

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедрою екології

доц. _____ Вікторія КАЦЕВИЧ

« _____ » червня 2026р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»
на тему: **«Агроекологічна оцінка збереження родючості ґрунту в
короткоротаційних сівозмінах в Синельниківському районі
Дніпропетровської області»**

Виконала: здобувачка вищої освіти 4 курсу,
групи Е-1-22 спеціальності 101 «Екологія»

_____ Зайцева Л. В.

Керівник _____ к.с.-г.н., доцент Зленко І.Б

Рецензент _____ к.с.-г.н, ст. досл. Гайдаш О.Л.

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Водогосподарської інженерії та екології

Кафедра: Екології

Освітньо-професійна програма: «Екологія»

Спеціальність: 101 «Екологія»

Ступінь вищої освіти Бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

доц. _____ Вікторія КАЦЕВИЧ

«_____» _____ 2026р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Зайцевій Ліліані Вадимівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Агроекологічна оцінка збереження родючості ґрунту в короткоротаційних сівозмінах в Синельниківському районі Дніпропетровської області

2. Науковий керівник: доц., к.с.-г.н Зленко І.Б

затверджена наказом по ДДАЕУ від _____ №

3. Термін подання здобувачем роботи: _____ р.

4. Вихідні дані до роботи: Експериментальні дані щодо впливу гербіцидних композицій на біологічну активність ґрунту, залишкову токсичність та розвиток рослин соняшнику в умовах короткоротаційних сівозмін.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Теоретичні основи збереження родючості ґрунтів. Умови і методика проведення досліджень. Результати досліджень та їх обговорення. Охорона праці.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Рисунків – 7, Таблиць – 11, Використаної літератури – 63, Розділів – 4, Сторінок – 78.

7. Дата видачі завдання: «_____» _____ 202_____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою дослідження	09.04.26-17.04.26	Виконано
2	Умови і методика проведення досліджень	09.06.25-15.07.25	Виконано
3	Результати досліджень та їх обговорення	15.01.26-30.03.26	Виконано
4	Охорона праці	30.04.26-07.05.26	Виконано
5	Оформлення дипломної роботи	06.05.26-08.05.26	Виконано

Здобувач (ка)

(підпис)

Ліліана ЗАЙЦЕВА

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Ірина ЗЛЕНКО

(Ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗБЕРЕЖЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ.....	9
1.1 Родючість ґрунту як екологічна категорія.....	9
1.2 Агроекологічні функції сівозмін.....	11
1.3 Короткоротаційні сівозміни в сучасному землеробстві.....	13
1.4 Екологічні наслідки порушення сівозмін.....	16
1.5 Трансформація гербіцидів у ґрунті.....	20
1.6 Впливи на ґрунтову біоту.....	23
1.7 Біоіндикаційне значення культури соняшника.....	25
1.8 Оптимізація родючості в короткоротаційних сівозмінах.....	28
2 УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
2.1 Ґрунтово-кліматичні умови району досліджень.....	32
2.2 Методика польових досліджень та відбору зразків.....	35
2.3 Методи лабораторного аналізу.....	38
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	41
3.1 Вплив гербіцидного захисту на забур'яненість посівів соняшнику... ..	41
3.2 Ріст і розвиток культури соняшника за гербіцидного навантаження	48
3.3 Біологічна активність ґрунту за різних гербіцидних систем.....	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
4.1 Безпека при проведенні досліджень.....	61
4.2 Безпека при роботі з гербіцидами.....	64
4.3 Охорона праці в лабораторії.....	66
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	73

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: «Агроекологічна оцінка збереження родючості в короткоротаційних сівозмінах в умовах Синельниківського району Дніпропетровської області». Дипломна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та переліку використаних джерел. Повний обсяг роботи становить 78 сторінок друкованого тексту, включаючи 7 рисунків та 11 таблиць. Перелік використаних джерел містить 63 найменування.

Мета дослідження – провести агроекологічну оцінку впливу короткоротаційних сівозмін та гербіцидного навантаження на збереження родючості ґрунту в умовах Синельниківського району Дніпропетровської області.

Об’єкт дослідження – процеси збереження родючості ґрунту в короткоротаційних сівозмінах за вирощування соняшнику.

Предмет дослідження – вплив гербіцидних композицій на біологічну активність ґрунту, залишкову токсичність та розвиток рослин соняшнику.

Завдання дослідження:

- проаналізувати роль сівозмін у збереженні родючості ґрунту;
- оцінити вплив гербіцидного навантаження на біологічну активність ґрунту;
- дослідити зміни чисельності основних груп ґрунтових мікроорганізмів;
- оцінити вплив гербіцидів на ріст і розвиток рослин соняшнику;

Методи дослідження: польові, лабораторні, мікробіологічні, біоіндикаційні, порівняльно-аналітичні та статистичні методи досліджень.

Ключові слова: РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТУ, КОРОТКОРОТАЦІЙНІ СІВОЗМІНИ, СОНЯШНИК, ГЕРБІЦИДИ, МІКРОФЛОРА, БІОІНДИКАЦІЯ, АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА.

ВСТУП

Сучасне сільське господарство України функціонує в складних економічних, соціальних та екологічних умовах. Тривалий період трансформації аграрного сектору, зростання виробничих ризиків, нестабільність ринків збуту, наслідки воєнних дій та кліматичні зміни змушують товаровиробників орієнтуватися насамперед на економічну ефективність виробництва. За таких умов дедалі частіше спостерігається відхід від класичних принципів науково обґрунтованого землеробства, одним із яких є дотримання раціональних сівозмін. Порушення чергування культур, насичення структури посівних площ високорентабельними культурами та скорочення ротації культур стають поширеною практикою багатьох господарств.

Особливо актуальною ця проблема є для степової зони України, де природні умови характеризуються недостатнім і нестійким зволоженням, високими температурами впродовж вегетаційного періоду та значним антропогенним навантаженням на ґрунтовий покрив. У таких умовах сівозмінна виступає не лише агротехнічним, а й важливим екологічним інструментом підтримання родючості ґрунтів. Вона забезпечує оптимальне використання поживних речовин, сприяє регулюванню чисельності шкідливих організмів, підтримує біологічну активність ґрунту та зменшує потребу у використанні засобів хімічного захисту рослин.

Водночас сучасна структура посівних площ дедалі частіше формується під впливом економічної доцільності вирощування окремих культур, насамперед соняшнику та кукурудзи. Це призводить до поширення короткоротаційних сівозмін, у яких період повернення культури на попереднє місце значно скорочується. Незважаючи на певні економічні переваги, такі системи землеробства супроводжуються низкою екологічних ризиків, серед яких

особливе місце займають виснаження ґрунтів, погіршення їх біологічного стану, зниження вмісту органічної речовини та підвищення гербіцидного навантаження.

У сучасних реаліях товаровиробники нерідко змушені приймати рішення, спрямовані на забезпечення економічної стійкості господарства, навіть якщо такі рішення частково суперечать принципам екологічно збалансованого землеробства. Фактично відбувається зміна філософії господарювання: першочерговим завданням стає отримання стабільного врожаю та збереження рентабельності виробництва. Проте подібний підхід може спричиняти накопичення проблем, наслідки яких проявлятимуться протягом багатьох років у вигляді погіршення агрофізичних, агрохімічних та біологічних властивостей ґрунту.

Соняшник належить до культур, які особливо чутливі до конкуренції з боку бур'янів на початкових етапах розвитку. Для забезпечення високої продуктивності його посівів широко застосовують ґрунтові та післясходові гербіциди. У короткоротаційних сівозмінах частота використання гербіцидів, як правило, є вищою, ніж у традиційних багатопільних сівозмінах, що підвищує ризик накопичення їх залишкових кількостей у ґрунті. Наслідком цього може бути пригнічення ґрунтової мікрофлори, зміна інтенсивності біохімічних процесів, погіршення умов розвитку культурних рослин та поступове зниження родючості ґрунту.

Важливим показником екологічного стану агроєкосистем є біологічна активність ґрунту, яка визначається чисельністю та функціонуванням різних груп мікроорганізмів. Саме ґрунтова біота забезпечує процеси розкладання органічних решток, гумусоутворення, трансформації азотних сполук і підтримання кругообігу поживних речовин. Відомо, що за посушливих умов у ґрунтових мікробних угрупованнях переважають гриби та актиноміцети, тоді як за достатнього зволоження домінуючу роль відіграють бактерії. Тому оцінка впливу гербіцидного навантаження на чисельність основних груп

мікроорганізмів є важливою складовою агроекологічного моніторингу сучасних систем землеробства.

Одним із перспективних підходів до оцінки стану ґрунтового середовища є використання біоіндикаційних методів. Соняшник може виступати чутливим індикатором залишкової токсичності гербіцидів, оскільки зміни у ростових процесах, розвитку кореневої системи, формуванні листкової поверхні та генеративних органів відображають вплив несприятливих факторів середовища. Особливе значення мають дослідження, проведені у критичні фази розвитку культури — від сходів до бутонізації, цвітіння та наливу насіння, коли рослини найбільш чутливо реагують на зміни умов живлення та екологічного стану ґрунту.

У зв'язку з цим актуальним є вивчення впливу різних гербіцидних композицій на біологічну активність ґрунту, залишкову токсичність та розвиток соняшнику в умовах короткоротаційних сівозмін. Особливої уваги потребує пошук технологічних рішень, які дозволять мінімізувати негативний вплив інтенсивного застосування гербіцидів та сприятимуть збереженню родючості ґрунтів. До таких заходів належать максимальне повернення органічної речовини в ґрунт, подрібнення та рівномірне розподілення післяжнивних решток, підтримання активності ґрунтової мікрофлори та оптимізація системи хімічного захисту рослин.

Проблема збереження родючості ґрунтів у короткоротаційних сівозмінах набуває особливого значення в сучасних умовах господарювання. Її вирішення потребує комплексного підходу, який поєднує економічну доцільність виробництва з екологічною безпекою агроландшафтів та забезпеченням довгострокової стійкості агроecosистем.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗБЕРЕЖЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

1.1 Родючість ґрунту як екологічна категорія

Родючість ґрунту є інтегральною характеристикою його екологічного стану та визначає здатність забезпечувати рослини водою, елементами живлення, повітрям і теплом упродовж усього періоду вегетації. У сучасній агроекології родючість розглядається як результат взаємодії природних процесів ґрунтоутворення та господарської діяльності людини. Саме тому її стан є одним із ключових індикаторів екологічної стійкості агроєкосистем.

На думку багатьох дослідників ґрунтознавства, зокрема представників наукових шкіл українського агроекологічного напрямку, родючість ґрунту не можна оцінювати виключно через рівень урожайності культур. Значно важливішим є здатність ґрунту тривалий час підтримувати продуктивність агроценозів без втрати своїх фізичних, хімічних та біологічних властивостей. Такий підхід відповідає концепції сталого землекористування, відповідно до якої кожне покоління землекористувачів повинно залишати земельні ресурси не в гіршому стані, ніж отримало їх у користування [1].

Екологічне значення родючості полягає у забезпеченні стабільності біогеохімічних циклів вуглецю, азоту, фосфору та інших елементів. Ґрунт виступає не лише середовищем для росту рослин, а й складною біологічною системою, у якій функціонують мільярди мікроорганізмів. Саме ґрунтова мікробіота забезпечує трансформацію органічної речовини, мінералізацію рослинних решток, гумусоутворення та підтримання природного кругообігу поживних речовин. Порушення цих процесів призводить до погіршення екологічного стану ґрунтів та зниження їх продуктивності.

Одним із найважливіших показників родючості є вміст гумусу. Гумус формує агрономічно цінну структуру ґрунту, покращує його водоутримувальну здатність, підвищує буферність та сприяє накопиченню поживних елементів. Зниження запасів гумусу розглядається як один із найнебезпечніших проявів деградації земель. За даними численних досліджень, відновлення навіть 0,1 % гумусу потребує тривалого часу та значних ресурсів, тоді як його втрати можуть відбуватися протягом кількох років інтенсивного використання земель [2].

У сучасних умовах аграрне виробництво дедалі частіше орієнтується на вирощування економічно привабливих культур, таких як соняшник, кукурудза та ріпак. Це зумовлює скорочення кількості полів у сівоzmінах та збільшення частоти повернення окремих культур на попереднє місце вирощування. Подібна практика дозволяє отримувати швидкий економічний результат, проте супроводжується посиленням антропогенного навантаження на ґрунтове середовище та підвищенням ризику розвитку деградаційних процесів.

Важливим елементом підтримання родючості є дотримання науково обґрунтованих сівоzmін. Чергування культур забезпечує більш раціональне використання запасів вологи та поживних речовин, сприяє зменшенню чисельності бур'янів, шкідників і збудників хвороб, а також створює сприятливі умови для відновлення біологічної активності ґрунту. Навпаки, порушення сівоzmін супроводжується виснаженням окремих елементів живлення, погіршенням структури ґрунту та накопиченням токсичних сполук антропогенного походження [3].

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах короткоротаційних сівоzmін, де для забезпечення належного фітосанітарного стану посівів значно зростає застосування засобів хімічного захисту рослин. Систематичне використання гербіцидів може впливати не лише на бур'янову рослинність, а й на ґрунтову мікрофлору, активність ферментативних процесів та загальний екологічний стан агроєкосистеми. У зв'язку з цим оцінка родючості ґрунту повинна враховувати не лише агрохімічні показники, а й біологічні критерії, що характеризують функціонування ґрунту як живої екосистеми.

Родючість ґрунту є складною багатокомпонентною категорією, яка поєднує продуктивні, екологічні та соціально-економічні аспекти використання земельних ресурсів. Її збереження є необхідною умовою забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва та підтримання екологічної безпеки агроландшафтів [4].

1.2 Агроекологічні функції сівозмін

Сівозміна є одним із фундаментальних елементів екологічно збалансованого землеробства, що забезпечує підтримання продуктивності агроєкосистем та збереження родючості ґрунтів. Під сівозміною розуміють науково обґрунтоване чергування сільськогосподарських культур у часі та просторі, яке враховує біологічні особливості рослин, їх вплив на ґрунтове середовище та потреби аграрного виробництва.

З екологічної точки зору сівозміна виконує комплекс взаємопов'язаних функцій, спрямованих на підтримання стабільності агроєкосистем. Однією з найважливіших є регулювання балансу органічної речовини в ґрунті. Культури різних біологічних груп формують неоднакову кількість післяжнивних решток, що впливає на процеси гумусоутворення та відновлення запасів органічного вуглецю. Чергування культур дозволяє забезпечити більш рівномірне надходження органічної речовини до ґрунту та підтримувати його структурний стан [5].

Важливою агроекологічною функцією сівозмін є оптимізація використання елементів живлення. Різні культури характеризуються неоднаковою потребою в азоті, фосфорі, калії та мікроелементах. За відсутності чергування культур відбувається локальне виснаження окремих елементів живлення, що з часом призводить до погіршення агрохімічних показників

грунту. Використання сівозмін дозволяє ефективніше використовувати природні запаси поживних речовин та зменшувати залежність від мінеральних добрив.

Особливе значення сівозміни мають для підтримання біологічної активності ґрунту. Ґрунтові мікроорганізми є ключовими учасниками процесів трансформації органічної речовини, мінералізації рослинних решток та кругообігу елементів живлення. Сучасні дослідження свідчать, що родючість ґрунту значною мірою визначається не лише вмістом органічної речовини, але й різноманітністю та функціональною активністю ґрунтової мікробіоти. Зокрема, встановлено, що за високого рівня родючості саме бактеріальне різноманіття стає одним із головних чинників, які забезпечують ефективне функціонування ґрунтової екосистеми та підтримання кругообігу поживних речовин [6].

Через різноманітність корневих виділень та рослинних решток сівозміна створює сприятливі умови для формування багатого та стабільного мікробного угруповання. У результаті підвищується інтенсивність мікробіологічних процесів, покращується трансформація органічних сполук і зростає доступність поживних речовин для рослин. Натомість тривале вирощування однієї культури або надмірне насичення сівозміни окремими культурами сприяє збідненню біорізноманіття ґрунту та порушенню екологічної рівноваги.

Однією з ключових функцій сівозмін є також поліпшення фітосанітарного стану агроценозів. Чергування культур порушує життєві цикли шкідників, збудників хвороб та бур'янів, що дозволяє природним шляхом стримувати їх розвиток. Завдяки цьому зменшується потреба у використанні засобів хімічного захисту рослин, а відповідно — і пестицидне навантаження на агроекосистему.

В умовах сучасного інтенсивного землеробства особливо актуальною стає проблема зростання гербіцидного навантаження. Високорентабельні культури, насамперед соняшник та кукурудза, потребують ефективного контролю бур'янів на ранніх етапах розвитку, що супроводжується активним використанням ґрунтових гербіцидів. Скорочення ротації культур призводить до збільшення частоти застосування однакових діючих речовин, накопичення їх залишків у ґрунті та підвищення ризику негативного впливу на ґрунтову біоту.

Не менш важливою є ґрунтозахисна функція сівозмін. Чергування культур із різною будовою кореневої системи сприяє підтриманню оптимальної структури ґрунту, покращенню його водопроникності та аерації. Глибококореневі культури розпушують нижні горизонти, тоді як культури з розвиненою мичкуватою кореневою системою сприяють формуванню агрономічно цінної структури орного шару. Це особливо важливо для чорноземів степової зони України, які за умов інтенсивного використання можуть втрачати структурність та зазнавати деградаційних змін [7].

Сівозміни також виконують важливу водорегулюючу функцію. Чергування культур із різною потребою у волозі сприяє більш раціональному використанню запасів ґрунтової води, зменшує ризики водної ерозії та покращує водний режим агроєкосистем. Для умов Степу України, де дефіцит вологи є одним із головних лімітуючих факторів урожайності, ця функція набуває особливого значення.

Сівозміни забезпечують підтримання родючості ґрунтів, збереження біологічного різноманіття, оптимізацію кругообігу поживних речовин, покращення фітосанітарного стану посівів та зниження антропогенного навантаження на довкілля. Саме тому дотримання науково обґрунтованих сівозмін залишається однією з основних умов сталого функціонування сучасного землеробства [8].

1.3 Короткоротаційні сівозміни в сучасному землеробстві

Висока вартість матеріально-технічних ресурсів, нестабільність ринків збуту, зміни клімату та наслідки воєнних дій змушують агровиробників орієнтуватися насамперед на забезпечення економічної ефективності виробництва. За таких умов традиційна система землеробства, що базується на суворому дотриманні багатопільних сівозмін, поступово трансформується у

напрямі скорочення кількості культур у ротації та збільшення площ під найбільш прибутковими культурами [9].

Однією з характерних особливостей сучасного землеробства є поширення короткоротаційних сівозмін, у яких період повернення культури на попереднє поле значно скорочується порівняно з класичними багатопільними сівозмінами. Найчастіше до структури таких сівозмін входять соняшник, кукурудза, озима пшениця, ріпак та соя, які характеризуються високою рентабельністю та стабільним попитом на ринку.

Перехід до короткоротаційних сівозмін є закономірною реакцією аграрного бізнесу на сучасні економічні умови. Проте така модель господарювання нерідко супроводжується відходом від окремих екологічних принципів землеробства. Фактично відбувається зміна філософії використання земельних ресурсів, коли пріоритет надається отриманню швидкого економічного результату, а питання довгострокового збереження родючості ґрунтів відходять на другий план. Наслідки таких рішень можуть накопичуватися протягом багатьох років і проявлятися у вигляді деградаційних процесів, що впливають на продуктивність агроєкосистем протягом десятиліть.

Основною екологічною проблемою короткоротаційних сівозмін є порушення природних механізмів саморегуляції агроєкосистем. Часте повернення одних і тих самих культур на поле призводить до одностороннього використання поживних речовин, погіршення структури ґрунту, зменшення біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів та накопичення фітопатогенних організмів. Одночасно зростає потреба у використанні мінеральних добрив та засобів хімічного захисту рослин, що збільшує антропогенне навантаження на ґрунтове середовище [10].

Особливого значення в умовах короткоротаційних сівозмін набуває проблема контролю бур'янової рослинності. Такі культури, як соняшник і кукурудза, особливо чутливі до конкуренції з бур'янами на початкових етапах органогенезу. Для забезпечення оптимальних умов росту рослин у виробничій

практиці широко застосовуються ґрунтові гербіциди, які створюють своєрідний захисний екран у верхньому шарі ґрунту та пригнічують проростання бур'янів.

У короткоротаційних сівозмінах інтенсивність використання гербіцидів, як правило, значно вища, ніж у традиційних багатопільних системах землеробства. Це пов'язано з підвищеним фітосанітарним навантаженням та необхідністю підтримання високого рівня чистоти посівів. У результаті збільшується ризик накопичення залишкових кількостей діючих речовин у ґрунті, що може негативно впливати як на наступні культури сівозміни, так і на ґрунтову біоту [11].

Сучасні дослідження свідчать, що залишкові кількості гербіцидів здатні впливати на активність ґрунтових мікроорганізмів, змінювати інтенсивність процесів мінералізації органічної речовини та пригнічувати окремі групи корисної мікрофлори. Оскільки біологічна активність є одним із найважливіших показників родючості, питання оцінки гербіцидного навантаження набуває особливої актуальності в умовах скорочених ротацій культур.

Одним із напрямів оцінки екологічних наслідків використання гербіцидів є дослідження їх залишкової токсичності за допомогою рослин-біоіндикаторів. Показниками токсичної дії виступають довжина кореневої системи, довжина пагона, площа листової поверхні, особливості формування кошика та інші морфометричні характеристики [12].

Соняшник є однією з провідних технічних культур України та характеризується високою чутливістю до умов ґрунтового середовища. Тривалість окремих фаз його розвитку залежить від біологічних особливостей гібриду, температурного режиму та забезпеченості вологою. Для середньостиглих гібридів період від сівби до появи сходів триває в середньому 14–16 діб, від сходів до бутонізації — 37–43 доби, від бутонізації до цвітіння — 27–30 діб, а від цвітіння до повного досягання — 44–50 діб.

Особливу увагу при проведенні досліджень приділяють трьом критичним фазам розвитку культури: сходам, бутонізації та наливу насіння. Саме в ці періоди рослини найбільш чутливі до дії несприятливих факторів середовища та

гостро реагують на дефіцит вологи, елементів живлення або наявність токсичних сполук у ґрунті. Тому оцінка морфологічних і фізіологічних показників соняшнику в зазначені фази розвитку дозволяє найбільш об'єктивно визначити ступінь впливу гербіцидного навантаження на стан агроєкосистеми.

Важливим фактором формування залишкової токсичності є погодні умови, насамперед кількість атмосферних опадів. Під впливом опадів гербіциди можуть переміщуватися по профілю ґрунту, концентруватися в зоні розташування кореневої системи або, навпаки, мігрувати в глибші горизонти. В окремих випадках частина діючих речовин може зберігатися у поверхневому шарі ґрунту протягом тривалого часу. Саме тому реакція культурних рослин на залишкові кількості гербіцидів може слугувати своєрідним індикатором екологічного стану ґрунту [13].

Короткоротаційні сівозміни є об'єктивною складовою сучасного аграрного виробництва, однак їх широке впровадження супроводжується низкою екологічних ризиків. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває пошук агроєкологічних заходів, здатних мінімізувати негативні наслідки скорочення ротації культур та забезпечити збереження родючості ґрунтів в умовах інтенсивного землеробства.

1.4 Екологічні наслідки порушення сівозмін

Порушення науково обґрунтованих сівозмін є однією з найбільш актуальних проблем сучасного землеробства. В умовах економічної нестабільності, високої вартості матеріально-технічних ресурсів та необхідності забезпечення рентабельності виробництва аграрні підприємства все частіше скорочують кількість культур у сівозмінах, надаючи перевагу найбільш прибутковим культурам. Такий підхід дозволяє отримувати швидкий економічний ефект, однак водночас створює передумови для розвитку

довготривалих екологічних проблем, наслідки яких можуть проявлятися протягом багатьох років і навіть десятиліть [14].

Сівозміна є одним із головних механізмів підтримання екологічної рівноваги в агроєкосистемах. Завдяки чергуванню культур забезпечується раціональне використання поживних речовин, підтримується сприятливий фітосанітарний стан посівів, покращуються фізичні властивості ґрунту та створюються умови для стабільного функціонування ґрунтової біоти. Порушення цього принципу призводить до поступового виснаження природного потенціалу ґрунту та зниження його родючості.

Одним із найбільш поширених наслідків недотримання сівозмін є погіршення агрохімічних показників ґрунту. Кожна культура характеризується специфічним рівнем споживання елементів живлення. Часте повернення однієї й тієї самої культури на попереднє місце вирощування спричиняє одностороннє використання запасів поживних речовин та формування дефіциту окремих макро- і мікроелементів. Особливо це характерно для соняшнику, який відзначається високим рівнем виведення азоту, фосфору, калію та інших елементів із ґрунту. За відсутності достатнього відновлення поживного балансу відбувається поступове виснаження родючості земель.

Не менш важливим наслідком є порушення балансу органічної речовини та зниження вмісту гумусу. Скорочення різноманіття культур у структурі посівних площ призводить до зменшення кількості та різноманітності рослинних решток, які надходять у ґрунт. У таких умовах процеси мінералізації органічної речовини переважають над процесами її накопичення, що сприяє дегуміфікації ґрунтів. Зменшення вмісту гумусу супроводжується погіршенням структури орного шару, зниженням водоутримувальної здатності та погіршенням повітряного режиму ґрунту [15].

Порушення сівозмін негативно впливає також на біологічну активність ґрунту. Різні культури формують специфічний склад корневих виділень та післяживних решток, які є джерелом живлення для ґрунтових мікроорганізмів. У разі тривалого вирощування обмеженого набору культур спостерігається

поступове збіднення видового складу ґрунтової мікрофлори, зниження чисельності корисних мікроорганізмів та порушення процесів трансформації органічної речовини. У результаті зменшується інтенсивність мікробіологічних процесів, які забезпечують кругообіг поживних елементів та підтримання природної родючості ґрунту.

Особливого значення набуває проблема збереження біорізноманіття ґрунтових організмів. Сучасні наукові дослідження свідчать про існування тісного взаємозв'язку між різноманіттям ґрунтової біоти, рівнем родючості та продуктивністю рослин. Ґрунтові мікроорганізми беруть участь у процесах розкладання органічних решток, гумусоутворення, мобілізації поживних речовин та формуванні сприятливих умов для росту рослин. Встановлено, що зі збільшенням різноманіття ґрунтових мікробних угруповань підвищується ефективність функціонування ґрунтової екосистеми, покращуються показники родючості та продуктивності агроценозів. Навпаки, збіднення біорізноманіття супроводжується погіршенням екологічного стану ґрунту та зниженням його функціональної стійкості [16].

За умов скорочення ротації культур і тривалого вирощування однотипних агроценозів зменшується різноманіття екологічних ніш у ґрунті. Одноманітні кореневі виділення створюють менш сприятливі умови для розвитку різних груп мікроорганізмів, що призводить до поступового спрощення структури ґрунтових біоценозів. У результаті погіршуються процеси гумусоутворення, мінералізації органічних речовин та мобілізації поживних елементів, що негативно позначається на загальному рівні родючості ґрунту.

Ще одним важливим наслідком порушення сівозмін є погіршення фітосанітарного стану агроєкосистем. Часте повернення культур на попереднє місце вирощування створює сприятливі умови для накопичення збудників хвороб, шкідників та насіння бур'янів. У посівах соняшнику це проявляється збільшенням поширення вовчка соняшникового, фомозу, фомопсису, білої та сірої гнилей. Для стримування розвитку шкідливих організмів виробники

змушені збільшувати обсяги застосування пестицидів, що додатково посилює антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

Суттєвою екологічною проблемою є зростання гербіцидного навантаження на агроєкосистеми. У короткоротаційних сівозмінах соняшник і кукурудза займають значну частку структури посівів. На початкових етапах розвитку ці культури є особливо чутливими до конкуренції з бур'янами, тому технології їх вирощування передбачають широке використання ґрунтових гербіцидів. Внаслідок частого застосування препаратів зростає ризик накопичення залишкових кількостей діючих речовин у ґрунті [17].

Поведінка гербіцидів у ґрунті значною мірою залежить від погодних умов, насамперед від кількості атмосферних опадів. Після випадання дощів діючі речовини можуть переміщуватися у кореневмісний шар ґрунту, де вони безпосередньо контактують із кореневими системами культурних рослин. Частина препаратів може мігрувати у глибші горизонти, а інша — тривалий час залишатися у верхньому шарі ґрунту. Це створює умови для формування залишкової токсичності, яка здатна впливати як на ґрунтову мікрофлору, так і на розвиток сільськогосподарських культур.

Наявність залишкових кількостей гербіцидів може проявлятися у вигляді пригнічення ростових процесів рослин, зменшення довжини кореневої системи, скорочення площі листової поверхні, уповільнення проходження фенологічних фаз розвитку та погіршення генеративних показників. Такі зміни є важливими індикаторами екологічного стану ґрунту та можуть використовуватися для оцінки рівня його антропогенного навантаження [18].

Для степової зони України негативні наслідки порушення сівозмін додатково посилюються дефіцитом вологи. Зниження вмісту гумусу та погіршення структури ґрунту призводять до зменшення його здатності накопичувати й утримувати воду, що особливо небезпечно в умовах частих посух та високих температур. У результаті посилюються процеси водної та вітрової ерозії, зростає ризик деградації земель та знижується стабільність агроєкосистем.

Порушення сівозмін спричиняє комплекс негативних екологічних наслідків, які проявляються у виснаженні запасів поживних речовин, зниженні вмісту гумусу, погіршенні біологічної активності ґрунту, збідненні його біорізноманіття, посиленні фітосанітарних проблем та зростанні хімічного навантаження. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває пошук агроекологічних заходів, здатних мінімізувати негативні наслідки скорочення ротації культур і забезпечити збереження родючості ґрунтів в умовах сучасного інтенсивного землеробства [19].

1.5 Трансформація гербіцидів у ґрунті

Гербіциди є невід'ємною складовою сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Їх застосування забезпечує ефективний контроль бур'янової рослинності, зменшує конкуренцію за вологу та поживні речовини і сприяє формуванню високої врожайності культур. Водночас після внесення в агроценози гербіциди не залишаються незмінними, а зазнають складних фізичних, хімічних та біологічних перетворень, які визначають їх подальшу долю в навколишньому середовищі.

Під трансформацією гербіцидів розуміють сукупність процесів, що змінюють їх хімічну структуру, фізичний стан або місце розташування у ґрунтовому профілі. Основними механізмами трансформації є сорбція, десорбція, хімічний та мікробіологічний розклад, фотодеструкція, гідроліз, випаровування та міграція по профілю ґрунту. Інтенсивність цих процесів залежить від властивостей діючої речовини, гранулометричного складу ґрунту, вмісту гумусу, кислотності середовища, температурного режиму та забезпеченості вологою [20].

Після внесення гербіцидів значна частина препарату адсорбується поверхнею ґрунтових колоїдів та органічної речовини. Вміст гумусу є одним із

найважливіших факторів, що визначає здатність ґрунту утримувати пестициди. Ґрунти з високим вмістом органічної речовини зазвичай характеризуються сильнішою сорбцією гербіцидів, що знижує їх рухливість, але водночас може збільшувати тривалість перебування діючих речовин у ґрунтовому середовищі.

Особливе значення у процесах трансформації гербіцидів належить ґрунтовим мікроорганізмам. Саме мікробіологічний розклад є основним шляхом детоксикації багатьох гербіцидів. Бактерії, актиноміцети та мікроскопічні гриби використовують органічні сполуки гербіцидів як джерело вуглецю або енергії, поступово перетворюючи їх на простіші речовини. Швидкість такого розкладу значною мірою залежить від біологічної активності ґрунту та чисельності мікроорганізмів-деструкторів [21].

Сучасні дослідження свідчать, що між гербіцидами та ґрунтовою мікробіотою існує складний двосторонній зв'язок. З одного боку, мікроорганізми забезпечують розклад діючих речовин, а з іншого — самі гербіциди можуть впливати на структуру та функціонування мікробних угруповань. Встановлено, що тривале накопичення залишкових кількостей гербіцидів здатне змінювати склад мікробних спільнот та впливати на ґрунтову мультифункціональність. При цьому низькі концентрації окремих сполук можуть стимулювати активність певних груп мікроорганізмів, тоді як високі концентрації мають пригнічувальну дію на біологічні процеси ґрунту.

Важливим чинником трансформації гербіцидів є вологість ґрунту. Після випадання атмосферних опадів діючі речовини можуть переміщуватися разом із ґрунтовим розчином у нижчі горизонти профілю. Залежно від фізико-хімічних властивостей препарату частина гербіциду концентрується у кореневмісному шарі, де може впливати на культурні рослини, а інша частина вимивається у глибші горизонти. Саме тому кількість опадів часто визначає рівень залишкової токсичності препаратів та характер їх післядії на наступні культури сівозміни.

Температурний режим також суттєво впливає на швидкість деградації гербіцидів. За підвищення температури активізуються мікробіологічні процеси та прискорюються реакції хімічного розкладу. У прохолодних умовах діючі

речовини можуть зберігатися в ґрунті значно довше, що збільшує ризик їх негативного впливу на чутливі культури [22].

Одним із найважливіших процесів трансформації є утворення метаболітів — проміжних продуктів розкладу гербіцидів. У багатьох випадках токсичність таких сполук є нижчою порівняно з вихідною діючою речовиною, однак окремі метаболіти можуть зберігати біологічну активність або навіть характеризуватися підвищеною екотоксичністю. Тому оцінка екологічної безпечності гербіцидів повинна враховувати не лише поведінку основної діючої речовини, а й особливості формування та накопичення продуктів її трансформації. Дослідження процесів деградації атразину показали, що під час його трансформації можуть відбуватися реакції деалкілування, дегалогенування та гідроксилювання з утворенням низки проміжних метаболітів, які певний час зберігаються в ґрунтовому середовищі [23].

У сучасних умовах особливої актуальності набуває проблема накопичення залишкових кількостей гербіцидів у короткоротаційних сівозмінах. Часте вирощування соняшнику та кукурудзи супроводжується систематичним використанням ґрунтових гербіцидів, що підвищує ризик їх накопичення у верхньому шарі ґрунту. За несприятливих умов розкладу залишкові кількості препаратів можуть впливати на активність ґрунтової мікрофлори, пригнічувати розвиток культурних рослин та погіршувати окремі показники родючості.

Важливими індикаторами залишкової токсичності є показники росту і розвитку рослин. Наявність гербіцидних залишків у ґрунті може проявлятися через зменшення довжини кореневої системи, пригнічення росту пагонів, скорочення площі листової поверхні, уповільнення проходження фенологічних фаз розвитку та зниження продуктивності рослин. Саме тому культурні рослини часто використовуються як біоіндикатори для оцінки екологічного стану ґрунту та визначення рівня гербіцидного навантаження.

Трансформація гербіцидів у ґрунті є складним багатофакторним процесом, який визначає екологічну безпечність їх застосування та характер впливу на агроєкосистеми. Розуміння закономірностей деградації, міграції та

накопичення гербіцидів має важливе значення для розроблення заходів щодо мінімізації їх негативного впливу на родючість ґрунтів і забезпечення екологічної стійкості сучасного землеробства [24].

1.6 Впливи на ґрунтову біоту

Ґрунтова біота є одним із найважливіших компонентів агроєкосистеми, оскільки забезпечує перебіг основних біогеохімічних процесів, пов'язаних із трансформацією органічної речовини, мінералізацією рослинних решток, кругообігом поживних елементів та формуванням родючості ґрунту. До складу ґрунтової біоти входять бактерії, гриби, актиноміцети, водорості, найпростіші, нематоди, дощові черв'яки та інші організми, які утворюють складну систему взаємозв'язків і забезпечують стабільне функціонування ґрунтової екосистеми.

В умовах інтенсивного землеробства одним із найважливіших факторів впливу на ґрунтову біоту є застосування засобів хімічного захисту рослин. Гербіциди, потрапляючи до ґрунту, взаємодіють не лише з бур'янами, для боротьби з якими вони призначені, але й з численними групами нетаргетних організмів. Саме тому оцінка впливу гербіцидів на біологічну активність ґрунту є важливою складовою агроєкологічних досліджень [25].

Ґрунтові мікроорганізми першими реагують на надходження ксенобіотиків у ґрунтове середовище. Завдяки високій чутливості до змін умов існування вони часто використовуються як біоіндикатори екологічного стану ґрунту. Зміни чисельності мікроорганізмів, інтенсивності дихання ґрунту, активності ферментів та швидкості мінералізаційних процесів дозволяють оцінювати ступінь антропогенного навантаження та рівень токсичного впливу пестицидів.

Вплив гербіцидів на мікробіологічні процеси залежить від багатьох факторів: діючої речовини препарату, норми внесення, фізико-хімічних

властивостей ґрунту, вмісту гумусу, вологості, температури та видового складу мікроорганізмів. Одні групи мікроорганізмів можуть використовувати окремі гербіциди як джерело вуглецю або енергії, тоді як інші виявляються чутливими до їх токсичної дії. Унаслідок цього після внесення гербіцидів нерідко відбувається перебудова структури мікробних угруповань та зміна співвідношення між окремими групами ґрунтової мікрофлори [26].

Особливо важливими показниками стану ґрунтової біоти є активність дегідрогеназ, інтенсивність ґрунтового дихання, швидкість гідролітичних процесів та чисельність гетеротрофних мікроорганізмів. Саме ці показники найчастіше використовуються для оцінки впливу гербіцидів на функціонування ґрунтової екосистеми. Дослідження впливу гліфосату, 2,4-Д та метсульфурон-метилу показали, що окремі гербіциди можуть змінювати показники ферментативної активності та структуру мікробних угруповань навіть за рекомендованих норм внесення.

Важливим наслідком впливу гербіцидів є зміна процесів кругообігу азоту. Наукові дослідження встановили, що деякі гербіциди здатні пригнічувати процеси азотфіксації, амоніфікації та нітрифікації, особливо в ґрунтах із низьким вмістом органічної речовини або несприятливими фізико-хімічними властивостями. Порушення азотного циклу може призводити до погіршення забезпечення рослин доступними формами азоту та зниження ефективності використання поживних речовин [27].

Окрім мікроорганізмів, гербіциди можуть впливати і на представників ґрунтової мезо- та макрофауни. Особливу увагу дослідники приділяють дощовим черв'якам, які відіграють важливу роль у формуванні структури ґрунту, перемішуванні органічної речовини та покращенні його водно-повітряного режиму. В окремих випадках встановлено негативний вплив деяких діючих речовин на чисельність та активність популяцій дощових черв'яків, що може відобразитися на загальному стані ґрунтової екосистеми.

Особливої актуальності проблема впливу гербіцидів на ґрунтову біоту набуває в умовах короткоротаційних сівозмін. Часте вирощування соняшнику та

кукурудзи супроводжується систематичним застосуванням ґрунтових гербіцидів для контролю бур'янової рослинності. За таких умов зростає ризик накопичення залишкових кількостей препаратів у ґрунті, що може посилювати їх вплив на мікробіологічні процеси та сприяти поступовому зниженню біологічної активності ґрунту [28].

Залишкова токсичність гербіцидів може проявлятися через пригнічення розвитку окремих груп мікроорганізмів, зменшення інтенсивності ферментативних процесів та зміну швидкості розкладання органічних решток. У результаті порушуються процеси гумусоутворення, погіршується трансформація поживних речовин і знижується екологічна стійкість агроєкосистеми. Найбільш чутливо на такі зміни реагують мікробні угруповання ризосфери, які безпосередньо пов'язані з корневими системами рослин.

Для оцінки впливу гербіцидів на ґрунтову біоту доцільно використовувати комплексний підхід, що включає аналіз чисельності та структури мікроорганізмів, визначення ферментативної активності ґрунту, а також біотестування за участю культурних рослин. Реакція рослин на залишкові кількості гербіцидів часто є інтегральним показником змін, які відбуваються у ґрунтовому середовищі під впливом хімічних факторів [29].

1.7 Біоіндикаційне значення культури соняшника

У сучасних агроєкологічних дослідженнях важливе значення мають біологічні методи оцінки стану навколишнього середовища, які дозволяють визначати рівень антропогенного навантаження на агроєкосистеми за реакцією живих організмів. Одним із найбільш інформативних підходів є біоіндикація — метод оцінювання екологічного стану середовища за показниками росту, розвитку та функціонування рослинних або тваринних організмів. Особливе місце серед біоіндикаторів посідають сільськогосподарські культури, які

безпосередньо реагують на зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту [30].

Соняшник (*Helianthus annuus L.*) є однією з найважливіших технічних культур України та займає провідне місце у структурі посівних площ степової зони. Висока економічна цінність культури зумовила її широке поширення в сучасних короткоротаційних сівозмінах, що, своєю чергою, робить соняшник важливим об'єктом агроекологічних досліджень.

Як біоіндикатор соняшник має низку переваг. Насамперед він характеризується високою чутливістю до змін умов ґрунтового середовища, зокрема до вмісту доступних елементів живлення, вологості, кислотності, фізичного стану ґрунту та наявності токсичних речовин. Реакція рослин на несприятливі фактори досить швидко проявляється у зміні морфологічних і фізіологічних показників, що дозволяє використовувати культуру для оцінки екологічного стану агроecosистем.

Особливого значення соняшник набуває при дослідженні залишкової токсичності гербіцидів. Після внесення ґрунтових гербіцидів їх діючі речовини можуть певний час зберігатися у верхніх горизонтах ґрунту або переміщуватися до кореневмісного шару під впливом атмосферних опадів. У таких умовах рослини стають своєрідними індикаторами наявності токсичних сполук, оскільки навіть незначні концентрації залишкових речовин можуть впливати на процеси росту та розвитку культури [31].

Чутливість соняшнику до гербіцидного навантаження проявляється насамперед на ранніх етапах органогенезу. Одними з перших ознак токсичної дії є пригнічення росту кореневої системи, зменшення довжини головного кореня та скорочення кількості бічних коренів. Оскільки коренева система є основним органом поглинання води та поживних речовин, будь-які порушення її розвитку безпосередньо впливають на подальший ріст і продуктивність рослин.

Важливими біоіндикаційними показниками є також довжина надземної частини рослин, площа листової поверхні, інтенсивність формування генеративних органів та розвиток кошика. За несприятливого впливу токсичних

речовин спостерігається уповільнення ростових процесів, зменшення фотосинтетичної поверхні та порушення формування репродуктивних структур. Такі зміни можуть бути використані для оцінки ступеня забруднення ґрунту та визначення рівня екологічного ризику.

Особливу цінність для біоіндикаційних досліджень становить чітка вираженість фенологічних фаз розвитку соняшнику. Тривалість міжфазних періодів залежить від генетичних особливостей гібриду, температурного режиму та забезпеченості рослин вологою. Для середньостиглих гібридів період від сівби до появи сходів триває в середньому 14–16 діб, від сходів до бутонізації — 37–43 доби, від бутонізації до цвітіння — 27–30 діб, а від цвітіння до повного досягання — 44–50 діб [32].

У процесі вирощування культури виділяють три критичні фази розвитку, під час яких рослини найбільш чутливо реагують на зміни умов середовища. До них належать фаза сходів, фаза формування кошика (бутонізація) та період наливу насіння. Саме в ці періоди соняшник найбільш гостро потребує вологи, макро- та мікроелементів, а також найбільш чутливо реагує на наявність токсичних сполук у ґрунті. Тому відбір зразків і проведення біометричних досліджень у зазначені фази дозволяють отримати найбільш об'єктивну інформацію про екологічний стан агроєкосистеми.

Важливою особливістю соняшнику як біоіндикатора є його здатність інтегрувати вплив багатьох факторів середовища одночасно. Реакція рослин формується під впливом фізичних властивостей ґрунту, його агрохімічного стану, рівня біологічної активності, вологості та наявності залишкових кількостей пестицидів. Завдяки цьому культура відображає сумарний ефект усіх процесів, що відбуваються у ґрунтовому середовищі.

Для умов короткоротаційних сівозмін соняшник має особливе значення як індикатор змін, пов'язаних із підвищеним гербіцидним навантаженням. Часте застосування ґрунтових гербіцидів може впливати на мікробіологічну активність ґрунту, процеси трансформації органічної речовини та накопичення токсичних залишків. Реакція рослин на такі зміни проявляється через показники росту

кореневої системи, довжини пагона, площі листкової поверхні та розвитку генеративних органів, що дозволяє використовувати соняшник як ефективний інструмент агроекологічного моніторингу.

Соняшник є цінним біоіндикатором стану ґрунтового середовища та рівня антропогенного навантаження в агроекосистемах. Його висока чутливість до змін фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту дає можливість використовувати культуру для оцінки залишкової токсичності гербіцидів, визначення екологічних ризиків та аналізу ефективності заходів, спрямованих на збереження родючості ґрунтів у короткоротаційних сівозмінах [33].

1.8 Оптимізація родючості в короткоротаційних сівозмінах

Висока рентабельність окремих культур, економічні ризики та необхідність забезпечення стабільної прибутковості спонукають товаровиробників до скорочення ротації культур. Проте така система землеробства супроводжується підвищенням навантаженням на ґрунт і може призводити до поступового зниження його родючості. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення заходів, спрямованих на оптимізацію родючості ґрунту в умовах короткоротаційних сівозмін.

Одним із найважливіших напрямів збереження родючості є підтримання позитивного балансу органічної речовини. Саме органічна речовина визначає більшість агрофізичних, агрохімічних і біологічних властивостей ґрунту. Вона бере участь у формуванні структури ґрунту, регулює водний режим, є джерелом енергії для ґрунтових мікроорганізмів та забезпечує накопичення поживних елементів. За умов скорочення ротації культур особливого значення набуває повернення в ґрунт післяжнивних решток, використання сидеральних культур, органічних добрив та інших джерел органічної речовини [34].

Дослідження довготривалих польових експериментів свідчать, що поєднання сівозмін із внесенням органічних добрив сприяє збільшенню вмісту органічного вуглецю, покращенню азотного режиму ґрунту та активізації ґрунтової мікрофлори. Особливо ефективним є використання органічних добрив у поєднанні з культурами, здатними залишати значну кількість рослинних решток, що забезпечує підтримання біологічної активності та стабільності агроєкосистем.

Важливим елементом оптимізації родючості є включення до короткоротаційних сівозмін культур із різними біологічними особливостями. Чергування зернових, технічних та бобових культур сприяє більш раціональному використанню поживних речовин, покращує структуру ґрунту та зменшує ризик накопичення збудників хвороб і шкідників. Особливу роль відіграють зернобобові культури, які завдяки симбіозу з азотфіксувальними бактеріями здатні збагачувати ґрунт біологічним азотом та покращувати його азотний баланс [35].

Одним із перспективних напрямів підвищення стійкості короткоротаційних сівозмін є використання проміжних і покривних культур. Вони забезпечують захист поверхні ґрунту від ерозійних процесів, сприяють накопиченню органічної речовини, покращують структуру орного шару та активізують діяльність ґрунтової біоти. Крім того, покривні культури здатні стримувати розвиток бур'янів і частково знижувати потребу в застосуванні гербіцидів.

Для умов степової зони України особливе значення має збереження водного режиму ґрунту. Одним із шляхів його покращення є мінімізація механічного обробітку та збереження рослинних решток на поверхні поля. Такий підхід сприяє зменшенню непродуктивних втрат вологи, покращенню структури ґрунту та підвищенню стійкості агроєкосистем до посушливих умов.

Важливим резервом збереження родючості є підтримання високої біологічної активності ґрунту. Сучасні дослідження показують, що родючість значною мірою залежить від різноманіття та активності ґрунтових

мікроорганізмів. Саме вони забезпечують трансформацію органічної речовини, гумусоутворення та кругообіг поживних елементів. Тому будь-які технологічні заходи повинні бути спрямовані на збереження мікробного різноманіття та мінімізацію факторів, які пригнічують життєдіяльність ґрунтової біоти [36].

Окремої уваги потребує оптимізація системи захисту рослин. У короткоротаційних сівозмінах через підвищений ризик забур'яненості значно зростає інтенсивність застосування гербіцидів. Проте надмірне гербіцидне навантаження може призводити до накопичення залишкових кількостей діючих речовин у ґрунті та негативно впливати на його біологічну активність. У зв'язку з цим важливим завданням є добір препаратів із мінімальною післядією, суворе дотримання регламентів застосування та впровадження інтегрованих систем контролю бур'янів.

У контексті даної роботи особливого значення набуває оцінка залишкової токсичності гербіцидів за допомогою біоіндикаційних методів. Використання соняшнику як тест-культури дозволяє своєчасно виявляти прояви токсичного впливу залишкових кількостей препаратів на ріст і розвиток рослин. Показники розвитку кореневої системи, довжини пагона, площі листкової поверхні та формування кошика можуть бути використані для оцінювання екологічного стану ґрунту та ефективності заходів щодо збереження його родючості.

Для господарств, які вимушені використовувати короткоротаційні сівозміни, доцільно впроваджувати комплекс заходів, спрямованих на компенсацію негативних наслідків скорочення ротації культур. До таких заходів належать повернення рослинних решток у ґрунт, застосування органічних добрив, вирощування сидеральних і покривних культур, включення до структури посівів бобових культур, оптимізація системи удобрення та раціональне використання засобів захисту рослин [37].

Навіть за умов скорочення ротації культур існують ефективні агроекологічні механізми, які дозволяють стримувати деградаційні процеси та підтримувати належний рівень родючості ґрунтів. Реалізація комплексу організаційних, агротехнічних і екологічних заходів дає можливість мінімізувати

негативний вплив короткоротаційних сівозмін та забезпечити стабільне функціонування агроєкосистем у довгостроковій перспективі.

2 УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово-кліматичні умови району досліджень

Дослідження проводилися на території Синельниківського району Дніпропетровської області, який розташований у центральній частині степової зони України. Природно-кліматичні умови району є типовими для Північного Степу та характеризуються недостатнім і нестійким зволоженням, високими літніми температурами та значною повторюваністю посушливих явищ. Такі умови значною мірою визначають особливості функціонування агроєкосистем, процеси формування родючості ґрунтів та ефективність вирощування польових культур [38].

Територія району розташована в межах Придніпровської низовини та характеризується переважно рівнинним або слабохвилястим рельєфом. Абсолютні висоти коливаються в межах 100–200 м над рівнем моря. Рельєф сприятливий для ведення механізованого землеробства, однак на окремих схилах можуть проявлятися процеси водної ерозії, особливо за умов інтенсивного використання орних земель та недостатнього рослинного покриву.

Клімат району помірно континентальний із жарким літом та порівняно м'якою малосніжною зимою. Середньорічна температура повітря становить близько +9...+10 °С. Середня температура найхолоднішого місяця (січня) коливається від –3 до –5 °С, а найтеплішого (липня) — від +22 до +24 °С. У окремі роки максимальні літні температури можуть перевищувати +35 °С, що сприяє посиленню випаровування та виникненню дефіциту вологи у ґрунті [39].

У таблиці 2.1 наведено дані про середньодекадну температуру повітря на метеостанції Синельникове за 2025 рік.

Таблиця 2.1 – Середньодакна температура повітря на метеостанції Синельникове за 2025 рік

Місяць	Температура повітря по декадам, С°		
	I	II	III
Січень	-2,4	-1,8	-0,9
Лютий	-3,1	-1,2	1,4
Березень	4,2	6,1	8,3
Квітень	10,1	12,4	14,8
Травень	16,3	18,7	20,1
Червень	21,2	23,0	24,5
Липень	26,4	27,1	26,8
Серпень	25,9	25,1	23,7
Вересень	21,4	19,6	17,8
Жовтень	14,2	11,8	9,7
Листопад	6,1	3,8	1,5
Грудень	-0,8	-2,1	-3,4

Річна кількість атмосферних опадів у межах району становить у середньому 450–550 мм, причому більша їх частина випадає у теплий період року. Разом із тим розподіл опадів є нерівномірним як за сезонами, так і за роками. Для території характерними є тривалі бездощові періоди, суховії та атмосферні посухи, які негативно впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. Недостатнє зволоження є одним із головних лімітуючих факторів землеробства в регіоні.

Ґрунтовий покрив Синельниківського району представлений переважно чорноземами звичайними та чорноземами південними, сформованими на лесових відкладах під степовою рослинністю. Ці ґрунти характеризуються високою природною родючістю, значною ємністю вбирання, сприятливими фізичними властивостями та відносно високим вмістом гумусу. Для орного шару

чорноземів степової зони характерний вміст гумусу на рівні 3,5–6,0 %, що забезпечує високий потенціал продуктивності сільськогосподарських культур.

Основними ґрунтами сільськогосподарських угідь району є чорноземи звичайні середньогумусні важкосуглинкові. Вони мають добре виражений гумусовий горизонт, сприятливу зернисто-грудкувату структуру та високу забезпеченість поживними речовинами. Разом із тим тривале інтенсивне використання орних земель, скорочення частки багаторічних трав у сівозмінах та недостатнє повернення органічної речовини сприяють поступовому зниженню запасів гумусу та погіршенню окремих показників родючості [40].

У таблиці 2.2 наведено дані про агрохімічні показники ґрунтів Синельниківського району.

Таблиця 2.2 – Агрохімічні показники ґрунтів Синельниківського району

Показник	Значення
Тип ґрунту	Чорнозем звичайний
Вміст гумусу, %	4,5
pH ґрунтового розчину	6,8
Вміст азоту, мг/кг	95
Вміст фосфору, мг/кг	82
Вміст калію, мг/кг	125
Щільність ґрунту, г/см ³	1,25
Потужність гумусового горизонту, см	60

Важливою особливістю природних умов району є поєднання високої природної родючості чорноземів із дефіцитом вологи. Саме тому ефективність вирощування польових культур значною мірою залежить від здатності ґрунту накопичувати та зберігати продуктивну вологу. Збереження структури ґрунту, підтримання оптимального вмісту гумусу та раціональне використання агротехнологій мають особливе значення для забезпечення стабільної продуктивності агроценозів [41].

Для вирощування соняшнику природно-кліматичні умови Синельниківського району загалом є сприятливими. Високі суми активних температур забезпечують повне проходження основних фаз розвитку культури та формування врожаю. Водночас нестача вологи в окремі періоди вегетації може обмежувати реалізацію продуктивного потенціалу рослин і посилювати вплив інших стресових факторів, зокрема залишкової токсичності гербіцидів.

Територія Синельниківського району характеризується поєднанням високородючих чорноземних ґрунтів і посушливих кліматичних умов степової зони. Саме тому питання збереження родючості ґрунтів, підтримання їх біологічної активності та мінімізації негативних наслідків інтенсивного застосування засобів захисту рослин є особливо актуальними для аграрного виробництва регіону.

2.2 Методика польових досліджень та відбору зразків

Польові дослідження проводили впродовж вегетаційного періоду соняшнику в умовах Синельниківського району Дніпропетровської області на землях сільськогосподарського призначення, що характеризуються різним ступенем насичення короткоротаційних сівозмін просапними культурами та інтенсивністю застосування ґрунтових гербіцидів. Метою досліджень було встановлення впливу залишкової токсичності гербіцидів на агроекологічний стан ґрунту, біологічну активність мікробного комплексу та формування продуктивності соняшнику як культури-індикатора змін родючості.

Методологічною основою досліджень був системний підхід до оцінки родючості ґрунту, який передбачає комплексне вивчення фізіолого-біохімічних реакцій рослин, біологічної активності ґрунту та проявів фітотоксичної дії залишкових кількостей засобів захисту рослин в умовах інтенсивного землеробства.

Відбір ґрунтових зразків здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб» та ДСТУ 10381-1:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб». Підготовку проб до лабораторних досліджень проводили згідно з положеннями ДСТУ 11464:2007 «Якість ґрунту. Попередня підготовка проб для фізико-хімічного аналізування» [42].

Ґрунтові проби відбирали з орного шару 0–30 см, який є основною зоною локалізації кореневої системи соняшнику та акумуляції діючих речовин ґрунтових гербіцидів. На кожній дослідній ділянці формували об'єднаний середній зразок шляхом змішування не менше 15–20 індивідуальних точкових проб, відібраних за маршрутним методом. Такий підхід забезпечував репрезентативність отриманих даних та мінімізував вплив просторової неоднорідності ґрунтового покриву.

У таблиці 2.3 наведено дані про характеристику гербіцидних композицій, досліджуваних у посівах соняшнику.

Таблиця 2.3 - Характеристика гербіцидних композицій, досліджуваних у посівах соняшнику

Препарат	Діюча речовина	Клас токсичності	Норма внесення, л/га
Селеніт Макс	Клетодим	3	0,4–0,8
Генезис	Імазамокс + Імазапір	3	1,0–1,2
Квін Стар Макс	Хізалофоп-П-етил	3	0,8–1,2
Стелс	Флурохлорідон	3	0,35–0,4

Враховуючи, що динаміка трансформації та міграції гербіцидів значною мірою визначається гідротермічними умовами, відбір зразків проводили у декілька строків протягом вегетації культури. Особливу увагу приділяли періодам після випадання ефективних опадів, коли відбувається інтенсивне

переміщення діючих речовин у ґрунтовому профілі та їх надходження до кореневмісного шару. За дефіциту вологи залишки гербіцидів можуть концентруватися у поверхневих горизонтах, що зумовлює зміну характеру їх впливу на рослини та ґрунтову біоту [43].

Відбір ґрунтових та рослинних зразків здійснювали у критичні фази органогенезу соняшнику, які характеризуються підвищеною чутливістю культури до умов мінерального живлення та наявності токсичних сполук у ґрунті:

- фаза сходів (ВВСН 09–12);
- фаза формування кошика та бутонізації (ВВСН 51–59);
- фаза цвітіння (ВВСН 61–69);
- фаза наливу та досягання насіння (ВВСН 71–89) [44].

Вибір зазначених етапів розвитку обумовлений особливостями формування врожайності соняшнику. У фазу сходів відбувається закладання основних елементів продуктивності майбутнього кошика, у фазу бутонізації спостерігається максимальна інтенсивність ростових процесів і формування генеративних органів, тоді як під час наливу насіння реалізується потенціал урожайності культури.

Для оцінки фітотоксичної дії залишкових кількостей гербіцидів застосовували метод біотестування ґрунту. Токсичність визначали за реакцією тест-рослин на водні витяжки та ґрунтові субстрати шляхом вимірювання довжини кореня, довжини проростка, енергії проростання та схожості насіння. Отримані показники розглядали як інтегральний критерій екологічного стану ґрунтового середовища [45].

Одночасно з відбором ґрунтових зразків проводили польові спостереження за ростом і розвитком рослин соняшнику. Визначали тривалість міжфазних періодів, морфометричні параметри кореневої системи, площу листової поверхні, висоту рослин, діаметр кошика та інші показники, що характеризують фізіологічний стан культури. Площа листової поверхні використовувалася як індикатор фотосинтетичної активності посівів, а

параметри кореневої системи — як показник адаптації рослин до умов ґрунтового середовища.

Біологічну активність ґрунту оцінювали за показниками розвитку та функціонування ґрунтової мікрофлори. Ступінь пригнічення мікробіологічних процесів розглядали як один із критеріїв екологічної стійкості агроценозу та здатності ґрунту підтримувати відтворення родючості за умов підвищеного антропогенного навантаження.

Метеорологічні умови вегетаційного періоду оцінювали за даними найближчої метеостанції. При інтерпретації результатів враховували кількість атмосферних опадів, температурний режим та їх вплив на процеси деградації, трансформації й вертикальної міграції гербіцидів у ґрунтовому профілі.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами варіаційної статистики з визначенням середніх величин, показників мінливості та достовірності отриманих результатів відповідно до загальноприйнятих методик польового досліджу.

2.3 Методи лабораторного аналізу

Лабораторні дослідження проводили з метою комплексної оцінки агроекологічного стану ґрунту в умовах короткоротаційних сівозмін та встановлення впливу залишкових кількостей гербіцидів на біологічну активність ґрунту і ріст рослин соняшнику. Аналізи виконували на зразках ґрунту та рослинного матеріалу, відібраних упродовж вегетаційного періоду відповідно до програми досліджень.

Підготовку ґрунтових проб до аналізу здійснювали згідно з вимогами ДСТУ 11464:2007 «Якість ґрунту. Попередня підготовка проб для фізико-хімічного аналізування». Зразки висушували до повітряно-сухого стану,

очищали від рослинних решток, подрібнювали та просіювали через сито з діаметром отворів 1 мм [46].

Оцінку залишкової токсичності ґрунту проводили методом біотестування, який ґрунтується на визначенні реакції тест-рослин на наявність у ґрунтовому середовищі фітотоксичних речовин. Як тестові показники використовували енергію проростання насіння, лабораторну схожість, довжину первинного кореня та довжину проростка. Показники визначали на 7–10 добу після закладання досліду. Результати виражали у відсотках до контролю та використовували для розрахунку індексу фітотоксичності.

Біологічну активність ґрунту оцінювали за показниками розвитку ґрунтової мікрофлори. Визначали загальну чисельність мікроорганізмів методом висіву ґрунтової суспензії на поживні середовища з подальшим підрахунком колонієутворюючих одиниць (КУО). Отримані результати використовували для характеристики інтенсивності мікробіологічних процесів та оцінки можливого пригнічення мікробного комплексу під впливом гербіцидного навантаження.

Для оцінки змін біологічного стану ґрунту додатково визначали інтенсивність мінералізаційних процесів та активність ґрунтової мікробіоти за співвідношенням основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Ступінь розвитку мікробного ценозу розглядали як один із показників здатності ґрунту до саморегуляції та відтворення родючості.

Агрохімічні показники ґрунту визначали за загальноприйнятими методиками. Вміст гумусу встановлювали за методом Тюріна відповідно до ДСТУ 4289:2004. Реакцію ґрунтового розчину (pH) визначали потенціометричним методом згідно з ДСТУ ISO 10390:2007. Вміст рухомих сполук фосфору та калію визначали за методом Чирикова відповідно до ДСТУ 4115:2002. Визначення нітратного азоту здійснювали згідно з ДСТУ 4729:2007.

Рослинні зразки аналізували з метою встановлення впливу залишкової токсичності ґрунту на морфофізіологічний стан соняшнику. У лабораторних умовах визначали довжину кореневої системи, масу надземної та підземної частин рослин, площу листової поверхні та інші біометричні показники.

Вимірювання виконували на середніх пробах, сформованих із типових рослин кожного варіанта досліду [47].

Площу листової поверхні визначали методом лінійних вимірювань шляхом встановлення довжини та максимальної ширини листової пластинки з подальшим розрахунком площі за відповідними коефіцієнтами перерахунку. Отримані результати використовували для оцінки фотосинтетичного потенціалу рослин.

Фітотоксичний вплив залишкових кількостей гербіцидів оцінювали також за змінами морфометричних показників рослин соняшнику. Основними критеріями оцінки були пригнічення росту кореневої системи, зменшення площі листової поверхні, уповільнення проходження фенологічних фаз розвитку та зниження параметрів формування генеративних органів [48].

Статистичну обробку результатів лабораторних досліджень проводили методами варіаційної статистики. Для кожного показника визначали середнє арифметичне значення, середню похибку, коефіцієнт варіації та найменшу істотну різницю (HP_{05}). Достовірність отриманих результатів оцінювали за критерієм Ст'юдента при рівні значущості $P \leq 0,05$.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Вплив гербіцидного захисту на забур'яненість посівів соняшнику

Однією з ключових умов успішного вирощування соняшнику є підтримання належного фітосанітарного стану посівів, зокрема контроль чисельності бур'янової рослинності. У початкові фази росту та розвитку рослини соняшнику характеризуються повільним наростанням вегетативної маси, що знижує їх конкурентоспроможність у боротьбі за ресурси середовища.

Наявність бур'янів у посівах призводить до значних втрат ґрунтової вологи та поживних речовин, погіршує умови освітлення культурних рослин і негативно впливає на формування їх продуктивності. Особливо відчутним цей вплив є в умовах Степу України, де дефіцит вологи часто обмежує реалізацію потенціалу врожайності соняшнику. Крім того, бур'яни можуть виступати осередком поширення шкідників і хвороб, ускладнюючи захист культури протягом вегетаційного періоду.

З метою зниження рівня забур'яненості в сучасних технологіях вирощування соняшнику широко застосовують ґрунтові гербіциди. Їх використання забезпечує ефективний контроль бур'янової рослинності в найбільш критичний для культури період розвитку та створює сприятливі умови для формування високого врожаю.

Ефективність застосування гербіцидів у посівах соняшнику підтверджується результатами численних досліджень. Так, турецькі вчені Рамазан Гюрбюз та Харун Алтепкін у дослідях, проведених у 2023 році, встановили, що комбіноване використання досходових і післясходових

гербіцидів забезпечує більш ефективний контроль бур'янової рослинності порівняно з окремим застосуванням препаратів. Автори відзначають істотне зниження чисельності та сухої маси бур'янів, а також підвищення врожайності соняшнику за використання гербіцидних композицій різного механізму дії. Дослідження виконувалися в рамках робіт, опублікованих у Турецькому журналі сільськогосподарських досліджень (Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi) [49].

На рисунку 3.1 наведено дані про структура компонентів агрофітоценозу соняшнику



Рисунок 3.1 - Структура компонентів агрофітоценозу соняшнику, %

У структурі агрофітоценозу найбільшу частку займали рослини соняшнику — 82 %. Серед бур'янової рослинності переважали однорічні дводольні види, частка яких становила 9 %, тоді як однорічні злакові бур'яни займали 6 %. Частка багаторічних дводольних і злакових бур'янів була незначною та становила відповідно 2 і 1 %. Отримані результати свідчать про переважання змішаного типу забур'яненості посівів соняшнику.

У таблиці 3.1 наведено дані про вплив гербіцидних композицій на біометричні показники соняшнику впродовж вегетації.

Таблиця 3.1 - Вплив гербіцидних композицій на біометричні показники соняшнику впродовж вегетації

Строки відбору зразків	Варіант	Бур'яни			
		Злакові однорічні	Дводольні малорічні	Дводольні багаторічні	Всього
Кількість, шт/м²					
Фаза 3—4- листіків	Контроль	248,6±4,1	168,4±3,2	21,3±1,5	438,3±4,8
	Селеніт Макс +	32,4±1,8	24,8±1,2	6,1±0,4	63,3±2,1
	Квін Стар Макс +	41,7±2,0	29,6±1,5	7,4±0,5	78,7±2,4
Фаза воскової стиглості	Контроль	142,8±3,3	88,7±2,4	19,5±1,2	251,0±3,9
	Селеніт Макс +	18,6±1,1	11,2±0,8	5,4±0,3	35,2±1,3
	Квін Стар Макс +	25,1±1,4	15,8±0,9	6,2±0,4	47,1±1,7
Сира маса, г/м²					
Фаза 3—4 листіків	Контроль	31,4±1,7	7,8±0,5	94,6±3,1	133,8±3,6
	Селеніт Макс +	4,3±0,3	1,1±0,1	12,6±0,8	18,0±1,0
	Квін Стар Макс +	6,8±0,4	1,6±0,1	15,9±1,0	24,3±1,2
Фаза воскової	Контроль	96,7±2,8	54,3±2,1	268,4±7,2	419,4±8,0
	Селеніт Макс +	14,8±0,8	6,7±0,4	39,6±1,8	61,1±2,2
	Квін Стар Макс +	22,5±1,1	9,4±0,5	52,3±2,4	84,2±2,8

Застосування гербіцидних композицій суттєво знижувало забур'яненість посівів соняшнику порівняно з контролем. У фазі 3—4 листків загальна кількість бур'янів на контролі становила 438,3 шт./м², тоді як за використання композицій Селеніт Макс + Генезис та Квін Стар Макс + Стелс вона зменшувалась відповідно до 63,3 та 78,7 шт./м². Найвищу ефективність щодо пригнічення бур'янової рослинності забезпечила композиція Селеніт Макс + Генезис.

Аналогічна тенденція зберігалася і у фазі воскової стиглості, де кількість бур'янів на варіантах із гербіцидами була у 5–7 разів меншою порівняно з контролем. Зменшення чисельності бур'янів супроводжувалося істотним зниженням їх сирої маси. Так, у фазі 3–4 листків загальна сира маса бур'янів на контролі становила 133,8 г/м², тоді як за внесення Селеніт Макс + Генезис — лише 18,0 г/м², а Квін Стар Макс + Стелс — 24,3 г/м². У фазі воскової стиглості цей показник дорівнював відповідно 419,4; 61,1 та 84,2 г/м².

У таблиці 3.2 наведено дані про склад фітоценозу соняшника за використання гербіцидної композиції Селеніт Макс + Генезис.

Таблиця 3.2 - Видовий склад фітоценозу соняшника за використання гербіцидної композиції Селеніт Макс + Генезис

Вид бур'яну	Контроль, шт./м ²	Контроль, %	Селеніт Макс + Генезис, шт./м ²	Селеніт Макс + Генезис, %	Біологічна ефективність,
Пирій повзучий (<i>Elytrigia repens</i>)	39,8	8,96	2,1	4,85	94,72
Мишій сизий (<i>Setaria glauca</i>)	51,4	11,57	2,3	5,31	95,53
Тонконіг (<i>Poa bulbosa</i>)	24,7	5,56	1,7	3,93	93,12
Просо куряче (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	56,8	12,79	3,8	8,78	93,31
Грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	17,2	3,87	4,6	10,62	73,26
Лобода біла (<i>Chenopodium album</i>)	33,7	7,59	6,8	15,70	79,82
Осот жовтий (<i>Sonchus arvensis</i>)	36,1	8,13	8,1	18,71	77,56
Підмаренник чіпкий (<i>Galium aparine</i>)	15,6	3,51	3,9	9,01	75,00
Талабан польовий (<i>Thlaspi arvense</i>)	6,4	1,44	0,9	2,08	85,94
Портулак городній (<i>Portulaca oleracea</i>)	14,8	3,33	1,4	3,23	90,54

Осот рожевий (<i>Cirsium arvense</i>)	44,2	9,95	9,7	22,40	78,05
Берізка польова (<i>Convolvulus arvensis</i>)	37,9	8,54	6,2	14,32	83,64
Гірчак березкоподібний (<i>Polygonum convolvulus</i>)	19,3	4,35	3,1	7,16	83,94
Щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	31,9	7,18	2,6	6,01	91,85
Всього	444,8	100	57,2	100	87,14

Застосування гербіцидної композиції Селеніт Макс + Генезис суттєво зменшувало забур'яненість посівів соняшнику. Загальна кількість бур'янів знизилася з 444,8 до 57,2 шт./м², а середня біологічна ефективність становила 87,14 %.

Найвищу ефективність відмічено проти однорічних злакових бур'янів: мишію сизого (95,53 %), пирію повзучого (94,72 %), проса курячого (93,31 %) та тонконога (93,12 %). Нижчу чутливість до дії гербіцидів проявили окремі дводольні види, зокрема грицики звичайні, підмаренник чіпкий та осоти, для яких біологічна ефективність становила 73,26–78,05 %.

У таблиці 3.3 наведено дані про видовий склад фітоценозу соняшника за використання гербіцидної композиції Квін Стар Макс + Стелс

Таблиця 3.3 - Видовий склад фітоценозу соняшника за використання гербіцидної композиції Квін Стар Макс + Стелс

Вид бур'яну	Контроль, шт./м ²	Контроль, %	Квін Стар Макс + Стелс, шт./м ²	Квін Стар Макс + Стелс, %	Біологічна ефективність, %
Пирій повзучий (<i>Elytrigia repens</i>)	39,8	8,96	2,8	5,52	92,96
Мишій сизий (<i>Setaria glauca</i>)	51,4	11,57	3,1	6,11	93,97

Тонконіг (<i>Poa bulbosa</i>)	24,7	5,56	2,2	4,34	91,09
Просо куряче (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	56,8	12,79	5,2	10,26	90,85
Грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	17,2	3,87	5,8	11,44	66,28
Лобода біла (<i>Chenopodium album</i>)	33,7	7,59	8,4	16,57	75,07
Осот жовтий (<i>Sonchus arvensis</i>)	36,1	8,13	9,2	18,15	74,52
Підмаренник чіпкий (<i>Galium aparine</i>)	15,6	3,51	4,6	9,07	70,51
Талабан польовий (<i>Thlaspi arvense</i>)	6,4	1,44	1,1	2,17	82,81
Портулак городній (<i>Portulaca oleracea</i>)	14,8	3,33	1,9	3,75	87,16
Осот рожевий (<i>Cirsium arvense</i>)	44,2	9,95	10,8	21,30	75,57
Берізка польова (<i>Convolvulus arvensis</i>)	37,9	8,54	7,3	14,40	80,74
Гірчак березкоподібний (<i>Polygonum convolvulus</i>)	19,3	4,35	4,1	8,09	78,76
Щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	31,9	7,18	3,5	6,90	89,03
Всього	429,8	100	60,0	100	86,04

Результати показують, що використання гербіцидної композиції Квін Стар Макс + Стелс сприяло суттєвому зниженню забур'яненості посівів соняшнику. Загальна кількість бур'янів зменшилася з 429,8 до 60,0 шт./м², що забезпечило середню біологічну ефективність на рівні 86,04 %.

Найкращий гербіцидний ефект спостерігався щодо однорічних злакових видів бур'янів. Зокрема, ефективність проти мишію сизого становила 93,97 %, пирію повзучого – 92,96 %, тонконога – 91,09 %, а проса курячого – 90,85 %. Водночас деякі дводольні бур'яни, особливо багаторічні види, виявили більшу

стійкість до дії препаратів. Для грициків звичайних, підмаренника чіпкого та осотів показники біологічної ефективності знаходилися в межах 66,28–75,57 %.

Таким чином, застосування композиції Квін Стар Макс + Стелс забезпечило ефективне стримування розвитку бур'янової рослинності та сприяло покращенню фітосанітарного стану посівів соняшнику. За рівнем контролю бур'янів цей варіант дещо поступався композиції Селеніт Макс + Генезис, проте також характеризувався високою практичною ефективністю.

На рисунку 3.2 наведено дані про ефективність дії гербіцидних композицій залежно від кількості опадів

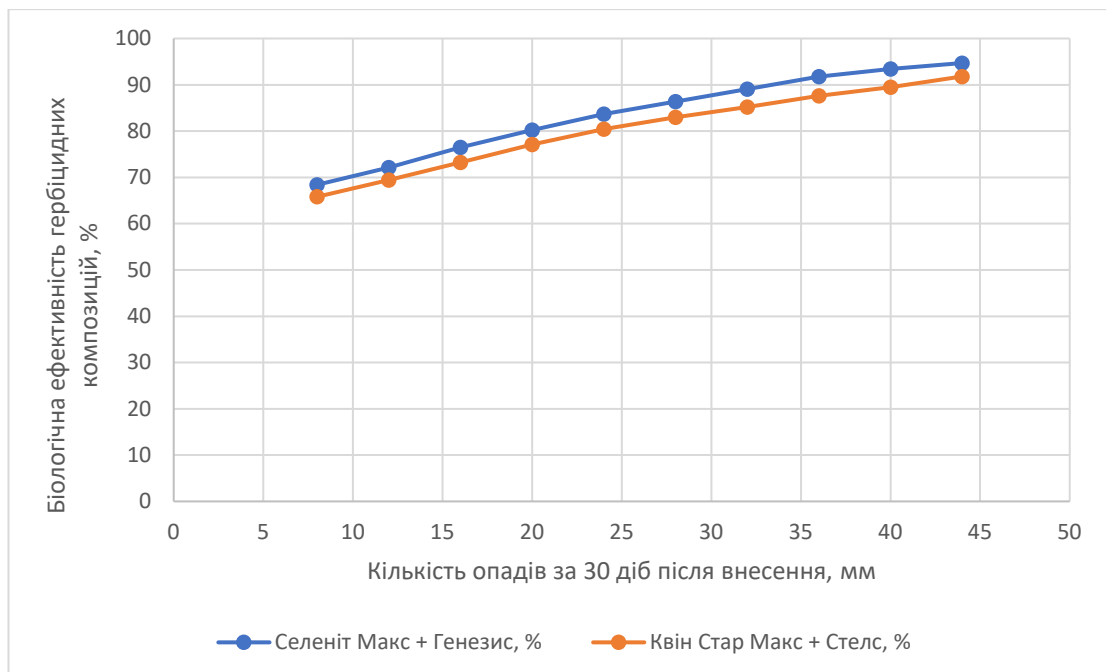


Рисунок 3.2 - Ефективність дії гербіцидних композицій залежно від кількості опадів

Результати досліджень показали, що ефективність ґрунтових гербіцидів значною мірою залежить від умов ґрунтового середовища, насамперед від рівня його зволоження. Зі збільшенням кількості опадів після внесення препаратів спостерігалось поступове зростання їх біологічної ефективності. Так, для композиції Селеніт Макс + Генезис ефективність підвищувалася від 68,4 до 94,7 %, а для Квін Стар Макс + Стелс — від 65,8 до 91,8 %.

Отримані дані свідчать, що вологість ґрунту є одним із ключових чинників формування гербіцидного екрану в орному шарі. За достатнього

зволоження діючі речовини рівномірніше розподіляються у зоні проростання насіння бур'янів, забезпечуючи ефективніше пригнічення небажаної рослинності. Натомість за посушливих умов знижується рухливість гербіцидів у ґрунті, що може призводити до нерівномірності їх дії та зростання забур'яненості посівів.

Одержані результати підтверджують, що ефективність застосування гербіцидів у короткоротаційних сівозмінах визначається не лише властивостями препаратів, а й станом ґрунту.

3.2 Ріст і розвиток культури соняшника за гербіцидного навантаження

Ріст і розвиток рослин соняшнику є важливими показниками агроекологічного стану ґрунту, оскільки відображають сукупний вплив фізичних, хімічних та біологічних процесів, що відбуваються в кореневмісному шарі. Формування надземної маси рослин безпосередньо залежить від забезпеченості ґрунту вологою, поживними речовинами, інтенсивності мікробіологічних процесів та рівня антропогенного навантаження, зокрема застосування засобів захисту рослин.

Висота рослин є одним із найбільш інформативних біометричних показників, який характеризує умови росту культури та ефективність використання нею ресурсів ґрунту. За сприятливого водно-поживного режиму формуються потужніша коренева система та більша асиміляційна поверхня, що забезпечує інтенсивніший ріст рослин. Водночас порушення екологічної рівноваги ґрунту, зниження його біологічної активності або наявність залишкової токсичності можуть негативно впливати на проходження ростових процесів і призводити до пригнічення рослин.

В умовах короткоротаційних сівозмін особливої актуальності набуває оцінка впливу гербіцидного навантаження на ґрунт, оскільки накопичення

залишкових кількостей діючих речовин може змінювати активність ґрунтової мікрофлори, процеси трансформації органічної речовини та доступність елементів живлення для рослин. У таких умовах соняшник виступає своєрідним індикатором стану ґрунтового середовища, а зміни його біометричних показників дають можливість оцінити реакцію агроєкосистеми на застосування різних гербіцидних композицій.

За результатами польових спостережень встановлено, що висота рослин соняшнику змінювалася залежно від фази розвитку культури та застосованих гербіцидних композицій, що свідчить про різний вплив досліджуваних технологічних елементів на умови функціонування ґрунту та забезпечення рослин необхідними ресурсами.

У таблиці 3.4 наведено дані про висоту рослин соняшника залежно від внесення ґрунтових гербіцидів

Таблиця 3.4 – Висота рослин соняшника залежно від внесення ґрунтових гербіцидів

Фаза розвитку	Контроль, см	Селеніт Макс + Генезис, см	Квін Стар Макс + Стелс, см
3–4 листки	18,6 ± 0,7	21,8 ± 0,8	20,9 ± 0,8
6–8 листків	42,7 ± 1,4	49,8 ± 1,6	47,5 ± 1,5
Бутонізація	96,4 ± 2,8	112,7 ± 3,1	108,9 ± 3,0
Цвітіння	154,2 ± 4,3	172,5 ± 4,7	167,3 ± 4,5
Воскова стиглість	161,8 ± 4,5	181,6 ± 4,9	176,1 ± 4,7

Отримані дані свідчать, що застосування ґрунтових гербіцидів позитивно впливало на ріст рослин соняшнику. В усі фази розвитку висота рослин на варіантах із гербіцидами перевищувала контроль. Найвищі показники відмічено за використання композиції Селеніт Макс + Генезис, де у фазі воскової стиглості висота рослин досягала 181,6 см, що на 19,8 см більше порівняно з контролем. Варіант Квін Стар Макс + Стелс також сприяв інтенсивнішому росту рослин, забезпечивши висоту 176,1 см. Отримані результати свідчать, що зменшення

забур'яненості посівів сприяло кращому використанню рослинами вологи та поживних речовин ґрунту, що позитивно позначилося на їх рості та розвитку.

У таблиці 3.5 наведено дані про вплив ґрунтових гербіцидів на кореневу систему соняшника.

Таблиця 3.5 – Вплив ґрунтових гербіцидів на кореневу систему соняшника

Варіант досліджу	Площа активних коренів, см ²	Питома активна поверхня кореневої системи, см ² /г	Довжина кореневої системи, см
Контроль	1845 ± 52	278 ± 8	136,4 ± 4,2
Селеніт Макс + Генезис	2438 ± 67	346 ± 10	171,8 ± 5,1
Квін Стар Макс + Стелс	2286 ± 61	328 ± 9	162,7 ± 4,8
НІР _{0.5}	94	13	8,1

Коренева система соняшнику є одним із найбільш чутливих індикаторів стану ґрунтового середовища, оскільки саме через корені рослина отримує воду та елементи живлення. Дані таблиці 3.6 свідчать, що застосування ґрунтових гербіцидів сприяло формуванню більш розвиненої кореневої системи порівняно з контролем. Найвищі показники площі активних коренів (2438 см²), питомої активної поверхні кореневої системи (346 см²/г) та довжини кореневої системи (171,8 см) відзначено за використання композиції Селеніт Макс + Генезис. Це свідчить про покращення умов функціонування кореневої зони ґрунту завдяки зменшенню конкуренції з боку бур'янів за вологу та поживні речовини. Отримані результати підтверджують, що розвиток кореневої системи соняшнику може слугувати важливим показником агроекологічного стану ґрунту в умовах короткоротаційних сівозмін.

У таблиці 3.6 наведено дані про площу листової поверхні соняшнику залежно від застосування ґрунтових гербіцидів

Таблиця 3.6 – Площа листової поверхні соняшнику залежно від застосування ґрунтових гербіцидів, тис. м²/га

Фаза розвитку	Контроль	Селеніт Макс + Генезис	Квін Стар Макс + Стелс
3–4 листки	4,8 ± 0,2	5,6 ± 0,2	5,3 ± 0,2
Бутонізація	22,6 ± 0,8	27,4 ± 0,9	25,9 ± 0,8
Цвітіння	38,7 ± 1,2	45,8 ± 1,4	43,1 ± 1,3
Воскова стиглість	27,3 ± 0,9	32,1 ± 1,0	30,4 ± 0,9
НІР _{0.5}	1,4	1,4	1,4

Листкова поверхня є важливим показником функціонального стану рослин та відображає рівень забезпечення їх вологою й елементами живлення. Формування асиміляційного апарату значною мірою залежить від агроєкологічного стану ґрунту, його водного режиму та інтенсивності конкуренції з боку бур'янів. Чим кращі умови складаються в кореневмісному шарі ґрунту, тим активніше формуються листки та накопичується фотосинтетично активна поверхня. Тому площа листової поверхні може слугувати важливим індикатором впливу гербіцидного навантаження на рослину та ґрунт.

У таблиці 3.7 наведено дані про вплив ґрунтових гербіцидів на якісні показники насіння соняшнику

Таблиця 3.7 – Вплив ґрунтових гербіцидів на якісні показники насіння соняшнику

Варіант досліджу	Діаметр кошика, см	Маса насіння з кошика, г	Маса 1000 насінин, г	Лузжистість, %	Олійність, %
Контроль (без гербіцидів)	18,6	82,4	61,8	23,1	49,2
Селеніт Макс + Генезис	19,4	89,7	64,5	22,4	50,1
Квін Стар Макс + Стелс	18,9	86,3	63,2	22,8	49,6
Соняшник звичайний (виробничий контроль)	17,8	78,5	59,7	23,8	48,5
НІР ₀₅	0,8	4,1	2,3	0,7	0,9

Аналіз якісних показників насіння соняшнику показав, що застосування ґрунтових гербіцидів позитивно впливало на формування продуктивності культури. Найкращі результати за діаметром кошика, масою насіння з кошика та масою 1000 насінин отримано у варіанті із застосуванням Селеніт Макс + Генезис. Вміст олії в насінні перебував у межах 48,5–50,1 %, а лузжистість істотно не змінювалася між варіантами досліджу. Отримані дані свідчать про ефективність застосування гербіцидів за умови контролю їх екологічного впливу на ґрунт.

3.3 Біологічна активність ґрунту за різних гербіцидних систем

Ґрунт є складною біологічною системою, родючість якої значною мірою залежить від активності ґрунтових мікроорганізмів. Саме мікробіота бере участь

у процесах розкладання органічних решток, трансформації поживних речовин, гумусоутворення та підтримання екологічної рівноваги ґрунту. Завдяки високій чутливості до змін умов середовища мікроорганізми є важливими індикаторами біологічного стану ґрунту.

В умовах короткочасних сівозмін застосування ґрунтових гербіцидів є необхідним елементом технології вирощування соняшнику, проте їх використання може впливати на чисельність і активність ґрунтової мікрофлори. Тому дослідження біологічної активності ґрунту під впливом гербіцидних композицій дозволяє оцінити можливі зміни процесів, що визначають рівень його родючості.

Результати сучасних досліджень свідчать про тісний взаємозв'язок між гербіцидним навантаженням та станом ґрунтової мікробіоти. Так, китайські вчені Сінь Вень, Юхао Фу та Фан Ван із Китайської академії наук встановили, що тривале накопичення гербіцидних залишків у ґрунті негативно впливає на структуру та функціонування ґрунтових мікробних угруповань, особливо грибного компонента мікробіому. Автори відзначають, що залишкові кількості гербіцидів здатні змінювати процеси трансформації азоту та пригнічувати активність окремих функціональних груп мікроорганізмів, що в перспективі може позначатися на родючості ґрунту та стійкості агроecosystem. Особливо чутливими до гербіцидного навантаження виявилися мікроміцети, зміни чисельності яких були більш вираженими порівняно з бактеріальними угрупованнями. Отримані авторами результати підтверджують доцільність використання мікробіологічних показників для екологічної оцінки агроценозів за інтенсивного застосування гербіцидів [50].

На рисунку 3.3 наведено дані про чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів залежно від системи гербіцидного захисту соняшнику

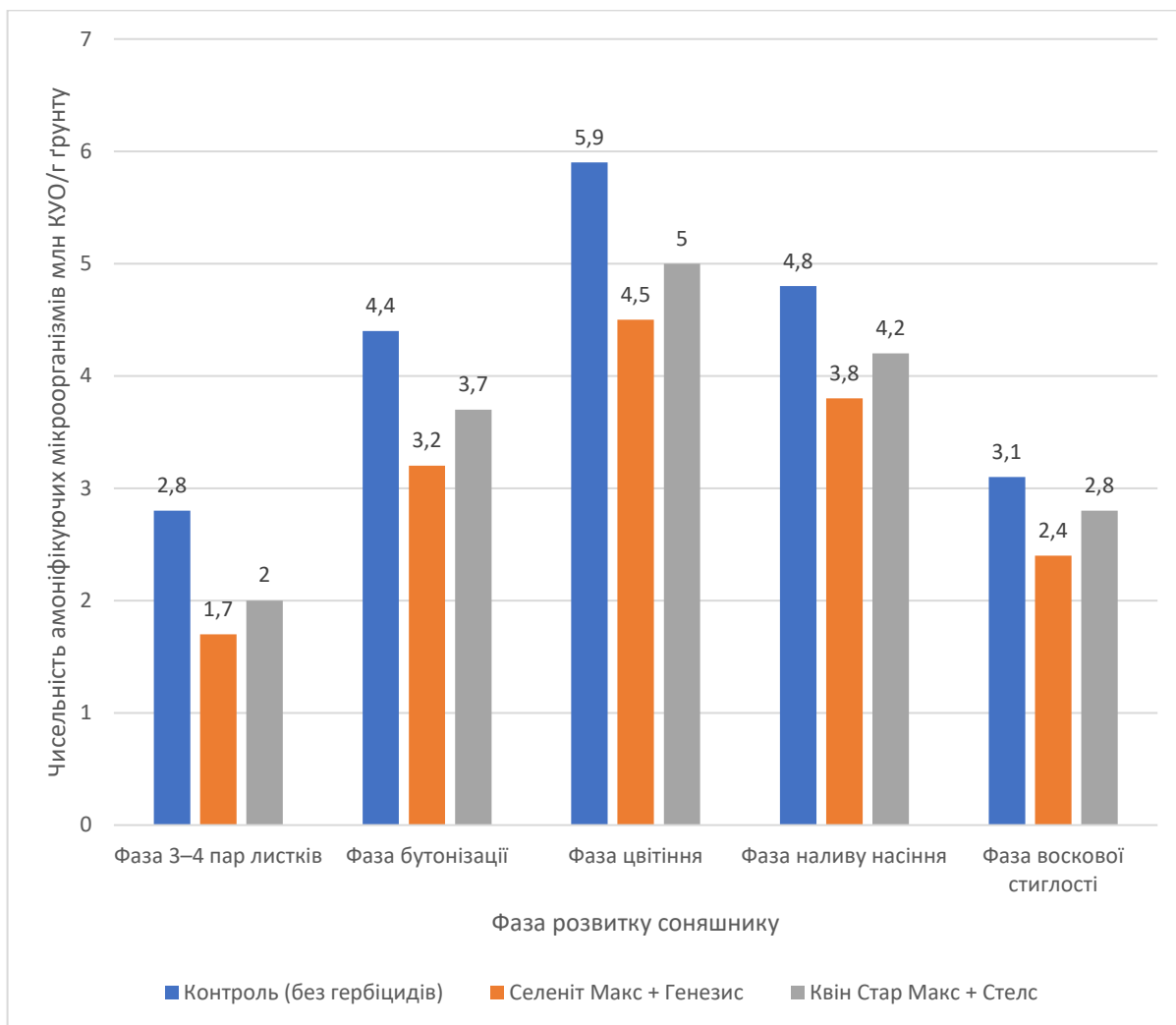


Рисунок 3.3 – Чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів залежно від системи гербіцидного захисту соняшнику, млн КУО/г ґрунту

Чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зростала від фази 3–4 пар листків до цвітіння, де досягала максимальних значень (4,5–5,9 млн КУО/г ґрунту), після чого знижувалася до фази воскової стиглості (2,4–3,1 млн КУО/г ґрунту). У всіх фазах розвитку найвищі показники відзначено на контролі без гербіцидів, тоді як застосування гербіцидів зменшувало чисельність амоніфікуючої мікрофлори, найбільше у варіанті Селеніт Макс + Генезис.

На рисунку 3.4 наведено чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний азот, залежно від гербіцидного навантаження, млн КУО/г ґрунту

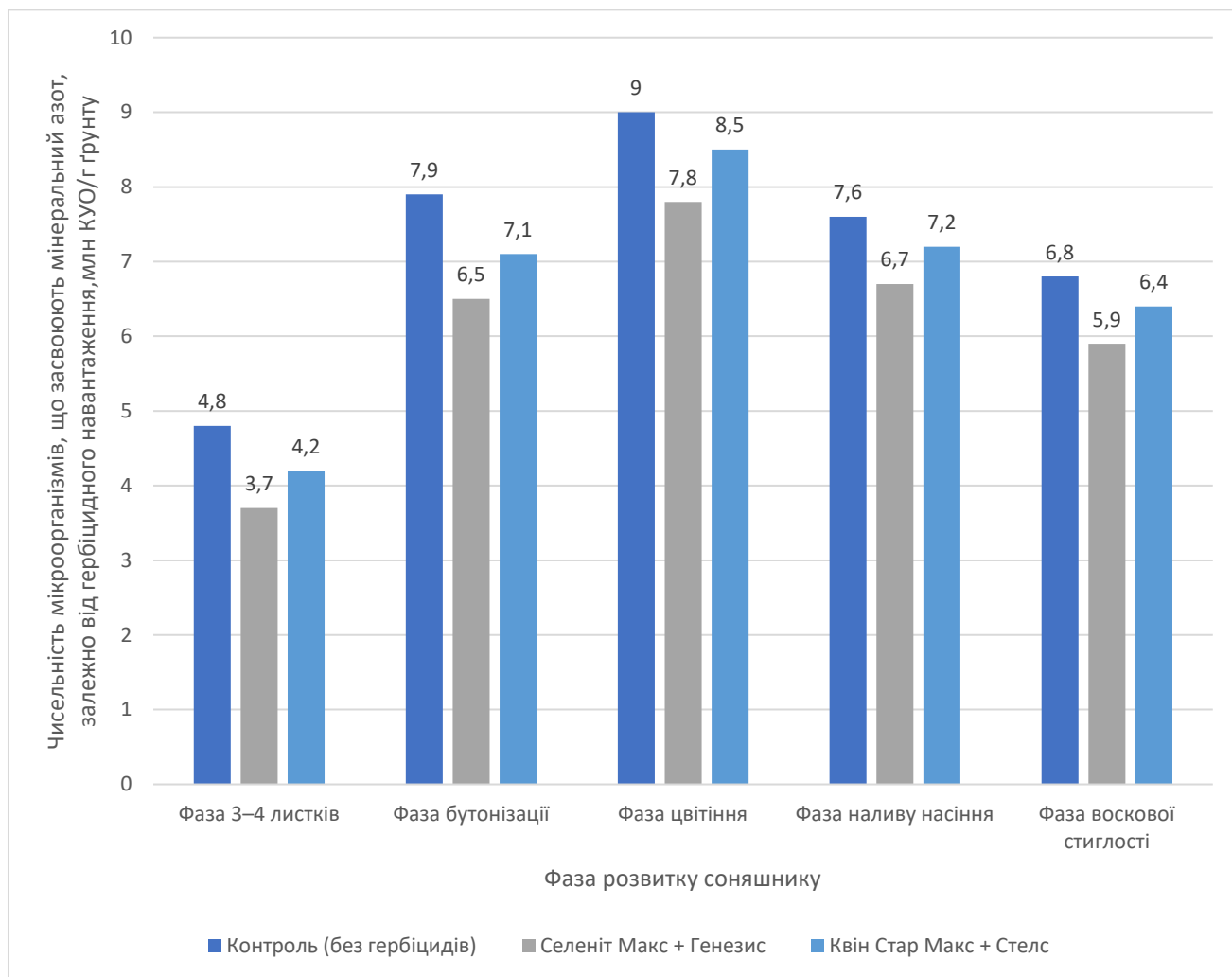


Рисунок 3.4 - Чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний азот, залежно від гербіцидного навантаження, млн КУО/г ґрунту.

Встановлено, що чисельність мікроорганізмів, які засвоюють мінеральний азот, зростала від фази 3–4 листків до цвітіння, де досягала максимальних значень (7,8–9,0 млн КУО/г ґрунту), а надалі знижувалася до фази воскової стиглості (5,9–6,8 млн КУО/г ґрунту). Найвищі показники в усі фази розвитку відзначено на контролі без гербіцидів, тоді як застосування гербіцидів зменшувало чисельність мікроорганізмів, найбільше у варіанті Селеніт Макс + Генезис.

На рисунку 3.5 наведено дані про чисельність мікроміцетів у ґрунті залежно від гербіцидного навантаження, тис. КУО/г ґрунту

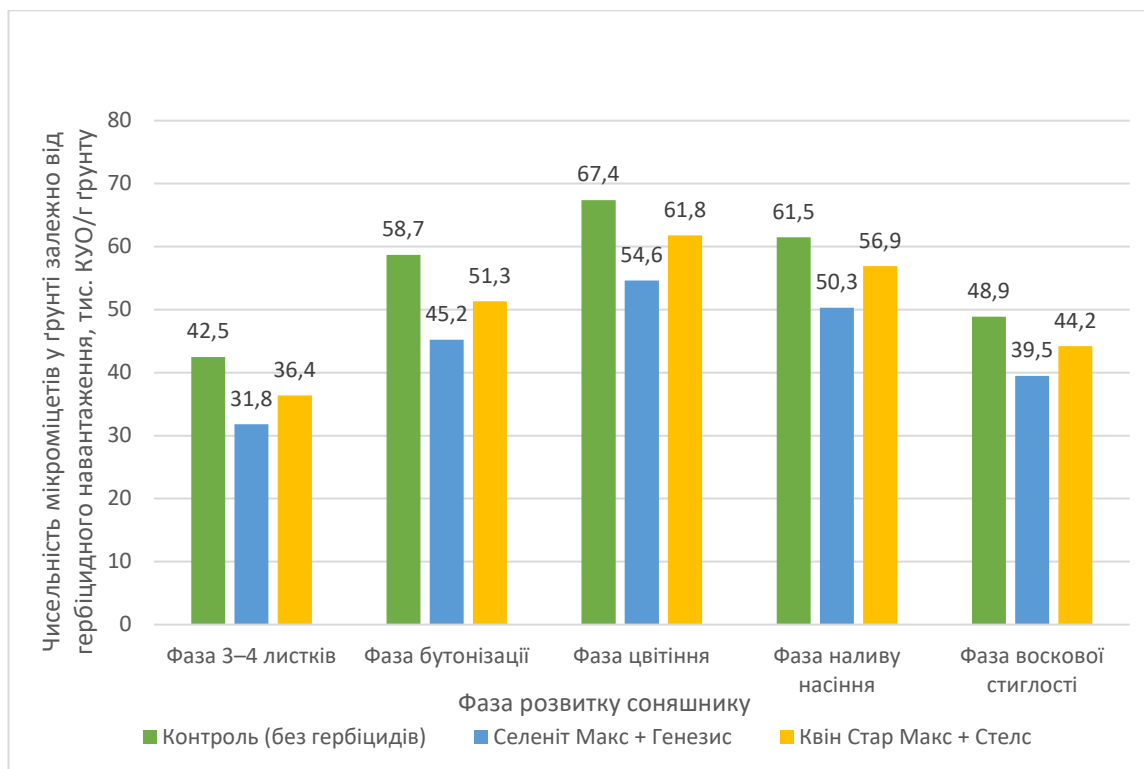


Рисунок 3.5 - Чисельність мікроміцетів у ґрунті залежно від гербіцидного навантаження, тис. КУО/г ґрунту

Чисельність мікроміцетів у ґрунті протягом вегетації соняшнику залежала від гербіцидного навантаження та фази розвитку культури. Найвищі показники в усі строки обліку відзначено на контролі без застосування гербіцидів. Максимальна чисельність мікроміцетів спостерігалася у фазу цвітіння: 67,4 тис. КУО/г ґрунту на контролі, 54,6 тис. КУО/г за внесення Селеніт Макс + Генезис та 61,8 тис. КУО/г за використання Квін Стар Макс + Стелс. Надалі, у фазах наливу насіння та воскової стиглості, кількість мікроміцетів поступово зменшувалася. Серед досліджуваних варіантів менший негативний вплив на грибну мікрофлору ґрунту виявила композиція Квін Стар Макс + Стелс, де чисельність мікроміцетів була вищою порівняно з варіантом Селеніт Макс + Генезис. Отримані результати свідчать про пригнічення розвитку ґрунтових мікроміцетів під впливом гербіцидів та підтверджують необхідність впровадження заходів для підтримання біологічної активності ґрунту в короткоротаційних сівозмінах.

У таблиці 3.8 наведено дані про екологічну характеристика ґрунту за застосування гербіцидів у технології вирощування соняшнику.

Таблиця 3.8 - Екологічна характеристика ґрунту за застосування гербіцидів у технології вирощування соняшнику

Варіант	Коефіцієнт			
	мінералізації / імобілізації (Кмін.)	педотрофності (Кпед.)	оліготрофності (Кол.)	гумусо- накопичення (Кгум.)
Фаза 3-4 трійчастих листків				
Контроль	1,8	0,6	0,42	0,78
Селеніт Макс + Генезис	2,4	0,9	0,38	0,67
Квін Стар Макс + Стелс	2,7	1	0,34	0,63
Контроль	1,8	0,6	0,42	0,78
Фаза цвітіння				
Контроль	1,2	0,3	0,61	0,79
Селеніт Макс + Генезис	1,6	0,4	0,56	0,74
Квін Стар Макс + Стелс	1,8	0,5	0,53	0,72
Контроль	1,2	0,3	0,61	0,79
Фаза воскової стиглості				
Контроль	2,1	0,5	1,02	0,82
Селеніт Макс + Генезис	2,5	0,7	1,08	0,77
Квін Стар Макс + Стелс	2,7	0,8	1,12	0,74
Контроль	2,1	0,5	1,02	0,82

Застосування гербіцидів у технології вирощування соняшнику посилювало процеси мінералізації органічної речовини та підвищувало коефіцієнти педотрофності й оліготрофності порівняно з контролем. Найбільші значення цих показників відзначено у варіанті Квін Стар Макс + Стелс. Водночас коефіцієнт гумусонакопичення на гербіцидних варіантах був нижчим, ніж на

контролі, що свідчить про певне зниження потенціалу відтворення гумусу. Найбільш сприятливі екологічні показники ґрунту протягом вегетації соняшнику спостерігалися на контрольному варіанті без застосування гербіцидів.

На рисунку 3.6 наведено дані про вплив гербіцидного навантаження на вміст загальної мікробної біомаси ґрунту, мг С/кг ґрунту

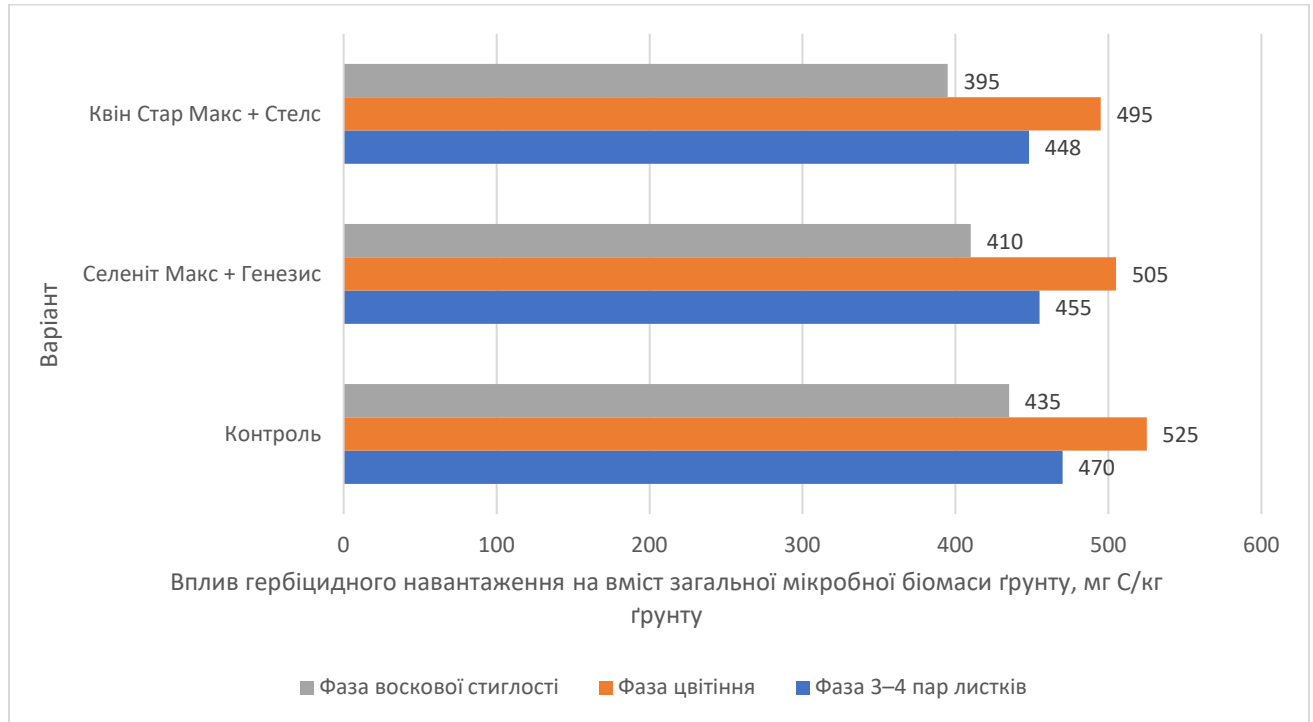


Рисунок 3.6 - Вплив гербіцидного навантаження на вміст загальної мікробної біомаси ґрунту, мг С/кг ґрунту

Дані свідчать, що застосування гербіцидів знижувало вміст загальної мікробної біомаси ґрунту порівняно з контролем у всі фази розвитку соняшнику. Найвищі значення показника відзначено у фазу цвітіння: 525 мг С/кг ґрунту на контролі, 505 мг С/кг за внесення Селеніт Макс + Генезис та 495 мг С/кг за використання Квін Стар Макс + Стелс. У фазі 3–4 пар листків вміст мікробної біомаси становив відповідно 470, 455 та 448 мг С/кг ґрунту, а у фазі воскової стиглості знижувався до 435, 410 та 395 мг С/кг ґрунту. Загалом найвищий рівень мікробної біомаси спостерігався на контрольному варіанті, тоді як застосування гербіцидів спричиняло певне пригнічення мікробіологічної активності ґрунту, найбільш виражене за використання композиції Квін Стар Макс + Стелс.

На рисунку 3.7 наведено дані про вплив ґрунтових гербіцидів на емісію CO_2 із ґрунту, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

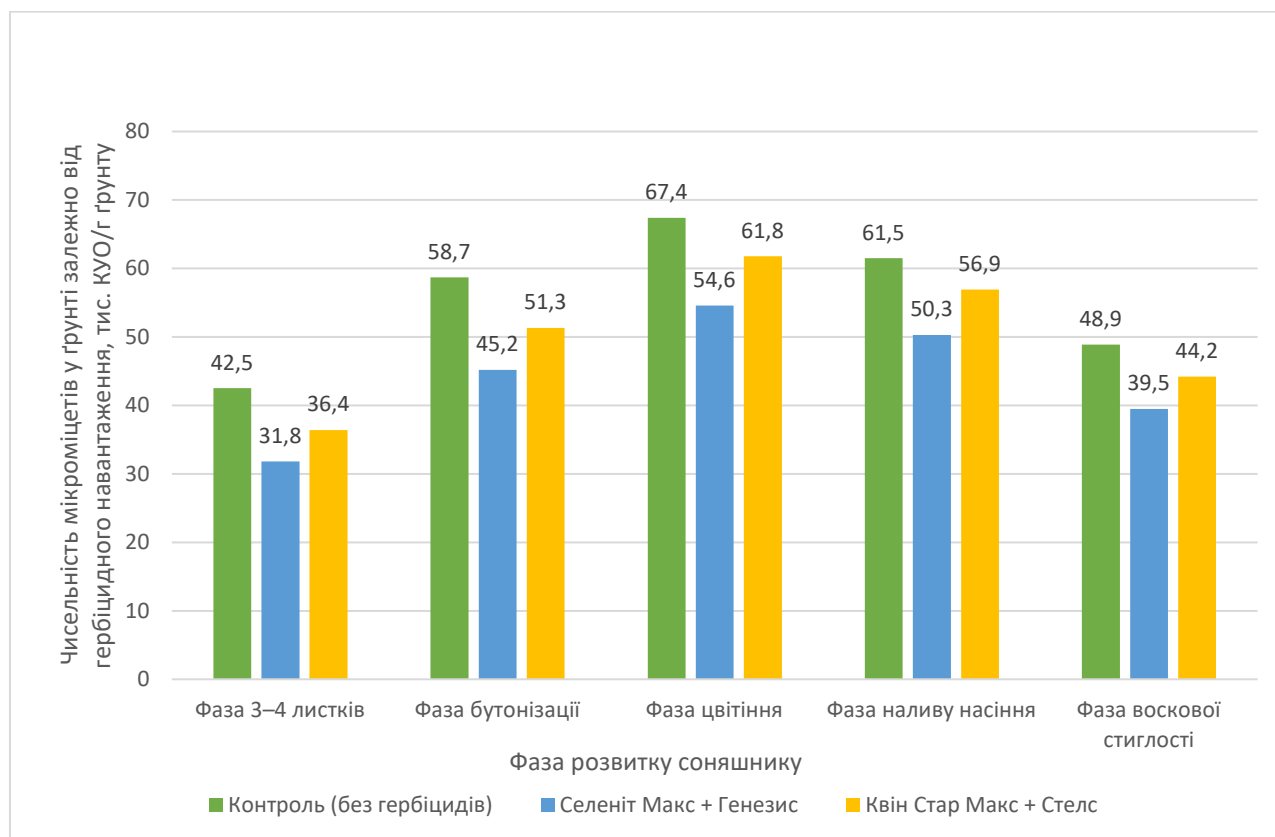


Рисунок 3.7 - Вплив ґрунтових гербіцидів на емісію CO_2 із ґрунту, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Дані свідчать, що емісія CO_2 із ґрунту змінювалася залежно від фази розвитку соняшнику та застосування гербіцидів. Найвищі значення показника спостерігалися у фазу цвітіння, коли інтенсивність виділення CO_2 становила $67,4 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ на контролі, $54,6 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ за внесення Селеніт Макс + Генезис та $61,8 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ за використання Квін Стар Макс + Стелс. На початкових етапах розвитку рослин (фаза 3–4 листків) емісія CO_2 була найнижчою, а в подальшому зростала до фази цвітіння, після чого поступово зменшувалася до воскової стиглості. В усі строки обліку найвищі показники відзначено на контролі, тоді як застосування гербіцидів знижувало інтенсивність виділення CO_2 із ґрунту. Менший негативний вплив на біологічну активність ґрунту спостерігався у варіанті Квін Стар Макс + Стелс, де значення емісії CO_2

були вищими порівняно з варіантом Селеніт Макс + Генезис. Загалом отримані результати свідчать про певне пригнічення мікробіологічних процесів у ґрунті під впливом гербіцидного навантаження.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Безпека при проведенні досліджень

Організація та проведення досліджень здійснювалися відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про пестициди і агрохімікати», ДСТУ 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування», ДСТУ 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зменшення ризику», а також чинних нормативно-правових актів щодо охорони праці в сільськогосподарському виробництві. Зазначені документи визначають загальні вимоги до організації безпечного робочого процесу, проведення інструктажів, оцінювання ризиків та впровадження профілактичних заходів [51].

Особливістю виконуваних досліджень є те, що значна частина робіт проводилася безпосередньо в польових умовах на виробничих посівах соняшнику. На відміну від лабораторних досліджень, польові роботи характеризуються постійним впливом природних факторів навколишнього середовища, які не завжди можуть бути повністю контрольованими. До таких факторів належать підвищена температура повітря у літній період, інтенсивне сонячне випромінювання, ультрафіолетове навантаження, підвищена або знижена вологість повітря, поривчастий вітер, атмосферні опади та запиленість повітря.

Під час проведення польових обстежень особливу увагу приділяли впливу метеорологічних умов. У період вегетації соняшнику температура повітря в умовах степової зони Дніпропетровської області нерідко перевищує 30–35 °С, що може призводити до перегрівання організму, зниження

працездатності, теплового виснаження або теплового удару. З метою профілактики негативного впливу високих температур роботи планувалися переважно у ранкові та передвечірні години, коли сонячна активність є менш інтенсивною [52].

Певну небезпеку під час проведення досліджень становить також безпосередній контакт із ґрунтом, рослинними рештками та пилом. У процесі відбору ґрунтових зразків працівники можуть зазнавати механічних пошкоджень шкіри рук інструментами або гострими частинами рослин. Крім того, пилові частинки можуть потрапляти до органів дихання та викликати подразнення слизових оболонок. Для мінімізації таких ризиків використовувалися захисні рукавички, закрите взуття та, за необхідності, засоби захисту органів дихання.

Особливу увагу приділяли безпеці робіт на ділянках, де застосовувалися гербіциди. Незважаючи на те, що дослідження були спрямовані на вивчення залишкової токсичності препаратів у ґрунті, можливість контакту працівників із залишковими кількостями діючих речовин не виключалася. Рівень ризику залежав від термінів проведення польових робіт після внесення препаратів, погодних умов, типу гербіциду та його фізико-хімічних властивостей. У зв'язку з цим усі роботи виконувалися лише після завершення регламентованого строку виходу людей на оброблені площі. Під час відбору зразків використовувалися засоби індивідуального захисту, а після завершення робіт проводилися обов'язкові санітарно-гігієнічні заходи.

Проведення фенологічних спостережень і біометричних обліків також вимагало дотримання відповідних правил безпеки. Роботи здійснювалися на ділянках із густим рослинним покривом, де існувала ймовірність травмування внаслідок падіння, контакту з нерівностями поверхні ґрунту або рослинами. Особливу обережність необхідно було проявляти під час пересування між рядками посівів та виконання вимірювань у період активного росту рослин.

Додатковим джерелом потенційної небезпеки на виробничих полях є сільськогосподарська техніка. У період проведення польових досліджень на прилеглих ділянках могли виконуватися технологічні операції із застосуванням

тракторів, обприскувачів, культиваторів та іншої техніки. Для запобігання нещасним випадкам дослідники дотримувалися безпечної відстані від працюючих агрегатів, підтримували постійний візуальний контакт із механізаторами та не перебували в зоні руху машин і механізмів [53].

Важливим елементом забезпечення безпеки праці є проведення інструктажів та навчання персоналу. Перед початком виконання досліджень усі виконавці проходили вступний та первинний інструктажі з охорони праці. Під час інструктажів особлива увага приділялася правилам поведінки з польовим інвентарем, вимогам особистої безпеки під час роботи на сільськогосподарських угіддях, порядку дій у разі виникнення аварійних ситуацій та наданню домедичної допомоги потерпілим.

Окреме значення для безпечного виконання досліджень має дотримання вимог виробничої санітарії. Після завершення польових робіт проводилося очищення та дезінфекція інструментів, миття рук і відкритих ділянок шкіри, заміна забрудненого одягу та взуття. Такі заходи дозволяють знизити ризик потрапляння до організму залишкових кількостей агрохімікатів, пилу та інших потенційно небезпечних речовин.

Під час виконання лабораторних досліджень безпека забезпечувалася шляхом дотримання вимог експлуатації електричного обладнання, сушильних шаф, лабораторного посуду та вимірювальної апаратури. Робочі місця підтримувалися в належному санітарному стані, а всі дослідження виконувалися відповідно до затверджених методик. Особлива увага приділялася попередженню травмування під час роботи зі скляним посудом, нагрівальними приладами та хімічними реактивами.

Безпечне проведення досліджень забезпечувалося шляхом комплексного врахування небезпечних і шкідливих виробничих факторів, застосування засобів індивідуального захисту, дотримання вимог чинного законодавства та впровадження організаційних і профілактичних заходів. Реалізація зазначених вимог дозволила мінімізувати професійні ризики та створити належні умови праці під час виконання польових і лабораторних досліджень [54].

4.2 Безпека при роботі з гербіцидами

У сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур важливим елементом системи захисту рослин є застосування гербіцидів. Особливої актуальності їх використання набуває в умовах короткоротаційних сівозмін, де через високу частку просапних культур виникає необхідність інтенсивного контролю бур'янової рослинності. Разом з високою біологічною ефективністю гербіциди можуть створювати потенційну небезпеку для навколишнього середовища та впливати на стан агроєкосистем, тому їх застосування повинно здійснюватися відповідно до вимог екологічної та виробничої безпеки.

Під час використання гербіцидів необхідно керуватися вимогами Закону України «Про пестициди і агрохімікати», Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», ДСП 8.8.1.2.001-98 «Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві», а також положеннями ДСТУ 45001:2019 щодо управління ризиками та забезпечення безпечних умов праці. Зазначені нормативні документи регламентують порядок поводження із засобами захисту рослин на всіх етапах їх використання — від зберігання і транспортування до внесення та утилізації залишків препаратів [55].

Гербіциди належать до біологічно активних сполук, дія яких спрямована на пригнічення або повне знищення небажаної рослинності. Водночас окремі діючі речовини характеризуються значною стійкістю в навколишньому середовищі та можуть зберігатися в ґрунті протягом тривалого часу після внесення. Інтенсивність їх розкладання залежить від гранулометричного складу ґрунту, вмісту органічної речовини, температурного режиму, вологості та активності ґрунтової мікрофлори.

В умовах короткоротаційних сівозмін ризик накопичення залишкових кількостей гербіцидів є вищим порівняно з традиційними багатопільними сівозмінами. Це пов'язано із збільшенням частоти вирощування культур, які потребують застосування ґрунтових гербіцидів, насамперед соняшнику та кукурудзи. Внаслідок цього підвищується антропогенне навантаження на ґрунт, що може супроводжуватися змінами у функціонуванні ґрунтової біоти, погіршенням умов росту рослин та виникненням явищ післядії препаратів у наступних культурах сівозміни.

Важливою складовою безпечного використання гербіцидів є дотримання регламентів їх застосування. Внесення препаратів повинно здійснюватися лише у рекомендованих нормах витрати та у визначені строки. Перевищення допустимих доз не лише підвищує токсичне навантаження на агроєкосистему, але й може призводити до погіршення агроєкологічного стану ґрунту та пригнічення корисної мікрофлори. Особливе значення має врахування ґрунтово-кліматичних умов, оскільки одна й та сама діюча речовина може по-різному поводитися в різних агроландшафтних умовах [56].

Підвищена увага до проблеми безпечного використання гербіцидів пов'язана також із процесами їх міграції у ґрунтовому профілі. Після випадання атмосферних опадів діючі речовини можуть переміщуватися в нижні горизонти ґрунту та накопичуватися в зоні активного розвитку кореневої системи. За недостатнього зволоження частина препаратів здатна тривалий час зберігатися у верхньому шарі ґрунту. Такі процеси безпосередньо впливають на рівень залишкової токсичності та можуть відображатися на рості й розвитку сільськогосподарських культур.

Особливого значення набуває питання екологічної безпеки при використанні гербіцидів. У результаті порушення технології внесення можливе забруднення поверхневих і підземних вод, накопичення токсичних речовин у ґрунті та негативний вплив на нецільові організми. Серед найбільш чутливих компонентів агроєкосистеми до гербіцидного навантаження є ґрунтові

мікроорганізми, які відіграють ключову роль у процесах гумусоутворення, трансформації органічної речовини та кругообігу елементів живлення.

Важливим принципом сучасного землеробства є мінімізація пестицидного навантаження шляхом впровадження інтегрованих систем захисту рослин. Такі системи передбачають поєднання агротехнічних, біологічних та хімічних методів контролю бур'янів і дозволяють зменшити залежність виробництва від надмірного використання гербіцидів. Особливо актуальним це є для господарств, які працюють в умовах скорочених сівозмін та змушені інтенсифікувати технології вирощування культур [57].

Тривале застосування однакових діючих речовин, порушення науково обґрунтованих сівозмін та збільшення гербіцидного навантаження можуть спричиняти накопичення залишкових токсичних сполук у ґрунті, що негативно впливає на біологічну активність, фітосанітарний стан агроценозів та екологічну стійкість сільськогосподарських угідь.

Забезпечення безпеки при роботі з гербіцидами повинно базуватися на дотриманні встановлених регламентів застосування препаратів, контролі їх залишкових кількостей у ґрунті, врахуванні особливостей ґрунтово-кліматичних умов та впровадженні екологічно обґрунтованих систем землеробства. Такий підхід дозволяє не лише зменшити потенційні ризики використання пестицидів, але й сприяє збереженню родючості ґрунтів та стабільності агроєкосистем у довгостроковій перспективі [58].

4.3 Охорона праці в лабораторії

Лабораторні дослідження є невід'ємною складовою агроєкологічної оцінки стану ґрунтів та вивчення впливу антропогенних факторів на показники їх родючості. У межах виконання даної роботи лабораторні дослідження включали підготовку ґрунтових зразків до аналізу, визначення показників

залишкової токсичності, проведення біотестування, оцінку розвитку ґрунтової мікрофлори, а також аналіз морфометричних показників рослинного матеріалу. Виконання зазначених робіт пов'язане з використанням лабораторного обладнання, електричних приладів, нагрівальних установок, скляного посуду та хімічних реактивів, що обумовлює необхідність дотримання вимог охорони праці та виробничої санітарії [59].

Організація безпечних умов праці в лабораторії здійснювалася відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», ДСТУ 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування», ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», а також чинних санітарних норм щодо організації роботи в навчальних та науково-дослідних лабораторіях [60].

Безпечність лабораторних досліджень значною мірою залежить від правильного облаштування робочого місця. Приміщення лабораторії повинно забезпечувати належний рівень освітленості, вентиляції та мікроклімату. Недостатнє освітлення призводить до швидкої втомлюваності, зниження точності вимірювань і підвищення ймовірності помилок під час виконання аналізів. Тому лабораторні роботи необхідно проводити за умов достатнього природного або штучного освітлення відповідно до встановлених нормативів.

Важливим фактором безпеки є підтримання оптимальних параметрів мікроклімату. Температура повітря, вологість та швидкість руху повітря повинні відповідати санітарно-гігієнічним вимогам. Належний повітрообмін забезпечує видалення надлишкового тепла, пилу та парів хімічних речовин, які можуть утворюватися під час проведення окремих лабораторних операцій.

Під час виконання агрохімічних та біологічних аналізів використовується значна кількість лабораторного обладнання, серед якого сушильні шафи, термостати, ваги, мікроскопи, рН-метри та інші електричні прилади. Експлуатація такого обладнання повинна здійснюватися відповідно до технічної документації виробника та правил електробезпеки. Особливу увагу необхідно

приділяти справності електричних мереж, заземленню обладнання та недопущенню використання приладів із пошкодженою ізоляцією.

Одним із найбільш поширених джерел травматизму в лабораторіях є скляний посуд. Колби, пробірки, чашки Петрі, мірні циліндри та інший інвентар потребують обережного поводження, оскільки пошкодження скла може призводити до порізів та інших механічних травм. Перед використанням лабораторний посуд повинен перевірятися на відсутність тріщин і дефектів, а пошкоджені вироби підлягають вилученню з експлуатації.

У процесі підготовки ґрунтових зразків можливе утворення пилу, що містить дрібнодисперсні частинки мінерального та органічного походження. Тривалий вплив пилу може негативно впливати на органи дихання та слизові оболонки. Для зменшення запиленості приміщення рекомендується використовувати витяжну вентиляцію та здійснювати регулярне вологе прибирання робочих поверхонь [61].

Особливого значення набуває дотримання вимог безпеки під час роботи з хімічними реактивами. Більшість реактивів, що використовуються для агрохімічних аналізів, належать до речовин із різним ступенем хімічної активності та можуть викликати подразнення шкіри, слизових оболонок або органів дихання. Зберігання реактивів повинно здійснюватися у спеціально відведених місцях із чітким маркуванням та дотриманням вимог сумісності речовин. Забороняється використання ємностей без відповідного маркування або з пошкодженою тарою.

Під час проведення біотестування ґрунтів та досліджень ґрунтової мікрофлори важливого значення набуває дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Робочі поверхні необхідно регулярно очищувати та дезінфікувати, а використані матеріали своєчасно утилізувати. Це дозволяє уникнути стороннього біологічного забруднення та забезпечує достовірність отриманих результатів.

Окрему увагу необхідно приділяти пожежній безпеці лабораторних приміщень. Наявність електрообладнання, нагрівальних приладів та

легкозаймистих речовин створює потенційну небезпеку виникнення пожежі. У зв'язку з цим лабораторія повинна бути забезпечена первинними засобами пожежогасіння, а шляхи евакуації повинні залишатися вільними та доступними. Після завершення роботи всі електроприлади необхідно вимикати від мережі.

Важливим напрямом охорони праці є забезпечення ергономічних умов праці. Тривала робота з документацією, проведення вимірювань та обробка результатів досліджень за комп'ютером можуть спричиняти підвищене навантаження на органи зору та опорно-руховий апарат. Тому робочі місця повинні відповідати ергономічним вимогам, а тривалість безперервної роботи за комп'ютером регламентуватися відповідними нормами [62].

Не менш важливим аспектом є дотримання вимог екологічної безпеки. Відходи лабораторних досліджень, залишки реактивів та використані матеріали повинні збиратися окремо та утилізуватися відповідно до встановлених правил. Недотримання цих вимог може призвести до забруднення навколишнього середовища та створення додаткових екологічних ризиків.

Дотримання вимог електробезпеки, виробничої санітарії, пожежної та екологічної безпеки, а також належна організація робочого простору забезпечують безпечне проведення лабораторних аналізів, сприяють отриманню достовірних результатів та мінімізують ризики виникнення небезпечних ситуацій під час виконання досліджень [63].

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що в умовах Синельниківського району Дніпропетровської області скорочення ротації культур та насичення сівозмін високорентабельними культурами, зокрема соняшником, супроводжується зростанням антропогенного навантаження на ґрунтову екосистему. Сучасні економічні умови ведення сільськогосподарського виробництва в Україні змушують товаровиробників орієнтуватися насамперед на економічну доцільність та виживання господарств, що нерідко призводить до відходу від класичних принципів науково обґрунтованого землеробства. Наслідком таких змін є порушення сівозмін, збільшення частки просапних культур у структурі посівних площ та підвищення інтенсивності застосування засобів хімічного захисту рослин.

Дослідження показали, що використання гербіцидних композицій Селеніт Макс + Генезис та Квін Стар Макс + Стелс чинить певний вплив на біологічну активність ґрунту. Найбільш чутливими до гербіцидного навантаження виявилися амоніфікуючі мікроорганізми, мікроорганізми, що засвоюють мінеральний азот, а також мікроміцети. Зниження їх чисельності порівняно з контролем свідчить про пригнічення окремих мікробіологічних процесів, які забезпечують трансформацію органічної речовини та підтримання родючості ґрунту. Водночас ступінь впливу залежав від складу гербіцидної композиції та умов навколишнього середовища.

Встановлено, що погодні умови суттєво впливали на характер прояву залишкової токсичності гербіцидів. За достатнього зволоження відбувалося переміщення діючих речовин у кореневмісний шар ґрунту, що посилювало їхній контакт із кореневими системами рослин і ґрундовою мікрофлорою. У посушливі періоди спостерігалася зміна структури мікробного ценозу, за якої

переважали гриби та актиноміцети, тоді як за більш вологих умов домінуюче положення займали бактерії. Це підтверджує тісний взаємозв'язок між гідротермічним режимом ґрунту, трансформацією гербіцидів та активністю ґрунтових мікроорганізмів.

Проведене біотестування показало, що соняшник може ефективно використовуватися як культура-індикатор для оцінки екологічного стану ґрунту та наявності залишкової токсичності гербіцидів. Найбільш інформативними показниками виявилися довжина кореневої системи, довжина пагона, особливості розвитку коренів, площа листової поверхні та формування генеративних органів. Встановлено, що найбільший токсичний вплив спостерігався на початкових етапах розвитку культури, коли рослини є найбільш чутливими до дії залишкових кількостей гербіцидів. У подальшому, в міру розкладання та трансформації діючих речовин, негативний вплив поступово зменшувався.

Аналіз результатів досліджень свідчить, що в умовах короткоротаційних сівозмін підвищується ризик погіршення екологічного стану агроєкосистем через накопичення залишкових кількостей гербіцидів, пригнічення ґрунтової біоти та уповільнення процесів трансформації органічної речовини. Однак навіть за умови неможливості повернення до класичних багатопільних сівозмін існують технологічні заходи, здатні суттєво знизити негативний вплив таких систем землеробства на родючість ґрунту.

Для збереження біологічної активності та підтримання родючості ґрунтів у короткоротаційних сівозмінах доцільно забезпечувати максимальне повернення органічної речовини в агроєкосистему шляхом подрібнення та рівномірного розподілу післяжнивних решток на поверхні поля, застосовувати заходи, спрямовані на стимулювання розвитку корисної мікрофлори, контролювати рівень гербіцидного навантаження та здійснювати регулярний моніторинг біологічних показників стану ґрунту. Важливим елементом екологічно збалансованого землеробства також є оптимізація структури

посівних площ та максимально можливе дотримання принципів чергування культур.

Результати проведених досліджень підтверджують, що в сучасних умовах господарювання головним завданням агроекологічного супроводу короткоротаційних сівозмін є не лише забезпечення високої продуктивності культур, а й мінімізація втрат родючості ґрунту. Раціональне поєднання агротехнічних, біологічних та екологічних заходів дозволяє зменшити негативний вплив гербіцидного навантаження, підтримати функціонування ґрунтової біоти та забезпечити довготривалу екологічну стійкість агроєкосистем в умовах степової зони України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчарук О. Екологічні тенденції та перспективи використання біомаси рослин для виробництва альтернативного палива в Україні // Овчарук О., Гуцол Т., Овчарук О./ Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної 516 конференції «Аграрна наука і освіта в умовах євроінтеграції», Ч. 1, м. Кам'янець-Подільський, 2018, с. 29-32.
2. Петриченко В.Ф., Бомба М.Я., Патики М.В., Пиріг Г.Т., Іващук П.В. Землеробство з основами екології, ґрунтознавства та агрохімії: навч. посібник. Київ: Аграрна наука, 2011. 492 с
3. Довгань С.В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур. Київ: «Аграрна освіта», 2014. 279 с
4. Чайка В.М., Бакланова О.В., Білявський Ю.В. Потепління і прогноз фітосанітарного стану агроценозів України. Збірник наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». Київ, 2008. С. 56–58.
5. Патики В.П., Тараріко О.Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
6. Berdugo M, Delgado-Baquerizo M, Soliveres S, Hernández-Clemente R, Zhao Y, Gaitán J J, Gross N, Saiz H, Maire V, Lehmann A, Rillig M C, Solé R V, Maestre F T. 2020. Global ecosystem thresholds driven by aridity. Science, 367, 787-790.
7. Ali S, Kailou L, Ahmed W, Hayatu N G, Daba N A, Maitlo A A, Zhe S, Jiwen L, Jing H, Huimin Z. 2023. Grossnitrogen mineralization and nitrification at an optimal phosphorus input level in southern Chinese red soil with long-term fertilization. Soil & Tillage Research, 230, 105710.

8. Chen S, Lin B W, Li Y Q, Zhou S N. 2020. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma*, 357, 113937.
9. Delgado-Baquerizo M, Oliverio A M, Brewer T E, Benavent-González A, Eldridge D J, Bardgett R D, Maestre F T, Singh B K, Fierer N. 2018. A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, 359, 320
10. Deng X J, Xu X L, Wang S H. 2023. The tempo-spatial changes of soil fertility in farmland of China from the 1980s to the 2010s. *Ecological Indicators*, 146, 109913
11. Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1694-1697
12. Li R, Hu W Y, Jia Z J, Liu H Q, Zhang C, Huang B, Yang S H, Zhao Y G, Zhao Y C, Shukla M K, Taboada M A. 2025. Soil degradation: A global threat to sustainable use of black soils. *Pedosphere*, 35, 264-279
13. Philippot L, Chenu C, Kappler A, Rillig M C, Fierer N. 2024. The interplay between microbial communities and soil properties. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 226-239.
14. Ramachandran R, Kumar A, Gopi Sundar K S, Bhalla R S. 2017. Hunting or habitat? Drivers of waterbird abundance and community structure in agricultural wetlands of southern India. *Ambio*, 46, 613-620.
15. Sun D L, Jiang X, Wu Q L, Zhou N Y. 2013. Intragenomic heterogeneity of 16S rRNA genes causes overestimation of prokaryotic diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 79, 5962-5969
16. Allan E, Bossdorf O, Dormann CF, Prati D, Gossner MM, Tscharntke T, Blüthgen N, Bellach M, Birkhofer K, Boch S et al. 2014. Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 111: 308–313.
17. Bissett A, Fitzgerald A, Meintjes T, Mele PM, Reith R, Dennis PG, Breed MF, Brown B, Brown MK, Brugger J et al. 2016. Introducing BASE: the Biomes of

Australian Soil Environments soil microbial diversity database. *GigaScience* 2016: 21.

18. Clarke KR, Gorley RN. 2015. PRIMER v7: user manual/tutorial. Plymouth, UK:PRIMER-E.

19. Delgado-Baquerizo M, Maestre FT, Gallardo A, Bowker MA, Wallenstein MD, Quero JL, Ochoa V, Gozalo B, García-Gómez M, Soliveres S et al. 2013. Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature* 502: 672–676.

20. Edgar RC. 2013. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads. *Nature Methods* 10: 996–998.

21. Gans J, Wolinsky M, Dunbar J. 2005. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science* 26: 1387–1390.

22. Haegeman B, Hamelin J, Moriarty J, Neal P, Dushoff J, Weitz JS. 2013. Robust estimation of microbial diversity in theory and in practice. *ISME Journal* 7: 1092–1101.

23. Hooper DU, Bignell DE, Brown VK, Brussaard L, Dangerfield JM, Wall DH, Wardle DA, Coleman DC, Giller KE, Lavelle P et al. 2000. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *BioScience* 50: 1049–1061.

24. Jackson LE, Strauss RB, Firestone MK, Bartolome JW. 1988. Plant and soil nitrogen dynamics in California annual grassland. *Plant and Soil* 110: 9–17.

25. Lane DJ. 1991. Nucleic acid techniques in bacterial systematics. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

26. Nielsen UN, Wall DH, Six J. 2015. Soil biodiversity and the environment. *Annual Review of Environment and Resources* 40: 63–90.

27. Pointing SB, Belnap J. 2012. Microbial colonization and controls in dryland systems. *Nature Reviews Microbiology* 10: 551–562.

28. Reith F, Zammit CM, Pohrib R, Gregg AL, Wakelin SA. 2015. Geogenic factors as drivers of microbial community diversity in soils overlying polymetallic deposits. *Applied and Environment Microbiology* 81: 7822–7832.

29. Schimel JP, Bennett J, Fierer N. 2005. Biological diversity and function in soils. Cambridge, UK: Cambridge University Press
30. Soliveres S, van der Plas F, Manning P, Prati D, Gossner MM, Renner SC, Alt F, Arndt H, Baumgartner V, Binkenstein J et al. 2016. Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* 536:456–459.
31. Макаренко П.С. Лучне і польове кормовиробництво. – Вінниця: ФОП Данилюк В.Г., 2008. 548 с.
32. Кургак В.Г. Лучні агрофітоценози. К.: ДІА, 2010. 374 с.
33. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології / М.Я. Бомба та ін. К.: Урожай, 2003. 400 с
34. Методика суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України. К., 1994. С. 51–54.
35. *Sedum alfredii* H – a new zinc hyperaccumulating plant species native to China. / Yang X.E. et al. *Chinese Sci. Bulletin*, 2002. № 47. P. 1003–1006.
36. Sauve S., Hendershot W., Allen H.E. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence of pH, total metal burden, and organic matter. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 2000. № 34. P. 1125–1131.
37. Grodzinska K., Szarek-Lukashevskaya G. Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland – an overview. *Environ. Pollut.*, 2001. V. 114. No. 3. P. 443–451.
38. Медведєв В.В. Ґрунтово-кліматичні ресурси степової зони України та їх раціональне використання. – Харків: КП «Міська друкарня», 2015. – 248 с.
39. Кліматичний кадастр України / за ред. В.М. Ліпінського. – Київ: Український гідрометеорологічний інститут, 2006. – 320 с.
40. Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. Стан родючості ґрунтів України та шляхи його збереження. – Київ: Аграрна наука, 2017. – 432 с.
41. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Несмашна О.Є. Агроекологічні основи збереження родючості ґрунтів у степовій зоні України. – Київ: ДІА, 2018. – 276 с.

42. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 18 с.
43. Тараріко О.Г., Балюк С.А., Медведєв В.В. Агроєкологія і охорона ґрунтів. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 312 с.
44. Lancashire P.D., Bleiholder H., van den Boom T. et al. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds (BBCH scale). *Annals of Applied Biology*. 1991. Vol. 119. P. 561–601
45. Грицаєнко З.М., Пономаренко С.П., Карпенко В.П., Леонтюк І.Б. Біотестування в агроєкології: методичні рекомендації. – Київ: Нічлава, 2008. – 72 с.
46. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попередня підготовка проб для фізико-хімічного аналізування. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 12 с.
47. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія. – Київ: Аграрна наука, 2010. – 464 с.
48. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. – Київ: Дія, 2005. – 288 с.
49. Gürbüz R., Altekin H. Integrated Weed Management in Sunflower Through Pre- and Post-Emergence Herbicide Applications // *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi (Turkish Journal of Agricultural Research)*. – 2024. – Vol. 11, No. 2. – P. 145–154.
50. Wen X., Fu Y., Wang F. Herbicide residues reshape soil microbial communities and affect nitrogen transformation processes in agricultural ecosystems // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2025. – Vol. 387. – Article 109456.
51. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. (зі змінами та доповненнями).
52. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. *Основи охорони праці*. – Львів: Афіша, 2014. – 376 с.

53. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Наказ Міністерства соціальної політики України № 1240 від 29.08.2018 р.
54. Закон України «Про пестициди і агрохімікати» № 86/95-ВР від 02.03.1995 р.
55. Закон України «Про пестициди і агрохімікати» № 86/95-ВР від 02.03.1995 р.; Державні санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98 «Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві».
56. Мордерер Є. Ю., Юрикова Т. М. *Гербіциди: механізми дії та екологічні аспекти застосування*. – Київ: Логос, 2018. – 264 с.
57. Іващенко О. О. *Бур'яни в агрофітоценозах та системи захисту посівів від них*. – Київ: Світ, 2019. – 400 с.
58. Федоренко В. П., Покозій Й. Т., Круть М. В. *Інтегрований захист рослин: підручник*. – Київ: Аграрна освіта, 2019. – 544 с.
59. Запольський А. К., Сальник В. І. *Основи охорони праці: підручник*. – Київ: Центр учбової літератури, 2019. – 264 с.
60. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування; ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
61. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. *Основи охорони праці*. – Київ: Каравела, 2017. – 408 с.
62. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями.
63. Березуцький В. В., Бондаренко Т. С., Васьковець Л. А. *Охорона праці в галузі та цивільний захист*. – Харків: ФОП Панов А.М., 2020. – 396 с.