

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ГНАТЮКА

Хіміко-біологічний факультет
Кафедра ботаніки і зоології

Кваліфікаційна робота

«Оптимізація використання біологічних засобів захисту рослин»

Спеціальність 202 Захист і карантин рослин

Освітня програма Захист і карантин рослин

Здобувачки вищої освіти освітньо-
кваліфікаційного рівня «бакалавр»
Анни АНТОНЮК

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки та зоології
Маргарита КРИЖАНОВСЬКА

РЕЦЕНЗЕНТ:
кандидат економічних наук, доцент
кафедри агробіотехнологій,
Західноукраїнського національного
університету
Галина ПИРІГ

Тернопіль 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН	6
1.1. Сутність і класифікація засобів захисту рослин	6
1.2. Біологічні методи контролю шкідників, хвороб і бур'янів	9
1.3. Хімічні засоби захисту рослин	18
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ	30
2.1. Сучасний стан ринку біологічних засобів захисту рослин	30
2.2. Проблеми та фактори, що стримують використання біологічних засобів	32
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН	38
3.1. Аналіз експериментальної оцінки ефективності біологічних засобів захисту рослин	48
3.2. Удосконалення технологій застосування біологічних препаратів	48
3.3. Перспективи розвитку біологічного захисту рослин	52
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

АНОТАЦІЯ

Антонюк А.М. «Оптимізація використання біологічних засобів захисту рослин» / Антонюк Анна Михайлівна; ТНПУ імені Володимира Гнатюка хіміч.-біол. Ф-т, кафедра ботаніки та зоології, наук керівник Крижановська М.А.-Тернопіль, 2026 -64 ст.

Класифікаційна робота присвячена дослідженню особливостей використання біологічних засобів захисту рослин та обґрунтуванню напрямів їх оптимізації в сучасному аграрному виробництві. У роботі розглянуто теоретичні засади застосування засобів захисту рослин, охарактеризовано основні групи біологічних і хімічних препаратів, проаналізовано механізми їх дії та роль у забезпеченні стабільної врожайності сільськогосподарських культур. Досліджено сучасний стан ринку біологічних засобів захисту рослин в Україні та світі, визначено основні фактори, що стримують їх широке впровадження у виробничу практику.

У практичній частині проведено експериментальну оцінку ефективності біологічних засобів захисту рослин при вирощуванні озимої пшениці, сої та соняшнику. Здійснено порівняння біологічної та традиційної хімічної систем захисту за показниками розвитку хвороб, пошкодження шкідниками, урожайності та економічної ефективності. Встановлено, що біологічні препарати забезпечують достатній рівень захисту рослин, дозволяють зменшити виробничі витрати та сприяють скороченню екологічного навантаження на агроєкосистеми. На основі отриманих результатів запропоновано напрями вдосконалення технологій застосування біопрепаратів і визначено перспективи розвитку біологічного захисту рослин як важливого елемента сталого сільського господарства.

Ключові слова: біологічні засоби захисту рослин, біопрепарати, інтегрований захист рослин.

Annotation

Antonyuk A.M. "Optimization of the use of biological plant protection products" / Antonyuk Anna Mykhailivna; Volodymyr Hnatiuk TNPU, chemical biology faculty, department of botany and zoology, head of science Kryzhanovska M.A.-Ternopil, 2026 -59st

Classification work to the study of the features of the use of biological plant protection products and the justification of the directions of their optimization in modern agricultural production. The paper considers the theoretical principles of the use of plant protection products, characterizes the main groups of biological and chemical preparations, analyzes the mechanisms of their action and their role in ensuring stable crop yields. The current state of the market of biological plant protection products in Ukraine and the world is studied, and the main factors that hinder their widespread introduction into production practice are identified.

In the practical part, an experimental assessment of the effectiveness of biological plant protection products in the cultivation of winter wheat, soybeans and sunflowers was carried out. A comparison of biological and traditional chemical protection systems was carried out in terms of disease development, pest damage, yield and economic efficiency. It was established that biological preparations provide a sufficient level of plant protection, reduce production costs and contribute to reducing the environmental load on agroecosystems. Based on the results obtained, directions for improving the technologies for the use of biological preparations were proposed and the prospects for the development of biological plant protection as an important element of sustainable agriculture were determined.

Keywords: biological plant protection products, biological preparations, integrated plant protection.

ВСТУП

Сучасний розвиток аграрного виробництва характеризується зростанням вимог до екологічної безпеки продукції, збереження родючості ґрунтів та мінімізації негативного впливу на довкілля. Традиційне використання хімічних засобів захисту рослин, незважаючи на їх високу ефективність, супроводжується низкою екологічних і соціальних проблем, зокрема накопиченням токсичних речовин у ґрунті, воді та продукції рослинництва, а також формуванням резистентності у шкідливих організмів. У зв'язку з цим особливого значення набуває впровадження біологічних засобів захисту рослин, які забезпечують контроль шкідників, хвороб і бур'янів без суттєвого порушення екологічної рівноваги.

Біологічні препарати, що базуються на використанні мікроорганізмів, ентомофагів та біологічно активних сполук, є важливою складовою інтегрованих систем захисту рослин. Проте ефективність їх застосування значною мірою залежить від технології внесення, умов довкілля, правильного поєднання з агротехнічними заходами та рівня обізнаності аграріїв. Це зумовлює необхідність наукового обґрунтування та удосконалення підходів до їх використання.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення ефективності застосування біологічних засобів захисту рослин шляхом оптимізації технологій їх використання, що сприятиме зниженню хімічного навантаження на агроєкосистеми та забезпеченню сталого розвитку сільського господарства.

Мета роботи – обґрунтувати та визначити напрями оптимізації використання біологічних засобів захисту рослин у сучасних агротехнологіях.

Об'єкт дослідження – процес застосування біологічних засобів захисту рослин у системах вирощування сільськогосподарських культур.

Предмет наукової роботи – технологічні та організаційні аспекти підвищення ефективності використання біологічних препаратів у захисті рослин.

Завдання, які необхідно зробити для досягнення поставленої мети:

1. Проаналізувати сутність і класифікацію засобів захисту рослин.
2. Дослідити сучасний стан та особливості ринку біопрепаратів.
3. Визначити основні проблеми та фактори, що стримують їх використання.
4. Проаналізувати експериментальну оцінку ефективності біологічних засобів захисту рослин (пшениця, соя, соняшник).
5. Визначити перспективи розвитку біологічного захисту рослин.

У процесі виконання роботи використано комплекс загальнонаукових і спеціальних **методів дослідження**, зокрема: аналіз і синтез – для узагальнення наукових підходів до застосування засобів захисту рослин; статистичний аналіз – для оцінки динаміки використання пестицидів в Україні та світі.

Практичне значення роботи полягає в узагальненні сучасних тенденцій використання засобів захисту рослин та оцінці їх ролі у забезпеченні ефективності сільськогосподарського виробництва.

Апробація роботи: матеріали кваліфікаційної роботи апробовані на X Міжнародній науково-практичній конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil bioscience – 2026» (27-28 травня 2026 р., Тернопіль).

Обсяг і структура роботи

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

1.1. Сутність і класифікація засобів захисту рослин

У сучасному аграрному виробництві забезпечення стабільної врожайності та якості продукції неможливе без застосування комплексу заходів, спрямованих на обмеження впливу шкідливих організмів. Центральне місце в цій системі посідають засоби захисту рослин, які виступають як інструмент регулювання фітосанітарного стану агроценозів. Їх використання обумовлене необхідністю мінімізації втрат урожаю, що можуть сягати значних величин у разі поширення бур'янів, шкідників і збудників хвороб [4].

Згідно з чинним нормативним підходом, засоби захисту рослин розглядаються як препарати або їх суміші, призначені для запобігання, знищення чи контролю шкідливих організмів, а також регулювання ростових процесів рослин. Таке трактування підкреслює їх багатофункціональний характер, оскільки вони виконують не лише захисну, а й регуляторну роль. У науковій площині поняття засобів захисту рослин значно ширше, адже включає не лише хімічні препарати, але й біологічні агенти, мікробіологічні засоби та інші компоненти інтегрованого захисту [11].

Сутність засобів захисту рослин полягає у їх здатності впливати на життєві процеси шкідливих організмів або створювати умови, несприятливі для їх розвитку. Цей вплив може реалізовуватися через різні механізми – від безпосереднього токсичного ефекту до порушення фізіологічних функцій або конкурентного витіснення. Водночас застосування таких засобів пов'язане з низкою екологічних та економічних аспектів, що зумовлює необхідність їх раціонального використання в межах інтегрованих систем землеробства [12].

Для глибшого розуміння ролі засобів захисту рослин доцільно розглянути їх класифікацію, яка базується на кількох ключових ознаках. Найпоширенішою є класифікація за об'єктом дії, відповідно до якої виділяють гербіциди, інсектициди, фунгіциди та інші групи (рис.1.1). Гербіциди

застосовуються для контролю бур'янової рослинності, яка конкурує з культурними рослинами за ресурси живлення, вологу та світло. Інсектициди спрямовані на знищення або пригнічення комах-шкідників, що пошкоджують вегетативні та генеративні органи рослин. Фунгіциди використовуються для боротьби з грибковими захворюваннями, які здатні суттєво знижувати врожайність і якість продукції [15].



Рис.1.1. Класифікація засобів захисту рослин

Окрім зазначених груп, існують також акарициди, призначені для контролю кліщів, нематициди — для боротьби з нематодами, а також родентициди та інші спеціалізовані засоби. Така деталізація класифікації свідчить про високий рівень диференціації сучасних засобів захисту рослин та їх орієнтацію на конкретні біологічні об'єкти [4].

Іншим важливим критерієм класифікації є походження діючих речовин. За цією ознакою розрізняють хімічні, біологічні та комбіновані засоби. Хімічні препарати традиційно займають провідне місце завдяки високій ефективності та швидкості дії. Водночас їх застосування потребує суворого дотримання регламентів, оскільки вони можуть мати негативний вплив на довкілля та здоров'я людини. Біологічні засоби, навпаки, характеризуються більш м'якою дією та екологічною безпечністю, оскільки базуються на використанні природних механізмів регуляції чисельності шкідливих організмів. До них належать препарати на основі мікроорганізмів, вірусів або продуктів їх життєдіяльності. Комбіновані засоби поєднують у собі властивості різних груп і дозволяють досягти комплексного ефекту [12].

Важливе значення має також класифікація за характером дії на рослину та шкідливий організм. У цьому контексті виділяють контактні та системні препарати. Контактні засоби діють лише в місці нанесення, утворюючи захисний бар'єр на поверхні рослини. Вони ефективні за умов своєчасного застосування, але можуть втрачати ефективність під впливом погодних факторів. Системні препарати, навпаки, здатні проникати у тканини рослини та переміщуватися по її судинній системі, забезпечуючи триваліший захист і вплив на внутрішні інфекції або приховані форми шкідників. Крім того, засоби захисту рослин можуть класифікуватися за способом проникнення, спектром дії, тривалістю захисного ефекту та іншими характеристиками. Наприклад, виділяють препарати суцільної та вибіркової дії, що дає можливість більш гнучко підходити до формування технологій вирощування культур [11].

У сучасних умовах особливого значення набуває інтегрований підхід до використання засобів захисту рослин, який передбачає поєднання різних методів – агротехнічних, біологічних і хімічних. Такий підхід дозволяє не лише підвищити ефективність захисту, але й зменшити екологічне навантаження на агроландшафти. У цьому контексті класифікація засобів захисту рослин виступає не лише як теоретичний інструмент, а й як основа для практичного вибору оптимальних рішень [5].

Відповідно до вищезазначеного, засоби захисту рослин є складною і багатокомпонентною системою, що забезпечує контроль над шкідливими організмами та сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва. Їх сутність розкривається через функціональне призначення та механізми дії, а класифікація дозволяє систематизувати різноманіття існуючих препаратів і забезпечити їх раціональне використання відповідно до конкретних умов господарювання.

1.2. Біологічні методи контролю шкідників, хвороб і бур'янів

У сучасному рослинництві підвищення продуктивності культур та забезпечення екологічної безпеки ґрунту й довкілля неможливе без ефективних систем захисту рослин. Одним із ключових підходів у цій системі є біологічні методи контролю, що передбачають використання живих агентів або продуктів їх життєдіяльності для обмеження чисельності шкідників, хвороб та небажаної рослинності. Біологічний підхід вирізняється мінімальним впливом на навколишнє середовище порівняно з хімічними засобами, знижує ризик розвитку резистентності шкідників і дозволяє зберегти біологічну рівновагу агроєкосистем [21].

Сутність біологічного методу полягає у використанні природних механізмів регуляції чисельності шкідливих організмів. До них належать хижі та паразитичні комахи, мікроорганізми-патогени, нематоди, а також рослинні антибіотики. Відповідно до цільового об'єкта, біологічні засоби поділяють на ті, що контролюють комах-шкідників, збудників хвороб або бур'яни. Наприклад, у боротьбі з комахами широко застосовують ентомофагів, таких як хижі жуки родини *Coccinellidae*, що живляться попелицями, або паразитичні оси *Trichogramma*, які відкладають яйця у яйцях шкідників, перериваючи їхній життєвий цикл. Аналогічно, для контролю грибкових захворювань використовують мікробіологічні препарати на основі бактерій *Bacillus subtilis*, які виділяють антибіотичні сполуки, що пригнічують розвиток патогенних грибів [27].

Біологічні методи також активно застосовуються проти бур'янів. Серед прикладів – використання специфічних грибків роду *Russinia* для контролю амброзії, що дозволяє значно знизити її поширення без шкоди для культурних рослин. Інший ефективний підхід – застосування комах-фітофагів, таких як *Zygogramma bicolorata*, що живляться листям аборигенних бур'янів, зменшуючи їх конкурентний вплив на сільськогосподарські культури. Використання таких агентів потребує ретельного моніторингу, оскільки їхнє впровадження має бути сумісним із місцевою екосистемою [20].

За походженням біологічні засоби контролю поділяють на живі організми та продукти їх життєдіяльності. До перших належать хижі та паразитичні комахи, нематоди та ентомопатогенні гриби, які безпосередньо знищують шкідників або пригнічують їх розвиток. До другої групи відносять бактеріальні, грибкові та рослинні біопрепарати, які виділяють токсини або стимулюють природні захисні реакції рослин [24]. Наприклад, препарати на основі *Bacillus thuringiensis* широко використовуються для контролю лускокрилих шкідників: токсин, що продукується бактерією, викликає загибель личинок шкідника після споживання обробленого листа. Цей метод дозволяє уникнути масового застосування хімічних інсектицидів і зменшити ризик накопичення токсичних речовин у ґрунті та продукції [23].

Контроль хвороб рослин також реалізується за допомогою біологічних агентів. Прикладами є застосування грибів роду *Trichoderma*, які пригнічують розвиток патогенних грибів через конкуренцію за простір і поживні речовини, а також виділення антибіотичних сполук. Біологічні фунгіциди на основі *Pseudomonas fluorescens* здатні підвищувати стійкість рослин до патогенів, стимулюючи їх імунну систему. Цей підхід дозволяє поєднати профілактичні та лікувальні ефекти без значного впливу на екологію [26].

Ефективність біологічного контролю залежить від правильної інтеграції методів у технологічні системи землеробства. Найбільш доцільним є комбіноване застосування агротехнічних прийомів, біологічних агентів і поміркованої кількості хімічних препаратів у разі необхідності. Наприклад, у

системах органічного землеробства поєднують сівозміну, мульчування та використання живих ентомофагів, що дозволяє підтримувати популяції шкідників на безпечному рівні та підвищувати загальну продуктивність культур. Також важливим аспектом є своєчасний моніторинг чисельності шкідників і стану рослин, що дозволяє застосовувати біологічні засоби саме тоді, коли вони максимально ефективні [22].

Особливу увагу приділяють і адаптації біологічних агентів до локальних умов. Наприклад, при впровадженні паразитичних ос *Trichogramma* у різних регіонах України враховують кліматичні фактори та видову специфіку шкідників. Подібний підхід забезпечує високу виживаність агентів і їх здатність ефективно контролювати цільові популяції. Також важливо забезпечити правильне зберігання і транспортування біопрепаратів, оскільки життєздатність організмів є ключовим фактором їх ефективності [25].

Узагальнюючи, біологічні методи контролю шкідників, хвороб і бур'янів є невід'ємною частиною сучасних систем захисту рослин, поєднуючи ефективність із екологічною безпекою. Використання хижих і паразитичних комах, нематод, ентомопатогенних грибів та бактеріальних препаратів дозволяє знизити залежність від хімічних засобів, підтримати біологічну рівновагу агроєкосистем і забезпечити стабільну врожайність. Успішна реалізація біологічного контролю потребує комплексного підходу, включаючи інтеграцію агротехнічних та біотехнологічних заходів, адаптацію агентів до локальних умов і систематичний моніторинг стану рослин та чисельності шкідників.

У сучасному сільському господарстві України біологічні методи контролю шкідливих організмів набувають практичного значення не лише як екологічна альтернатива, а як економічно обґрунтований інструмент стабілізації врожайності. У степовій та лісостеповій зонах, де спостерігається висока щільність популяцій шкідників і значне поширення фітопатогенів, біологічні засоби дедалі частіше інтегруються в технології вирощування

культур. Їх ефективність залежить від точності підбору біоагентів, строків внесення та погодних умов, зокрема температури та вологості [8].

Одним із найбільш відпрацьованих напрямів є застосування паразитичних комах для зниження чисельності шкідників. У посівах кукурудзи на території центральної України активно використовують трихограму для контролю кукурудзяного стеблового метелика. Технологія передбачає дворазовий або триразовий випуск ентомофага у період масового відкладання яєць шкідником. Перший випуск здійснюється при появі перших кладок, другий – через 5–7 днів. У результаті паразитування яєць зменшується вихід гусениць, що безпосередньо впливає на рівень пошкодження рослин. У господарствах, де дотримуються цієї схеми, частка пошкоджених стебел знижується з 25–30 % до 5–10 %.

Подібний підхід застосовується і в овочівництві відкритого ґрунту. Зокрема, проти бавовникової совки на томатах і перці використовується трихограма у нормі близько 100 тис. особин на гектар. При цьому важливо враховувати, що ефективність різко знижується за температури нижче +15 °C або під час тривалих опадів, оскільки це обмежує активність ентомофага.

У тепличних господарствах України біологічний контроль набув ще більшого поширення завдяки контрольованим умовам середовища. Для боротьби з павутинним кліщем на огірках і томатах застосовують хижого кліща *Phytoseiulus persimilis*. Його випускають локально в осередки поширення шкідника, зазвичай із розрахунку 10–20 особин на рослину при середньому рівні зараження. Через 1–2 тижні чисельність павутинного кліща різко знижується, оскільки хижак активно знищує як дорослі стадії, так і яйця. В умовах високої вологості (60–80 %) ефективність цього методу є максимальною [23].

Для контролю білокрилки у теплицях використовується паразитична оса *Encarsia formosa*. Вона відкладає яйця всередину личинок шкідника, що призводить до їх загибелі. У практиці застосовують регулярні випуски енкарзії протягом усього періоду вегетації, починаючи з моменту появи перших

особин білокрилки. Такий підхід дозволяє повністю уникнути використання інсектицидів у закритому ґрунті.

Суттєву роль у біологічному захисті відіграють природні популяції ентомофагів. У садах і на зернових полях України для підтримання їх чисельності використовують агротехнічні прийоми, зокрема створення смуг із нектароносних рослин. Посів фацелії або гречки між рядами або по краях полів забезпечує кормову базу для дорослих особин хижих і паразитичних комах. У таких умовах чисельність попелиць знижується природним шляхом завдяки діяльності сонечок і личинок золотоочки. Наприклад, одна личинка золотоочки здатна знищити до 200–300 попелиць за період розвитку [20].

Окрім комах, важливе місце займають мікробіологічні препарати. У посівах зернових культур широко використовуються біоінсектициди на основі бактерії *Bacillus thuringiensis*. Ці препарати застосовують у фазі масового живлення гусениць шкідників, коли вони активно споживають листову масу. Після потрапляння бактерій у кишечник комах відбувається руйнування його стінок, що призводить до припинення живлення і загибелі. У польових умовах ефективність залежить від рівномірності обприскування та відсутності сильних опадів після внесення [8].

У боротьбі з ґрунтовими шкідниками значну ефективність демонструють ентомопатогенні нематоди. Вони застосовуються проти дротяників, личинок хрущів та інших шкідників, що пошкоджують кореневу систему культур. Нематоди вносяться у ґрунт разом із водою, після чого активно проникають у тіло шкідника. Усередині вони виділяють симбіотичні бактерії, які швидко розмножуються і спричиняють загибель господаря. Важливою умовою ефективності є достатня вологість ґрунту, оскільки пересихання різко знижує рухливість нематод.

У захисті рослин від хвороб в Україні широко застосовуються біофунгіциди. Одним із найбільш ефективних є використання грибів роду *Trichoderma*. Вони заселяють ризосферу рослин і конкурують із патогенними грибами, такими як *Fusarium* або *Rhizoctonia*. У практиці вирощування

пшениці та овочевих культур обробка насіння препаратами на основі *Trichoderma* дозволяє знизити розвиток корневих гнилей та підвищити енергію проростання. Додатково ці гриби стимулюють ріст рослин за рахунок синтезу біологічно активних речовин.

Для захисту листкового апарату рослин використовуються бактерії роду *Bacillus subtilis*. Вони формують на поверхні листків стабільну мікробну плівку, яка перешкоджає розвитку патогенів. У садах України ці препарати застосовують проти парші яблуні. Обробки проводять із інтервалом 7–10 днів у періоди підвищеної вологості, коли ризик зараження є найбільшим. Такий підхід дозволяє значно зменшити кількість хімічних фунгіцидних обробок [20].

У посівах овочевих культур також використовуються препарати на основі бактерій *Pseudomonas fluorescens*, які пригнічують розвиток бактеріальних і грибкових хвороб. Вони активізують природні захисні механізми рослин і підвищують їх стійкість до стресових умов, зокрема посухи та температурних коливань.

Щодо контролю бур'янів, то біологічні методи в Україні поки що використовуються обмежено, однак окремі практичні підходи вже довели свою ефективність. Найбільш поширеним є застосування покривних культур. Наприклад, посів гірчиці білої після збирання основної культури дозволяє швидко сформувати густий рослинний покрив, який пригнічує проростання бур'янів. Крім того, гірчиця виділяє алелопатичні речовини, що гальмують розвиток небажаної рослинності [22].

Іншим прикладом є використання жита як сидерату. Осінній посів жита забезпечує щільне покриття ґрунту, що зменшує кількість сходів бур'янів навесні. Після заробки зеленої маси у ґрунт відбувається додатковий ефект пригнічення бур'янів за рахунок продуктів розкладання рослинних решток.

У посівах сої та кукурудзи також застосовується мульчування органічними матеріалами, зокрема подрібненою соломою. Шар мульчі товщиною 5–7 см обмежує доступ світла до поверхні ґрунту, що значно

знижує проростання світлолюбних бур'янів. Одночасно створюються сприятливі умови для розвитку ґрунтових мікроорганізмів, які беруть участь у природному регулюванні фітосанітарного стану [23].

Практичне використання біологічних методів в Україні найвищу ефективність демонструє не у вигляді окремих заходів, а як частина чітко структурованих схем, де поєднуються різні групи біоагентів і агротехнічні прийоми. Такий підхід дозволяє компенсувати обмеження кожного окремого методу та забезпечити стабільний фітосанітарний стан посівів протягом усього вегетаційного періоду.

У вирощуванні кукурудзи в лісостеповій зоні поширеною є схема, яка поєднує передпосівну обробку насіння біофунгіцидами та подальше застосування ентомофагів. На першому етапі насіння обробляють препаратами на основі *Trichoderma* або *Bacillus subtilis* для захисту від ґрунтових патогенів. Це забезпечує зниження ризику розвитку кореневих гнилей на ранніх фазах розвитку. На другому етапі, у період появи кукурудзяного стеблового метелика, здійснюється дворазовий випуск трихограми. Така комбінація дозволяє одночасно контролювати як хвороби, так і шкідників без застосування хімічних засобів. У виробничих умовах це дає змогу зменшити втрати врожаю на 15–20 % порівняно з варіантами без захисту.

У посівах картоплі ефективною є схема, що поєднує біологічний контроль ґрунтових шкідників і листогризухих комах. Перед садінням або під час нього в ґрунт вносять ентомопатогенні нематоди для знищення личинок хрущів і дротяників. Після появи сходів і в період активного розвитку колорадського жука застосовують біопрепарати на основі *Bacillus thuringiensis*. Обробку проводять у фазі масового відродження личинок першого–другого віку, оскільки саме в цей період вони найбільш чутливі до дії препарату. У результаті чисельність шкідника утримується на рівні, що не потребує використання інсектицидів [9].

У тепличному виробництві застосовуються ще більш деталізовані системи біологічного контролю. Наприклад, при вирощуванні огірків використовується комбінована схема: на ранніх етапах розвитку рослин проводиться профілактичне заселення теплиць хижими кліщами (*Phytoseiulus persimilis*) у невеликих кількостях для попередження спалахів павутинного кліща. Паралельно вводиться паразитична оса *Encarsia formosa* для контролю білокрилки. Якщо спостерігається підвищення чисельності трипсів, додатково застосовуються хижі клопи або кліщі-акарифаги. Важливо, що всі ці організми можуть функціонувати одночасно без взаємного пригнічення, що створює стабільну біологічну рівновагу в агроценозі [25].

У садівництві ефективним є поєднання біопрепаратів із агротехнічними прийомами. Наприклад, для контролю парші яблуні застосовується система, що включає регулярні обробки препаратами на основі *Bacillus subtilis* у періоди підвищеної вологості, а також санітарні заходи – видалення ураженого листя та обрізки хворих гілок. Додатково використовується мульчування пристовбурних кругів, що сприяє розвитку корисної мікрофлори ґрунту. Такий комплекс заходів дозволяє знизити інтенсивність ураження без повної відмови від захисту.

У боротьбі з бур'янами найбільш ефективні результати досягаються за рахунок поєднання біологічних і агротехнічних методів. У посівах сої широко застосовується схема, що включає використання покривних культур і мульчування. Після збирання попередника висівають сидерати (наприклад, гірчицю або жито), які швидко формують щільний рослинний покрив. Перед посівом основної культури зелена маса заробляється в ґрунт, створюючи шар органічної мульчі. Це не лише пригнічує проростання бур'янів, а й покращує структуру ґрунту та сприяє розвитку корисної мікрофлори [22].

У кукурудзі та соняшнику також використовується міжрядний обробіток у поєднанні з біологічними методами. Розпушування ґрунту порушує проростання бур'янів, а наявність мульчі та активної мікробіоти додатково обмежує їх розвиток. У деяких господарствах застосовують

бактеріальні препарати, які прискорюють розкладання рослинних решток і посилюють алелопатичний ефект [8].

Незважаючи на наявність ефективних схем, використання біологічних методів в Україні має низку обмежень. Одним із ключових факторів є залежність від погодних умов. Наприклад, ефективність ентомопатогенних нематод різко знижується при недостатній вологості ґрунту, що є типовим для південних регіонів. Аналогічно, біопрепарати на основі бактерій можуть втрачати активність під дією ультрафіолетового випромінювання, тому їх застосування потребує точного вибору часу (ранкові або вечірні години).

Ще одним обмеженням є необхідність точного дотримання строків внесення. На відміну від хімічних препаратів, які часто мають швидку дію, біологічні засоби працюють повільніше і потребують застосування на ранніх стадіях розвитку шкідливих організмів. Запізнення навіть на кілька днів може суттєво знизити ефективність заходів [23].

Важливим фактором є також обмежена доступність якісних біопрепаратів і ентомофагів у деяких регіонах. Не всі господарства мають можливість своєчасно придбати необхідні біологічні засоби або забезпечити їх правильне зберігання і транспортування. Порушення температурного режиму під час зберігання може призводити до втрати життєздатності біоагентів.

Крім того, впровадження біологічних методів потребує високого рівня агрономічної підготовки. Необхідно вміти правильно ідентифікувати стадії розвитку шкідників, оцінювати їх чисельність і визначати оптимальні строки застосування біозасобів. У практиці це часто стає проблемою для господарств, які звикли до стандартних схем хімічного захисту.

Ще одним аспектом є відносно повільний прояв ефекту. Наприклад, після внесення біофунгіцидів на основі *Trichoderma* або *Bacillus* позитивний результат проявляється поступово, у міру заселення ризосфери або листкової поверхні корисними мікроорганізмами. Це потребує довгострокового планування та системного підходу [9].

Водночас, попри зазначені обмеження, біологічні методи демонструють високу ефективність за умови їх правильного застосування. Найкращі результати досягаються у господарствах, які поєднують різні біологічні агенти, агротехнічні прийоми та елементи інтегрованого захисту рослин. Такий підхід дозволяє не лише знизити залежність від хімічних засобів, а й підвищити стійкість агроєкосистем до зовнішніх впливів.

Виходячи з вищенаведеного, в умовах України біологічний контроль шкідників, хвороб і бур'янів є реальним і практично виправданим напрямом розвитку сучасного землеробства, однак його ефективність визначається комплексністю підходу, точністю виконання технологічних операцій і врахуванням природно-кліматичних особливостей регіону.

1.3. Хімічні засоби захисту рослин

Хімічні засоби захисту рослин (ХЗЗР) становлять одну з основних складових сучасних технологій рослинництва, забезпечуючи контроль чисельності шкідників, хвороб і бур'янів та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Їхня сутність полягає у використанні синтетичних або природних сполук, здатних пригнічувати життєдіяльність небажаних організмів або знищувати їх. Хімічні засоби відзначаються високою ефективністю, швидким впливом і можливістю масштабного застосування, однак потребують дотримання правил безпеки та обліку екологічних наслідків [14] (рис.1.2.).

Сучасні хімічні засоби захисту рослин класифікують за різними ознаками: об'єктом дії, хімічною структурою, способом дії та періодом внесення. За об'єктом дії виділяють [12] :

1. Гербіциди, що застосовують для знищення бур'янів. Наприклад, імідазоліни та феноксіспиртові гербіциди ефективні проти однорічних і багаторічних бур'янів у посівах кукурудзи та соняшника.



Рис.1.2. Класифікація хімічних засобів захисту рослин

2. Інсектициди, які пригнічують або знищують комах-шкідників. До прикладу, неонікотиніди (імідаклопрід) застосовують проти попелиць та трипсів, а піметрозини ефективні проти колорадського жука.
3. Фунгіциди, що пригнічують розвиток грибкових та ооміцетових патогенів. Препарати на основі тебуконазолу та карбендазиму застосовують для захисту пшениці і ячменю від бурої іржі та сажкових хвороб.
4. Акарициди, що контролюють кліщів, наприклад, абамектин або пропаргіт у посівах плодових культур.
5. Нематициди, призначені для боротьби з нематодами, такі як флуфенацин та оксадикарб, що застосовуються у картоплярстві та овочівництві.

За способом дії хімічні засоби ділять на контактні, системні та комбіновані. Контактні препарати діють лише при безпосередньому контакті

з шкідником або поверхнею рослини, тоді як системні поглинаються тканинами рослини і переміщуються ксилемою та флоемою, забезпечуючи захист від шкідників, що живляться всередині тканин. Наприклад, системні інсектициди дозволяють ефективно контролювати сисних комах, таких як попелиця чи цикадки, навіть якщо вони розташовані на внутрішніх частинах рослини [13].

Хімічні засоби захисту рослин також класифікують за хімічною структурою. До них належать органофосфати, карбамати, піретроїди, неоніотиноїди та сполуки хлорорганічної групи. Кожна з цих груп має специфічний механізм дії. Наприклад, піретроїди впливають на нервову систему комах, викликаючи параліч і загибель, тоді як бактеріальні токсини (як у препаратах на основі *Bacillus thuringiensis*) мають специфічну дію лише на певні види шкідників, зберігаючи корисні комахи [11].

У застосуванні хімічних засобів захисту рослин важливу роль відіграє своєчасність і правильна технологія внесення. Наприклад, гербіциди до появи культури використовують для знищення проростків бур'янів у ґрунті, тоді як післясходові препарати застосовують під час активного росту культур. Інсектициди та фунгіциди часто вносять у період масового розвитку шкідників або спалахів хвороб, що забезпечує максимальну ефективність [19].

Приклади практичного застосування ХЗЗР в Україні включають [13]:

1. Захист озимої пшениці від бурої іржі та септоріозу листя за допомогою фунгіцидів на основі тебуконазолу та протіоконазолу.
2. Контроль колорадського жука у посівах картоплі системними інсектицидами (імідаклоприд) та контактними препаратами (фенітротіон).
3. Боротьба з амброзією та осотом на полях соняшника гербіцидами групи імідазолінів і феноксіспиртових препаратів.

Важливим аспектом є поєднання хімічних методів із агротехнічними та біологічними заходами, що зменшує навантаження на екосистему і запобігає розвитку резистентності шкідників. Наприклад, чергування гербіцидів з

різними механізмами дії та застосування сівозміни дозволяють контролювати бур'яни без збільшення токсичного навантаження на ґрунт [11].

Узагальнюючи можна стверджувати, що хімічні засоби захисту рослин залишаються ефективним інструментом у сучасному сільському господарстві. Їх використання вимагає науково обґрунтованого підходу, знання біології шкідників і патогенів, а також дотримання правил безпеки для людини та довкілля. Інтеграція хімічних, біологічних і агротехнічних методів дозволяє створити стійкі системи захисту рослин, що забезпечують стабільну врожайність і екологічну безпеку продукції.

Хімічні засоби захисту рослин залишаються ключовим інструментом у забезпеченні стабільної врожайності сільськогосподарських культур в Україні. Їх застосування суттєво варіює залежно від природно-кліматичних умов, типу ґрунтів, структури посівних площ і спектра шкідливих організмів. Основними групами препаратів є гербіциди, фунгіциди та інсектициди, причому в кожному природному регіоні країни домінують різні напрями їх використання.

У степовій зоні України, яка характеризується високими температурами, дефіцитом вологи та значною засміченістю полів, провідну роль відіграють гербіциди суцільної дії. Найбільш поширеною діючою речовиною є гліфосат (N-(фосфометил)гліцин), який застосовується для передпосівного обробітку полів. Його механізм дії полягає у блокуванні ферменту EPSPS, що призводить до порушення синтезу ароматичних амінокислот і загибелі рослин. У степових регіонах гліфосат застосовують перед посівом соняшнику, кукурудзи та сої, особливо в системах мінімального або нульового обробітку ґрунту. Норма внесення зазвичай становить 2–4 л/га у перерахунку на препаративну форму, залежно від ступеня засміченості [14].

У посівах соняшнику в степу також широко застосовуються післясходові гербіциди вибіркової дії. Зокрема, імазамокс і імазапир (похідні імідазолінонів) використовуються в системах вирощування гібридів, стійких до цих речовин. Вони пригнічують синтез амінокислот через інгібування

ферменту ацетолактатсинтази (ALS), що призводить до зупинки росту бур'янів. Ці препарати ефективні проти широкого спектра однорічних і деяких багаторічних бур'янів, включаючи амброзію полинолисту.

У зернових культурах степу значну роль відіграють фунгіциди системної дії, зокрема триазоли. Тебуконазол (1-(4-хлорфеніл)-4,4-диметил-3-(1,2,4-тріазол-1-ілметил)пентан-3-ол) застосовується для контролю іржі, борошнистої роси та септоріозу пшениці. Його дія пов'язана з інгібуванням біосинтезу ергостеролу в клітинах грибів. У степових умовах обробки проводять у фазі виходу в трубку або на початку колосіння, що дозволяє зберегти асиміляційний апарат рослин у критичний період формування врожаю.

Інсектицидний захист у степу спрямований переважно на контроль ґрунтових і листогризучих шкідників. Для обробки насіння кукурудзи та соняшнику застосовуються неонікотинοїди, зокрема імідаклоприд (1-(6-хлор-3-піридилметил)-N-нітроімідазолідин-2-іліденамін). Ця речовина діє на нервову систему комах, блокуючи нікотинοві ацетилхолінові рецептори. Вона забезпечує захист рослин на ранніх етапах розвитку від дротяників, личинок хрущів та інших шкідників [12].

У лісостеповій зоні України застосування хімічних засобів є найбільш інтенсивним через поєднання сприятливих умов для розвитку як культур, так і шкідливих організмів. У цьому регіоні широко використовуються гербіциди вибіркової дії для зернових культур. Наприклад, 2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота (2,4-Д) застосовується проти дводольних бур'янів у посівах пшениці. Вона імітує дію рослинних гормонів (ауксинів), викликаючи неконтрольований ріст клітин і загибель бур'янів. У посівах кукурудзи широко застосовуються гербіциди на основі мезотріону (2-(4-метилсульфоніл-2-нітробензоїл)-1,3-циклогександіон). Ця речовина блокує синтез каротиноїдів, що призводить до знебарвлення і загибелі бур'янів. Вона ефективна проти широкого спектра однорічних бур'янів і застосовується у фазі 3–5 листків культури [13].

Фунгіцидний захист у лісостепу передбачає використання як системних, так і контактних препаратів. Крім триазолів, широко застосовуються стробілурины, зокрема азоксистробін (метил (Е)-2-{2-[6-(2-ціанофенокси)піримідин-4-ілоксі]феніл}-3-метоксіакрилат). Він порушує процеси дихання грибів, блокуючи електронтранспортний ланцюг у мітохондріях. У посівах пшениці його використовують для контролю комплексу листових хвороб.

Інсектицидний захист у лісостепу включає застосування синтетичних піретроїдів, таких як лямбда-цигалотрин. Він впливає на натрієві канали нервових клітин комах, викликаючи їх параліч. Ця речовина застосовується проти клопа-черепашки, попелиць і трипсів у посівах зернових і технічних культур [11].

У зоні Полісся, де переважають підвищена вологість і кислі ґрунти, основна увага приділяється фунгіцидному захисту. У садівництві широко використовуються мідьвмісні препарати, зокрема мідний купорос (сульфат міді(II), CuSO_4) і бордоська суміш. Вони мають контактну дію і застосовуються для профілактики парші яблуні, мілдью та інших грибкових і бактеріальних захворювань. Обробки проводяться ранньою весною та в період вегетації залежно від погодних умов. У картоплярстві Полісся широко застосовуються фунгіциди проти фітофторозу. Наприклад, манкоцеб (етиленбіс(дитиокарбамат) марганцю) використовується як контактний препарат для захисту листового апарату. Його дія полягає у порушенні ферментативних процесів у клітинах грибів. Обробки проводяться з інтервалом 7–10 днів у періоди підвищеної вологості. Гербіцидний захист у Поліссі також має свої особливості. Через високу вологість і наявність специфічних бур'янів застосовуються препарати на основі метрибузину, який інгібує фотосинтез у рослин. Його використовують у посівах картоплі та сої для контролю дводольних і деяких злакових бур'янів [14].

Ефективність хімічного захисту рослин в Україні значною мірою визначається не лише вибором діючої речовини, а й правильною побудовою

системи обробок протягом усього періоду вегетації. У практиці рослинництва застосовуються багатоступеневі схеми, що включають протруювання насіння, ґрунтові та післясходові обробки, а також фунгіцидні й інсектицидні внесення у критичні фази розвитку культур.

У вирощуванні озимої пшениці в умовах Лісостепу типовою є схема, що починається з передпосівного протруювання насіння. Для цього використовуються системні фунгіциди, такі як тіабендазол або флудіоксоніл. Тіабендазол (метил 2-бензімідазолкарбамат) порушує процеси поділу клітин грибів, а флудіоксоніл (фенілпірольна сполука) блокує осморегуляцію патогенів. Таке поєднання забезпечує контроль корневих гнилей і сажкових хвороб на початкових етапах розвитку. У період кущення застосовуються гербіциди проти дводольних бур'янів, зокрема суміші 2,4-Д із дикамбою (3,6-дихлор-2-метоксибензойна кислота). Дикамба, як і 2,4-Д, імітує ауксини, але має ширший спектр дії, включаючи стійкі види бур'янів. Важливо дотримуватися температурного режиму (зазвичай +10...+20 °C), оскільки при нижчих температурах ефективність знижується [19].

У фазі виходу в трубку проводиться перша фунгіцидна обробка. Часто застосовується комбінація тебуконазолу та азоксистробіну, що дозволяє одночасно контролювати як внутрішньотканинні, так і поверхневі інфекції. У фазі колосіння додається друга обробка, спрямована на контроль фузаріозу колоса, де ефективними є протіоконазол або метконазол (похідні триазолів).

У степовій зоні, де кліматичні умови більш жорсткі, схема захисту кукурудзи має свої особливості. Перед посівом часто застосовується гліфосат для очищення поля від бур'янів. Після появи сходів, у фазі 3–5 листків, вносять гербіциди на основі нікосульфурону (сульфонілсечовина), який інгібує фермент ацетолактатсинтазу. Він ефективний проти злакових бур'янів, зокрема мишію та пирію. У цій же культурі важливим є контроль ґрунтових шкідників. Для цього використовують інсектицидні протруйники на основі тіаметоксаму або імідаклоприду. Тіаметоксам (неонікотиноїд) має системну дію і захищає рослини від комплексу шкідників протягом перших 3–4 тижнів

розвитку. У разі масового розвитку листогризучих шкідників додатково застосовуються піретроїди, наприклад дельтаметрин, який забезпечує швидкий «нокаут-ефект». У посівах соняшнику в степу широко застосовуються системи, пов'язані зі стійкими до гербіцидів гібридами. Наприклад, використання імазамоксу дозволяє контролювати як злакові, так і дводольні бур'яни після сходів культури. Водночас у період бутонізації можуть проводитися фунгіцидні обробки проти склеротиніозу та фомозу. Для цього застосовують карбендазим (метилбензімідазол-2-ілкарбамат), який порушує мітоз клітин грибів [11].

У зоні Полісся схеми захисту значною мірою орієнтовані на боротьбу з грибковими хворобами через підвищену вологість. У вирощуванні картоплі типовою є багаторазова фунгіцидна система. Перша обробка проводиться препаратами контактної дії, такими як манкоцеб, у фазі змикання рядків. Надалі застосовуються системні фунгіциди, зокрема металаксил (метиловий ефір N-(2,6-диметилфеніл)-N-(метоксиацетил)-аланіну), який ефективний проти збудника фітофторозу. У наступних обробках часто використовуються комбіновані препарати, що поєднують контактну і системну дію. Це дозволяє не лише лікувати вже наявну інфекцію, а й захищати новий приріст. Інтервали між обробками становлять 7–10 днів залежно від погодних умов.

У садівництві Полісся та Лісостепу застосовуються схеми, що включають ранньовесняні обробки мідьвмісними препаратами (сульфат міді або гідроксид міді) для знищення зимуючих стадій патогенів. У період вегетації використовуються системні фунгіциди, такі як дифеноконазол, який ефективний проти парші та інших грибкових хвороб. Його дія пов'язана з інгібуванням синтезу стеролів у клітинах грибів. Комбінування різних груп препаратів є ключовим елементом сучасних схем захисту. Наприклад, поєднання триазолів і стробілуринів дозволяє одночасно впливати на різні біохімічні процеси в клітинах патогенів, що знижує ризик розвитку резистентності. Аналогічно, комбінування гербіцидів із різними механізмами

дії (наприклад, ALS-інгібітори та інгібітори фотосинтезу) забезпечує більш повний контроль бур'янів [13].

Однак у практиці застосування хімічних засобів в Україні існує проблема формування резистентності у шкідливих організмів. Наприклад, тривале використання сульфонілсечовин (нікосульфурон, трибенурон-метил) призвело до появи стійких популяцій бур'янів у деяких регіонах. Це змушує аграріїв змінювати схеми захисту та чергувати препарати з різними механізмами дії. Ще одним важливим аспектом є ризик фітотоксичності. Наприклад, застосування гербіцидів на основі 2,4-Д у підвищених нормах або за несприятливих погодних умов може призводити до пошкодження культурних рослин, особливо на ранніх стадіях розвитку. У зв'язку з цим необхідно суворо дотримуватися регламентів застосування.

У сучасній практиці рослинництва України хімічний захист рослин широко застосовується не лише в базових культурах, таких як пшениця чи кукурудза, але й у більш спеціалізованих напрямках – вирощуванні ріпаку, сої, овочевих культур та багаторічних насаджень. Для кожної з цих культур сформовані специфічні системи застосування пестицидів, які враховують як біологічні особливості рослин, так і регіональні кліматичні умови.

У вирощуванні озимого ріпаку в умовах Лісостепу та Полісся значну роль відіграють інсектицидні обробки, спрямовані на контроль хрестоцвітих блішок, ріпакового квіткоїда та стеблових прихованохоботників. На ранніх етапах розвитку культури часто застосовуються протруйники насіння на основі тіаметоксаму або клотіанідину. Ці неонікотиноїди забезпечують системний захист рослин у період сходів, коли культура є найбільш вразливою. У фазі бутонізації ріпаку проводяться обробки інсектицидами контактної дії, зокрема дельтаметрином або альфа-циперметрином. Ці речовини належать до групи синтетичних піретроїдів і забезпечують швидке знищення шкідників. Водночас через короткий період захисної дії їх застосування часто повторюється залежно від чисельності шкідників [12].

Фунгіцидний захист ріпаку включає використання триазолів, таких як метконазол або тебуконазол. Окрім контролю хвороб (фомоз, альтернаріоз), ці речовини мають ретардантний ефект – вони пригнічують надмірний ріст рослин, сприяючи формуванню компактної розетки восени. Це особливо важливо в умовах м'якої осені в Україні, коли ріпак може переростати.

У вирощуванні сої, особливо в центральних і південних регіонах, ключову роль відіграє гербіцидний захист. Через повільний початковий ріст культура є слабким конкурентом для бур'янів. Для контролю дводольних бур'янів застосовують гербіциди на основі бентазону (3-ізопропіл-1Н-2,1,3-бензотіадіазин-4(3Н)-он-2,2-діоксид), який інгібує фотосинтез. Проти злакових бур'янів використовуються грамініциди, зокрема хізалофоп-П-етил, який порушує синтез жирних кислот у клітинах бур'янів. У посівах сої також застосовуються ґрунтові гербіциди, такі як прометрин, який створює гербіцидний екран у верхньому шарі ґрунту. Це дозволяє контролювати бур'яни ще до їх появи. Ефективність таких препаратів значною мірою залежить від вологості ґрунту, що є критичним фактором у степових регіонах [10].

В овочівництві, зокрема при вирощуванні томатів і огірків у відкритому ґрунті, застосовується широкий спектр фунгіцидів та інсектицидів. Для контролю фітофторозу та альтернаріозу використовуються препарати на основі хлороталонілу або цимоксанілу. Хлороталоніл є контактним фунгіцидом, що порушує дихальні процеси грибів, тоді як цимоксаніл має локально-системну дію і здатний проникати у тканини рослин.

У боротьбі з шкідниками овочевих культур широко застосовуються інсектициди з різними механізмами дії. Наприклад, спіносад (продукт ферментації бактерій) впливає на нервову систему комах і застосовується проти трипсів і гусениць. Хоча він має біологічне походження, у практиці класифікується як інсектицид і використовується в інтегрованих системах захисту [12].

У садівництві значна увага приділяється системному захисту протягом усього сезону. Окрім мідьвмісних препаратів, застосовуються сучасні фунгіциди, такі як піриметаніл, який порушує синтез амінокислот у грибів. Він ефективний проти сірої гнилі та парші. У боротьбі зі шкідниками використовуються інсектициди на основі ацетаміприду, який має системну дію і ефективний проти попелиць і плодожерок. Водночас застосування хімічних засобів захисту рослин в Україні супроводжується низкою екологічних і технологічних обмежень. Одним із ключових є накопичення залишків пестицидів у ґрунті. Наприклад, тривале використання препаратів із групи триазинів може призводити до їх акумуляції, що впливає на мікробіологічну активність ґрунту [19].

Іншим важливим аспектом є ризик забруднення водних ресурсів. У регіонах із високим рівнем опадів, таких як Полісся, частина внесених препаратів може вимиватися у ґрунтові води. Це особливо актуально для водорозчинних сполук, таких як нітрати або деякі гербіциди.

Значною проблемою є також вплив пестицидів на нецільові організми, зокрема запилювачів. Наприклад, застосування неонікотиноїдів у період цвітіння може негативно впливати на бджіл. У зв'язку з цим в Україні діють обмеження щодо строків внесення таких препаратів. Ще одним обмеженням є залежність ефективності препаратів від погодних умов. У степових регіонах висока температура і низька вологість можуть знижувати ефективність гербіцидів через швидке випаровування робочого розчину. У той же час у Поліссі надлишок вологи може призводити до змивання препаратів із поверхні рослин.

Практичні труднощі пов'язані також із необхідністю точного дотримання норм і строків внесення. Перевищення доз може призводити до фітотоксичності, тоді як занижені норми сприяють розвитку резистентності у шкідливих організмів. Наприклад, повторне використання одного й того ж гербіциду може спричинити появу стійких популяцій бур'янів, що вже спостерігається у деяких регіонах України [13].

У висновку, хімічні засоби захисту рослин відіграють важливу роль у забезпеченні продуктивності сільського господарства України. Їх застосування має чітко виражену регіональну специфіку та базується на використанні широкого спектра діючих речовин із різними механізмами дії. Водночас ефективність і безпечність їх використання визначається дотриманням технологічних регламентів, врахуванням природно-кліматичних умов і впровадженням принципів раціонального використання пестицидів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ

2.1. Сучасний стан ринку біологічних засобів захисту рослин

На сьогодні ринок біологічних засобів захисту рослин формується як важливий сектор сучасного рослинництва. Біопрепарати включають продукти на основі живих організмів або їхніх метаболітів, що застосовуються для контролю шкідників, хвороб та бур'янів з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Попит на біологічні засоби зростає через підвищення вимог до безпеки харчових продуктів, обмеження використання синтетичних пестицидів та розвиток екологічного землеробства. Світовий ринок біопрепаратів демонструє стабільне зростання, оскільки біопродукти є пріоритетними для органічного та інтегрованого землеробства [16].

В Україні ринок біологічних засобів знаходиться на ранній стадії формування, але вже демонструє ознаки активного розвитку. На ринку наявні сотні найменувань біопрепаратів, які виробляються як вітчизняними підприємствами, так і імпортуються. Частка біопрепаратів у загальному обсязі засобів захисту рослин поки що менша за частку хімічних продуктів, але вона поступово зростає через зацікавленість агровиробників у безпечних і ефективних технологіях. Основними обмеженнями розвитку є недостатня обізнаність аграріїв про наявні продукти, складність реєстрації та обмежене фінансування наукових розробок нових біоагентів [10].

Структура ринку біологічних засобів включає біофунгіциди, біоінсектициди, біоакарициди, біогербіциди, біостимулятори росту та інокулянти для ґрунту. Переважна частина продукції на ринку базується на мікроорганізмах, таких як бактерії, мікроміцети та стрептоміцети, що виконують одночасно фунгіцидну та стимулюючу роль. Популярність цих продуктів пояснюється їх ефективністю у інтегрованих системах захисту рослин, безпечністю для людей та навколишнього середовища. Проте біопрепарати частіше мають вищу вартість порівняно з хімічними аналогами,

а також потребують ретельного дотримання умов застосування для досягнення високої ефективності [18]. Зважаючи на різноманітність біопродуктів, їх можна порівняти за кількома критеріями, такими як механізм дії, ефективність і вартість (таб.2.1).

Таблиця 2.1

Порівняння основних біологічних засобів захисту рослин

<i>Категорія біопрепарату</i>	<i>Механізм дії</i>	<i>Приклад продукту</i>	<i>Ефективність</i>	<i>Орієнтовна ціна</i>
<i>Біоінсектициди</i>	Контроль комах через токсини або харчову конкуренцію	Препарати на основі <i>Bacillus thuringiensis</i>	Висока проти конкретних шкідників	Середня–висока
<i>Біофунгіциди</i>	Антагонізм із патогенними грибами	<i>Trichoderma</i> -мікроорганізми	Добра у запобіжних схемах	Середня
<i>Біоакарициди</i>	Контроль кліщів та паразитів	Мікробні формуляції	Помірна–добра залежно від виду	Середня
<i>Біогербіциди</i>	Специфічна дія на бур'яни	Спеціальні мікроорганізми	Обмежена ефективність	Вища за хімічні

Попит на біологічні засоби захисту рослин зростає, зокрема серед виробників органічної продукції та тих, хто застосовує інтегровані технології захисту. Розширення ринку біопрепаратів потребує вдосконалення регуляторного середовища, підтримки наукових розробок та ширшої інформаційної підтримки для агровиробників. В умовах підвищення екологічної свідомості та інтеграції сталих технологій у рослинництво частка біологічних засобів у загальному сегменті засобів захисту рослин буде продовжувати зростати [17].

Ринок біопрепаратів демонструє позитивну динаміку, але для його повноцінного розвитку необхідно створити сприятливі умови для реєстрації нових препаратів, підтримки виробників та інтеграції біологічних засобів у практичні технології захисту рослин. Розширення сегмента біопродуктів сприятиме екологізації рослинництва, зменшенню хімічного навантаження на довкілля та підвищенню якості сільськогосподарської продукції. Таким чином, сучасний стан ринку біологічних засобів захисту рослин характеризується активним зростанням, розвитком наукових досліджень та формуванням умов для широкого впровадження біопродуктів у практику аграрного виробництва.

2.2. Проблеми та фактори, що стримують використання біологічних засобів

Біологічні засоби захисту рослин стають все більш популярними в сучасному агровиробництві через їхню екологічну безпеку та здатність інтегруватися у системи інтегрованого захисту. Вони включають мікроорганізми, продукти їх метаболізму, ентомофагів, біоактивні сполуки та інші агенти, що здатні контролювати шкідників, хвороби та бур'яни. Незважаючи на очевидні переваги, їх використання обмежене рядом факторів, які формують бар'єри для широкого впровадження біопрепаратів у практику рослинництва [8].

Першим та одним із найбільш суттєвих факторів є ринкові та інституційні обмеження. В Україні ринок біологічних засобів поки що перебуває на стадії формування. Частина виробництва біопрепаратів здійснюється в умовах, які не гарантують стабільну якість продукції, а доступ до нових розробок часто ускладнений через недосконалі механізми реєстрації. Наприклад, вітчизняні мікробні препарати часто не проходять швидку державну реєстрацію, тоді як імпорتنі продукти підлягають складним сертифікаційним процедурам, що збільшує витрати виробників і затримує їх

потрапляння на ринок. Як наслідок, аграрії віддають перевагу традиційним хімічним засобам через наявність перевіреної ефективності та широкого асортименту [10].

Другим обмеженням є науково-технічні фактори, пов'язані зі специфікою біологічних агентів. Мікроорганізми, ентомофаги та інші біопрепарати значно чутливі до зовнішніх умов: температура, вологість, рівень сонячного опромінення та якість ґрунту можуть суттєво впливати на їхню активність. Наприклад, біоінсектициди на основі *Bacillus thuringiensis* ефективні проти конкретних видів гусениць лише у вологих умовах і при температурі від 20 до 30 °C. У посушливих або холодних регіонах їх використання може бути малоефективним, що обмежує практичне застосування таких засобів. Аналогічно, біофунгіциди на основі *Trichoderma* демонструють відмінні результати у лабораторних умовах, але на полі їхня активність залежить від взаємодії з природною мікрофлорою ґрунту, яка може пригнічувати або послаблювати дію препарату [7].

Третім критичним фактором є економічні та регуляторні бар'єри. Виробництво біологічних засобів потребує складних технологічних процесів, що забезпечують життєздатність і стабільність агентів. Це значно збільшує собівартість продукції, у порівнянні з синтетичними пестицидами. Крім того, процес реєстрації біопрепаратів часто потребує проведення додаткових досліджень безпеки для людей і довкілля, що подовжує терміни виходу продукту на ринок і підвищує фінансові ризики. Як приклад, біогербіциди на основі специфічних мікроорганізмів у деяких країнах проходять до 5–7 років сертифікаційних процедур перед тим, як потрапити у продаж, що гальмує розвиток сектору та стримує інвестиції в його розвиток [1].

Четвертим фактором є поведінкові та освітні обмеження серед аграріїв. Незважаючи на зростання популярності біопрепаратів, багато фермерів недостатньо обізнані про способи їх ефективного застосування. Часто спостерігається упереджене ставлення до біопродуктів через порівняно менший ефект у короткостроковій перспективі та відмінність від традиційних

хімічних препаратів. Наприклад, аграрії можуть уникати використання ентомофагів, побоюючись, що вони не зможуть забезпечити контроль шкідників у період активного розвитку комах. Додатково, відсутність системних тренінгів та практичних рекомендацій щодо поєднання біопрепаратів із традиційними технологіями захисту рослин створює бар'єри для їх широкого впровадження [3].

П'ятим важливим фактором є залежність ефективності від регіональних умов та інтеграції з іншими технологіями. Біопрепарати часто потребують комбінації з фізичними та агротехнічними методами контролю, такими як сівозміння, обробка ґрунту та контроль вологозабезпечення. Наприклад, застосування біоінсектицидів у моно-культурних посівах кукурудзи або соняшнику може бути недостатньо ефективним без одночасного використання методів раннього виявлення шкідників та оптимального терміну внесення. Крім того, у різних регіонах однаковий біопрепарат може давати різні результати через відмінності клімату та ґрунтових умов, що ускладнює стандартизацію застосування і прогнозування економічного ефекту [2].

Серед конкретних прикладів можна навести ситуації із застосуванням біоінсектицидів на основі *Bacillus thuringiensis* у господарствах південного степового регіону України. У сприятливі роки при високій вологості препарати показували ефективність понад 80 % проти шкідників, тоді як у посушливі роки результат знижувався до 40–50 %, що призводило до часткової відмови від їх використання. Аналогічно, біофунгіциди для контролю патогенних грибів у тепличних господарствах демонструють стабільну дію лише при точному дотриманні температурного режиму та вологості, що обмежує їх застосування на відкритих полях [4].(рис.2.1.)



Рис.2.1. Основні проблеми, що стримують використання біологічних засобів

Важливим аспектом є також неузгодженість стандартів і відсутність державної підтримки. У країнах із розвиненою системою органічного землеробства часто створені програми субсидування та інформаційної підтримки для виробників і фермерів, які застосовують біопрепарати. В Україні такі механізми поки що обмежені, що стримує активний розвиток ринку та інноваційних рішень у галузі біологічного захисту рослин [2].

Попри поступове зростання інтересу до екологічно безпечних технологій у сільському господарстві, біологічні засоби захисту рослин залишаються менш поширеними порівняно з хімічними препаратами. Їх впровадження в агровиробництво України відбувається нерівномірно і значно повільніше, ніж очікується з урахуванням екологічних переваг. Причиною цього є комплекс взаємопов'язаних проблем технологічного, економічного, організаційного та агрономічного характеру.

Однією з ключових проблем є нестабільність ефективності біологічних засобів у польових умовах. На відміну від хімічних препаратів, дія яких є

швидкою та відносно передбачуваною, біопрепарати залежать від великої кількості факторів навколишнього середовища. Наприклад, ентомопатогенні гриби та бактерії, які використовуються для контролю комах-шкідників, значно втрачають активність при високих температурах і низькій вологості. У степових регіонах України, де температура влітку часто перевищує +30 °С, ефективність таких засобів може знижуватися у кілька разів. Подібна ситуація спостерігається і з ентомопатогенними нематодами, які потребують вологого ґрунту для активного пересування: у посушливих умовах їх дія стає мінімальною.

Ще одним суттєвим обмеженням є короткий термін зберігання біологічних препаратів. Більшість із них містить живі організми – бактерії, гриби або віруси, життєздатність яких поступово знижується навіть за оптимальних умов зберігання. Наприклад, препарати на основі *Bacillus thuringiensis* або *Trichoderma* можуть втрачати значну частину активності при порушенні температурного режиму транспортування. У практиці агропідприємств це часто призводить до ситуацій, коли ефективність обробок виявляється нижчою за очікувану через використання «ослабленого» препарату.

Важливою проблемою є також повільна дія біологічних засобів. Якщо хімічні інсектициди здатні знищити шкідників протягом кількох годин або діб, то біологічні агенти потребують часу для розвитку та реалізації свого ефекту. Наприклад, після внесення трихограми для контролю лускокрилих шкідників результат стає помітним лише через кілька днів або навіть тиждень, оскільки процес паразитування яєць відбувається поступово. У ситуаціях масового спалаху шкідників така затримка може призвести до значних втрат урожаю.

Окрему групу проблем становлять економічні бар'єри. Виробництво біологічних засобів захисту потребує спеціалізованих біотехнологічних підприємств, лабораторій та контрольованих умов вирощування мікроорганізмів. Це підвищує собівартість продукції порівняно з хімічними аналогами. У результаті для багатьох господарств вартість біопрепаратів

залишається вищою або співставною з традиційними засобами, але при цьому з менш передбачуваним результатом. Наприклад, обробка гектару посівів біофунгіцидами може коштувати дорожче, ніж застосування стандартного системного фунгіциду з триазольної групи. До економічних проблем додається недостатній розвиток ринку біологічних засобів. У багатьох регіонах України доступ до якісних біопрепаратів обмежений, а асортимент є нерівномірним. Часто аграрії змушені використовувати продукцію невідомих виробників або з недостатньо підтвердженою ефективністю. Це формує недовіру до біологічних методів і стримує їх поширення. Додатково ускладнює ситуацію відсутність розвиненої мережі біофабрик, які могли б забезпечити стабільне виробництво ентомофагів та мікробіологічних препаратів у необхідних обсягах.

Ще одним важливим аспектом є психологічний фактор і традиційна орієнтація агровиробництва на хімічний захист. Багато аграріїв звикли до швидкого і візуально помітного ефекту пестицидів, тоді як біологічні засоби діють поступово і менш «видимо». Наприклад, після застосування інсектициду загибель шкідників спостерігається майже одразу, тоді як при використанні біологічних агентів процес контролю популяції є більш тривалим і менш очевидним. Це формує недовіру до біологічних методів, навіть за наявності позитивних агрономічних результатів у довгостроковій перспективі.

Окремо слід відзначити проблему інтеграції біологічних засобів у сучасні системи землеробства. Багато технологій вирощування культур спроектовані під використання хімічних препаратів, що ускладнює адаптацію біологічних методів. Наприклад, несумісність деяких фунгіцидів із живими мікроорганізмами може призводити до їх знищення при одночасному застосуванні. Це вимагає перегляду технологічних карт і більш складного планування систем захисту.

У висновку можна зазначити, що використання біологічних засобів захисту рослин обмежується комплексом взаємопов'язаних факторів:

ринковими та інституційними бар'єрами, науково-технічними обмеженнями, економічними та регуляторними складнощами, недостатньою обізнаністю аграріїв і залежністю ефективності від зовнішніх умов. Подолання цих факторів вимагає системного підходу: розвиток наукових досліджень, удосконалення технологій виробництва і формулювання препаратів, створення сприятливих механізмів реєстрації, інформаційної підтримки та навчання фермерів. Лише комплексне вирішення цих проблем дозволить забезпечити широке та ефективне використання біологічних засобів у сільському господарстві, зменшити навантаження на довкілля і сприяти сталому розвитку аграрного сектору.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

3.1. Аналіз експериментальної оцінки ефективності біологічних засобів захисту рослин

Для оцінки практичної доцільності використання біологічних засобів захисту рослин було проведено експериментальне дослідження, метою якого стало визначення ефективності біологічних препаратів у порівнянні з традиційними хімічними засобами захисту. Необхідність такого дослідження обумовлена зростаючим інтересом до екологічно безпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур, а також потребою у зменшенні негативного впливу пестицидів на довкілля, ґрунтові ресурси та здоров'я населення. Особливого значення це питання набуває в умовах сучасного розвитку аграрного сектору України, де поступово зростає частка господарств, орієнтованих на органічне виробництво та впровадження принципів сталого землеробства.

Для проведення дослідження було обрано три культури, які займають провідні позиції у структурі посівних площ України та мають важливе економічне значення: озиму пшеницю, сою та соняшник. Саме ці культури найбільш повно відображають особливості сучасного рослинництва, оскільки відрізняються біологічними властивостями, спектром поширених шкідників і хвороб, а також вимогами до технології вирощування. Водночас для кожної з них активно використовуються як хімічні, так і біологічні засоби захисту, що створює можливість для об'єктивного порівняння ефективності різних підходів.

В основу дослідження було покладено принцип порівняння двох систем захисту рослин. Перший варіант передбачав використання традиційної схеми із застосуванням хімічних препаратів, які широко використовуються у виробничій практиці. Другий варіант базувався на застосуванні біологічних препаратів, до складу яких входять корисні мікроорганізми, продукти їх

життєдіяльності та природні біологічно активні речовини. Для кожної культури оцінювалися показники розвитку хвороб, рівень пошкодження шкідниками, урожайність та економічна ефективність вирощування.

Під час оцінювання результатів особлива увага приділялася не лише здатності препаратів контролювати шкідливі організми, а й їхньому впливу на загальний стан рослин. Біологічні засоби часто характеризуються комплексною дією, яка проявляється не тільки у пригніченні патогенів, але й у стимулюванні ростових процесів, покращенні засвоєння поживних речовин і підвищенні стійкості рослин до несприятливих умов середовища. Саме тому оцінка ефективності біопрепаратів повинна враховувати не лише безпосередній захисний ефект, а й їхній вплив на продуктивність культури загалом.

Першим етапом експерименту стало дослідження ефективності біологічних засобів захисту при вирощуванні озимої пшениці. Ця культура є однією з найважливіших продовольчих культур України та займає значні площі в усіх агрокліматичних зонах країни. Основними проблемами під час її вирощування є розвиток грибкових захворювань, серед яких особливу небезпеку становлять септоріоз, борошниста роса, бура листкова іржа та фузаріоз колоса. Крім того, суттєвих втрат урожаю завдають попелиці, трипси та інші шкідники.

У контрольному варіанті застосовувалася традиційна система захисту з використанням фунгіцидів та інсектицидів хімічного походження. У дослідному варіанті використовувалися біологічні препарати на основі бактерій роду *Bacillus* та грибів роду *Trichoderma*, які здатні пригнічувати розвиток фітопатогенних мікроорганізмів і водночас позитивно впливати на ріст рослин. Спостереження за станом посівів проводилися протягом усього періоду вегетації.

Отримані результати свідчать, що обидві системи захисту забезпечили задовільний рівень контролю хвороб та шкідників. У варіанті з використанням хімічних препаратів рівень розвитку хвороб становив 10 %, тоді як у варіанті

з біологічними препаратами цей показник досягав 13 %. Різниця між варіантами виявилася незначною та не мала критичного впливу на загальний стан посівів. Аналогічна ситуація спостерігалася і щодо пошкодження рослин шкідниками. У контрольному варіанті пошкодження становило 5 %, тоді як у дослідному – 7 %.

Порівняння показників урожайності показало, що використання біологічних препаратів забезпечило отримання врожаю на рівні 5,8 т/га, тоді як у варіанті з хімічним захистом урожайність становила 6,1 т/га. Різниця склала лише 0,3 т/га, що свідчить про досить високу ефективність біологічних засобів навіть за умов дещо нижчого рівня контролю хвороб. Такий результат можна пояснити позитивним впливом корисних мікроорганізмів на розвиток кореневої системи та фізіологічний стан рослин (табл.2.2).

Таблиця 2.2

Результати оцінки ефективності систем захисту озимої пшениці

<i>Показник</i>	<i>Хімічний захист</i>	<i>Біологічний захист</i>
<i>Рівень розвитку хвороб, %</i>	10	13
<i>Пошкодження шкідниками, %</i>	5	7
<i>Урожайність, т/га</i>	6,1	5,8
<i>Витрати на захист, грн/га</i>	5300	4100

Важливим результатом дослідження стало встановлення суттєвої різниці у витратах на проведення захисних заходів. Використання біологічних препаратів дозволило скоротити витрати на захист посівів приблизно на 22–23 %, що позитивно впливає на економічну ефективність вирощування культури. Крім того, застосування біологічних препаратів практично не створює ризику накопичення токсичних залишків у ґрунті та рослинній продукції, що має особливе значення в умовах посилення вимог до безпечності продовольства.

Наступним етапом експериментального дослідження стало оцінювання ефективності біологічних засобів захисту під час вирощування сої. Останніми

роками ця культура посідає дедалі важливіше місце в структурі посівних площ України завдяки високому попиту на білкову сировину як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Соя є цінною зернобобовою культурою, яка не лише забезпечує виробництво високобілкової продукції, але й сприяє покращенню родючості ґрунту завдяки здатності вступати у симбіоз із бульбочковими бактеріями та фіксувати атмосферний азот. Разом із тим ефективне вирощування сої неможливе без належного захисту рослин від численних хвороб і шкідників, які можуть суттєво знижувати рівень урожайності та погіршувати якість насіння.

Серед найбільш поширених захворювань сої особливу небезпеку становлять пероноспороз, септоріоз, аскохітоз, фузаріоз та бактеріози. Значних економічних збитків також завдають павутинний кліщ, акацієва вогнівка, совки, попелиці та інші види шкідників. Традиційно для контролю цих організмів використовуються хімічні фунгіциди та інсектициди, проте їх систематичне застосування супроводжується низкою негативних наслідків, серед яких накопичення залишкових речовин у навколишньому середовищі, формування стійкості у шкідливих організмів та зниження біологічної активності ґрунту. Саме тому соя вважається однією з культур, для яких використання біологічних препаратів є особливо перспективним.

У межах експерименту для дослідного варіанта використовувалися комплексні біологічні препарати на основі бактерій *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* та азотфіксуючих мікроорганізмів, які поєднують захисні та стимулюючі властивості. Частина препаратів застосовувалася для передпосівної обробки насіння, а частина – для обробки посівів протягом вегетаційного періоду. Такий підхід дозволяє не лише знижувати поширення патогенів, а й активізувати природні механізми захисту рослин.

Під час проведення спостережень було встановлено, що розвиток хвороб у посівах сої суттєво залежав від погодних умов. У періоди підвищеної вологості спостерігалось активніше поширення грибкових інфекцій, однак навіть за таких умов біологічні препарати забезпечували достатній рівень

контролю. У контрольному варіанті рівень розвитку хвороб становив 9 %, тоді як у дослідному – 12 %. Незважаючи на певну різницю між варіантами, загальний фітосанітарний стан посівів залишався задовільним.

Аналіз чисельності шкідників показав схожу тенденцію. У варіанті із застосуванням хімічних препаратів рівень пошкодження рослин становив близько 4 %, тоді як у біологічному варіанті цей показник досягав 6 %. Водночас необхідно враховувати, що біологічні засоби захисту діють більш поступово порівняно з хімічними препаратами. Їх ефективність значною мірою залежить від стабільності популяцій корисних мікроорганізмів, температурного режиму та рівня вологості. Саме тому незначне збільшення пошкодження рослин не можна розглядати як свідчення низької ефективності біопрепаратів.

Особливий інтерес становили результати оцінки урожайності. У контрольному варіанті було отримано 3,4 т/га насіння сої, тоді як у дослідному варіанті урожайність становила 3,2 т/га. Таким чином, різниця між системами захисту склала лише 0,2 т/га. З практичної точки зору така різниця є відносно незначною, особливо якщо враховувати екологічні переваги біологічних препаратів та нижчий рівень пестицидного навантаження на агроєкосистему (табл.2.3.).

Таблиця 2.3

Результати оцінки ефективності систем захисту сої

<i>Показник</i>	<i>Хімічний захист</i>	<i>Біологічний захист</i>
<i>Рівень розвитку хвороб, %</i>	9	12
<i>Пошкодження шкідниками, %</i>	4	6
<i>Урожайність, т/га</i>	3,4	3,2
<i>Витрати на захист, грн/га</i>	4900	3700

Розрахунок економічних показників засвідчив, що застосування біологічних препаратів дозволило скоротити прямі витрати на захист посівів

приблизно на 24 %. Для виробників сої цей фактор має особливе значення, оскільки рівень рентабельності культури суттєво залежить від вартості технологічних операцій та засобів виробництва. Зменшення витрат на захист дає можливість частково компенсувати незначне зниження урожайності та підвищити загальну економічну ефективність виробництва.

Під час аналізу отриманих результатів також було відзначено позитивний вплив біологічних препаратів на загальний фізіологічний стан рослин. У дослідному варіанті спостерігалось більш інтенсивне формування кореневої системи, кращий розвиток бульбочкових бактерій та вищий рівень азотфіксації. У результаті рослини демонстрували підвищену стійкість до короточасних посушливих періодів, які нерідко спостерігаються в умовах сучасних кліматичних змін. Цей ефект має важливе значення, оскільки дозволяє підвищити адаптивність агроценозів до несприятливих факторів середовища.

Не менш важливим є той факт, що використання біологічних препаратів сприяє збереженню корисної ґрунтової мікрофлори. На відміну від багатьох хімічних засобів захисту, біопрепарати не пригнічують діяльність корисних мікроорганізмів і не порушують природні процеси трансформації органічної речовини. У довгостроковій перспективі це позитивно впливає на родючість ґрунту та сприяє формуванню більш стійких агроecosистем.

Результати проведеного дослідження підтверджують, що біологічні засоби захисту можуть ефективно застосовуватися під час вирощування сої як самостійний елемент екологічно орієнтованих технологій або як складова інтегрованих систем захисту рослин. Хоча їх захисна дія дещо поступається окремим хімічним препаратам, отримані показники урожайності свідчать про можливість успішного використання біопрепаратів без суттєвих втрат продуктивності. Враховуючи екологічні переваги, нижчі витрати та позитивний вплив на ґрунтову біоту, їх застосування є перспективним напрямом розвитку сучасного соєвиробництва.

Завершальним етапом експериментального дослідження стала оцінка ефективності біологічних засобів захисту під час вирощування соняшнику. Вибір цієї культури обумовлений її винятковим значенням для аграрного сектору України. Соняшник протягом багатьох років залишається однією з провідних технічних культур країни та займає значні площі у більшості регіонів. Висока рентабельність виробництва, стабільний попит на насіння та продукти його переробки сприяють постійному розширенню посівних площ. Водночас інтенсивне вирощування соняшнику супроводжується значними фітосанітарними ризиками, що зумовлює необхідність застосування ефективних систем захисту рослин.

Серед основних захворювань соняшнику найбільш поширеними є несправжня борошниста роса, фомоз, фомопсис, сіра та біла гнилі, альтернаріоз і різні види бактеріозів. Значної шкоди посівам також завдають дротяники, лучний метелик, совки, попелиці та інші шкідники. У традиційних технологіях вирощування для боротьби з ними широко використовуються фунгіциди, інсектициди та протруйники хімічного походження. Проте в умовах посилення вимог до екологічної безпеки виробництва дедалі більше уваги приділяється використанню біологічних засобів, які дозволяють зменшити антропогенне навантаження на агроєкосистеми.

У межах експерименту в дослідному варіанті застосовувалися біологічні препарати на основі бактерій роду *Bacillus*, грибів *Trichoderma* та комплексу природних метаболітів, які мають фунгіцидні та стимулюючі властивості. Передбачалося проведення передпосівної обробки насіння та декількох профілактичних обробок посівів протягом вегетаційного періоду. У контрольному варіанті використовувалася традиційна схема захисту із застосуванням хімічних препаратів відповідно до поширених виробничих рекомендацій.

Результати спостережень показали, що соняшник виявився більш чутливим до різниці між системами захисту порівняно з пшеницею та соєю. Це пояснюється високою залежністю культури від ефективного контролю

грибкових інфекцій, особливо в періоди підвищеної вологості. У варіанті з використанням хімічних препаратів рівень розвитку основних захворювань становив 11 %, тоді як у варіанті з біологічним захистом цей показник досягав 15 %. Незважаючи на певне збільшення поширення хвороб, загальний стан посівів залишався задовільним і не призвів до критичного зниження продуктивності рослин.

Аналіз пошкодження шкідниками також продемонстрував перевагу традиційної системи захисту. У контрольному варіанті частка пошкоджених рослин становила близько 6 %, тоді як у дослідному варіанті вона досягала 8 %. Водночас необхідно враховувати, що головною метою використання біологічних препаратів є не повне знищення популяцій шкідників, а підтримання їх чисельності на економічно безпечному рівні. Такий підхід відповідає принципам інтегрованого захисту рослин і дозволяє зберігати природні механізми саморегуляції агроєкосистем.

Оцінка урожайності показала, що в контрольному варіанті було отримано 3,1 т/га насіння соняшнику, тоді як у варіанті з використанням біологічних препаратів урожайність становила 2,9 т/га. Таким чином, різниця між варіантами склала 0,2 т/га. Отриманий результат свідчить про те, що навіть за дещо нижчого рівня захисту біологічні препарати здатні забезпечувати досить високі показники продуктивності культури. (табл.2.4.).

Таблиця 2.4

Результати оцінки ефективності систем захисту соняшнику

<i>Показник</i>	<i>Хімічний захист</i>	<i>Біологічний захист</i>
<i>Рівень розвитку хвороб, %</i>	11	15
<i>Пошкодження шкідниками, %</i>	6	8
<i>Урожайність, т/га</i>	3,1	2,9
<i>Витрати на захист, грн/га</i>	5800	4400

Економічний аналіз показав, що застосування біологічних препаратів дозволило знизити витрати на захист приблизно на 24 %. За сучасних умов господарювання цей показник має важливе значення, оскільки вартість засобів захисту рослин є однією з найбільших статей виробничих витрат. Зменшення фінансового навантаження створює додаткові можливості для підвищення економічної стійкості підприємств та зниження собівартості продукції.

Після завершення дослідження було проведено узагальнення результатів щодо всіх трьох культур. Порівняльний аналіз показав, що в усіх випадках хімічна система захисту забезпечувала дещо кращий контроль хвороб і шкідників. Проте різниця в урожайності між варіантами виявилася значно меншою, ніж можна було очікувати. Це свідчить про те, що біологічні препарати компенсують частину захисного ефекту завдяки стимулюванню фізіологічних процесів у рослинах, покращенню живлення та підвищенню стійкості до стресових факторів (табл.2.5.).

Таблиця 2.5

Порівняльна оцінка результатів експерименту

<i>Культура</i>	<i>Урожайність при хімічному захисті, т/га</i>	<i>Урожайність при біологічному захисті, т/га</i>	<i>Різниця, т/га</i>
<i>Озима пшениця</i>	6,1	5,8	0,3
<i>Соя</i>	3,4	3,2	0,2
<i>Соняшник</i>	3,1	2,9	0,2

Порівняння результатів дозволяє зробити висновок, що найменша різниця між системами захисту спостерігалася при вирощуванні сої та соняшнику, тоді як для озимої пшениці вона була дещо більшою. Водночас у жодному випадку зниження урожайності не перевищувало 5 %, що свідчить про високий потенціал біологічних засобів захисту як альтернативи або доповнення до традиційних хімічних препаратів.

Важливим результатом дослідження стало підтвердження екологічних переваг біологічних препаратів. Їх використання сприяє зменшенню пестицидного навантаження на ґрунт, поверхневі та підземні води, збереженню біорізноманіття та корисної ентомофауни. На відміну від багатьох синтетичних препаратів, біологічні засоби швидко розкладаються в навколишньому середовищі та не накопичуються в рослинній продукції. Це особливо актуально в умовах сучасних екологічних викликів та посилення вимог до якості продовольства.

Проведене експериментальне дослідження підтвердило, що біологічні засоби захисту рослин можуть забезпечувати достатньо високий рівень ефективності при вирощуванні озимої пшениці, сої та соняшнику. Незважаючи на певне зниження показників захисту порівняно з традиційними хімічними препаратами, їх застосування супроводжується суттєвими екологічними та економічними перевагами. Отримані результати свідчать про доцільність подальшого розширення використання біологічних препаратів у сучасному агровиробництві та підтверджують перспективність їх інтеграції до систем сталого та екологічно орієнтованого землеробства.

3.2. Удосконалення технологій застосування біологічних препаратів

Використання біологічних засобів захисту рослин у сучасному агровиробництві є одним із ключових напрямів зменшення хімічного навантаження на довкілля та підвищення якості врожаю. Біопрепарати, які включають мікроорганізми, ентомофагів, біоактивні сполуки та продукти їх метаболізму, демонструють високу специфічність і здатність до інтеграції в системи інтегрованого захисту. Однак ефективність їх використання значною мірою залежить від технології внесення, умов довкілля та сумісності з агротехнічними прийомами. Сьогодні удосконалення технологій застосування біопрепаратів є основним фактором підвищення їх практичної цінності та комерційної привабливості [9].

Аналіз історичної динаміки використання засобів захисту рослин в Україні свідчить про суттєве скорочення пестицидного навантаження у 1990х роках (рис.3.1). Так, у період з 1991 по 2000 рік показник зменшився з 2,7 кг/га до 0,4 кг/га, тобто більш ніж у 6 разів. Це було зумовлено економічною кризою, зниженням рівня інтенсифікації сільського господарства та обмеженими можливостями аграріїв щодо придбання хімічних засобів захисту рослин. (рис 3.1.)

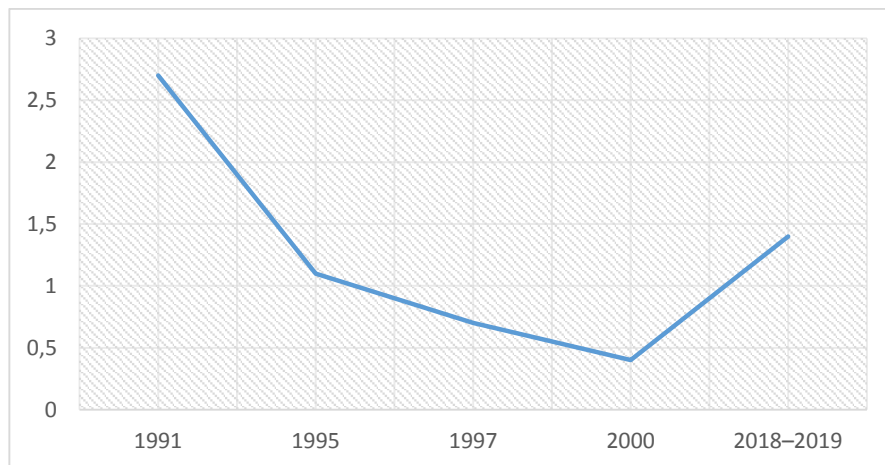


Рис. 3.1. Використання ЗЗР в Україні

Водночас у 2018–2019 роках спостерігається відновлення рівня застосування ЗЗР до 1,4 кг/га, що свідчить про поступову інтенсифікацію аграрного виробництва, впровадження сучасних технологій вирощування культур та підвищення ролі хімічного захисту рослин у забезпеченні врожайності.

Результати свідчать про перехід від різкого спаду використання ЗЗР у 1990-х роках до стабілізації та помірному зростанню їх застосування у сучасний період. Це відображає тенденцію до відновлення та розвитку аграрного сектору України на засадах інтенсивного землеробства, водночас актуалізуючи необхідність раціонального та екологічно безпечного використання пестицидів (рис.3.2.).

Одним із основних напрямів удосконалення є оптимізація способів внесення біологічних агентів. Відомо, що мікроорганізми та ентомофаги

надзвичайно чутливі до зовнішніх умов: температура, вологість, сонячне опромінення та структура листової поверхні впливають на їх життєздатність і активність. Традиційні методи обприскування не завжди забезпечують рівномірне покриття та глибоке проникнення агентів у рослину, що знижує ефективність препарату.

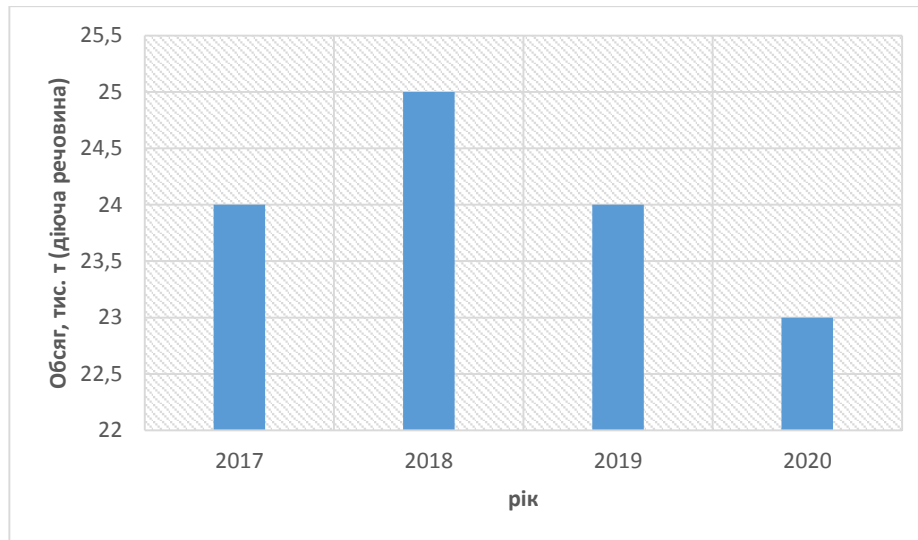


Рис. 3.2. Використання пестицидів в Україні

Сучасні технології включають використання низького об'єму робочої рідини (LV), ультрамалих об'ємів (ULV), систем точкового внесення та капсульованих форм мікроорганізмів, які підвищують стійкість біоагентів до несприятливих умов і забезпечують тривалу активність на поверхні листка [6].

Другим важливим аспектом є покращення фізико-хімічних характеристик робочих розчинів і формуляцій. Для підвищення адгезії та виживання мікроорганізмів використовують спеціальні носії, стабілізатори та субстрати, які дозволяють зберігати життєздатність біоагентів під час транспортування і внесення. Наприклад, використання біополімерних матриць і мікрокапсул забезпечує поступове звільнення активного агента, що дозволяє продовжити його дію і знизити кількість обробок. Також застосовуються водорозчинні добавки, що зменшують швидкість висихання робочого розчину та підвищують ефективність покриття листової поверхні [27].

Третім напрямом удосконалення є інтеграція біопрепаратів у комплексні агротехнологічні системи. Біологічні агенти найбільш ефективні у поєднанні з агротехнічними прийомами, такими як сівозміна, оптимізація строків посіву, контроль вологозабезпечення та моніторинг шкідників і хвороб. Наприклад, застосування біоінсектицидів проти гусениць у посівах кукурудзи найбільш ефективне, коли їх поєднують із системою раннього виявлення шкідників та обробкою насіння. Подібним чином, біофунгіциди на основі *Trichoderma* або *Bacillus subtilis* демонструють стабільну дію лише при точному дотриманні оптимального режиму внесення та взаємодії з іншими компонентами системи захисту [22].

Важливою складовою є також використання сучасних засобів точного землеробства для підвищення ефективності біопрепаратів. Сучасні оприскувачі із GPS-контролем, системами автоматичного регулювання об'ємів та швидкості внесення дозволяють рівномірно розподіляти біоагенти на всій площі посіву. Це зменшує втрати препарату, підвищує економічну ефективність і знижує навантаження на довкілля. В окремих випадках застосовують дрони для точкового внесення біопрепаратів на окремі ділянки із високою концентрацією шкідників або патогенів [9].

Наступним напрямом є покращення зберігання та транспортування біопрепаратів. Біологічні агенти потребують дотримання певних умов температури та вологості. Використання морозостійких та висушених формулювань, мікрокапсулювання та спеціальних упаковок дозволяє продовжити термін зберігання та забезпечити стабільну ефективність препарату під час транспортування на великі відстані [22]. В (табл.3.1.) зазначена ефективність різних технологій внесення біологічних препаратів.

Удосконалення технологій застосування біопрепаратів є ключовим фактором підвищення ефективності інтегрованого захисту рослин. Комплексний підхід, що включає оптимізацію методів внесення, покращення формуляцій, інтеграцію з агротехнічними заходами, використання сучасних засобів точного землеробства та контроль умов зберігання, дозволяє

максимально реалізувати потенціал біологічних агентів. Систематичне застосування таких технологій дозволяє зменшити хімічне навантаження, підвищити стійкість культур до шкідників і хвороб, а також забезпечити економічну та екологічну ефективність агровиробництва [25].

Таблиця 3.1

Ефективність різних технологій внесення біологічних препаратів

<i>Вид біопрепарату</i>	<i>Спосіб внесення</i>	<i>Механізм дії</i>	<i>Ефективність</i>	<i>Особливості застосування</i>
<i>Bacillus thuringiensis</i> (біоінсектицид)	Обприскування LV/ULV, дрони	Токсини діють на шлунок гусениць	70–90 % при оптимальних умовах	Вологість >50 %, температура 20–30 °C
<i>Trichoderma spp.</i> (біофунгіцид)	Обприскування, обробка насіння	Антагонізм до патогенних грибів	60–80 % залежно від ґрунту	Потребує контроль вологості та pH ґрунту
<i>Bacillus subtilis</i> (біофунгіцид)	Обприскування, додавання до ґрунту	Індукує імунітет рослини, пригнічує патогени	65–85 %	Може застосовуватися в суміші з агротехнічними методами
<i>Ентомофаги</i> (<i>Trichogramma spp.</i>)	Випуск комах у поле	Хижацька дія на шкідників	50–75 %	Тільки в період активності шкідників, чутливі до клімату

Загалом, удосконалення технологій внесення біопрепаратів є невід’ємною складовою розвитку сучасного сільського господарства, що сприяє зниженню екологічних ризиків та підтримці сталого розвитку аграрного сектору. Застосування комплексного підходу до інтеграції біопрепаратів у систему захисту рослин забезпечує ефективність і надійність, створюючи умови для поступового зростання їх використання в Україні та світі.

3.2. Перспективи розвитку біологічного захисту рослин

Біологічний захист рослин стає одним із ключових напрямів трансформації аграрних технологій у ХХІ столітті. У відповідь на глобальні виклики – зростання потреби у безпечній продовольчій продукції, обмеження застосування синтетичних пестицидів, зміни клімату та вимоги сталого землеробства – біологічні засоби набувають нової ролі не лише як альтернатива хімічним пестицидам, а як невід’ємний компонент інтегрованих систем захисту рослин. Перспективи їх розвитку визначаються одночасно науково-технічними, економічними та практичними чинниками [12].(рис.3.3.)

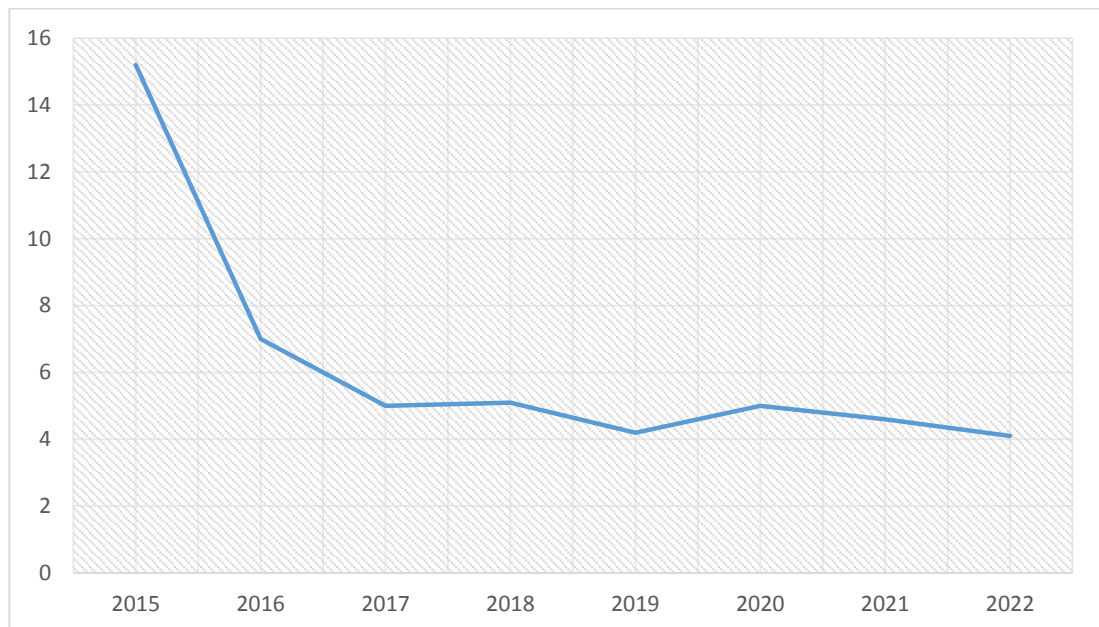


Рис. 3.3. Частка біологічних методів у загальних обсягах захисту сільськогосподарських культур в Україні, %

Аналіз українського ринку біологічних засобів захисту рослин є ускладненим через відсутність повної статистики щодо обсягів їх виробництва та використання як у натуральному, так і у вартісному вимірі. Наявні статистичні дані охоплюють переважно площі, оброблені засобами захисту (як хімічними, так і біологічними). На їх основі можна зробити висновок про

подальше скорочення частки біологічних методів у загальній структурі захисту рослин, яка станом на 2020 рік становила лише близько 3,6%.

Однією з головних перспектив є інноваційні технології створення та застосування біопрепаратів, що підвищують їх ефективність і стабільність у польових умовах. (рис.3.4.) Наприклад, розробка нових формуляцій на основі мікрокапсулювання дозволяє забезпечити поступове вивільнення активних біоагентів, що збільшує тривалість їх дії та зменшує потребу у частих обробках. У фермерських господарствах України та Європи вже тестуються капсульовані бактерії, штами яких здатні пригнічувати грибкові патогени протягом декількох тижнів після одного внесення. Це дає змогу не лише знизити витрати часу та робочої сили, а й уникнути піків захворюваності на культурах [17].

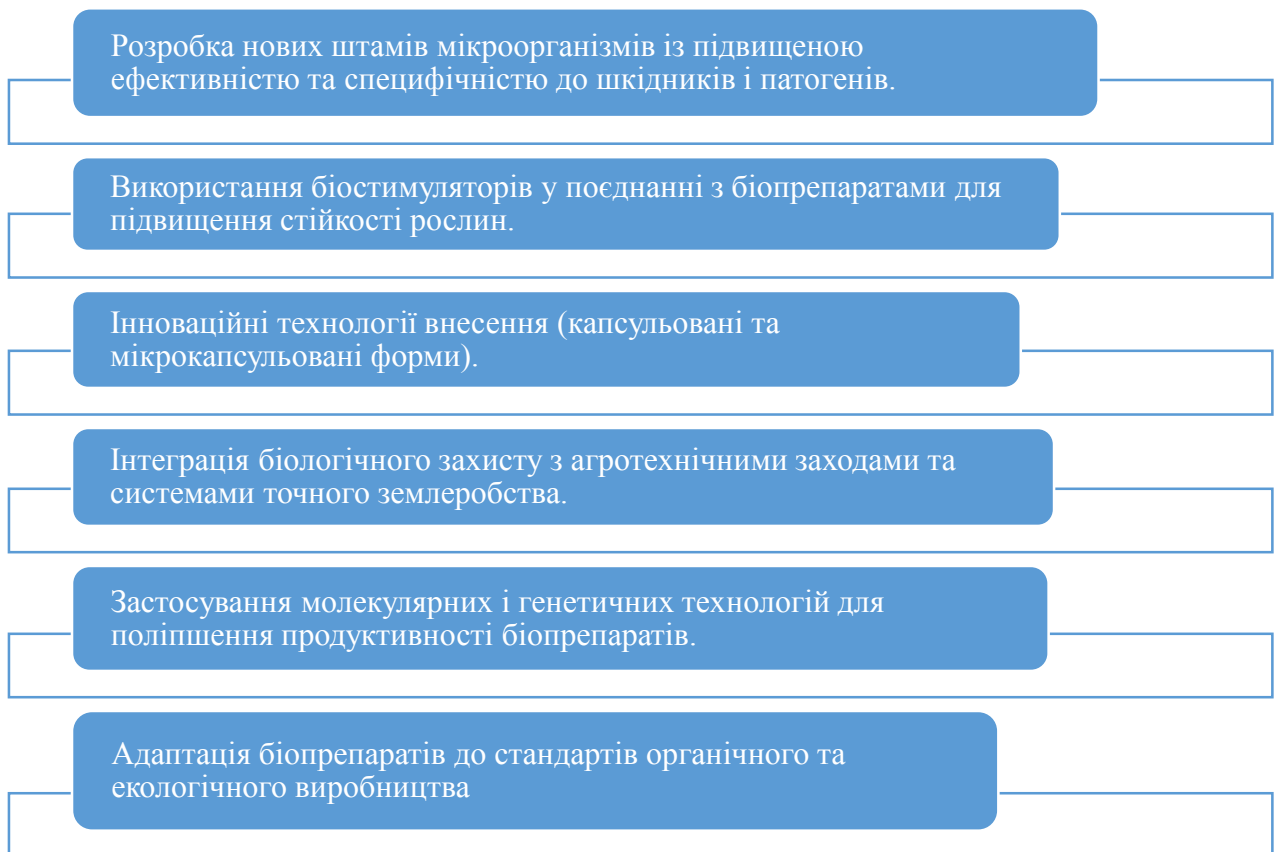


Рис.3.4. Перспективні напрями розвитку біологічного захисту рослин

Другий важливий напрям – диференційоване застосування біопрепаратів згідно з фенологією культури та активністю шкідників і хвороб.

Сучасні датчики та системи дистанційного моніторингу дозволяють визначати оптимальні фази розвитку рослини чи появи шкідника, коли внесення біологічних агентів дає максимум ефекту. Наприклад, застосування біоінсектицидів на основі бактерій *Bacillus thuringiensis* у фазі масових літів гусениць кукурудзяного стеблового метелика забезпечує практично повну їхню загибель, тоді як обробка на ранніх стадіях часто не дає бажаного результату. Подібні підходи виявилися ефективними і щодо контролю хвороб зернових культур: внесення біофунгіцидів на початку фази кушіння може значно знизити ризик розвитку септоріозу та бурї іржі [11].

Ще однією перспективою є поєднання біологічних засобів із традиційними агротехнічними практиками. Біологічні препарати найбільш ефективні в інтеграції із сівозмінами, оптимізацією строків сівби, механічним контролем бур'янів та іншими агротехнічними заходами. В польових дослідках аграрні підприємства відзначають, що комбіноване внесення біопрепаратів із системою точкового мульчування або міжрядного обробітку ґрунту може знизити кількість шкідників у 1,5–2 рази порівняно з використанням біопрепаратів окремо. Це свідчить про те, що біологічний захист варто розглядати не як окрему опцію, а як частину загальної стратегії управління агроценозами [17].

Зростаюча здатність біопрепаратів адаптуватися до регуляторних вимог та стандартів органічного виробництва також посилює їх перспективи. У багатьох країнах Європейського Союзу та Північної Америки законодавчі ініціативи стимулюють виробництво та застосування біологічних агентів, що відповідають стандартам органічного землеробства. В Україні також активно обговорюється питання лібералізації реєстраційних процедур для біопрепаратів, що дозволить вітчизняним розробникам швидше виводити нові продукти на ринок. Це відкриває перспективи для малих і середніх підприємств, які спеціалізуються на мікробіологічних технологіях та інноваціях у біозахисті [12].

Особливої уваги заслуговує розвиток біотехнологій та генетичних методів покращення біопрепаратів. Сучасні методи молекулярної біології та секвенування дозволяють створювати штами мікроорганізмів із підвищеною ефективністю та специфічністю до конкретних патогенів чи шкідників. Наприклад, нові штами бактерій, модифіковані для підсиленої продукції антибіотичних сполук, успішно застосовуються для контролю комплексу ґрунтових патогенів на ключових польових культурах. Такі рішення поєднують механізми природного контролю з технологіями, що максимально враховують біологічні цикли, що робить їх перспективними рішеннями для майбутнього агровиробництва [17].

Окремим напрямом розвитку є використання біостимуляторів у поєднанні з біопрепаратами захисту рослин. Біостимулятори сприяють кращому засвоєнню поживних елементів, активують імунні механізми рослини, що підвищує стійкість до стресових факторів, шкідників і хвороб. У практичних польових випробуваннях сполучення біостимуляторів із бактеріальними біофунгіцидами забезпечило кращий контроль іржових хвороб у ячменю та пшениці, порівняно з окремим застосуванням кожного продукту. Це дає поштовх до розвитку комплексних технологій, у яких біологічні засоби не лише пригнічують шкідливі організми, а й підсилюють природні захисні ресурси рослини [11].

Серед нових технологічних напрямів – використання дронів, роботизованих систем та точкового внесення біопрепаратів у уражені зони. Такі рішення дозволяють мінімізувати витрати препаратів, точно реагувати на спалахи шкідників чи хвороб та зменшувати вплив на корисну фауну. Наприклад, у посівах овочевих культур використання дронів для внесення біоінсектицидів дало змогу оперативно локалізувати осередки розвитку попелиці без масового обприскування, що зменшило навантаження на екосистему ділянки.

У висновку можна зазначити, що перспективи розвитку біологічного захисту рослин пов'язані з удосконаленням технологій внесення, поєднанням

із агротехнічними заходами, розвитком біотехнологій, адаптацією до стандартів органічного виробництва та впровадженням сучасних технологічних рішень. Біологічний захист не лише розширює набір інструментів для фермерів, але й є шляхом до більш екологічного, безпечного та стабільного агровиробництва в майбутньому.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що біологічні засоби захисту рослин є важливим елементом сучасних систем землеробства, спрямованих на зменшення хімічного навантаження на агроєкосистеми та забезпечення екологічної безпеки продукції. Їх використання дозволяє ефективно контролювати чисельність шкідників, розвиток хвороб і поширення бур'янів, водночас зберігаючи біорізноманіття та природні механізми саморегуляції агроценозів.

1. Аналіз класифікації та особливостей біологічних засобів захисту рослин показав, що вони представлені широким спектром препаратів на основі бактерій, грибів, вірусів, ентомофагів і біологічно активних речовин. Кожна група має специфічний механізм дії, що визначає їх ефективність і сферу застосування. Разом із тим, біопрепарати характеризуються високою вибірковістю дії та безпечністю, що є їх суттєвою перевагою порівняно з хімічними засобами.

2. Дослідження сучасного стану ринку біологічних засобів захисту рослин засвідчило, що цей сегмент перебуває на етапі активного розвитку, проте його частка у загальній структурі засобів захисту рослин поки що залишається відносно невеликою. Водночас спостерігається стійка тенденція до зростання попиту на біопрепарати, що зумовлено розвитком органічного землеробства, посиленням екологічних вимог та впровадженням інтегрованих систем захисту рослин. Встановлено, що використання біологічних засобів стримується рядом факторів, серед яких ключовими є нестабільність ефективності в польових умовах, залежність від кліматичних факторів, складність виробництва і зберігання, а також недостатня обізнаність аграріїв щодо особливостей їх застосування. Додатковими обмеженнями виступають економічні та регуляторні бар'єри, зокрема висока вартість окремих препаратів і тривалі процедури їх реєстрації.

3. Особливу увагу приділено аналізу сучасних технологій застосування біологічних препаратів, що включають оптимізацію способів внесення, використання спеціальних формуляцій, інтеграцію з агротехнічними заходами та впровадження елементів точного землеробства. Встановлено, що ефективність біопрепаратів значною мірою залежить від правильного вибору способу внесення, часу обробки та умов навколишнього середовища.

У ході роботи обґрунтовано основні напрями оптимізації використання біологічних засобів захисту рослин, серед яких важливе місце займають удосконалення технологій внесення, застосування комбінованих систем захисту, підвищення якості формуляцій та розширення використання біотехнологічних підходів. Також важливим є розвиток інформаційної підтримки аграріїв і впровадження сучасних методів моніторингу стану посівів.

Перспективи розвитку біологічного захисту рослин пов'язані з активним впровадженням інноваційних технологій, створенням нових високоефективних біопрепаратів, інтеграцією їх у системи точного землеробства та адаптацією до вимог органічного виробництва. Очікується, що в найближчі роки роль біологічних засобів у системах захисту рослин буде зростати, що сприятиме формуванню більш екологічно орієнтованого та сталого аграрного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амонс С. Е. Біологічний захист рослин в системі органічного землеробства. Сільське господарство та лісівництво. 2022. № 25. С. 167-183. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-2-13>
2. Анішин Л.В. Вітчизняні біологічно активні препарати просяться на поля України. Пропозиція. Київ, 2004. № 10. С. 48.
3. Бурсела М. Сучасні агроекологічні і соціальні аспекти хімізації сільського господарства. Пропозиція. Київ, 1995. № 1–2. С. 17–18.
4. Вдовенко Н., Томілін О., Коваленко Л., Гечбаія Бадрі, Кончаковський Є. Світові тенденції та перспективи розвитку ринку засобів захисту рослин. Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. 2022. Vol. 8, No. 2. Pp. 179-205
5. Домарацький Є.О., Домарацький О.О., Козлова О.П. Стимулятори росту та комбіновані препарати біологічного походження як невід’ємний елемент екологізації технології вирощування технічних культур. Сучасний рух науки: тези доп. V міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 7-8 лютого 2019 р. Дніпро, 2019. С. 202–206.
6. Дяченко М.П., Падій М.М., Шелестова В.С. Основи біологічного методу захисту рослин. Київ : Урожай, 1990. 268 с.
7. Жуйков О.Г. Біологічний метод захисту рослин у сучасному органічному землеробстві України: історичні аспекти, тренди, перспективи. URL: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.4>
8. Камінський В.Ф. Біологічне землеробство в умовах зміни клімату. Посібник українського хлібороба. 2017. № 1. С. 28–31. 7. Лихочвор В.В. Біологічне рослинництво. Львів: НВФ «Українські технології», 2004. 312 с.
9. Ключенко В.В. Вплив мікробних препаратів на продуктивність та якість зерна пшениці озимої в агрокліматичних умовах Степового Криму. Екологія. Наукові праці. 2011. Вип. 140. Том 152. С. 33-36.

10. Крутякова В., Гулич О., Янсе Л. Стан і проблеми ринку біологічних засобів захисту рослин в Україні. Вісник аграрної науки. 2023. №1 (838). С. 30-39.
11. Мірзоєва Т. В., Нагорний В. В., Непочатенко О. А. Ринок засобів захисту рослин в Україні – ризики та перспективи. *Modern Economics*. 2025. № 52(2025). С. 128-134.
12. Нерянова І. В., Голюк В. Я. Проблеми та стан ринку засобів захисту рослин від початку повномасштабного вторгнення. Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи : зб. тез доп. V Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 25 квіт. 2024 р. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. 236 с. С. 88-90.
13. Станкевич С. В. Ринок пестицидів України: монографія. Харків: Видавництво Іванченка І. С. 2020. 175 с.
14. Степанець І. Особливості маркетингових стратегій підприємств на ринку засобів захисту рослин. Київський економічний науковий журнал. 2025. № 10. С. 123-131.
15. Телічко Н. А., Адубецький В. О. Організаційно-економічний механізм управління інноваційно-інвестиційною діяльністю господарюючих суб'єктів на ринку засобів захисту рослин. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: зб. мат-лів III Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 09-10 листопада 2023 р.). Одеса, ОДАУ. 2023. С. 592-595.
16. Bai, S. H., & Ogbourne, S. (2016). Eco-toxicological effects of the avermectin family with a focus on abamectin and ivermectin. *Chemosphere*, 154, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.113>
17. Brunner, K., Zeilinger, S., Ciliento, R., Woo, S. L., Lorito, M., Kubicek, C. P., & Mach, R. L. (2005). Improvement of the Fungal Biocontrol Agent *Trichoderma atroviride* To Enhance both Antagonism and Induction of Plant Systemic Disease Resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7), 3959-3965. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.7.3959-3965.2005>

18. Bullock, J. (2020). Challenging the Formulator: Biocontrol and Conventional Crop Protection. *Outlooks on Pest Management*, 31(3), 132-136. https://doi.org/10.1564/v31_jun_10
19. Chukhrai, R. (2023). Chemical protection of spring barley against dominant pests in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26(4), 66–70. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.12>
20. Dong, L., Zhang, J. (2022). Research progress of avermectin: A minireview based on the structural derivatization of avermectin. *Advanced Agrochem*, 1(2), 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.11.001>
21. Funck Jensen, D., Dubey, M., Jensen, B., & Karlsson, M. (2021). *Clonostachys rosea* to control plant diseases. *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*, 429-472. <https://doi.org/10.19103/AS.2021.0093.14>
22. Iutynska, H., Yamborko, N. (2024). Biological Plant Protection in the European Union (in Germany as an Example). *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 86(3), 76-87.
23. Kovtun O., Tryhuba I. (2024). Prospects for the use of the biological method in national plant protection systems. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, (28), 160–165. <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.160>
24. Markov I. Biological protection of plants against diseases. Proposal. 2014. No 6. P. 82–87.
25. Metz N., Hausladen H. *Trichoderma* spp. As potential biological control agent against *Alternaria solani* in potato. *Biological control*. 2022. No 166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104820>.
26. Myo E. M., Liu B., Ma J., Shi L., Jiang M., Zhang K., Ge B. Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological control*. 2019. No 134. P. 23–31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.03.017>.

27. Simiachko O., Mykhailova G. 2025. The market of plant protection products in Ukraine. *Commodity science. Technologies. Engineering*. 55, 3 (Sep. 2025), 19–40. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2025\(55\)02](https://doi.org/10.31617/2.2025(55)02).