

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування та
інфраструктури
Кафедра екології та охорони здоров'я

Гусак Софія Петрівна

**ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН В СІЛЬСЬКОМУ
ГОСПОДАРСТВІ І ОЦІНКА ЇХ ВПЛИВУ НА ЕКОСИСТЕМИ**

спеціальність 101 Екологія
освітньо-професійна програма «Екологія та біоекономіка»
кваліфікаційна робота за освітнім ступенем «магістр»

Виконала: студентка групи ЕКОЛм-21
Гусак Світлана Петрівна

підпис

Науковий керівник: к.е. н.,
Бицюри Л.О.

підпис

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту «___» _____ 20__ р.
Завідувач кафедри _____
підпис

Тернопіль – 2024

Анотація

Гусак С. П. Використання біологічно активних речовин в сільському господарстві і оцінка їх впливу на екосистеми. – Рукопис. Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 101 «Екологія», Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024. 44 с.

У кваліфікаційній роботі розглянуто теоретичні основи застосування біологічно активних речовин (БАР) у сільському господарстві та їхній вплив на рослинність, ґрунтові системи та довкілля. Детально описано поняття, класифікацію та основні характеристики БАР, а також механізми їх дії на рослини і ґрунти. Проаналізовано практичний досвід використання БАР для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та оцінено їхній вплив на родючість ґрунтів і якість продукції. Досліджено екологічні наслідки застосування БАР, визначено головні проблеми і ризики для природних екосистем. У роботі подано рекомендації щодо зменшення екологічних ризиків від використання БАР, зокрема шляхом впровадження екологічно безпечних технологій, запобіжних заходів та моніторингу впливу на довкілля. Запропоновано також стратегії відновлення екосистем, що постраждали під впливом БАР, з акцентом на підтримці біорізноманіття та забезпеченні сталого розвитку агроєкосистем.

ABSTRACT

Gusak S. P. Use of biologically active substances in agriculture and assessment of their impact on ecosystems. Research for the master's degree in speciality 101 'Ecology', Western Ukrainian National University, Ternopil, 2024. 44 p.

The qualification work considers the theoretical basis for the use of biologically active substances (BAS) in agriculture and their impact on vegetation, soil systems and the environment. The concept, classification and main characteristics of biologically active substances, as well as the mechanisms of their action on plants and soils are described in detail. The practical experience of using the BAS to increase crop yields is analysed, and their impact on soil fertility and product quality is assessed. The environmental consequences of the use of plant protection products are investigated,

and the main problems and risks for natural ecosystems are identified. The paper provides recommendations for mitigating environmental risks from the use of APPs, in particular through the introduction of environmentally friendly technologies, preventive measures and environmental impact monitoring. The paper also proposes strategies for restoring ecosystems affected by the use of plant protection products, with a focus on maintaining biodiversity and ensuring sustainable development of agroecosystems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН.....	8
1.1. Поняття та види біологічно активних речовин: класифікація та основні властивості.....	8
1.2. Механізми дії біологічно активних речовин на рослини та ґрунти.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	14
2.1. Використання БАР для підвищення врожайності сільськогосподарських культур	14
2.2. Оцінка впливу БАР на родючість ґрунту і якість агропродукції в Україні.....	19
2.3. Екологічний вплив біологічно активних речовин на природні екосистеми: проблеми та ризики.....	21
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ВІД ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН.....	25
3.1. Розробка екологічно безпечних технологій використання БАР у сільському господарстві.....	25
3.2. Запобіжні заходи та моніторинг впливу БАР на навколишнє середовище.....	28
3.3. Стратегії відновлення екосистем, пошкоджених впливом біологічно активних речовин.....	33
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

Вступ

Останні роки відзначилися значними досягненнями в сільському господарстві завдяки впровадженню сучасних технологій і засобів, які спрямовані на підвищення врожайності та покращення якості продукції. Серед цих засобів особливе місце займають біологічно активні речовини, до яких належать добрива, регулятори росту, пестициди та інші агрохімічні препарати [1, 9, 11, 12]. Їх застосування дозволяє покращити ріст і розвиток рослин, оптимізувати використання природних ресурсів та забезпечити захист культур від шкідників і захворювань. Проте, крім позитивних змін, ці речовини можуть мати несприятливий вплив на екологічні системи.

Наразі важливим є питання екологічно збалансованого використання агрохімікатів, щоб мінімізувати їхній негативний вплив на навколишнє середовище. Надмірне застосування біологічно активних речовин загрожує деградацією ґрунтів, забрудненням водойм та порушенням екологічного балансу [15, 16]. Тому особливу увагу слід приділити оцінці впливу таких речовин на природні екосистеми, щоб забезпечити стійкий розвиток агросфери та зберегти природне середовище.

Ця кваліфікаційна робота спрямована на аналіз основних аспектів використання біологічно активних речовин у сільському господарстві, дослідження їхнього впливу на екосистеми, а також на розробку пропозицій щодо зменшення екологічних ризиків.

Актуальність теми зумовлена сучасними викликами, що постали перед сільським господарством і питаннями екологічної безпеки. Зростаюча потреба в харчових продуктах і обмеженість природних ресурсів вимагають новітніх технологій, які здатні підвищувати врожайність без шкоди для довкілля. Одним із важливих підходів у цьому напрямку є застосування біологічно активних речовин, які сприяють прискоренню росту культур і захисту їх від шкідників та захворювань [3, 4, 7, 17].

Проте надмірне використання таких речовин може спричинити значні екологічні проблеми, зокрема виснаження ґрунтів, забруднення водних джерел і

зниження рівня біорізноманіття. У сучасних умовах екологічно безпечне використання агрохімікатів набуває особливої важливості, оскільки розвиток сталого сільського господарства потребує відповідального підходу до природних ресурсів і зниження шкідливого впливу агротехнологій на навколишнє середовище [2, 6, 10].

Аналіз впливу біологічно активних речовин на екосистеми є критично важливим для розробки екологічно безпечних агротехнологій, які сприятимуть збереженню природного середовища та забезпеченню харчової безпеки [13, 14, 20, 21]. Це робить дане дослідження надзвичайно актуальним, оскільки воно сприяє науково обґрунтованому підходу до стійкого використання природних ресурсів у сільському господарстві.

Метою роботи є аналіз впливу біологічно активних речовин на екосистеми сільськогосподарських угідь та їх екологічно безпечне використання.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні тенденції у використанні біологічно активних речовин у сільському господарстві.
2. Дослідити вплив біологічно активних речовин на різні компоненти екосистеми сільськогосподарських угідь, зокрема на ґрунт, водні ресурси та біорізноманіття.
3. Визначити потенційні екологічні ризики, пов'язані з використанням біологічно активних речовин.
4. Оцінити можливі шляхи мінімізації негативного впливу біологічно активних речовин на екосистеми.
5. Запропонувати підходи до екологічно безпечного застосування біологічно активних речовин у сільському господарстві.

Об'єктом дослідження є екосистеми сільськогосподарських угідь, на які впливають біологічно активні речовини.

Предметом дослідження є вплив біологічно активних речовин на екологічні компоненти та процеси в межах сільськогосподарських екосистем.

Методологія дослідження базується на аналізі літературних джерел, екологічному моніторингу, а також на застосуванні методів кількісного та якісного аналізу для оцінки екологічних ризиків.

Апробація результатів дослідження: результати кваліфікаційної роботи було висвітлено на VI міжнародній студентській науковій конференції «Тренди та перспективи розвитку мультидисциплінарних досліджень» (11 жовтня, 2024 рік, м. Кременчук,) та в VII міжнародній студентській науковій конференції «Діджиталізація науки як виклик сьогодення» (25 жовтня 2024 рік, м. Полтава).

Структура кваліфікаційної роботи: дослідження складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки, включаючи 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

1.1. Поняття та види біологічно активних речовин: класифікація та основні властивості

Біологічно активні речовини (БАР) – це різноманітні хімічні сполуки як природного, так і синтетичного походження, що впливають на біологічні процеси у рослинах, тваринах і мікроорганізмах. Вони широко застосовуються у сільському господарстві для підвищення врожайності, поліпшення якості продукції, стимуляції росту та боротьби з шкідниками, а також для поліпшення родючості ґрунту [1, 3, 20, 27, 31]. БАР допомагають оптимізувати аграрне виробництво та забезпечити стабільний урожай.

Біологічно активні речовини в аграрному секторі класифікують за їх функціональними властивостями та походженням:

1. Регулятори росту рослин (фітогормони) [3, 11, 18, 37, 38]

Фітогормони – це природні або синтетичні речовини, які регулюють процеси росту та розвитку рослин. Серед них виділяють кілька основних груп:

Ауксини – сприяють подовженню клітин і впливають на напрямок росту пагонів, коренів і листя. Вони також стимулюють ріст кореневої системи, що покращує поглинання поживних речовин.

Цитокініни – активізують поділ клітин, затримуючи процес старіння рослинних тканин. Вони допомагають покращити врожайність, прискорити ріст листя та плодів.

Гібереліни – прискорюють ріст стебел, розмір плодів і цвітіння. Завдяки гіберелінам, урожай дозріває рівномірно та швидше.

Абсцизова кислота – допомагає рослинам пристосуватися до стресових умов, таких як засуха або висока температура. Вона також контролює різні стадії розвитку рослин.

Етилен – газоподібний гормон, що стимулює дозрівання плодів і старіння рослинних тканин. Він використовується для регулювання дозрівання плодів перед продажем.

2. Біологічні пестициди [5, 11, 25, 26, 28]

Біологічні пестициди – це природні засоби, які захищають рослини від шкідників, патогенів та інфекційних агентів:

Інсектициди – борються з комахами-шкідниками, які можуть знижувати врожайність. Їх використовують для контролю чисельності шкідників.

Фунгіциди – захищають рослини від грибкових захворювань, які спричиняють гниття коренів, стебел і плодів. Використання фунгіцидів допомагає підтримувати здоров'я рослин.

Бактеріоциди – пригнічують патогенні бактерії, які викликають захворювання рослин, що негативно впливають на врожайність.

Нематоциди – засоби для боротьби з нематодами, які шкодять кореневій системі рослин. Вони сприяють збереженню врожаю та захищають родючість ґрунту.

3. Антибіотики та антифунгіциди [2, 19]

Антибіотики й антифунгіциди використовуються для знищення шкідливих мікроорганізмів. Антибіотики діють проти бактеріальних захворювань, тоді як антифунгіциди – проти грибкових інфекцій, що загрожують сільськогосподарським культурам.

4. Фітонциди – це природні речовини, що мають антибактеріальні та протигрибкові властивості. Вони виділяються рослинами для захисту від шкідників, грибів і бактерій, зменшуючи вплив патогенів на агроєкосистему [24].

5. Мікроелементи і мікродобрива. До цієї групи відносяться органічні та неорганічні мікроелементи, такі як цинк, мідь, залізо та магній, що необхідні для нормального росту рослин. Вони сприяють підтриманню здоров'я культур та збільшенню врожайності [34].

Біологічно активні речовини мають низку ключових властивостей, які роблять їх незамінними в аграрній сфері. Селективна дія дозволяє використовувати БАР виключно на цільових організмах або рослинах, мінімізуючи вплив на інші елементи екосистеми.

Таблиця 1

Біологічно активні речовини у сільському господарстві

Категорія БАР	Підкатегорії	Функції та вплив	Основні властивості
Регулятори росту рослин (фітогормони)	Ауксини	Стимуляція подовження клітин, ріст коренів і пагонів	Висока активність у малих концентраціях, вибірковий вплив на ріст
	Цитокініни	Поділ клітин, затримка старіння тканин	Підвищує якість плодів, збільшує врожайність
	Гібереліни	Стимуляція цвітіння, дозрівання плодів	Сприяє рівномірному дозріванню врожаю
	Абсцизова кислота	Контроль стресових реакцій, адаптація до посухи	Антистресова дія, адаптація до несприятливих умов
	Етилен	Дозрівання плодів, старіння листя	Газоподібний, контрольований процес дозрівання плодів
Біологічні пестициди	Інсектициди	Боротьба з комахами-шкідниками	Спрямована дія на комах, зниження впливу на екосистему
	Фунгіциди	Захист від грибкових інфекцій	Підтримує здоров'я рослин, запобігає гниттю
	Бактеріоциди	Придушення бактерій, що викликають захворювання	Зниження бактеріальних інфекцій
	Нематоциди	Захист кореневої системи від нематод	Запобігання зниженню врожайності, збереження родючості ґрунту
Антибіотики та антифунгіциди	-	Знищення патогенних мікроорганізмів	Пригнічення бактеріальних і грибкових інфекцій
Фітонциди	-	Природні антибактеріальні та протигрибкові речовини	Захищають рослини та інші культури від шкідників і патогенів
Мікроелементи і мікродобрива	Цинк, мідь, залізо, магній тощо	Забезпечують рослини необхідними елементами для здорового росту	Збільшення врожайності, покращення здоров'я рослин

Висока ефективність навіть за низьких концентрацій забезпечує значні результати при мінімальних витратах, що робить їх економічно вигідними та менш шкідливими для природи. Здатність до розкладу або стійкість у природному середовищі визначає тривалість їхнього впливу: швидкорозкладні БАР мінімізують довгостроковий вплив, тоді як стійкі речовини забезпечують пролонговану дію. Взаємодія з іншими засобами, такими як добрива чи

препарати, дозволяє створювати комплексні підходи до обробки рослин, посилюючи або адаптуючи їх ефективність.

Біологічно активні речовини відіграють важливу роль у підвищенні ефективності сільськогосподарського виробництва. Їх використання сприяє збільшенню врожайності завдяки стимуляції росту рослин і покращенню їхньої стійкості до несприятливих умов. Крім того, вони забезпечують захист культур від шкідників і хвороб, що дозволяє значно скоротити застосування хімічних пестицидів. Завдяки екологічно безпечним методам використання, ці речовини допомагають знизити негативний вплив на ґрунти та водні ресурси, сприяючи збереженню довкілля.

Отже, біологічно активні речовини відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості сільськогосподарських систем, підтримуючи збалансоване виробництво продуктів і допомагаючи у збереженні природних ресурсів.

1.2. Механізми дії біологічно активних речовин на рослини та ґрунти

Біологічно активні речовини (БАР) відіграють значну роль у процесах росту рослин та покращенні ґрунтових умов. Завдяки широкому спектру впливу, вони здатні стимулювати фізіологічні процеси в рослинах, збільшувати врожайність та забезпечувати сталий розвиток агросистем [20, 39, 40, 41]. Нижче детально розглянемо, як БАР впливають на рослини та ґрунти, покращуючи їхню продуктивність і забезпечуючи оптимальні умови для зростання культур.

Механізми дії біологічно активних речовин на рослини охоплюють клітинний і фізіологічний рівні, сприяючи їхньому зростанню, підвищенню стійкості до стресів і захисту від патогенів. БАР стимулюють поділ клітин, їх диференціацію та ріст завдяки фітогормонам, таким як ауксини й цитокініни. Це забезпечує активний розвиток кореневої системи через утворення нових коренів, їх подовження та розгалуження, що покращує поглинання води й поживних речовин. Одночасно регулюється ріст пагонів і листя, стимулюючи подовження клітин у стеблах, утворення листків і збільшення фотосинтезуючої площі, що важливо в періоди активного росту. Гібереліни та інші БАР посилюють

фотосинтез, забезпечуючи поглинання світлової енергії та синтез органічних сполук, що підвищує енергетичний запас рослин, їхню стійкість до стресів і продуктивність [29]. Контроль водного балансу здійснюється за допомогою абсцизової кислоти, яка сприяє закриттю продихів для зменшення випаровування води у складних умовах, таких як засуха або засолення ґрунту, підвищуючи адаптаційні можливості рослин. БАР також стимулюють імунітет, активізуючи синтез білків, що захищають від грибкових, бактеріальних і вірусних інфекцій, запобігаючи їх поширенню. Це сприяє зниженню використання хімічних пестицидів, позитивно впливаючи на довкілля (табл. 2).

Таблиця 2

Механізми дії біологічно активних речовин на рослини

Сфера дії	Механізм	Опис впливу	Значення
Рослини	Стимуляція поділу клітин і росту	Ауксини та цитокініни стимулюють ріст коренів і пагонів, сприяють поділу клітин	Посилення росту та формування міцної кореневої системи
	Стимуляція фотосинтезу	Гібереліни покращують фотосинтез, підвищуючи поглинання світлової енергії	Покращення продуктивності та енергетичного балансу рослин
	Регуляція водного балансу	Абсцизова кислота допомагає рослинам контролювати випаровування води	Адаптація до посухи та підвищення стійкості до стресу
	Стимуляція імунітету	БАР активізують імунні реакції, зменшуючи ризик зараження патогенами	Підвищення стійкості до хвороб і шкідників
	Контроль дозрівання	Етилен регулює дозрівання плодів та старіння тканин	Керування термінами дозрівання, збільшення зберігання продукції

Контроль процесів дозрівання та старіння рослин здійснюється за допомогою етилену, який є гормоном, що регулює ці процеси. Етилен впливає на швидкість дозрівання плодів, дозволяючи синхронізувати цей процес із

потребами ринку. Він також здатний затримувати або прискорювати старіння рослинних тканин, що сприяє продовженню терміну зберігання продукції та зниженню її втрат [23]. Це особливо актуально для плодових культур, оскільки забезпечує можливість керувати періодом дозрівання врожаю. Водночас біологічно активні речовини позитивно впливають на ґрунт, сприяючи збереженню його родючості та підтриманню природного балансу. Вони покращують структуру ґрунту через стимулювання виділення корневих секретів, які впливають на його фізичні властивості. Завдяки цим процесам поліпшується аерація, оскільки органічні речовини, що виділяються коренями, підвищують пухкість і повітропроникність ґрунту (табл. 3).

Таблиця 3

Механізми дії біологічно активних речовин на ґрунт

Сфера дії	Механізм	Опис впливу	Значення
Ґрунт	Покращення структури ґрунту	Кореневі виділення БАР покращують аерацію та водоутримуючі властивості ґрунту	Збільшення родючості та ефективності поглинання вологи
	Стимуляція активності мікроорганізмів	БАР сприяють росту корисних мікроорганізмів, що розкладають органічні речовини	Підвищення родючості ґрунту та біологічної активності
	Зниження токсичності	БАР допомагають нейтралізувати токсичні речовини у ґрунті	Очищення ґрунту від важких металів і шкідливих сполук
	Покращення доступності поживних елементів	БАР збільшують доступність важливих елементів, як-от азот і фосфор	Підвищення продуктивності рослин та оптимізація їх живлення
	Захист від шкідливих мікроорганізмів	БАР підтримують розвиток корисної мікрофлори, яка пригнічує патогени	Зменшення ризику інфекцій та підтримання здорової екосистеми ґрунту

Механізми дії біологічно активних речовин на ґрунт сприяють підтримці його родючості та збереженню природного балансу. Вони забезпечують покращення структури ґрунту та підвищення його родючості завдяки впливу корневих секретів на фізичні властивості ґрунту. Виділення рослинами органічних речовин сприяє поліпшенню аерації, підвищуючи пухкість і повітропроникність ґрунту. Також покращується здатність ґрунту утримувати вологу, що створює сприятливі умови для рослин. Завдяки цим процесам забезпечується краще розвинення кореневої системи, що позитивно впливає на врожайність.

Стимулювання активності корисних мікроорганізмів за допомогою БАР підтримує життєздатність бактерій і грибів у ґрунті. Ці мікроорганізми відіграють ключову роль у процесах мінералізації, розкладаючи органічні речовини та перетворюючи їх на поживні елементи, доступні для рослин. Деякі бактерії забезпечують фіксацію азоту з атмосфери, що значно підвищує родючість ґрунту. Такий підхід сприяє природному збагаченню ґрунту корисними речовинами, одночасно скорочуючи необхідність у використанні хімічних добрив.

Зниження токсичності ґрунту досягається завдяки використанню біологічних речовин, які сприяють його очищенню від шкідливих елементів. Процеси біоремедіації, за участю певних БАР, дозволяють розкласти або зв'язувати токсичні сполуки, забезпечуючи відновлення ґрунту. Крім того, ці речовини допомагають зменшити рівень важких металів, що значно покращує екологічний стан ґрунтового середовища. Такий підхід особливо актуальний для відновлення забруднених земель, які використовуються в аграрному секторі.

Покращення доступності поживних речовин досягається завдяки дії мікроелементів та інших компонентів, що входять до складу БАР, які підвищують ефективність засвоєння основних елементів живлення. Вони сприяють розчиненню мінеральних сполук у ґрунті, що забезпечує рослини необхідними поживними речовинами [6, 17, 19]. Завдяки цьому покращується живлення культур, оскільки рослини отримують більше ресурсів для активного росту і

плодоношення. Такий підхід дозволяє значно підвищити продуктивність культур і покращити якість врожаю.

Захист ґрунту від патогенних мікроорганізмів забезпечується завдяки дії БАР, які пригнічують розвиток шкідливих організмів, що негативно впливають на рослини. Вони сприяють підтримці корисної мікрофлори, створюючи сприятливі умови для зростання бактерій і грибів, які перешкоджають поширенню патогенів. Крім того, БАР стимулюють активний ріст корисних мікроорганізмів, які захищають ґрунт від інфекційних уражень. Такий підхід дозволяє знизити ризик захворювань кореневої системи рослин і забезпечує стабільність ґрунтової екосистеми.

Отже, використання біологічно активних речовин забезпечує комплексний позитивний вплив на рослини та ґрунт, допомагаючи збільшити продуктивність аграрного виробництва, покращити якість продукції та підтримати екологічну стійкість сільськогосподарських екосистем.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

2.1. Використання БАР для підвищення врожайності сільськогосподарських культур

Використання біологічно активних речовин (БАР) у сільському господарстві України значно підвищує ефективність вирощування культур, покращуючи врожайність і якість продукції. Це зменшує потребу в мінеральних добривах і хімічних пестицидах, одночасно підвищуючи стійкість рослин до впливу різних стресових умов. До складу БАР входять біостимулятори, інокулянти та інші мікробні препарати, що сприяють фізіологічним процесам у рослинах, зміцнюють їхній імунітет, підвищують родючість ґрунту та покращують його властивості [9, 10, 18, 21, 26].

Приклади використання БАР для сільськогосподарських культур

У вирощуванні **льону олійного** застосування таких мікробіологічних препаратів, як Екофосфорин, Вінос ТК та Азофосфорин, сприяє підвищенню врожайності до 0,22 т/га та збільшенню вмісту олії. Біостимулятор Біолан показав ефективність для **огірків**, підвищуючи врожайність до 52,3 т/га при вирощуванні на вертикальній шпалері, що підкреслює переваги біостимуляції. Застосування деструктора Екостерн для **соняшника** сприяє приросту врожайності до 0,30 т/га за рахунок оптимізації умов живлення.

Для **пшениці озимої** препарат Екостерн підвищує врожайність до 0,40 т/га, а для **сої** — до 0,30 т/га, поліпшуючи також родючість ґрунту завдяки активізації біологічних процесів. **Томати**, оброблені мікоризними грибами та ризобактеріями, демонструють підвищену стійкість до хвороб і збільшену врожайність. Препарат БіоСтимІкс-Універсальний допомагає **кукурудзі** розвиватися швидше на початкових етапах, що сприяє підвищенню продуктивності (табл. 4).

Застосування БАР у садівництві також дає позитивні результати. **Яблуні**, оброблені препаратом Бізар, отримують додатковий захист від хвороб, що позитивно позначається на врожайності, а обробка **капусти** Лепідоцид-БТУ

підвищує стійкість до шкідників і знижує потребу в хімічних засобах захисту. Використання інокулянтів на основі ризобіуму для **гороху** сприяє азотфіксації, підвищує родючість ґрунту і збільшує врожайність. Для **полуниці** корисні бактерії сприяють кращому засвоєнню поживних речовин, підвищуючи врожайність і якість ягід.

Використання БАР для біоенергетичних культур

У вирощуванні біоенергетичних культур, таких як тополя, павлонія та міскантус, БАР забезпечують швидке нарощування біомаси, покращують стійкість до несприятливих умов і оптимізують засвоєння поживних речовин.

Мікоризні гриби створюють симбіотичний зв'язок із коренями рослин, що полегшує доступ до фосфору, сприяючи активному росту тополі та павлонії і підвищуючи їхню стійкість до посухи та інших абіотичних стресів.

Ризобактерії сприяють зростанню рослин через виділення фітогормонів і покращують засвоєння азоту, що є особливо корисним для міскантусу на бідних ґрунтах.

Гумінові та фульвові кислоти активізують ріст кореневої системи і поліпшують доступність поживних елементів. Використання гумінових кислот для тополі та міскантусу забезпечує стабільний ріст навіть на малородючих ґрунтах.

Амінокислоти та біостимулятори підвищують стійкість до стресів, таких як посуха і високі температури, стимулюючи ріст і збільшення біомаси для біоенергетичних культур.

Інокулянти для азотфіксації забезпечують рослини необхідним азотом, знижуючи залежність від мінеральних добрив та підвищуючи ефективність засвоєння азоту.

Екстракти морських водоростей, що містять природні гормони росту, полісахариди та мікроелементи, стимулюють ріст павлонії і підвищують її стійкість до несприятливих умов.

Таблиця 4

Вплив біологічно активних речовин на сільськогосподарські культури

Культура	Використані БАР	Ефект
Льон олійний	Екофосфорин, Вінос ТК, Азофосфорин	Підвищення врожайності до 0,22 т/га, збільшення вмісту олії
Огірки	Біолан	Підвищення врожайності до 52,3 т/га, сприяння інтенсивному росту при вироснуванні на шпалері
Соняшник	Екостерн®	Приріст врожайності до 0,30 т/га, оптимізація умов живлення
Пшениця озима	Екостерн®	Збільшення врожайності до 0,40 т/га, поліпшення родючості ґрунту
Соя	Екостерн®	Підвищення врожайності до 0,30 т/га, активізація мікробних процесів в ґрунті
Томати	Мікоризні гриби, ризобактерії	Підвищення стійкості до патогенів, приріст врожайності
Кукурудза	БіоСтимІкс- Універсальний	Прискорений початковий розвиток, збільшення продуктивності
Яблуна	Бізар	Додатковий захист від хвороб, підвищення імунітету
Капуста	Лепідоцид-БТУ	Підвищення стійкості до шкідників, зменшення використання пестицидів
Горох	Інокулянти на основі ризобіуму	Азотфіксація, поліпшення родючості ґрунту та врожайності
Полуниця	Корисні бактерії	Покращення засвоєння поживних речовин, підвищення врожайності і якості плодів
Павлонія	Екстракти морських водоростей	Стимулювання росту, підвищення стійкості до стресів
Міскантус	Гумінові кислоти, ризобактерії	Інтенсивний ріст на бідних ґрунтах, підвищення врожайності
Тополя	Фосфат-мобілізуєчі бактерії, мікоризні гриби	Поліпшення засвоєння фосфору, стійкість до абіотичних стресів

Фосфат-мобілізуєчі бактерії забезпечують вивільнення фосфору з ґрунту, роблячи його більш доступним для рослин. Це особливо важливо для швидкозростаючих культур, таких як тополя.

Комплексні біодобрива з бактеріями та мікоризами підтримують оптимальне поглинання води і поживних речовин, підвищують стійкість до

хвороб і забезпечують стабільний ріст міскантусу та тополі навіть на виснажених ґрунтах [1, 7, 33].

Біостимулятори на основі фітогормонів, таких як цитокініни та ауксини, допомагають рослинам швидко відновлюватися після обрізки, що є важливим для культур, вирощуваних для збору біомаси.

Комплекси мікроелементів (залізо, магній, цинк) є необхідними для фотосинтезу і загального розвитку рослин, особливо на виснажених ґрунтах. Для міскантусу такі комплекси забезпечують оптимальний ріст та продуктивність.

Таким чином, застосування БАР у сільському господарстві та для біоенергетичних культур сприяє значному підвищенню продуктивності, стійкості рослин і підтриманню екологічного балансу.

2.2. Оцінка впливу БАР на родючість ґрунту і якість агропродукції

Використання біологічно активних речовин (БАР) стає одним із важливих напрямів у сучасному агросекторі, орієнтованому на підвищення врожайності культур, поліпшення якості продукції та збереження природних ресурсів [7, 21, 35]. БАР включають різні органічні компоненти, які стимулюють природні біологічні процеси в ґрунті та рослинах, підвищують стійкість культур до стресів і покращують ефективність використання мінеральних добрив. Нижче розглянуто основні ефекти застосування БАР на родючість ґрунту, якість сільськогосподарської продукції та екологічний вплив.

Родючість ґрунту залежить від його здатності забезпечувати рослини необхідними поживними речовинами, вологою та оптимальними умовами для росту. Використання біологічно активних речовин (БАР) позитивно впливає на ці властивості, сприяючи покращенню структури ґрунту. Активізація діяльності корисних мікроорганізмів і мікоризи за допомогою БАР формує пористу структуру, що забезпечує кращу аерацію, легше проникнення коренів і більш ефективне засвоєння поживних речовин рослинами. Крім того, підвищення вмісту гумусу допомагає ґрунту утримувати вологу, що особливо важливо у

посушливих умовах, забезпечуючи рослинам стабільне зволоження навіть за нестачі опадів.

Застосування БАР також сприяє економії мінеральних добрив, оскільки природні процеси в ґрунті стають активнішими. Рослини краще засвоюють поживні елементи, що дозволяє зменшити потребу в хімічних добривах і підтримати природний баланс ґрунту, запобігаючи його виснаженню. Додатково стимулюється розвиток корисних бактерій, зокрема азотофіксуючих, які забезпечують більш ефективне засвоєння азоту. Це не лише знижує використання азотних добрив, а й сприяє стабілізації азотного балансу в ґрунті, роблячи його більш стійким до деградації [9, 10, 18, 21, 26].

Використання біологічно активних речовин (БАР) позитивно впливає на якість агропродукції, покращуючи її поживні та фізичні властивості. Завдяки активізації синтезу корисних сполук у рослинах, таких як вітаміни, антиоксиданти та мінеральні елементи, харчова цінність продукції значно зростає, роблячи її кориснішою для споживачів. Це сприяє створенню здоровішого та більш насиченого корисними речовинами раціону.

Окрім цього, БАР підвищують природну стійкість рослин до хвороб і шкідників, що дозволяє мінімізувати використання пестицидів. Як результат, продукція містить менше шкідливих залишків хімічних засобів, що робить її безпечнішою для споживання. Додатково БАР покращують товарний вигляд агропродукції — сприяють рівномірному формуванню плодів, надають їм привабливого кольору, текстури та форми, що не лише підвищує попит на ринку, а й покращує їх здатність до транспортування і тривалого зберігання.

Використання біологічно активних речовин (БАР) позитивно впливає на екологічний стан навколишнього середовища, особливо в контексті органічного землеробства. Застосування БАР дозволяє суттєво знизити використання хімічних добрив і пестицидів, що значно зменшує негативний вплив на екосистеми. Це допомагає уникнути забруднення ґрунту та водних ресурсів шкідливими речовинами, зменшуючи антропогенне навантаження і підтримуючи природний баланс у навколишньому середовищі [9, 10, 18, 21].

Крім того, БАР сприяють активізації біологічних процесів у ґрунті, стимулюючи розвиток корисних мікроорганізмів, що підтримують стабільність екосистеми і сприяють збереженню біорізноманіття. Завдяки здатності відновлювати природну структуру ґрунту та його фізико-хімічні властивості, БАР ефективно використовуються для регенерації деградованих земель, повертаючи їх до продуктивного стану та підвищуючи екологічну стійкість агроландшафтів.

Отже, застосування біологічно активних речовин у сільському господарстві має значний потенціал для покращення родючості ґрунтів і підвищення якості продукції, а також сприяє екологічно стійким аграрним практикам. БАР допомагають підтримувати структуру ґрунту, підвищують його вологоутримувальну здатність, стимулюють мікробіологічну активність і знижують потребу в синтетичних добривах, що сприяє збалансованому розвитку екосистем.

Для досягнення найкращих результатів необхідно дотримуватись оптимальних доз і враховувати специфіку кожної речовини, оскільки надмірне застосування може мати зворотний ефект. Інтеграція БАР у сільськогосподарську діяльність є перспективним напрямом, який сприяє сталому розвитку агроєкосистем.

2.3. Екологічний вплив біологічно активних речовин на природні екосистеми: проблеми та ризики

Застосування біологічно активних речовин (БАР) в сучасному аграрному виробництві розглядається як важлива технологія для підвищення врожайності та покращення якості сільськогосподарської продукції. Такі речовини сприяють підвищенню стійкості рослин до стресів і захворювань, що робить їх важливими для сільського господарства [9, 10, 18, 21, 26]. Проте, БАР можуть мати значний вплив на природні екосистеми, що вимагає всебічного аналізу екологічних ризиків, особливо у випадках надмірного або тривалого використання.

Однією з важливих екологічних проблем є потенційне порушення біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів. БАР, що стимулюють розвиток певних видів мікроорганізмів, можуть порушувати природний баланс у ґрунті. Наприклад, використання речовин, які підтримують ріст азотофіксуючих бактерій, здатне спричинити надмірне їх розмноження, що витісняє інші види, менш пристосовані до нових умов. Це може негативно вплинути на процеси розкладання органічної речовини та кругообіг поживних речовин у ґрунті. Крім того, зміни у ґрунтовому біорізноманітті можуть позначитися на ланцюгах живлення: зникнення певних видів мікроорганізмів або комах, залежних від них, здатне вплинути на популяції тварин, що харчуються цими комахами.

Забруднення водних ресурсів також є важливим екологічним ризиком, пов'язаним із використанням БАР. Оскільки ці речовини можуть вимиватися з ґрунту, їх залишки здатні потрапляти в поверхневі і ґрунтові води, порушуючи водні екосистеми. Високі концентрації органічних речовин, які утворюються при інтенсивному застосуванні БАР, можуть викликати евтрофікацію водойм, тобто надмірне збагачення поживними речовинами. Це призводить до швидкого зростання водоростей і фітопланктону, що виснажує запаси кисню у воді та створює умови, несприятливі для інших водних організмів. Внаслідок цього, порушується екологічний баланс у водоймах, а популяції чутливих видів, таких як риби та молюски, можуть суттєво зменшуватися (табл. 5).

Накопичення залишків БАР у ґрунті є додатковим ризиком, оскільки при надмірному або тривалому використанні деякі БАР можуть демонструвати фітотоксичний ефект. Залишкові кількості таких речовин у ґрунті можуть пригнічувати ріст рослин, знижувати їх стійкість до стресів і чинити токсичний вплив на ґрунтових тварин. Крім того, ці речовини можуть накопичуватися в харчових ланцюгах, що створює ризик токсичного впливу на організми, що живляться рослинами чи тваринами, що перебували під впливом БАР [9, 10, 18, 21, 26].

Таблиця 5

Екологічний вплив біологічно активних речовин на природні екосистеми:
проблеми та ризики

Аспект	Проблема/Ризик	Наслідки для екосистем
Порушення біорізноманіття ґрунту	БАР стимулюють ріст певних видів мікроорганізмів, що може змінити природний склад мікробіоти ґрунту та витіснити інші, менш пристосовані види.	Порушення процесів розкладання органіки та кругообігу поживних речовин, зниження стабільності екосистеми, вплив на харчові ланцюги.
Забруднення водних ресурсів	Потрапляння залишків БАР у поверхневі та ґрунтові води через вимивання з полів, що збагачує водойми поживними речовинами.	Евтрофікація водойм, зменшення рівня кисню, зниження видової різноманітності водних організмів, порушення екологічного балансу у водоймах.
Накопичення токсичних залишків	Деякі БАР можуть накопичуватися в ґрунті, створюючи фітотоксичні умови, пригнічуючи ріст культурних та дикорослих рослин і завдаючи шкоди ґрунтовим організмам.	Токсичний вплив на ґрунтові організми, зниження родючості ґрунту, можливе накопичення в трофічних ланцюгах та ризик токсичних ефектів для тварин.
Вплив на процеси розкладання	Надмірне використання БАР може порушувати природний кругообіг азоту, вуглецю та інших поживних елементів у ґрунті.	Зниження здатності ґрунту до самоочищення, зниження його родючості, порушення балансу поживних речовин, що негативно впливає на рослини та інші організми.
Ризик розповсюдження інвазивних видів	БАР, що стимулюють ріст певних рослин, можуть сприяти поширенню інвазивних видів, які витісняють місцеву рослинність.	Зниження біорізноманіття природних екосистем, порушення структури рослинного покриву, витіснення місцевих видів рослин і зміна складу екосистеми.

Важливо також зазначити, що БАР можуть втручатися у процеси розкладання органічної речовини у ґрунті, що є важливим для збереження балансу поживних елементів. Вплив таких речовин на природний кругообіг азоту та інших елементів може порушувати рівновагу ґрунтової екосистеми. Надмірне

стимулювання деяких мікроорганізмів може призвести до порушення процесів самоочищення ґрунту та зниження його родючості.

Крім того, використання БАР може створювати сприятливі умови для поширення інвазивних видів, які можуть витіснити місцеві рослини та негативно впливати на структуру природних екосистем. Наприклад, БАР, що стимулюють ріст певних рослин, можуть сприяти захопленню територій агресивними інвазивними видами, які витісняють місцеву рослинність і порушують біорізноманіття.

Для мінімізації ризиків, пов'язаних із використанням БАР, рекомендується впроваджувати низку заходів. Одним із таких є дотримання мінімально ефективного дозування для досягнення бажаного ефекту без надмірного втручання у природні процеси. Регулярний моніторинг концентрацій БАР у ґрунті та водних ресурсах є важливим інструментом для своєчасного виявлення накопичення потенційно небезпечних речовин. Крім того, розробка нових БАР з коротким періодом розпаду може сприяти зниженню ризику накопичення шкідливих речовин у ґрунті та воді. Обмеження використання БАР на екологічно чутливих територіях, таких як природні заповідники і водоохоронні зони, також допомагає зберегти екологічну стабільність.

Таким чином, застосування біологічно активних речовин у сільському господарстві є ефективним засобом підвищення продуктивності культур, проте потребує обережного та обґрунтованого підходу.

РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ВІД ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

3.1. Розробка екологічно безпечних технологій використання БАР у сільському господарстві

Сучасне сільське господарство повинне вирішувати завдання підвищення продуктивності та збереження довкілля (табл. 6). Використання біологічно активних речовин (БАР) може суттєво сприяти розвитку агроєкосистем, дозволяючи підвищити врожайність, покращити якість продукції та мінімізувати екологічний вплив [7, 9, 10, 18, 21].

Розробка технологій екологічно безпечного використання БАР базується на кількох основних напрямках, які забезпечують раціональне використання ресурсів та зниження негативних наслідків для навколишнього середовища.

Розумний підхід до дозування є ключовим аспектом ефективного використання БАР. Точний підбір необхідної кількості та правильне внесення забезпечують максимальну результативність із мінімальним впливом на довкілля. Застосування мікродозування дозволяє використовувати найменші ефективні кількості БАР, що забезпечує їх дієвість навіть за низьких концентрацій і мінімізує ризик накопичення хімікатів у ґрунті та водоймах. Локалізоване внесення у зону коренів підвищує ефективність засвоєння речовин, скорочує їх витрати та обмежує вплив на природу. Програмоване дозування, адаптоване до стадій розвитку рослин, дозволяє застосовувати мінімальні кількості на початкових етапах росту та збільшувати дози під час активного розвитку, досягаючи максимальної ефективності.

Біорозкладні варіанти БАР сприяють зменшенню забруднення ґрунту та водойм, забезпечуючи їх швидкий розклад у природних умовах. Використання таких препаратів, створених на основі натуральних компонентів, дозволяє їм легко розкладатися під впливом мікроорганізмів, відновлюючи природний баланс у ґрунті. Це сприяє зменшенню застосування синтетичних речовин і підтримці екологічного здоров'я. Заміна синтетичних БАР природними аналогами забезпечує їх швидке розщеплення без залишення токсичних слідів,

оскільки природні речовини менш стійкі в довкіллі. Це допомагає уникнути накопичення хімікатів у ґрунті та покращити екологічний стан.

Таблиця 6

Екологічно безпечні технології використання біологічно активних
речовин у сільському господарстві

Напрямок	Мета та механізми	Переваги
Оптимізація дозування та методів внесення	Мікродозування, локалізація внесення в кореневу зону, програмоване дозування залежно від стадії росту рослин	Зниження хімічного навантаження на довкілля, зменшення ризику накопичення залишків БАР
Використання біорозкладних форм БАР	Заміна синтетичних речовин на природні аналоги, впровадження препаратів, що швидко розкладаються мікроорганізмами	Зменшення забруднення ґрунтів та водних ресурсів, покращення стану екосистеми
Біоконтроль шкідників і патогенів	Використання біопестицидів (бактерій, грибів), природні антагоністи, регулятори чисельності шкідників	Зниження токсичності для нецільових організмів, підтримка природного біологічного балансу
Технології контрольованого вивільнення БАР	Інкапсуляція БАР, полімерні оболонки з поступовим розпадом, програмоване вивільнення залежно від кліматичних умов	Рівномірне вивільнення, зменшення потреби у частих внесеннях, контрольоване дозування
Інтегровані методи захисту рослин	Поєднання біологічних, механічних та агротехнічних методів, ротація різних типів БАР, агротехнічні заходи	Зниження залежності від хімічних пестицидів, підтримка природного балансу агроєкосистеми
Моніторинг екологічного стану	Регулярний контроль рівнів забруднень, оцінка біорізноманіття, аналіз фізико-хімічних показників ґрунту	Своєчасне коригування технологій застосування БАР, забезпечення сталого розвитку екосистем

Перехід від хімічних пестицидів до біологічних методів захисту рослин є ключовим заходом для збереження екологічного здоров'я [10, 11, 12]. Біоконтроль дозволяє мінімізувати негативний вплив на нецільові види і підтримувати природний баланс у середовищі. Використання біопестицидів, зокрема бактерій, грибів чи вірусів, ефективно пригнічує розвиток патогенів, не порушуючи екосистему. Наприклад, препарати на основі *Bacillus thuringiensis*

забезпечують контроль шкідливих комах, зберігаючи корисні мікроорганізми ґрунту. Регулювання чисельності шкідників через біологічні методи, такі як стерилізація або відлякування, дозволяє утримувати популяцію під контролем без використання токсичних хімікатів. Використання природних антагоністів, зокрема корисних бактерій і грибів, створює конкуренцію для патогенів, знижує ризик захворювань і не шкодить рослинам чи корисній мікрофлорі.

Системи контрольованого вивільнення забезпечують поступове дозування БАР, запобігаючи їх надмірному накопиченню та знижуючи ризик токсичного впливу. Інкапсуляція активних речовин за допомогою нанокапсул дозволяє поступове вивільнення компонентів, забезпечуючи тривалу і рівномірну дію, що зменшує потребу у повторному застосуванні. Полімерні оболонки з контрольованим розпадом сприяють поступовому розчиненню речовин у ґрунті, запобігаючи їхньому накопиченню у високих концентраціях. Використання технологій вивільнення, залежних від погодних умов, таких як вологість або температура, дозволяє ефективніше застосовувати БАР, мінімізуючи ризик екологічного забруднення.

Інтегровані підходи до захисту рослин дозволяють ефективно використовувати БАР, одночасно підтримуючи природну рівновагу агроєкосистеми. Інтегровані системи включають поєднання біологічних, механічних та агротехнічних методів, що сприяє скороченню застосування хімічних засобів. Наприклад, сівозміна разом із механічним видаленням шкідників і використанням біопестицидів створює збалансований підхід до захисту. Застосування різних груп БАР у черговому порядку допомагає уникнути виникнення стійкості шкідників до активних речовин, що підтримує їхню ефективність та зменшує екологічний тиск. Агротехнічні прийоми, такі як введення культур, що природно відлякують шкідників або стримують розвиток патогенів, знижують потребу в БАР і підвищують природну стійкість рослин.

Постійний моніторинг екосистем дозволяє відслідковувати концентрації БАР і аналізувати їхній вплив на довкілля, що дає змогу оперативно коригувати методи їх використання [15, 22, 23]. Вимірювання рівня забруднення ґрунту та

водойм дозволяє виявляти накопичення БАР і вживати заходів для його зменшення. Аналіз змін у біорізноманітті допомагає оцінити вплив цих речовин на популяції корисних мікроорганізмів і інших живих організмів, підтримуючи екологічний баланс. Оцінювання фізико-хімічних характеристик ґрунту, таких як рН і вміст поживних елементів, дозволяє адаптувати програми внесення БАР для збереження здорового стану ґрунтового середовища.

Отже, впровадження екологічно безпечних технологій використання БАР у сільському господарстві є необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку агроєкосистем. Такий підхід сприяє захисту природного середовища, покращенню якості сільськогосподарської продукції, підвищенню врожайності та зменшенню екологічного навантаження.

3.2. Запобіжні заходи та моніторинг впливу БАР на навколишнє середовище

Сталий розвиток агросистем неможливий без комплексного підходу до захисту навколишнього середовища при використанні біологічно активних речовин (БАР). Ефективні запобіжні заходи і систематичний моніторинг допомагають уникнути накопичення залишків БАР у ґрунті, водних джерелах, а також зменшують ризики для біорізноманіття. Раціональне використання БАР дозволяє досягти оптимальної врожайності, зберігаючи природний баланс [7, 9, 10, 18, 21, 32].

Запобіжні заходи передбачають оптимальне дозування, вибір методів внесення, контроль накопичення хімічних сполук у ґрунті та захист корисних видів від впливу БАР.

Визначення оптимальної дози та точне застосування БАР сприяють мінімізації їх поширення в екосистемі. Одним із ключових заходів є коригування дозування, що передбачає використання точно розрахованих обсягів, які відповідають потребам рослин на різних етапах розвитку, запобігаючи надмірному накопиченню БАР у ґрунті та негативному впливу на мікроорганізми. Локалізоване застосування, яке полягає у внесенні речовин

безпосередньо в кореневу зону рослин, обмежує їх поширення на сусідні території та знижує рівень забруднення. Адаптація до погодних умов, зокрема врахування вологості та температури, дозволяє уникнути вимивання або переносу БАР, забезпечуючи їх ефективне використання.

Використання біорозкладних препаратів та природних аналогів сприяє зменшенню рівня забруднення довкілля. Препарати на основі органічних речовин швидко розпадаються, не залишаючи шкідливих залишків у природі. Застосування засобів із контрольованим періодом дії допомагає уникнути їх тривалого накопичення, що значно зменшує вплив на екосистему.

Синтетичні БАР через тривалий період розпаду можуть накопичуватися в екосистемах, що створює додаткові ризики. Перехід на природні аналоги дозволяє значно зменшити ці загрози. Біологічні пестициди є ефективним рішенням, оскільки вони мінімізують токсичний вплив на корисні види. Наприклад, засоби на основі бактерій *Bacillus thuringiensis* вибірково впливають на шкідників, не завдаючи шкоди іншим організмам. Використання ротації різних типів БАР дозволяє уникнути виникнення стійкості шкідників до активних речовин і підтримує баланс агроєкосистеми.

Захист корисних видів, таких як запилювачі та ґрунтові мікроорганізми, є ключовим фактором у збереженні біорізноманіття. Використання селективних БАР, які впливають виключно на шкідливі організми, дозволяє уникнути порушення природного балансу. Створення захисних зон без обробки навколо полів забезпечує безпечні умови для проживання корисних комах і птахів, сприяючи природному контролю шкідників.

Раціональне використання БАР вимагає належної підготовки працівників для зменшення можливих ризиків. Проведення інструктажів і навчання забезпечує розуміння властивостей БАР, правил їх безпечного застосування та потенційного впливу на навколишнє середовище. Використання засобів індивідуального захисту, таких як маски, рукавички та спеціальний одяг, допомагає уникнути контакту з БАР і гарантує підвищений рівень безпеки для працівників.

Для вчасного виявлення можливих ризиків, пов'язаних із використанням БАР, необхідно регулярно відстежувати їхній вплив на стан ґрунтів, водних ресурсів і екосистеми загалом.

Моніторинг стану забруднень дозволяє визначити рівень накопичення БАР у ґрунтових та водних ресурсах. Проведення регулярного аналізу зразків води і ґрунту допомагає встановити залишкові концентрації БАР і оцінити їхній вплив на довкілля [15, 22, 23]. Спостереження за динамікою накопичення цих речовин забезпечує своєчасне виявлення проблем та впровадження заходів для зниження їхньої концентрації, що допомагає запобігти негативним наслідкам для екосистеми.

Біорізноманіття є ключовим елементом стабільності агроєкосистем, а моніторинг впливу БАР дозволяє оцінювати зміни в популяціях корисних організмів. Аналіз стану ґрунтової мікрофлори, зокрема чисельності бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, дає змогу контролювати вплив БАР на родючість ґрунту та здоров'я біоти. Спостереження за популяціями корисних комах, таких як бджоли або дощові черв'яки, дозволяє виявляти можливі негативні наслідки застосування БАР для екологічного різноманіття (табл. 7).

Стан ґрунту безпосередньо впливає на врожайність, і проведення регулярного аналізу допомагає виявляти зміни, пов'язані з використанням БАР. Фізико-хімічне дослідження, яке включає вимірювання рН, вмісту органічних речовин та рівня вологості, дозволяє оцінити вплив БАР на якісні характеристики ґрунту [17, 36, 40]. Перевірка на наявність токсичних елементів, таких як важкі метали та інші шкідливі сполуки, допомагає запобігти їх накопиченню, що може бути спричинено використанням цих речовин.

Розвиток резистентності у шкідників до БАР може значно знижувати ефективність захисту рослин, тому необхідно впроваджувати заходи для контролю цього процесу. Проведення досліджень на виявлення стійкості у патогенів і шкідників дозволяє вчасно коригувати програми застосування БАР. Зміна використовуваних препаратів, зокрема ротація різних типів БАР, допомагає

запобігти розвитку резистентності, забезпечуючи стабільний захист рослин і збереження екологічного балансу.

Таблиця 7

Запобіжні заходи та моніторинг впливу біологічно активних речовин на
навколишнє середовище

Напрямок	Заходи	Переваги
Раціональне дозування та точність внесення	Оптимізація дозування, локалізоване внесення в кореневу зону, урахування кліматичних умов	Зниження забруднення ґрунтів, зменшення негативного впливу на мікрофлору і мікрофауну
Використання екологічно безпечних форм БАР	Заміна синтетичних речовин на біорозкладні та природні аналоги, контроль періоду дії препаратів	Зменшення накопичення токсичних залишків, збереження природного балансу
Обмеження застосування синтетичних БАР	Перевага біопестицидів, ротація видів БАР для уникнення стійкості шкідників	Зниження рівня токсичності, підтримка стійкості екосистеми
Захист нецільових організмів	Використання селективних БАР, створення захисних зон для корисних видів	Збереження біорізноманіття, захист корисних комах і мікроорганізмів
Навчання працівників	Інструктажі щодо безпечного використання БАР, забезпечення засобами індивідуального захисту	Зменшення ризиків для здоров'я, підвищення безпеки на робочих місцях
Контроль рівня забруднення ґрунту та води	Регулярні аналізи зразків ґрунту і води, динамічний моніторинг накопичення БАР	Запобігання екологічному забрудненню, своєчасне коригування програм застосування
Оцінка стану біорізноманіття	Моніторинг популяцій ґрунтових мікроорганізмів та корисних комах	Збереження корисних організмів, забезпечення стійкості агроєкосистем
Аналіз фізико-хімічних характеристик ґрунту	Перевірка рН, вологості, наявності токсичних елементів	Підтримка родючості ґрунтів, запобігання накопиченню шкідливих речовин
Моніторинг стійкості шкідників та патогенів	Виявлення резистентності, ротація БАР для запобігання стійкості	Тривалий захист культур, зменшення стійкості шкідників до БАР
Контроль якості продукції	Аналіз залишків БАР у продукції, сертифікація згідно стандартів безпеки	Безпека для споживачів, підвищення конкурентоспроможності продукції
Моніторинг водних екосистем	Перевірка стану водних ресурсів, моніторинг водної флори і фауни	Запобігання забрудненню водойм, збереження біорізноманіття водних екосистем
Співпраця з науково-дослідними установами	Проведення незалежних досліджень, розробка нових методик застосування БАР	Об'єктивна оцінка екологічних ризиків, вдосконалення технологій внесення БАР

Якість сільськогосподарської продукції значною мірою визначається рівнем залишкових БАР, що впливає на її безпеку та придатність для споживання. Проведення регулярного аналізу на наявність залишків БАР у продукції дозволяє гарантувати її безпечність для споживачів. Сертифікація продукції, яка відповідає стандартам безпеки, відкриває можливості для реалізації як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках, забезпечуючи високу довіру покупців.

Забруднення водойм БАР може мати тривалий згубний вплив на екосистему, включаючи водну флору і фауну. Проведення аналізу якості води у водоймах, розташованих поблизу оброблюваних земель, дозволяє запобігти їхньому забрудненню. Регулярний моніторинг стану водних рослин і тварин допомагає оперативно виявляти негативний вплив БАР на екосистему та вживати необхідних заходів для її захисту.

Залучення наукових установ до аналізу впливу БАР сприяє покращенню екологічних методів їх використання. Проведення незалежних досліджень дозволяє отримати точні та об'єктивні дані про вплив цих речовин на довкілля. Розробка інноваційних підходів, яку здійснюють науковці, допомагає вдосконалити технології застосування БАР, мінімізуючи ризик накопичення шкідливих речовин у навколишньому середовищі.

Отже, запобіжні заходи і постійний моніторинг є запорукою екологічної безпеки у сільському господарстві при використанні БАР. Система моніторингу дозволяє оперативно виявляти ризики, вносити корективи у програми застосування БАР, зберігати біорізноманіття і забезпечувати якість водних та ґрунтових ресурсів. Таким чином, раціональне використання БАР у поєднанні з превентивними заходами сприяє сталому розвитку агроєкосистем та підтриманню здоров'я довкілля.

3.3. Стратегії відновлення екосистем, пошкоджених впливом біологічно активних речовин

Біологічно активні речовини (БАР) можуть спричинити значні порушення в екосистемах, впливаючи на родючість ґрунту, якість води та стан біорізноманіття. Для ефективного відновлення цих пошкоджених екосистем потрібен комплексний підхід, який включає різні методи очищення, покращення стану ґрунтів, реабілітацію водних ресурсів та заходи для підтримки біорізноманіття. Основними стратегіями відновлення є біоремедіація, фіторемедіація, контроль майбутнього використання БАР і співпраця з науковцями.

Біоремедіація [8, 30, 42, 46] полягає у використанні корисних мікроорганізмів, які здатні розкласти шкідливі речовини, перетворюючи їх на менш токсичні сполуки. Цей метод є ефективним, якщо забруднення ґрунту має тривалий характер, наприклад, через надмірне використання пестицидів або гербіцидів.

Використання бактерій і грибів ґрунтується на їх здатності поглинати токсичні речовини та розкласти їх на нешкідливі складові. Наприклад, деякі бактерії можуть трансформувати хімічні сполуки в безпечні елементи. Інокуляція корисними мікроорганізмами включає внесення в ґрунт спеціальних бактерій або грибів, які сприяють прискоренню розкладу забруднюючих речовин, активно розмножуючись і ефективно усуваючи залишки БАР. Аерація покращує доступ кисню до ґрунту, що активізує життєдіяльність мікроорганізмів, тоді як органічні добрива виступають джерелом поживних речовин для їх розвитку та роботи.

Біоремедіація є природним методом, який дозволяє очищати ґрунти, не завдаючи шкоди екосистемам, і не потребує хімічних речовин.

Фіторемедіація [8, 43, 44, 45] полягає в очищенні забруднень за допомогою рослин, які поглинають і накопичують токсини. Це екологічно безпечний метод відновлення, який також може бути застосований до водойм.

Застосування рослин-гіперакумуляторів базується на їх здатності поглинати у свої тканини великі обсяги важких металів і токсичних сполук. Після

досягнення певного рівня накопичення ці рослини видаляють, щоб запобігти поверненню шкідливих речовин у ґрунт. Фітоекстракція передбачає витяг токсинів із ґрунту рослинами, які накопичують їх у своїх органах, поступово очищаючи забруднені території. Фітодеградація здійснюється завдяки виділенню рослинами ферментів, що розкладають хімічні речовини у ґрунті, зокрема залишки пестицидів, перетворюючи їх на безпечні сполуки. Фіторе mediaція не тільки сприяє очищенню ґрунту, але й підтримує біорізноманіття, оскільки рослини виконують роль природного екологічного фільтру.

Тривале використання БАР може погіршувати фізичні та хімічні властивості ґрунту. Відновлення родючості ґрунту є необхідною умовою для забезпечення стабільного росту рослин та біологічної активності (табл. 8).

Вплив БАР на водойми може призвести до значного зниження якості води та порушення водної екосистеми. Для відновлення водних ресурсів застосовують різні методи очищення та реабілітації.

Внесення органічних речовин, таких як компост, гній або сидерати, сприяє збагаченню ґрунту органікою, що покращує його структуру та підвищує родючість. Аерація, або розпушування ґрунту, забезпечує кращий газообмін, стимулюючи розвиток кореневих систем рослин і забезпечуючи доступ кисню для мікроорганізмів. Використання рослин-сидератів, наприклад, гірчиці чи люцерни, дозволяє наситити ґрунт азотом та іншими корисними елементами, що покращує його фізичні та хімічні властивості. Біофільтрація за допомогою водоростей, бактерій і водних рослин сприяє природному очищенню води від залишків шкідливих речовин. Рекультивація берегових зон шляхом висадки рослин уздовж водойм допомагає стабілізувати береги, очищує воду і слугує природним бар'єром для забруднювачів. Плаваючі рослини, такі як ряска, ефективно поглинають токсини з води, очищуючи її від шкідливих домішок.

Таблиця 8

Стратегії відновлення екосистем, пошкоджених впливом біологічно
активних речовин

Стратегія	Опис	Переваги
Біоремедіація	Очищення ґрунтів за допомогою мікроорганізмів, які поглинають і розкладають токсичні речовини на менш шкідливі компоненти. Використання бактерій, інокуляція корисними мікроорганізмами, аерація ґрунту.	Екологічний метод очищення ґрунтів, природний процес, не потребує хімічних речовин.
Фіторемедіація	Використання рослин для очищення ґрунтів та води шляхом поглинання і накопичення токсичних речовин. Використання рослин-гіперакумуляторів, фітоекстракція, фітодеградація.	Природний метод, збереження біорізноманіття, екологічно безпечний.
Відновлення родючості ґрунту	Внесення органічних добрив, аерація, посів сидератів для збагачення ґрунту поживними речовинами.	Покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту, відновлення структури і родючості.
Відновлення водних екосистем	Очищення води за допомогою водоростей, бактерій, висадка рослин уздовж берегів, використання плаваючих рослин для поглинання токсинів.	Покращення якості води, стабілізація берегової лінії, природний процес очищення води.
Контроль використання БАР у майбутньому	Оптимізація дозування, використання біорозкладних БАР, регулярний моніторинг ґрунтів і вод для попередження забруднень.	Зниження ризику забруднення, збереження екосистеми в стабільному стані.
Відновлення біорізноманіття	Створення захисних зон, інтродукція корисних видів, підтримка природних популяцій.	Сприяє стабільності екосистеми, відновлення природного балансу.
Співпраця з науковцями	Проведення досліджень, розробка нових технологій, оцінка ефективності відновлювальних заходів.	Забезпечення ефективності відновлення, удосконалення програм очищення.

Для запобігання повторному забрудненню екосистем необхідно забезпечити суворий контроль за застосуванням БАР та їх дозуванням. Це включає точне дотримання норм використання, щоб уникнути накопичення токсичних речовин у ґрунтових і водних ресурсах. Використання біорозкладних варіантів БАР, які безпечно розкладаються в природному середовищі, мінімізує ризик шкідливого впливу на довкілля. Регулярний моніторинг стану ґрунту та

води дозволяє своєчасно виявляти будь-які зміни та оперативно вживати заходів для їх усунення.

Зниження біорізноманіття внаслідок використання БАР є серйозною проблемою, адже різноманітність видів сприяє стабільності екосистем. Для підтримки біорізноманіття застосовують такі заходи:

Збереження спеціальних захисних зон [25] включає залишення незайманих ділянок, які створюють природні умови для існування корисних комах, сприяючи відновленню екологічної гармонії. Інтродукція корисних організмів, наприклад, певних видів комах або грибів, допомагає відновити природну рівновагу та зміцнити стійкість екосистеми до впливу шкідників. Підтримка природних видів через збереження їхньої чисельності та сприяння їх розвитку забезпечує посилення екосистеми й гарантує її довгострокову стабільність.

Для успішного відновлення природних екосистем важливо налагодити тісну взаємодію з науковими організаціями, що забезпечить розробку передових методів очищення та вдосконалення відновлювальних заходів [15]. Самостійні наукові дослідження допомагають виявляти найбільш результативні способи очищення та оцінювати вплив біологічно активних речовин на природу. Партнерство з науковцями дозволяє аграрним компаніям використовувати нові, більш прогресивні й екологічно безпечні технології. Постійне спостереження за результатами та їх аналіз дають змогу покращувати методи очищення і вдосконалювати програми, забезпечуючи максимальну ефективність у відновленні екосистем.

Отже, відновлення екосистем, пошкоджених БАР, є складним завданням, що вимагає комплексного підходу. Це включає різні методи очищення, заходи для збереження біорізноманіття та контроль за подальшим використанням БАР. Скоординовані заходи з відновлення природного балансу допомагають забезпечити довготривалу екологічну стабільність та сприяють сталому розвитку аграрних екосистем.

ВИСНОВКИ

1. Біологічно активні речовини (БАР) стали важливою частиною сучасного агровиробництва, оскільки сприяють покращенню врожайності та зменшують негативний вплив на природу. Використання регуляторів росту, біологічних пестицидів, антибіотиків та фітонцидів дозволяє зменшити використання хімічних засобів захисту та активізувати природні процеси у ґрунті та рослинах. Такий підхід допомагає підтримувати сталий розвиток сільського господарства, зберігаючи природні ресурси. Ключовими характеристиками БАР є селективність та здатність діяти ефективно навіть у малих дозах, що мінімізує ризик для інших складників екосистеми. Разом з тим, надмірне або неправильне використання БАР може порушити природний баланс і призвести до накопичення шкідливих залишків у ґрунті та воді. Тому важливим є дотримання оптимальних доз та відповідних методів застосування для захисту довкілля.

2. Біологічно активні речовини мають різні функціональні властивості та забезпечують зростання врожайності і покращення якості продукції. Регулятори росту, як-от ауксини, цитокініни, гібереліни та етилен, мають важливе значення для процесів росту і розвитку рослин, сприяючи їх адаптації до стресових умов. Біопестициди і антибіотики знижують залежність від традиційних хімічних засобів, зменшуючи загальне токсичне навантаження на агросистеми. Крім того, використання мікроелементів і мікродобрих покращує засвоєння поживних речовин, сприяючи зростанню продуктивності. Таким чином, використання БАР забезпечує екологічну безпеку та стабільність сільськогосподарських систем, підтримуючи природні процеси у ґрунті та зберігаючи природний баланс.

3. Використання біологічно активних речовин у сільському господарстві суттєво впливає на родючість ґрунту та якість продукції. БАР активізують мікробіологічні процеси в ґрунті, покращуючи його структуру, здатність утримувати вологу та знижуючи потребу у використанні мінеральних добрив. Це сприяє збереженню природного балансу у ґрунтовій екосистемі та запобігає деградації. Крім того, біологічні речовини дозволяють отримати продукцію високої якості, зменшуючи використання пестицидів і хімічних засобів захисту.

Поживність і привабливий зовнішній вигляд агропродукції також поліпшуються завдяки БАР, що підвищує її цінність для споживачів. Отже, застосування БАР не тільки підвищує врожайність, але й покращує екологічну безпеку продуктів харчування.

4. Екологічні аспекти використання БАР є важливими для сталого розвитку сільського господарства, оскільки вони знижують залежність від синтетичних добрив і пестицидів. Біологічно активні речовини сприяють зростанню біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів, підтримуючи стабільність екосистеми. Це також допомагає уникати негативних наслідків від надмірного забруднення водойм, сприяючи природному очищенню екосистеми від залишків шкідливих речовин. Крім того, БАР можуть сприяти відновленню деградованих земель, забезпечуючи їхню стійкість і підвищуючи їхню продуктивність. Впровадження БАР у практику сільського господарства дозволяє зберегти екологічну рівновагу, підтримуючи природні процеси та екологічну безпеку.

5. Щоб мінімізувати вплив біологічно активних речовин на природу, необхідно використовувати екологічно безпечні технології. Оптимізація дозування та методи внесення БАР знижують ризик забруднення ґрунтів і води, зберігаючи природну рівновагу в агросистемах. Біорозкладні препарати допомагають уникнути тривалого накопичення токсичних залишків у ґрунті та підтримують природний цикл самоочищення. Важливо також проводити систематичний моніторинг екологічного стану, щоб у разі необхідності коригувати методи внесення БАР. До того ж, навчання персоналу та належна підготовка до роботи з БАР можуть допомогти уникнути небажаних наслідків. У комплексі всі ці заходи забезпечують екологічну безпеку аграрного виробництва.

6. Відновлення екосистем, що зазнали впливу біологічно активних речовин, вимагає застосування цілого ряду методів, серед яких – біоре mediaція, фіторе mediaція, зменшення використання БАР у майбутньому та підтримка біорізноманіття. Використання корисних мікроорганізмів для очищення ґрунтів та водойм дозволяє безпечним способом повернути їм екологічну стабільність. Для захисту водних ресурсів корисно застосовувати рослини-фільтри, що

поглинають токсини, зберігаючи баланс у водних екосистемах. Також варто вводити запобіжні заходи, зокрема захисні зони та ротацію різних видів БАР, що сприяє підтримці популяцій корисних організмів і запобігає розвитку стійкості у шкідників. Співпраця з науковцями дозволяє створювати нові екологічно безпечні підходи та вдосконалювати методи відновлення екосистем.

Список використаних джерел

1. Анішин Л.А., Пономаренко С.П., Грицаєнко З.М. Регулятори росту рослин. Рекомендації по застосуванню Київ: ДП МНТЦ «Агробіотех» 2011. С. 28-29,
2. Антибіотики в ґрунті та їх вплив на ґрунтову мікробіоту / Я.Ф. Жукова, О.В. Дмитренко, С.С. Петрищенко, Н.М. Литвиненко, А.М. Кирильчук, А.І. Павліченко. *Agroecological Journal*. 2021. № 3. С. 44-53.
3. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; під заг. ред. В.Г. Герасименка. Київ: Фірма «ІНКОС», 2006. 647 с.
4. Векірчик К. М. Мікробіологія з основами вірусології. Київ : Либідь, 2001. 312 с.
5. Влізло В.В., Салига Ю.Т. Проблеми біологічної безпеки застосування пестицидів в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2012, № 1. С. 24-28.
6. Войцехівська О.В., Ситар О.В., Таран Н.Ю. Фенольні сполуки: різноманіття, біологічна активність, перспективи застосування. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія*, 2015, Вип. 1 (34), С. 104-119.
7. Грицаєнко З.М., Пономаренко С.П., Карпенко В.П., Леонтюк І.Б. Біологічно активні речовини в рослинництві. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2008. 352 с.
8. Дацько О.М. Яценко В.М. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 20-24.
9. Дудник А.В. Ястремська Л.В., Волошенюк А.В. Вплив біостимуляторів росту на біометрію рослин соняшнику в умовах Південного Степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2008. Вип. 1. С. 130-136.
10. Елементи біологізації в рослинництві: рекомендації виробництву (монографія) / В.П. Карпенко, С.П. Полторецький, Р.М. Притуляк, О.І. Заболотний, А.О. Чернега, А.А. Даценко та ін.; за ред. В.П. Карпенка. Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2017. 112 с.

11. Євтушенко М.Д. Пестициди і технічні засоби їх застосування / За ред. М.Д. Євтушенка, Ф.М. Марютина. Харків, 2017, 347 с.
12. Забезпечення екологічної безпеки: підручник / М.В. Сарапіна, В.А. Андронов, С.Р. Артем'єв, О.В. Бригада, О.В. Рибалова. Харків: НУЦЗУ, 2019. 246 с.
13. Зубець М. В., Безуглий М. Д. Економічні аспекти реформування аграрно-промислового комплексу України. Київ: Аграрна наука, 2010. 17 с.
14. Іутинская Г.О. Ґрунтова мікробіологія: навчальний посібник. Київ: Арістей, 2006. 284 с.
15. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: підручник. 2-ге вид., допов. та перероб. Рівне : НУВГП, 2023. 350 с.
16. Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: навчальний посібник. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.
17. Корпенко В.П., Притуляк Р.М., Грицаєнко З.М., Полторецький С.П. Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин. Умань, «Сочінський». 2012. 320 с.
18. Коць С.Я., Гришук О.О. Фітогормони у формуванні та функціонуванні симбіотичних взаємовідносин бобових рослин і бульбочкових бактерій. Физиология растений и генетика. 2015. Т. 47. № 3. С. 187-206.
19. Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Войціцький В.М. Сучасні методи біохімічних досліджень: Учбовий посібник. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 424 с.
20. Марченко М.М. Николюк І.Д. Біологічно активні речовини: Чернівці : Рута, 2005. 120 с.
21. Мельничук М.Д., Новак Т.В., Кунах В.А. Біотехнологія рослин: підручник. Київ: Поліграфконсалтинг, 2003. 520 с.
22. Моніторинг шкідників і хвороб сільськогосподарських культур: навчальний посібник / С.В. Станкевич, І.В. Забродіна, Ю.В. Васильєва та ін.; Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. 624 с.

23. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур: підручник / Й.Т. Покозій, В.М. Писаренко, С.В. Довгань та ін.; за ред. Й.Т. Покозія. Київ: Аграрна освіта, 2010. 223 с.
24. Основи агрономічної хімії: навчальний посібник / С.Г. Чорний. Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет. 2020. 284 с
25. Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки: постанова Верховної Ради України від 5 березня 1998 року № 188/98-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 13. Ст. 241.
26. Остапчук М.О., Поліщук І.С., Мазур О.В., Максимов А.М. Використання біопрепаратів перспективний напрямок вдосконалення агротехнологій. Сільське господарство та лісівництво №2, 2015. С. 5-17.
27. Патица В.П. Біологічне землеробство як фактор сталого розвитку агроєкосистем. Матеріали міжнародної конференції «Сталий розвиток агроєкосистем». Вінниця, 2002. С. 5-9.
28. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Київ, Юнівест Медіа, 2016. С. 831.
29. Пирог Т.П. Загальна мікробіологія: підручник. Київ: Національний університет харчових технологій, 2004. 471 с.
30. Писаренко П.В., Диченко О.Ю., Цьова Ю.А., Серeda М.С. Напрями біоремедіації техногенно забруднених ґрунтів. Таврійський науковий вісник. 2020. № 120. С. 282-292.
31. Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Н.В. Біологічно активні речовини в харчових технологіях : підручник. Міністерство освіти і науки України, Київ : Національний університет харчових технологій, 2016. 455 с.
32. Скляничук В.М., Науменко М. Д. Вплив елементів біологізації землеробства на врожайність сільськогосподарських культур у Західному Поліссі. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН» (спецвипуск). Київ : ЕКМО, 2006. Вип. 29. С. 112-118.

33. Старчевський І.П. Біологізація землеробства. Карантин і захист рослин. 2004. № 11. С. 25-26.
34. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива: навчальний посібник / М.Д. Волошин, Я.М. Черненко, А.В. Іванченко, М.А. Олійник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 354 с.
35. Тимчишин О.Ф. Продуктивність гречки залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Західного Лісостепу України. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09. «Рослинництво». Київ, 2015, 20 с.
36. Ткаленко Г.М. Мікробіологічний метод в інтегрованому захисті посівів сільськогосподарських культур. Карантин і захист рослин. 2004. № 11. С. 27-28.
37. Фітофармакологічний довідник / За ред. М.Д. Євтушенка, Ф.М. Марютина. Харків: 2015, 512 с.
38. Фітофармакологія / М.Д. Євтушенко, Ф.М. Марютин, В.П. Туренко, В.М. Жеребко, М.П. Секун. Київ: Вища освіта, 2016, 431 с.
39. Чорна Т. М. Мікробіологія: навчальний посібник. Університет державної фіскальної служби України. Ірпінь : УДФСУ, 2020. 412 с.
40. Шерстобоева О. В. Екологічні, економічні та соціальні передумови біологічного землеробства. Агроєкологічний журнал. 2007. № 1. С. 67-70.
41. Шувар І. На шляху до біологізації. Агробізнес сьогодні. 2011. № 1-2. С. 34-35.
42. Chettri D., Verma A. K., Chirania M., Verma A. K. Metagenomic approaches in bioremediation of environmental pollutants, Environmental Pollution, Volume 363, Part 2, 2024, 125297, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125297>.
43. Dursun S., Symochko L., Mankolli H. Bioremediation of Heavy Metals from Soil: An Overview of Principles and Criteria of Using. Agroecological Journal. 2020. No. 3. P. 6-12.

44. Gomes M. P., Climate Change and Aquatic Phytoremediation of Contaminants: Exploring the Future of Contaminant Removal, *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, Volume 93, Issue 9, 2024, P. 2127-2147.
45. Liang Z., Neményi A., Kovács G.P., Gyuricza C., Incorporating functional traits into heavy metals phytoremediation: The future of field-based phytoremediation, *Ecological Indicators*, Volume 166, 2024, 112262, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112262>.
46. Prediction of optimal bioremediation conditions for petroleum hydrocarbon contaminated soil by automated machine learning-based analysis / J. Wang, C. Peng, Q. Man, R. Guo, Z. Yang, X. Ma. *Journal of Cleaner Production*, Volume 479, 2024, 144042, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144042>.