avangard-r-sonyashnik/> (дата звернення: 14.10.2025).
57. Насіння соняшнику Суматра HTS (SUMATRA HTS) — соняшник HTS/ExpressSun® [Електронний ресурс] / Агротрейд. URL: <https://agro->

- trade.com.ua/ua/semena-podsolnechnika-sumatra-hts.html (дата звернення: 15.10.2025).
58. Lowenberg-DeBoer J. The Precision Agriculture Revolution: Making the Modern Farmer. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 2020. Vol. 42, Iss. 1. P. 8–20.
 59. Lykhovyd P. Vegetation indices in precision agriculture: applications and challenges. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2021. Vol. 23, No 5. P. 1039–1056.
 60. Hatfield J. L., Dold C. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. 685876.
 61. Kravchenko A. N., Robertson G. P. Identifying spatial patterns in soil properties and crop yields: Advances and limitations. *Geoderma*. 2021. Vol. 385. 114878.
 62. Панасюк Б. Я., Губенко Л. В., Танчик С. П. Диференційоване внесення добрив як елемент системи точного землеробства. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вип. 28. С. 135–143.
 63. Дегтярьов В. В., Ткаченко М. А., Горін М. О. Динаміка вмісту рухомих сполук фосфору і калію в чорноземі типовому залежно від системи удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 91. С. 12–18.
 64. Мірошніченко М. М., Бацула О. О. Оптимізація систем удобрення в умовах просторової неоднорідності ґрунтового покриву. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2019. Вип. 1-2. С. 75–81.
 65. Franzen D. W. Site-Specific Nutrient Management: Historical Overview and Current Trends. *Precision Agriculture Basics*. ASA, CSSA, and SSSA Books, 2021. P. 13–29.
 66. Managing soil fertility for sustainable agriculture / R. Lal, B. A. Stewart, editors. CRC Press, 2021. 384 p.
 67. Малієнко А. М., Шайтуро Л. Ф., Бавико А. О. Формування площі листкової поверхні та фотосинтетичної продуктивності соняшнику залежно від елементів технології вирощування. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 1 (105). С. 54–61.
 68. Системи удобрення культур у сівозмінах / М. М. Городній, А. В. Бикін, О. І. Гораш та ін. ; за ред. М. М. Городнього. Київ : Компрінт, 2020. 320 с.

69. Методика польового досліджу (Зрошуване землеробство) / Р. А. Вожегова, С. А. Лавриненко, М. П. Малярчук та ін. ; за ред. Р. А. Вожегової. Херсон : Грінь Д.С., 2021. 322 с.
70. Гангур В. В., Єременко О. А., Полторацька Т. В. Особливості мінерального живлення соняшнику в умовах Лісостепу України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2020. № 1. С. 48–55.
71. Дмитрішак М. Я., Мазур Г. А., Цимбалюк О. М. Удобрення як фактор формування врожаю соняшнику. Збірник наукових праць Подільського ДАТУ. 2020. Вип. 32. С. 56–63.
72. Сайко В. Ф., Камінський В. Ф. Системи землеробства. Київ : ВД «ЕКМО», 2007. 432 с.
73. Доронін В. А., Коковіхін С. В., Гордієнко В. П. Продуктивність соняшнику залежно від елементів технології вирощування в умовах Південного Степу України. Наукові доповіді НУБіП України. 2020. № 5 (87).
74. Welsh J. P., Mueller K. E., Trostle C. L. Sunflower economics. Sunflower Production and Management. ASA, CSSA, and SSSA Books, 2021. P. 543–558.
75. Федоров М. М., Могильна Л. М. Оцінка економічної ефективності впровадження технологій точного землеробства. Інвестиції: практика та досвід. 2020. № 15-16. С. 52–57.
76. Шубравська О. В., Прокопенко О. В. Управління ризиками в аграрному бізнесі. Економіка АПК. 2021. № 7. С. 78–86.
77. Методика визначення економічної та енергетичної ефективності технологій у рослинництві / В. Я. Месель-Веселяк, М. П. Косолап, В. І. Штика та ін. Київ: ННЦ ІАЕ, 2020. 68 с.