

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

**ПОГОДЖЕНО**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Декан факультету**

**Завідувач кафедри**

**захисту рослин, біотехнологій та екології**

**екології агросфери та екологічного контролю**

\_\_\_\_\_ **Коломієць Ю.В.**

\_\_\_\_\_ **Наумовська О.І.**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему:**

**Вплив пестицидів на комах-запилювачів в агроценозах на  
прикладі ТОВ «ВАМ АГРО» у Львівській області**

Спеціальність: 101"Екологія"

Освітня програма: Охорона навколишнього середовища

Орієнтація освітньої програми: Освітньо-професійна

**Гаранд освітньої програми**

доктор біологічних наук,  
професор кафедри екології агросфери  
та екологічного контролю

(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Гайченко В.А.

(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к. с.-г. наук, доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Вагалюк Л.В.

(ПІБ)

Виконав

\_\_\_\_\_

(підпис)

Литвинова С.С.

(ПІБ студента)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри  
екології агросфери та екологічного  
контролю**

\_\_\_\_\_ **Наумовська О.І.**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
Литвиновій Софії Сергіївни**

Спеціальність : : 101 «Екологія»

Освітня програма: Охорона навколишнього середовища

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **Вплив пестицидів на комах-запилювачів в агроценозах на прикладі ТОВ «ВАМ АГРО» у Львівській області**, затверджена наказом ректора НУБіП України від “06” листопада 2024р.№ 1984 С

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.11.15

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: видовий склад і біорізноманіття комах-запилювачів, структуру сільськогосподарських угідь господарства ТОВ «ВАМ АГРО», характеристику основних біотопів та розрахункові індекси біорізноманіття.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Дослідити природно-кліматичні умови та структуру агроландшафтів господарства ТОВ «ВАМ АГРО» у контексті формування середовищ існування комах-запилювачів.
2. Визначити видовий склад, чисельність і просторово-часову динаміку популяцій запилювачів у дослідних агроценозах до та після застосування пестицидів.
3. Оцінити стан біорізноманіття ентомофауни за індексами Шеннона, Маргалєфа та Бергера–Паркера з метою визначення рівня екологічної стабільності угруповань.
4. Проаналізувати інтенсивність використання пестицидів у господарстві та встановити кореляційні зв'язки між рівнем хімічного навантаження і чисельністю запилювачів.
5. Розробити практичні рекомендації щодо зниження токсичного навантаження та збереження функціональної стійкості агроєкосистем.

Дата видачі завдання “24” листопада 2024 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к. с.-г. наук, доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Вагалюк Л.В.  
(ПІБ)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Литвинова С.С.  
(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему «Вплив пестицидів на комах-запилювачів у агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО» (Львівська область)» викладена на 72 сторінках машинописного тексту, містить 21 таблиць, 5 рисунків та 10 графіків. Список використаних джерел налічує 73 найменувань, серед яких 43 — іноземною мовою.

Актуальність теми зумовлена глобальним скороченням чисельності комах-запилювачів, що становить загрозу для стійкості агроecosystem та продовольчої безпеки. Надмірне використання пестицидів у сучасному землеробстві є однією з основних причин зниження біорізноманіття ентомофауни. У зв'язку з цим дослідження впливу пестицидів на запилювачів у польових умовах має важливе екологічне та практичне значення.

**Мета дослідження** – провести оцінку впливу пестицидів на чисельність, видовий склад і біорізноманіття комах-запилювачів у агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО».

**Об'єкт дослідження** – аналіз екологічні наслідки застосування пестицидів у агроценозах господарства ТОВ «ВАМ АГРО» (с. Жовква, Львівська область) на чисельність, біорізноманіття та поведінку комах-запилювачів.

**Предмет дослідження** – популяції комах-запилювачів у агроecosystem Львівської області.

### **Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати видовий склад, чисельність та просторово-часову динаміку запилювачів у природних і трансформованих ділянках агроценозів до та після застосування пестицидів;
2. Оцінити стан біорізноманіття комах-запилювачів за допомогою індексів Шеннона, Маргалефа та Бергера-Паркера;
3. Провести аналіз застосування пестицидів у агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО» та визначити його вплив на чисельність, різноманіття та поведінкові особливості комах-запилювачів.
4. Встановити кореляційні зв'язки між інтенсивністю пестицидного навантаження та змінами біорізноманіття комах-запилювачів

5. Розробити екологічно обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації застосування пестицидів для збереження запилювачів та підтримки функціональної стійкості агроecosystem.

У процесі роботи застосовано польові та статистичні методи. Під час вегетаційного періоду 2025 року проведено візуальні обліки запилювачів на посівах ріпаку, соняшнику та гречки. Отримані дані опрацьовано за допомогою варіаційного та кореляційного аналізу.

У результаті досліджень виявлено 45 видів комах-запилювачів із 6 родин і 4 рядів. Основу складу становили *Apis mellifera*, *Bombus terrestris*, *Osmia bicornis* і представники родини *Syrphidae*. На ділянках із підвищеним рівнем хімічного навантаження чисельність запилювачів зменшувалася у 1,8-2,3 рази, а індекс Шеннона-Вайнера – з 2,6 до 1,6, що свідчить про негативний вплив пестицидів на ентомофауну. На основі результатів розроблено комплекс заходів для зниження токсичного навантаження, що включає використання біологічних препаратів (Актофіт, Бівертин, Бітоксисабацилін), перенесення обприскування у вечірній час, створення квіткових буферних смуг і залишення неораних меж. Реалізація цих заходів дозволила зменшити концентрацію токсичних речовин у середовищі на 48% і підвищити чисельність запилювачів на 36% порівняно з попереднім сезоном.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем управління у сільському господарстві Західного Лісостепу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** пестициди, комахи-запилювачі, біорізноманіття, індекс Шеннона, індекс Маргалефа, індекс Бергера-Паркера, агроecosystem, екологічна стійкість.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....	8
1.1 Роль запилювачів в екосистемах та агровиробництві.....	8
1.2. Види пестицидів, їх класифікація, механізм дії та екологічні наслідки	11
1.3. Індекси біорізноманіття.....	25
1.4. Міжнародний досвід збереження комах-запилювачів.....	28
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
2.1. Місце проведення дослідження.....	32
2.2. Природно-кліматичні умови регіону .....	33
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА АКТИВНІСТЬ КОМАХ-ЗАПИЛЮВАЧІВ У АГРОЦЕНОЗАХ ТОВ «ВАМ АГРО».....	45
3.1. Аналіз видового складу комах-запилювачів в дослідних агроценозах..	45
3.2 Визначення індексів біорізноманіття.....	50
3.3. Аналіз застосування пестицидів у ТОВ «ВАМ АГРО» .....	58
ВИСНОВКИ.....	65
РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69

## ВСТУП

Збереження популяцій комах-запилювачів сьогодні розглядається як один із ключових викликів екологічної безпеки та сталого розвитку. Саме ці організми забезпечують відтворення значної частини дикорослих і культурних рослин, підтримуючи стабільність харчових мереж та продуктивність агроecosystem. Однак упродовж останніх десятиліть світом поширюється тенденція до стрімкого скорочення чисельності запилювачів, що отримала назву «криза запилення». Її причинами вважають втрату природних місць існування, деградацію ландшафтів, зміни клімату, а також зростаюче використання хімічних засобів у землеробстві.

Проблематика впливу пестицидів на запилювачів стала об'єктом уваги міжнародних організацій та урядів різних країн. У Європейському Союзі протягом останнього десятиліття були ухвалені ряд нормативних актів, спрямованих на обмеження застосування високотоксичних інсектицидів, зокрема неонікотиноїдів. Єврокомісія впроваджує Pollinators Initiative, що передбачає моніторинг стану запилювачів, розвиток буферних смуг, зменшення хімічного навантаження і стимулювання біологічного землеробства. Аналогічні програми діють у Канаді, Великій Британії та США, де на рівні регуляторних органів посилено процедури оцінки ризиків пестицидів для нецільових організмів. Частина країн уже ввела обов'язкові плани управління ризиками для пасічництва та заборонила застосування низки діючих речовин у період цвітіння культур.

Україна також долучається до міжнародної практики екологізації агровиробництва, однак зростання інтенсивності землеробства та значний обсяг імпортованих препаратів зумовлюють додаткові ризики для ентомофауни. На тлі активного використання інсектицидів і фунгіцидів спостерігається фрагментація природних біотопів, зменшення площ нектраносів і зростання частоти випадків загибелі медоносних та диких запилювачів. Це актуалізує потребу в науково обґрунтованих підходах до регулювання хімічного навантаження та оцінки його екологічних наслідків.

У контексті сучасних викликів особливо важливим є порівняння різних моделей землеробства, аналіз чутливості запилювачів до різних типів обробок та визначення меж допустимого використання хімічних препаратів без втрати екологічної рівноваги. У наукових дослідженнях увагу приділяють вивченню змін чисельності, поведінкових реакцій і структури угруповань комах у полях із різними рівнями хімічного впливу, а також можливості застосування біологічних засобів як альтернативи синтетичним інсектицидам.

З огляду на зазначені тенденції, оцінювання стану запилювачів та їхньої реакції на різні технології землеробства стає ключовою умовою формування екологічно безпечних агроландшафтів. Практика низки країн демонструє, що саме інтегроване управління, поєднання біопрепаратів, буферних зон, регламентованого часу обробок та екологічних стандартів дозволяє мінімізувати негативний вплив пестицидів і водночас підтримувати продуктивність рослинництва. Такий підхід стає необхідною умовою модернізації аграрного сектору України в контексті євроінтеграційних вимог та кліматичних викликів.

## РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Роль запилювачів в екосистемах та агровиробництві

Запилення є одним із найважливіших біологічних процесів, що забезпечує відтворення квіткових рослин та підтримує стабільність екосистем. Воно є основою для формування плодів і насіння, а отже—для існування більшості наземних форм життя. У природі запилення відбувається переважно за участю комах, які переносять пилок із квітки на квітку, сприяючи заплідненню та генетичному різноманіттю популяцій[1].

Комахи-запилювачів, зокрема бджоли, джмелі, метелики, мухи, жуки та деякі види ос, відіграють ключову роль у стабільності природних екосистем. Вони забезпечують розмноження понад 80% видів квіткових рослин світу[2]. У свою чергу, ці рослини формують основу трофічних ланцюгів, забезпечуючи кормову базу для тварин і людей. Без ефективного запилення зникає частина рослинних угруповань, а це призводить до зменшення біорізноманіття та деградації екосистем.

Запилювачів є важливою ланкою колообігу речовин у природі. Завдяки їм підтримується стабільність популяцій диких рослин, регулюється мікроклімат у біоценозах і створюються умови для самовідновлення природних екосистем. Дослідження показують, що у місцях, де чисельність запилювачів скорочується, знижується видовий склад рослин, зменшується продуктивність луків та агроценозів[3].

У степових і лісостепових екосистемах України (*Apis mellifera*) і дикі запилювачі (*Bombus spp.*, *Andrena spp.*) забезпечують запилення таких видів, як конюшина, люцерна, соняшник, гречка, ріпак. Без їхньої діяльності природне оновлення фітоценозів біло б неможливим[4].

У агровиробництві роль запилювачів виходить далеко за межі екологічного значення. Запилення безпосередньо впливає на урожайність і якість продукції. За оцінками FAO, понад 75% сільськогосподарських культур світу часткового або повністю залежить від запилення комахами[5].

В Україні найбільш залежними є плодові (яблуна, груша, вишня), олійні (соняшник, ріпак) і овочеві культури (гарбуз, кавун, огірок). Наприклад, завдяки діяльності бджіл урожайність соняшнику підвищується на 30-40%, яблуні- на 60-70%, гречки- на 50% [6].

Таблиця 1.

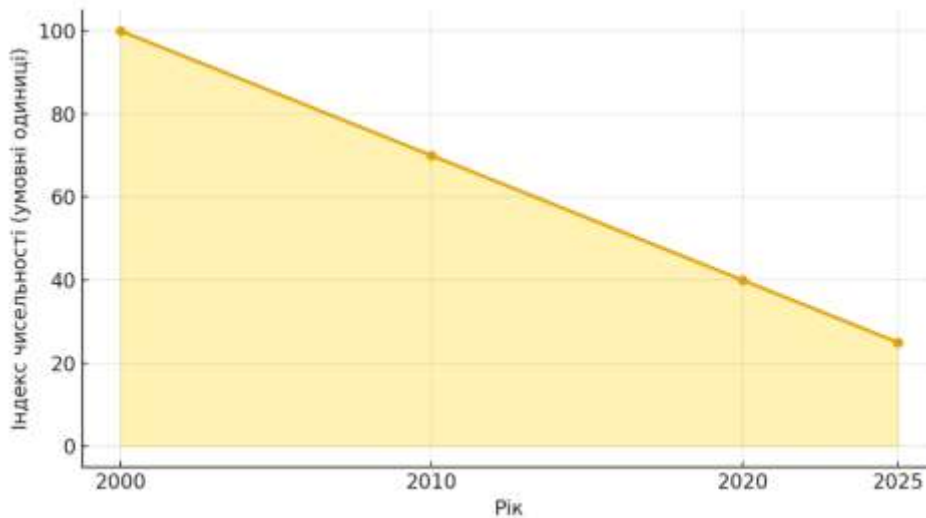
**Основні культури, що залежать від комах-запилювачів**

Культура	Основний запилювач	Залежність від запилення, %	Приріст урожайності при наявності запилювачів, %
Соняшник	Бджола медоносна, джміль	90	35–40
Яблуна	Бджола, джміль	85	60–70
Гречка	Бджола, муха квіткова	95	45–55
Огірок	Бджола, джміль	80	30–40
Ріпак	Бджола, осмія	70	25–30

Важливо зазначити, що у світі економічна цінність запилення оцінюється більш ніж у 235 млрд доларів США на рік[8]. Для України цей показник становить близько 10-12 млрд грн щорічно[9].

Незважаючи на надзвичайну роль, чисельність запилювачів у світі стрімко скорочується. За останні 30 років чисельність популяцій бджіл у деяких країнах Європи зменшилась на 25-40% [10]. Основні причини:

- Інтенсивне використання пестицидів (особливо неонікотиніодів),
- Втрата природних місць існування,
- Зміна клімату,
- Поширення паразитів і хвороб, зокрема кліща *Varroa destructor*.



**Рисунок 1. Загальна динаміка чисельності медоносних бджіл у Європі (2000–2025 рр.)**

Подібні тенденції спостерігаються і в Україні. За даними Держпродспоживслужби, лише 2020-2023рр. було зафіксовано понад 500 випадків масового отруєння бджіл, що призвело до втрати десятків тисяч бджолосімей[11].

Бджоли є природними біоіндикаторами стану довкілля. Вони акумулюють у продуктах життєдіяльності (мед, віск, пилок) сліди хімічних речовин, що потрапляють у навколишнє середовище[12]. Тому аналіз меду або перги часто використовується для моніторингу екологічного стану ландшафтів.

У дослідженнях Інституту бджільництва ім. П. І. Прокоповича (2023р.) було виявлено, що концентрація неонікотиноїдів у зразках пилку з інтенсивно оброблюваних полів у 4-6 разів перевищує безпечні норми для *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 [13].

Зменшення чисельності запилювачів призводять до каскадних наслідків:

- Скорочення видового складу рослин,
- Зниження врожайності культур,
- Погіршення якості плодів,
- Деградація агроecosystem.

Цей ефект особливо помітний у регіонах, де переважають монокультури, наприклад, ріпак або соняшник. Втрата запилювачів у таких агроландшафтах знижує стійкість екосистем до посухи та шкідників[14].

Організація Об'єднаних Націй у 2018р. Ухвалила Міжнародну ініціативу з охорони запилювачів (Pollinator Initiative), яка передбачає створення сприятливих умов для їх існування, зменшення пестицидного навантаження та розвиток екологічного землеробства[15].

У Європейському Союзі діє EU Pollinators Initiative (2021–2030), що спрямована на створення «зелених коридорів» для диких запилювачів і заборону небезпечних пестицидів[16].

В Україні такі принципи поступово впроваджуються через програми «Екоферма» та «Органічна Україна», які підтримують біологічне землеробство та мінімізацію хімічних засобів[17].

Отже, роль запилювачів в екосистемах і агровиробництві є ключовою для підтримання біорізноманіття, стабільності природних угруповань і продовольчої безпеки. Вони забезпечують функціонування природних і штучних екосистем, сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і покращують якість життя людини. Збереження популяцій запилювачів має стати пріоритетом державної екологічної політики, адже від цього залежить сталий розвиток агросфери та екологічна рівновага на планеті.

## **1.2. Види пестицидів, їх класифікація, механізм дії та екологічні наслідки**

Хімічні засоби (пестициди) — це синтетичні або природні речовини, призначені для контролю шкідливих організмів, що негативно впливають на розвиток сільськогосподарських культур. Вони є невід'ємним елементом сучасного агровиробництва, проте при їхньому надмірному або неправильному використанні створюється загроза для екосистем, комах-запилювачів і здоров'я людини[18].

Згідно із Законом України «Про пестициди і агрохімікати», пестициди - це токсичні речовини, призначення для знищення, регулювання або обмеження

шкідливих організмів, які шкодять рослинам, продуктам рослинництва чи тваринництва[19]. До них належать інсектициди, гербіциди, фунгіциди, родентициди, акарициди, нематоциди, десиканти, репеленти тощо.

У сучасному сільському господарстві застосовуються широкий спектр пестицидів, які класифікують за призначенням, хімічною структурою, способом проникнення в організм шкідника, механізмом дії та токсичністю.

1. За призначенням:

- Інсектициди – для знищення шкідливих комах (наприклад хлорпірифос, імідаклопрід)
- Фунгіциди – проти грибкових хвороб (манкоцеб, пропіконазол).
- Гербіциди – знищення бур'янів (гліфосат, біфентрин).
- Акарициди – проти кліщів (абамектин, біфетрин).
- Нематоциди – для боротьби з нематодами (фенаміфос).
- Родентициди – проти гризунів (бромадіолон).
- Десиканти – для пісушування рослин перед збором урожаю (дикват).

Таблиця 2.

**Основні види пестицидів за призначенням**

<b>Вид препарату</b>	<b>Мета застосування</b>	<b>Типові діючі речовини</b>	<b>Приклад препарату</b>
Інсектициди	Знищення комах-шкідників	Імідаклопрід, хлорпірифос	Конфідор, Нурел Д
Гербіциди	Контроль бур'янів	Гліфосат, ацетохлор	Раундап, Харнес
Фунгіциди	Проти грибкових захворювань	Манкоцеб, тіофанат-метил	Ридоміл Голд, Топсін-М
Акарициди	Знищення кліщів	Біфентрин, абамектин	Вертимек, Бі-58
Родентициди	Проти гризунів	Бромадіолон, варфарин	Клерат, Штурм

Хімічна природа пестицидів визначає їхні механізм дії, токсичності і стійкість у довкіллі.

Основні групи:

1. Фосфорорганічні сполуки (ФОС) – впливають на нервову систему комах, блокуючи фермент ацетилхолінестеразу. Приклади : злорпірифос, диметоат, малатіон. Переваги: ефективні проти широкого спектра шкідників. Недоліки: висока токсичність для бджіл і теплокровних тварин[20].
2. Карбаматні сполуки – діють аналогічно ФОС, але мають короткий період напіврозпаду (карбофауран, метоміл). Високий ризик для запилювачів при обприскуванні у фазі цвітіння.
3. Неонікотиноїди – найпоширеніша група інсектицидів (імідаклоприд, тіаметоксам, клотіанідин). Вони впливають на рецептори нервової системи комах, викликаючи параліч і смерть [21]. Проте ці речовини є системними - проникають у нектар і пилок, що робить їх особливо небезпечними для бджіл.
4. Піретроїди – синтетичні аналоги природних речовин хризантем, діють контактно (дельтаметрин, циперметрин). Менш токсичні для теплокровних але небезпечні для водних організмів[22].
5. Хлорорганічні сполуки (ДДТ, альдрит, хлордан) – історично важливі але нині заборонені через високу стійкість і біоаккумуляцію.

*Таблиця 3.*

### **Класифікація пестицидів за хімічною природою**

<b>Група пестицидів</b>	<b>Типові речовини</b>	<b>Особливості дії</b>	<b>Токсичність для бджіл</b>
Фосфорорганічні	Хлорпірифос, малатіон	Порушення передачі нервових імпульсів	Висока

Карбамати	Карбофуран, метоміл	Коротка дія, нейротоксична активність	Висока
Неонікотиноїди	Імідаклоприд, клотіанідин	Системна дія, накопичення в пилку	Дуже висока
Піретроїди	Циперметрин, дельтаметрин	Контактна дія, стабільність до світла	Середня
Фенілпіразоли	Фіпроніл	Блокада ГАМК- рецепторів	Висока

Пестициди поділяються на чотири класи небезпеки (згідно з ДСТУ 8.8.1.002-98):

- I клас — надзвичайно небезпечні ( $LD_{50} < 50$  мг/кг);
- II клас — високонебезпечні ( $LD_{50} = 50-200$  мг/кг);
- III клас — помірно небезпечні ( $LD_{50} = 200-1000$  мг/кг);
- IV клас — малонебезпечні ( $LD_{50} > 1000$  мг/кг) [23].

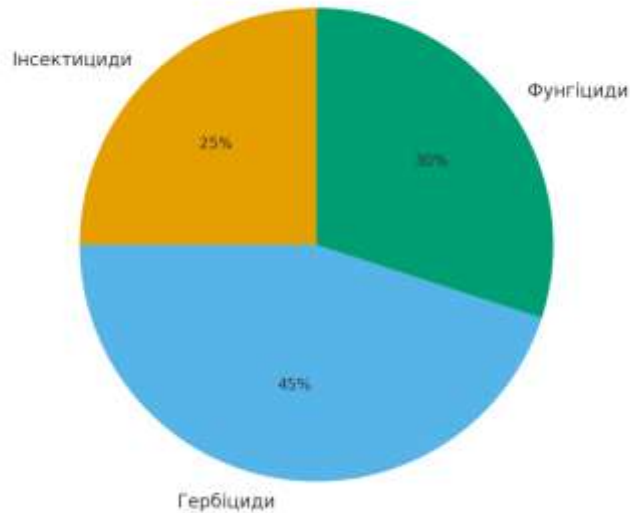
Більшість інсектицидів, особливо неонікотиноїдів, належать до I–II класів. Для бджіл смертельна концентрація імідаклоприду становить 0,0038 мг/особину [24].

За даними Державного реєстру пестицидів (2024р.), в Україні дозволено до використання понад 1400 препаратів, із яких 60% - імпортного виробництва[25]. Найчастіше застосовують засоби на основі гліфосату, хлорпірифосу, тіаметоксаму та дельтаметрину.

Зростання інтенсивності агровиробництва призводять до підвищення хімічного навантаження на екосистеми. Особливу небезпеку становить застосування пестицидів у період цвітіння, коли на полях активно працюють запилювачі[26].

Нині простежуються тенденція до зменшення використання високотоксичних речовин і переходу на біологічно безпечні препарати. У ЄС заборонено понад 70 діючих речовин, зокрема неонікотиноїди (імідаклоприд, тіаметоксам), які спричиняли масові отруєння бджіл [27].

Структура використання пестицидів в Україні (2024 р.)



**Рисунок 2. Структура використання пестицидів в Україні (2024 р.)**

В Україні також розробляються програми переходу на екологічно безпечні засоби, зокрема впровадження біопестицидів на основі ентомопатогенних грибів та бактерій[28].

Пестициди відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності виробництва сільськогосподарської продукції, проте їхнє надмірне застосування призводить до деградації екосистем і загибелі запилювачів. Знання класифікації, механізму дії та токсичності пестицидів є необхідною передумовою для безпечного їх використання у сільському господарстві. Раціональне застосування таких речовин і поступовий перехід до екологічно безпечних альтернатив таких речовин і поступовий перехід до екологічно безпечних альтернатив є ключем до сталого розвитку агросфери.

### **Механізм впливу пестицидів на комах-запилювачів**

Зростання інтенсивності сільськогосподарського виробництва супроводжується широким використанням пестицидів та інших агрохімікатів. Хоча вони є ефективним інструментом контролю шкідників, численні дослідження останніх десятиліть свідчать, що пестициди чинять істотний негативний вплив на комах-запилювачів, особливо на медоносну бджолу (*Apis*

*mellifera*) та диких запилювачів – джмелів (*Bombus spp.*), осмій (*Osmia spp.*), метеликів та мух-дзюрчалок (*Syrphidae*)[29].

Механізм дії пестицидів на комах є комплексним, охоплюючи фізіологічні, поведінкові, біохімічні, генетичні та екологічні аспекти. Розуміння цих механізмів є критично важливим для розроблення ефективних стратегій збереження популяцій запилювачів і мінімізації шкоди довкіллю.

Більшість інсектицидів – зокрема фосфорорганічні, карбаматні сполуки та неонікотиноїди - впливають на нервову систему комах. Вони блокують або імітують дію нейромедіатора ацетилхоліну, що призводить до перезбудження нервових клітин, паралічу та смерті комах.

Наприклад, неонікотиноїди (імідаклоприд, клотіанідин, тіаметоксам) зв'язуються з нікотиновими ацетилхоліновими рецепторами у синапсах, викликаючи їхнє постійне збудження [30]. У результаті комахи втрачає здатність координувати рухи, орієнтуватися в просторі, повертатися до вулика.

В експерименті, проведеному EFSA у 2023 р., встановлено, що при концентрації імідаклоприду 0,5 нг/мл у нектарі 30% бджіл втрачали орієнтацію вже через 60 хв після контакту, а 70%- не повертались у вулик[31].

Подібна дія спостерігається і для фосфорорганічних сполук (хлорпірифос, диметоат), які блокують фермент ацетилхоліністеразу – це призводить до накопичення ацетилхоліну в синапсах і паралічу комах [32].

Одним із найнебезпечних ефектів є сублетальний вплив пестицидів, який не призводить до миттєвої загибелі, але порушує поведінкові реакції. Дослідження показали, що під впливом неонікотиноїдів у бджіл змінюється орієнтація в просторі, знижується пам'ять та навчальна здатність, а також зменшується ефективність пошуку нектару [33].

Бджоли, які контактували навіть із низькими дозами тіаметоксаму (0,1 нг/мкл), повертались у вулик у 2,5 рази рідше, ніж контрольна група [34].

## Зміна поведінкових реакцій бджіл під впливом неонікотиноїдів

Параметр поведінки	Контрольна група	Після впливу імідаклоприду (0,5 нг/мкл)	Відхилення, %
Повернення до вулика	95 %	60 %	-37 %
Тривалість польоту, хв	25	14	-44 %
Частота танцю запилення	100 %	62 %	-38 %
Рівень активності матки	100 %	71 %	-29 %

Поведінкові порушення виявляються також у зменшенні колективної координації: бджоли не розпізнають сигналів «танцю», що вказують на місце збирання нектару. Це призводить до зниження продуктивності всього вулика[35].

Пестициди негативно впливають на плодючість маток, розвиток личинок і виживання трутнів. Доведено, що у маток, які зазнали впливу імідаклоприду спостерігається зменшення кількості відкладених яєць на 25-30%, а життєздатність сперматозоїдів у сперматеці зменшується вдвічі [36].

У джмелів (*Bombus terrestris*) дія тіаметоксаму спричиняє затримку розвитку колоній, зменшення розміру гнізд і скорочення кількості запліднених самок [37]. Також виявлено порушення ендокринної регуляції – пестициди впливають на синтез гормонів ювенільного розвитку, що спричиняє передчасне старіння особин [38].

## Біологічні наслідки дії пестицидів для різних запилювачів

Вид запилювача	Діюча речовина	Основний ефект	Біологічний результат
<i>Apis mellifera</i>	Імідаклоприд	Порушення навігації, зниження плодючості	Втрата орієнтації, ослаблення сім'ї
<i>Bombus terrestris</i>	Тіаметоксам	Зменшення розміру гнізда, затримка розвитку	Скорочення колоній
<i>Osmia bicornis</i>	Хлорпірифос	Зниження виживання личинок	Зменшення чисельності популяції
<i>Megachile rotundata</i>	Карбофуран	Зниження частоти льоту, порушення рухливості	Зниження ефективності запилення

Пестициди впливають на біохімічні процеси в організмі комах. Під їхнім впливом зростає рівень оксидативного стресу – утворення активних форм кисню (АФК), які пошкоджують мембрани клітин, білки та ДНК [39].

У бджіл, які зазнали дії хлорпірифосу, активність антиоксидантних ферментів (каталази, супероксиддисмутази) знижується на 40-60%, що свідчить про виснаження системи захисту [40].

Окрім того, спостерігається порушення енергетичного обміну: знижується вміст глікогену, ліпідів і білків у тканинах. Це веде до зменшення витривалості та скорочення тривалості життя [41].

Під впливом пестицидів можливі мутагенні зміни – порушення структури ДНК та реплікаційних процесів. У дослідженні Kamel (2021) виявлено

підвищену частоту аберацій хромосом у клітинах личинок бджіл після впливу метомілу та імідаклоприду [42]. Такі мутації передаються у наступні покоління, що може спричиняти зниження стійкості популяцій до стресових факторів і генетичну деградацію [43].

У реальних умовах на запилювачів діє комбінація кількох пестицидів, що підсилює токсичність. Наприклад, одночасне використання фунгіциду пропіконазолу з інсектицидом хлорпірифосом підвищує смертність бджіл у 2,3 рази, ніж за дії кожного окремо [44].



**Рисунок 3. Механізм комбінованої дії пестицидів**

Вплив пестицидів на запилювачів має ланцюговий ефект: зниження чисельності комах веде до зменшення запилення рослин, скорочення біомаси, зміни структури угруповань і деградації агроєкосистем [46].

Згідно з даними IPBES (2022)? , близько 16% видів запилювачів у Європі перебувають під загрозою зникнення. В Україні кількість зареєстрованих випадків загибелі бджолосімей від пестицидів у 2023 р. сягнула понад 30 тис., що є рекордом за останнє десятиліття [47].

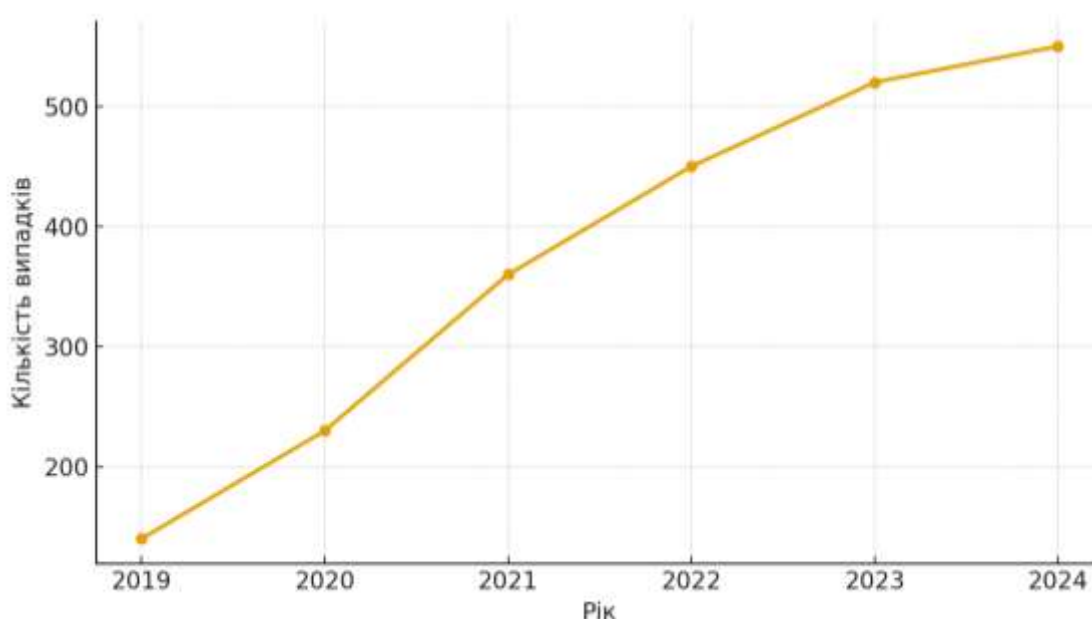
Механізм впливу пестицидів на комах-запилювачів є багатограним і включає низку фізіологічних, біохімічних, поведінкових та екологічних аспектів. Навіть малі дози цих речовин можуть викликати серйозні сублетальні ефекти, що знижують життєздатність колоній, порушують орієнтацію та репродуктивні функції. Кумулятивна дія та синергія кількох препаратів роблять проблему ще більш небезпечною.

## **Наслідки використання пестицидів в Україні**

Використання пестицидів стало однією з визначальних ознак сучасного землеробства. Проте, попри їхню ефективність у контролі шкідників, негативні екологічні наслідки стали серйозною проблемою в Україні. Масове застосування токсичних речовин призвело до забруднення ґрунтів, води, скорочення чисельності запилювачів, погіршення стану біорізноманіття та зростання ризиків для здоров'я населення [48].

За даними Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів, щорічно фіксуються сотні випадків порушень правил застосування пестицидів, а рівень їх використання стабільно зростає. Значна частина діючих речовин потрапляє до довкілля через поверхневі стоки, осідання на пилку, нектарі та рослинних рештках, що створює небезпеку для комах-запилювачів і ґрунтових організмів.

Україна належить до країн із найвищим рівнем використання пестицидів у Східній Європі. За останні п'ять років кількість зареєстрованих випадків отруєння бджіл постійно зростає. У 2020 році зафіксовано 137 випадків, у 2023-вже понад 520, що становить понад 30 тисяч загиблих бджолосімей [49]. Основними причинами залишаються обробка полів інсектицидами під час цвітіння, відсутність належного інформування пасічників та порушення технологій обприскування. Найбільше таких випадків фіксують у Кіровоградській, Вінницькій, Полтавській, Черкаській областях.



**Рисунок 4. Динаміка випадків отруєння бджіл в Україні (2019–2024)**

Крім безпосередніх втрат бджолосімей, пестициди мають накопичувальний ефект: їхні залишки зберігаються у воску, меді, пилку, що впливає на подальші покоління бджіл і може спричиняти хронічні ураження [50].

Пестициди також потрапляють у ґрунти, підземні води та атмосферу, виключаючи довготривалу контамінацію екосистем. За результатами досліджень ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії» (2022), у 40% проб ґрунту з південних областей України виявлено залишки діючих речовин - імідаклоприду, ацетаміприду, хлорпірифосу – у концентраціях 0,05-0,2 мг/кг [51]. Ці сполуки відрізняються низькою біодеградацією і можуть зберігатися понад 200 днів, створюючи ризик для ґрунтових мікроорганізмів і дощових черв'яків.

Пестициди змінюють структуру трофічних ланцюгів, впливають на видове різноманіття не лише комах, а й птахів, земноводних і дрібних ссавців.

Для зменшення ризиків від використання пестицидів (2024-2030), який передбачає створення системи екологічного моніторингу, перехід до екологічно безпечних технологій землеробства та посилення контролю за обігом препаратів[52].

Таким чином, наслідки застосування пестицидів в Україні охоплюють не лише загибель комах-запилувачі, а й деградацію екосистем, зниження біорізноманіття, економічні збитки та соціальні ризики. Для подолання цієї проблеми необхідно забезпечити системний моніторинг, ефективне законодавче регулювання та підвищення обізнаності аграріїв щодо екологічних аспектів використання пестицидів.

### **Екологічні безпечні підходи**

Зростання масштабів хімізації агровиробництва призвело до накопичення пестицидів у довкіллі, скорочення чисельності запилювачів і деградації екосистем. Ці наслідки зумовили необхідність пошуку альтернативних, екологічно безпечних методів ведення землеробства.

Сучасні наукові підходи базуються на концепції сталого агровиробництва, де пріоритетом є збереження біорізноманіття, мінімізація негативного впливу

хімічних речовин і використання природних механізмів регуляції чисельності шкідливих організмів[53].

Одним із головних напрямів розвитку екологічного землеробства є інтегрована система управління шкідниками (Integrated Pest Management, IPM). Вона передбачає поєднання біологічних, агротехнічних і, за потреби, обмежених хімічних методів контролю шкідників таким чином, щоб зменшити використання пестицидів і забезпечити довгострокову стабільність агроecosystem [54].

Згідно з рекомендаціями Європейської комісії, інтегрована система базується на таких принципах:

1. Моніторинг шкідливих організмів і визначення економічного порогу шкодочинності.
2. Профілактичні заходи – правильна сівозміна, вибір стійких сортів, збереження природних ворогів шкідників.
3. Перевага біологічних і агротехнічних методів над хімічними.
4. Цільове використання пестицидів лише за перевищення порогу шкодочинності.
5. Післяконтроль – оцінка ефективності заходів і їхнього впливу на довкілля [55].

*Таблиця 6.*

#### **Порівняння традиційної та інтегрованої систем ведення землеробства**

<b>Критерій</b>	<b>Традиційна система</b>	<b>Інтегрована система (IPM)</b>
Основна мета	Знищення шкідників	Збереження екологічної рівноваги
Основний засіб	Хімічні пестициди	Біологічні та агротехнічні методи
Вплив на довкілля	Високий, кумулятивний	Мінімальний
Витрати на хімікати	Високі	Зменшені на 30–60 %
Стійкість шкідників	Висока	Низька

Вплив запилювачів	на	Негативний	Переважно безпечний
----------------------	----	------------	---------------------

Біологічні методи – це використання живих організмів (ентомофагів, паразитів, патогенів) або продуктів їхньої життєдіяльності для обмеження чисельності шкідників. Це найбільш екологічно безпечний підхід, який не створює токсичних залишків у продукції та не шкодить запилювачам [56].

Основні біологічні агенти:

- *Trichogramma evanescens* – паразитує яйця шкідників, знижує їхню чисельність на 70-90%.
- *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* – ентомопатогенні гриби, що інфікують личинок комах.
- *Bacillus thuringiensis* – бактерія, яка виробляє токсини, шкідливі лише для певних груп комах.
- Феромонні пастки – приваблюють шкідників для відлову або стерилізації самців.
- Хижі комахи (сонечка, златоглазки) – природні вороги попелиць, кліщі, трипсів.

Таблиця 7.

### Біологічні препарати, дозволені в Україні (2024 р.)

Препарат	Активний агент	Механізм дії	Цільові шкідники
Бітоксубацилін	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Параліч кишечника личинок	Совки, листогризучі комахи
Метаризин	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Інфекція кутикули	Колорадський жук, дротяники
Триходермін	<i>Trichoderma viride</i>	Конкуренція з патогенами у ґрунті	Фузаріоз, кореневі гнилі
Ентобактерин	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>galleriae</i>	Токсин для гусені	Совки, молі
Апісейв	Комплекс біоферментів	Зниження токсичного стресу у бджіл	Проти дії пестицидів

Агротехнічні методи відіграють важливу роль у профілактиці поширення шкідників. Це правильна сівозміна, оптимальні строки посіву, механічне знищення бур'янів, підтримання родючості ґрунту. Дослідження свідчать, що навіть зміна послідовності культур (наприклад, вирощування бобових після зернових) зменшує популяцію ґрунтових шкідників на 40-60% [57].

Також важливо створювати «екологічні коридори» - смуги квітучих рослин, які приваблюють запилювачів і природних ворогів шкідників. У країнах ЄС це вже стало обов'язковою практикою на органічних фермах [58].

Біопестициди – це препарати природного походження, створені на основі бактерій, грибів, рослинних екстрактів або інших біологічних компонентів. Вони мають вибіркочу дію, швидко розкладаються в навколишньому середовищі та не шкодять запилювачам. Сучасні біопестициди здатні замінити до 40% традиційних хімічних речовин [59].

Основні типи біопестицидів:

- Мікробні (*Bacillus*, *Trichoderma*, *Beauveria*).
- Ботанічні (екстракти часнику, тютюну, деревію, піретруму).
- Регулятори росту комах (інгібітори синтезу хітину, гормональні аналоги).
- Інгібітори феромонів – змінюють поведінку шкідників, ускладнюючи їх розмноження.

*Таблиця 8.*

### **Порівняння ефективності біопестицидів і хімічних препаратів**

<b>Показник</b>	<b>Хімічні пестициди</b>	<b>Біопестициди</b>
Тривалість дії	10–30 днів	3–7 днів
Вплив на запилювачів	Високий ризик	Безпечні
Стійкість у ґрунті	До 200 днів	До 10 днів
Кумулятивний ефект	Є	Відсутній
Біорозкладність	Низька	Висока
Собівартість застосування	Середня	Середня або нижча

В Україні екологічно безпечні підходи до ведення землеробства активно розвиваються. З 2023 року діє державна програма підтримки органічного виробництва, що передбачає компенсацію до 30% вартості біопрепаратів і проведення навчальних семінарів для фермерів [60]. Також створюються наукові бази даних щодо ефективності біозасобів у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

У межах Угоди про асоціацію з ЄС Україна зобов'язалася адаптувати законодавство до європейських стандартів, спрямованих на зменшення хімічного навантаження на довкілля [61]. Ринок біопрепаратів поступово зростає: їхня частка збільшилася з 2% у 2018 році до понад 8% у 2024 році [62].

Екологічно безпечні підходи до землеробства є основою сталого розвитку агросфери. Вони дозволяють поєднати ефективність агровиробництва з охороною довкілля, зменшити токсичне навантаження на запилювачів і зберегти біорізноманіття. Впровадження інтегрованих, біологічних та агроекологічних методів є стратегічним напрямом для України в контексті гармонізації з політикою ЄС і забезпечення продовольчої безпеки.

### 1.3. Індекси біорізноманіття

Кількісна оцінка біорізноманіття є одним із головних напрямів сучасної екології, оскільки дозволяє об'єктивно оцінити стан природних і агроecosystem, ступінь антропогенного навантаження та тенденції змін у структурі живих організмів. Для цього використовують різні статистичні показники — індекси, що характеризують як кількість видів, так і рівномірність їхнього розподілу. Найчастіше застосовують індекси **Шеннона (H')**, **Маргалєфа (D)** та **Бергера–Паркера (B)**, які відображають різні аспекти різноманіття біоценозів.

#### Індекс Шеннона (H)

Індекс Шеннона–Вівера (Shannon–Wiener Index) є одним із найпоширеніших у біоекологічних дослідженнях. Він враховує не лише кількість видів (видове багатство), а й їхню чисельну рівномірність. Формула індексу має вигляд:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

де

**H'** — показник різноманіття,

**S** — загальна кількість видів,

**p<sub>i</sub>** — відносна частка (частка особин і-го виду в загальній кількості).

Високі значення **H'** вказують на високу різноманітність та екологічну стабільність угруповання. Для більшості природних екосистем цей показник становить 1,5–3,5, тоді як у деградованих або забруднених середовищах — нижче 1,0.

Індекс Шеннона є чутливим до змін чисельності навіть малопоширених видів, тому його часто використовують для оцінки впливу антропогенних факторів — наприклад, забруднення пестицидами чи урбанізації [63].

### **Індекс Маргалефа (D)**

Індекс Маргалефа (Margalef Richness Index) дає змогу оцінити видове багатство екосистеми, тобто кількість видів відносно загальної чисельності організмів. Розрахунок здійснюють за формулою:

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

де

**D** — індекс видового багатства,

**S** — кількість видів у спільноті,

**N** — загальна чисельність особин.

Цей показник менш чутливий до домінування окремих видів, ніж індекс Шеннона, проте добре відображає різницю між екосистемами з різним ступенем збереженості.

У природних біоценозах значення індексу Маргалефа зазвичай перевищує 3,0, тоді як у агроценозах або екосистемах із хімічним навантаженням воно може

знижуватися до 1,5–2,0, що свідчить про спрощення структури видового складу [64].

### Індекс Бергера- Паркера (В)

Індекс Бергера–Паркера (Berger–Parker Dominance Index) характеризує ступінь домінування у спільноті. Його обчислюють за формулою:

$$B = \frac{N_{max}}{N}$$

де

**B** — індекс домінування,

**N<sub>max</sub>** — чисельність найпоширенішого виду,

**N** — загальна кількість особин у вибірці.

Чим більше значення  $d_1$ , тим вищий рівень домінування і, відповідно, нижча рівномірність угруповання. У стабільних природних екосистемах значення цього індексу становить 0,2–0,4, тоді як у спрощених чи деградованих може перевищувати 0,6–0,8 [65].

Збільшення індексу Бергера–Паркера часто свідчить про негативний екологічний стан середовища, наприклад, унаслідок забруднення пестицидами або надмірного агрохімічного навантаження [66].

*Таблиця 9.*

### Порівняльна характеристика індексів

Індекс	Характеристика	Діапазон значень	Екологічна інтерпретація
<b>Шеннона (H')</b>	Враховує і багатство, і рівномірність	0–5	Чутливий до втрати рідкісних видів
<b>Маргалефа (d)</b>	Відображає видове багатство	>0	Показує загальну насиченість видів
<b>Бергера–Паркера (d<sub>1</sub>)</b>	Вимірює домінування	0–1	Зростає при деградації екосистем

Застосування кількісних показників біорізноманіття має важливе значення для моніторингу стану агроєкосистем, оцінки впливу пестицидів і визначення рівня екологічної стійкості. Зниження індексу Шеннона та індексу Маргалєфа при одночасному зростанні показника Бергера–Паркера свідчить про порушення екологічної рівноваги, спрощення структури угруповання та зниження видового багатства. Такі індекси широко використовуються у практиці польових досліджень для оцінки стану ентомофауни, флори, мікробіоценозів та водних екосистем України.

#### **1.4. Міжнародний досвід збереження комах-запилювачів**

Проблема збереження комах-запилювачів у XXI столітті набула глобального характеру. Бджоли, джмелі, метелики та інші запилювачі забезпечують близько 75% запилення сільськогосподарських культур, але їх чисельність невпинно знижується через інтенсивне землеробство, пестицидне навантаження, зміну клімату та зникнення природних середовищ. Втрата цих видів безпосередньо загрожує продовольчій безпеці, функціонуванню екосистем і стійкості агроландшафтів. Тому більшість розвинених країн створюють довгострокові програми моніторингу, збереження та відновлення популяцій запилювачів.

Одні із найуспішніших прикладів є Європейський Союз, який запровадив стратегічну ініціативу EU Pollinators Initiative (2018), а також Biodiversity Strategy for 2030 [67]. Вони передбачають формування екологічної мережі для запилювачів, скорочення використання синтетичних препаратів і впровадження систем спостережень за станом популяцій. Важливим досягненням стало створення Європейської обсерваторії запилювачів (EU Pollinator Monitoring Scheme), що об'єднує наукові установи понад 25 країн. Дані моніторингу показують, що в регіонах, де впроваджено заборону на неонікотиноїди, чисельність диких бджіл почала стабілізуватись.

Країни ЄС поступово переходять до екологічного управління агросистемами. Наприклад, у Франції діє програма Plan Pollinisateurs, яка фінансує фермерів, що висівають квіткові смуги вздовж полів, а у Німеччині

реалізується стратегія Aktionsprogramm Insektenschutz, спрямована на створення природних біотопів для запилювачів і заборону використання токсичних препаратів у заповідних територіях. Такі ініціативи сприяють підвищенню біорізноманіття й зменшенню ризику загибелі бджіл під час обробки культур [68].

Показовим є досвід Великої Британії, де уряд реалізує National Pollinator Strategy (2021-2025). Програма об'єднує державні служби, фермерів, бджолярів і науковців. Основні напрями – відновлення кормової бази, створення квіткових луків, екологічне управління сільськими територіями, а також зменшення використання хімічних речовин через перехід на біологічні альтернативи. Завдяки цим заходам чисельність деяких видів бджіл, зокрема *Bombus pascuorum*, у кількох графствах зросла на 30-40% [69].

Велика увага приділяється і науковим аспектам. Науковці Великої Британії в межах проекту UK Pollinator Monitoring Scheme (PoMS) проводять довготривалі дослідження просторової динаміки популяції, використовуючи стандартні протоколи відбору проб. Результати дають змогу оцінювати вплив кліматичних і агрохімічних чинників на структуру ентомофауни.

У США питання охорони запилювачів координує U.S. Pollinator Health Task Force, яка працює над реалізації програми National Strategy to Promote the Health of Honey Bees and Other Pollinators (2015). Її головні завдання – зменшення втрат бджолосімей, контроль за використанням інсектицидів, зокрема неонікотиноїдів, та розширення природних середовищ проживання запилювачів. Завдяки створенню понад 2,5 млн акрів «pollinator habitats» у 25 штатах США вдалося стабілізувати чисельність медоносних бджіл і частково відновити дикі популяції.

У Канаді аналогічні ініціативи реалізуються через програму Bee Health Roundtable, що фінансується Міністерством сільського господарства Канади. Основний аспект робить на освіті фермерів і впровадженні інтегрованого підходу до управління шкідниками (IPM) – зменшення застосування токсичних речовин, використання біопестицидів і підбір строків обробки культур поза періодом активного льоту запилювачів [70].

На міжнародному рівні лідером у координації політики збереження запилювачів є Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO). У межах ініціативи Global Pollinator Initiative (2018-2030) розроблено Глобальний план дій, який охоплює понад 100 країн світу. Основні напрями – інтеграція питань запилення у національні агрополітики, створення баз даних про стан популяцій, зниження пестицидного навантаження та підтримка традиційного бджільництва [71].

Важливу роль у науковому аналізі проблеми відіграє IPBES (Intergovernmental Science-Policy on Biodiversity and Ecosystem Services). Її звіт 2022 року засвідчив, що близько 16% видів запилювачів у Європі і 25% у Північній Америці перебувають під загрозою зникнення. IPBES рекомендує країнам скорочувати використання високотоксичних пестицидів, розширювати природоохоронні території, запроваджувати програми відновлення кормових баз і сприяти переходу фермерів до сталих практик [72].

Міжнародні приклади свідчать, що успішні програми збереження запилювачів ґрунтуються на комплексному підході. Законодавчі заборони на токсичні речовини поєднуються з економічними стимулами для фермерів, моніторингом стану популяцій і активною освітньою роботою серед населення. У країнах ЄС і Північної Америки важливою умовою успіху стало залучення наукових установ до розробки локальних екологічних стратегій, які враховують особливості клімату, структури угідь і видового складу запилювачів.

Впровадження подібних підходів в Україні є важливим кроком для гармонізації з європейськими екологічними стандартами та виконання міжнародних зобов'язень щодо збереження біорізноманіття. Використання досвіду ЄС, США, Канади та FAO може стати основою для формування Національної стратегії захисту запилювачів України, яка поєднуватиме законодавчі, агротехнічні та науково-освітні заходи, спрямовані на сталий розвиток агросфери.

## **Висновки до розділу 1**

У першому розділі проаналізовано екологічні аспекти впливу пестицидів на комах-запилювачів, основні види хімічних речовин, механізми їхньої дії,

методи оцінки біорізноманіття та міжнародні підходи до збереження ентомофауни.

Встановлено, що комахи-запилювачі відіграють ключову роль у підтриманні продуктивності агроecosистем і стабільності природних процесів. Застосування пестицидів, особливо неонікотиноїдів та фосфорорганічних сполук, створює суттєву загрозу для бджіл та диких запилювачів, викликаючи поведінкові, фізіологічні та генетичні порушення. Надмірна хімізація агровиробництва призводить до деградації екосистем, зменшення чисельності комах і втрати біорізноманіття.

Розглянути індекси Шеннона-Вівера, Маргалефа та Бергера-Паркера дозволяють об'єктивно оцінювати стан біоценозів та підвищення показників домінування свідчать про негативний вплив хімічних речовин і спрощення видової структури.

Міжнародний досвід (ЄС, Велика Британія, Канада, США) демонструє, що ефективне збереження запилювачів можливе лише за умов комплексного підходу: заборони токсичних препаратів, розвитку біологічних засобів контролю, створення квіткових коридорів і розширення природних територій. Такі програми, як EU Pollinators Initiative та Global Pollinator Initiative, стали прикладом успішної екологічної політики, заснованої на науці й державній підтримці.

Таким чином, аналіз наукових джерел підтверджує, що збереження комах-запилювачів є необхідною умовою сталого розвитку агросфери. Раціональне використання пестицидів, впровадження біологічних методів і гармонізація національних екологічних програм із міжнародними стандартами мають стати основою для формування ефективної стратегії охорони запилювачів в Україні.

## РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Місце проведення дослідження

Дослідження проводилися на базі ТОВ «ВАМ АГРО», розташованого у Жовківському районі Львівської області, у межах Західного Лісостепу України. Господарство є типовим прикладом сільськогосподарських підприємств регіону, які поєднують інтенсивні технології з елементами екологічного землеробства, що поступово впроваджуються на окремих ділянках [73].

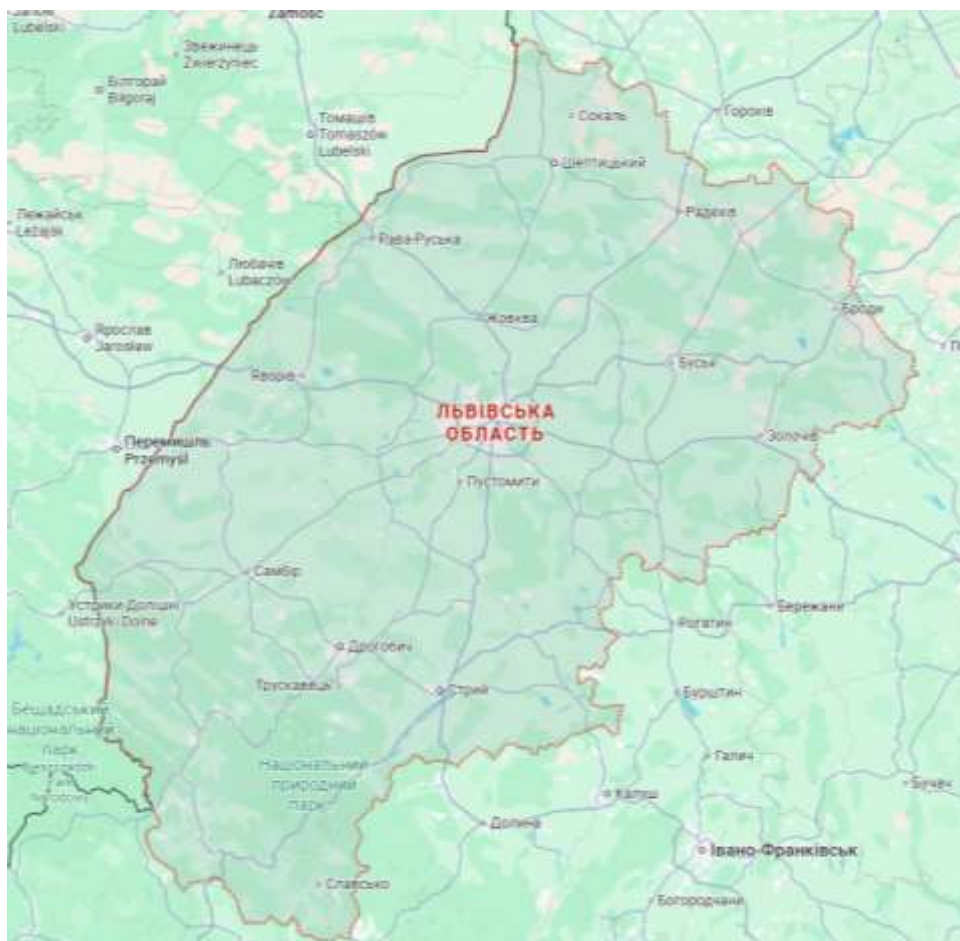


Рисунок 5. Адміністративна карта Львівської області

Основний напрям діяльності – вирощування зернових і технологічних культур (озимий ріпак, соняшник, гречка), а також фруктових насаджень. Село Жовква розташоване на відстані близько 25 км від міста Львова (координати -  $50^{\circ}06'$  пн. ш.,  $23^{\circ}58'$  сх. д.).

Територія господарства охоплює близько 1500 га орних земель, що представлені рівнинними агроландшафтами з поодинокими лісосмугами, балками та луками.

Рельєф території здебільшого рівнинний із незначними хвилястими підвищеннями, середня висота над рівнем моря становить 260м. Така конфігурація полів полегшує механізацію робіт, сприяє рівномірному розподілу опадів і зменшує ризик водної ерозії. У долинах малих річок і балок, що перетинають територію, спостерігається підвищена вологість, завдяки чому формуються мікрокліматичні ділянки, сприятливі для розвитку популяцій джмелів, осмій та інших запилювачів.

Поля підприємства розташовані компактними масивами, оточеними луками, лісосмугами та фрагментами листяних лісів, які виконують роль буферних зон і збагачують біорізноманіття території. Таке поєднання культурних і природних ділянок створює оптимальні умови для існування комах-запилювачів. Ґрунтово-кліматичні умови території сприяють вирощуванню ріпаку, гречки, соняшнику та багаторічних трав, які забезпечують високу кормову базу для бджіл і диких запилювачів.

На території господарства зафіксовано понад 45 видів запилювачів, серед яких домінують бджола медоносна (*Apis mellifera*), джмелі (*Bombus terrestris*, *B. lapidarius*), осмії (*Osmia bicornis*, *O. rufa*), мухи-дзюрчалки (*Syrphidae*) та метелики (*Pieris brassicae*, *Vanessa cardui*). Такий видовий склад свідчить про високу екологічну цінність агроєкосистеми.

## **2.2. Природно-кліматичні умови регіону**

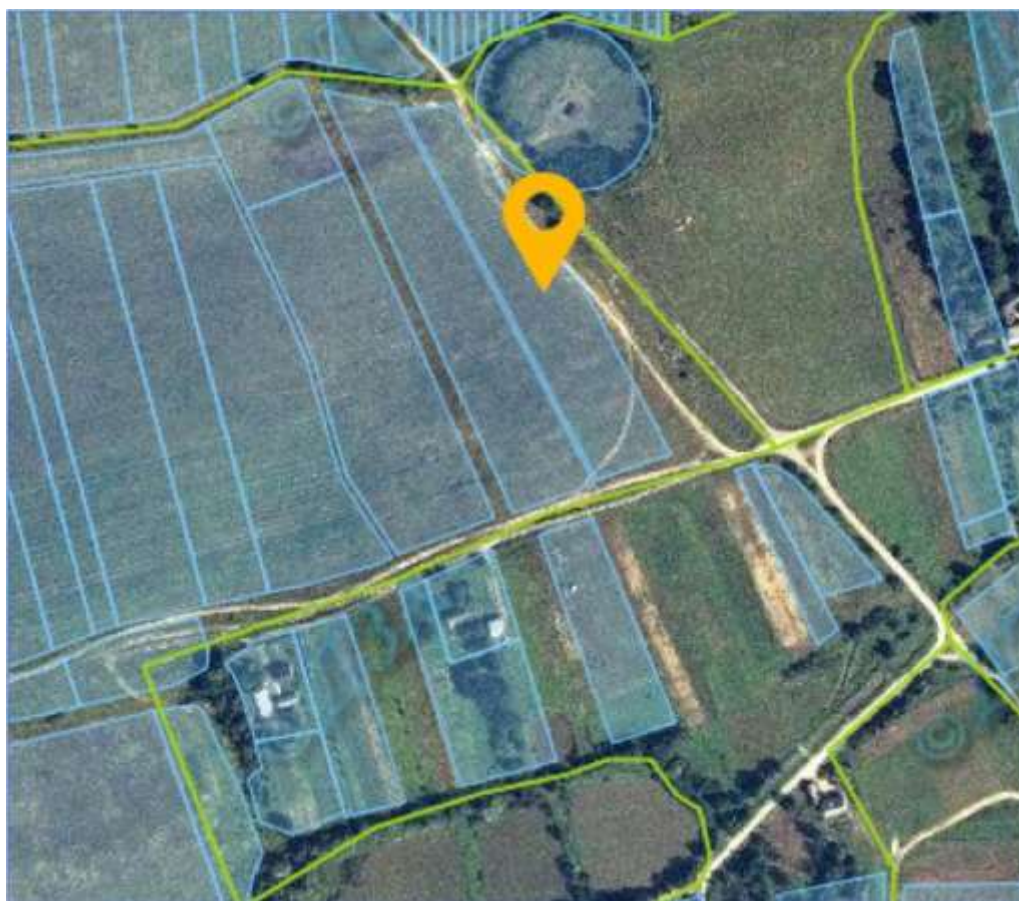
За даними Львівського гідрометеорологічного центру [74], клімат регіону – помірна континентальний із достатнім рівнем зволоження. Середньорічна температура повітря становить +7,5°C; середня температура січня – -3,5°C, липня – +18,8°C . Середньорічна кількість опадів – 700-750 мм, що є оптимальним показником для польових культур.

Сніговий покрив утримується близько 60-70 днів, вегетаційний період триває 210-220 днів, що створює сприятливі умови для розвитку ріпаку, пшениці, кукурудзи та соняшнику. Переважають західні й північно-західні вітри, які сприяють природній вентиляції посівів. Середньорічна відносна вологість повітря

становить природній вентиляції посівів. Середньорічна відносні вологість повітря становить 75-80%, що підтримує активну вегетацію рослин, проте водночас підвищує ризик грибкових уражень.

Ґрунтовий покрив представлений сірими та темносірими опідзоленими ґрунтами, а також дерново-підзолистими суглинками. Гумусовий горизонт сягає 25-35 см, уміст гумусу- 2,5-3,0%, реакція ґрунтового розчину слабокисла (рН 5,8-6,2). Ці показники забезпечують середній рівень родючості та добру водопроникність.

Для підтримання продуктивності в господарстві застосовується система органо-мінерального удобрення, зокрема використання гною (15-20 т/га), амосу, карбаміду та сульфату амонію. Такі заходи сприяють збереженню структури ґрунту та стабільності біоценозу.



**Рисунок 6. Схема розташування полів ТОВ «ВАМ АГРО»**

Територія підприємства належить до басейну річки Західний Буг, де розвинена природна рослинність – люцерна, деревій, конюшина, верба, тополя, які є цінними медоносами. Поблизу меж господарства розташовані фрагменти

Жовківського національного природного парку, що підвищує екологічну значущість досліджуваної території.

Таким чином, природно-кліматичні умови Жовківського району Львівської області є надзвичайно сприятливими для вирощування квітучих культур, що запилюються комахами. Поєднання родючих ґрунтів, м'якого клімату та наявності природних біотопів створює умови для збалансованого розвитку агросфери та підтримання популяцій запилювачів [75].

### **2.3. Методика проведення досліджень**

Методичний підхід до виконання дослідження ґрунтувався на комплексному вивченні стану популяцій комах-запилювачів у агроекосистемах ТОВ «ВАМ АГРО» за різних рівнів пестицидного навантаження. Дослідження охоплювали польові спостереження, оцінку біорізноманіття, аналіз просторово-часової динаміки угруповань та визначення залежностей між інтимністю використання пестицидів і станом ентомофауни.

Агроекосистеми підприємства, де застосовуються хімічні препарати різної інтенсивності, розглядалися як основні дослідні майданчики. Додатково враховували прилеглі природні біотопи, що виконують роль резервуарів для популяцій запилювачів та впливають на формування угруповань у межах оброблювальних полів.

Об'єктом дослідження виступали агроценози ріпаку, соняшнику та гречки – культури що характеризуються високою залежністю від комахозапилення. Вибір цих угідь дозволив простежити реакцію ентомофауни на різних режимах господарювання та визначити чутливість до змін у середовищі.

Предметом дослідження є важливими для формування практичних рекомендацій щодо зменшення екологічних ризиків, пов'язаних із використанням пестицидів, та впровадження технологій, спрямованих на збереження запилювачів і підтримання екологічної стабільності агроландшафтів.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

1. Проаналізувати видовий склад, чисельність та просторово-часову динаміку комах-запилювачів у різних типах агроценозів до та після

- внесення пестицидів, з урахуванням умов природних та трансформованих ділянок.
2. Оцінити стан біорізноманіття ентомофауни за допомогою комплексу індексів Шеннона, Маргалєфа, Бергера-Паркера. Для встановлення рівня стійкості та структурної збалансованості досліджуваних угруповань.
  3. Проаналізувати систему застосування пестицидів у ТОВ «ВАМ АГРО», визначивши характерні особливості обробок, їхню інтенсивність та потенційний вплив на чисельність, поведінку та видовий склад запилювачів.
  4. Встановити кореляційні зв'язки між рівнем хімічного навантаження та змінами популяцій і структурних параметрів комах-запилювачів, що дає можливість оцінити силу та напрям екологічних взаємозалежностей.
  5. Сформуванати комплекс рекомендацій, орієнтований на екологічно обґрунтоване використання пестицидів, збереження популяцій запилювачів та підтримання функціональної цілісності агроєкосистем.

### **Характеристика місця та періоду проведення робіт**

Дослідження проводилося у вегетаційний період 2025 року на території ТОВ «ВАМ АГРО», що розташоване поблизу міста Жовква у Львівській області. Територія господарства належить до зони Західного Лісостепу, де переважають сірі опідзолені ґрунти середньої родючості з вмістом гумусу 2,5-3,0 % і слабкислою реакцією середовища (рН 5,8-6,2).

Клімат території – помірно континентальний із достатнім зволоженням, середньорічна температура становить +7,5°C, кількість опадів – 700-750 мм [76]. Переважають західні та північно-західні вітри, що сприяють природному провітрюванню посівів.

У дослідження включено три основні культури: соняшник, гречку і ріпак, які є типовими представниками ентомофільних агроценозів регіону (рисунки 7-9). Для порівняння використовувались поля з різним рівнем хімічного навантаження. Одні ділянки зазнавали регулярних пестицидних обробок

(інтенсивне землеробство), інші – мали зменшену частоту обприскувань і часткове використання біологічних препаратів.

Також у спостереження включали буферні зони – узлісся, прибережні луки й смуги дикорослої флори, які слугували контрольними ділянками з мінімальним хімічним впливом.



**Рисунок 7. Дослідна ділянка соняшнику під час цвітіння (ТОВ «ВАМ АГРО», 2025 р.)**

Облікові точки розміщували по діагоналі поля з урахуванням рельєфу, відставні від лісосмуг і наявності медоносної рослинності. Такий підхід забезпечував просторове охоплення у межах виробничих, природних біотопів, що дозволяло порівняти реакцію запилювачів у різних умовах.



**Рисунок 8. Дослідна ділянка ріпаку озимого(ТОВ «ВАМ АГРО»,2025 р.)**



**Рисунок 9. Дослідна ділянка гречки в період активного запилення (ТОВ «ВАМ АГРО», 2025 р.)**

## Методика польових спостережень

Польові спостереження за активністю комах-запилювачів проводили упродовж вегетаційного періоду 2025 року на території господарства ТОВ «ВАМ АГРО» (Львівська область). Дослідження здійснювали у ясну безвітряну погоду при температурі повітря від +15 до +28 °С, що відповідає періоду максимальної льотної активності запилювачів. Роботи виконували у проміжку між 09:00 та 16:00 год, коли кількість візитів комах до квіток є найвищою.

Для кожної культури- соняшнику, ріпак та гречки- було закладено систему пробних майданчиків розміром 1 × 1 м. Відстань між майданчиками становила 50-70м, що дозволяло уникнути перекриття ареалів спостереження та забезпечити репрезентативність вибірки. На кожній ділянці визначали п'ять постійних точок обліку, де проводили не менше 10 повторів протягом усього періоду цвітіння культури- на початку, у фазу масового цвітіння та під час його завершення.

Облік комах проводили візуальним методом: протягом 5 хвилин у кожній точці фіксували всіх запилювачів, які здійснювали контакт із квітками (збирання пилку або нектару). Отримані дані переводили у кількість особин на 1 м<sup>2</sup>. Для підвищення точності ідентифікації частину особин відловлювали ентомологічним сачком.

Додатково на кожному полі встановлювали контрольну ділянку, на якій не проводилося хімічних обробок, а також площу з використанням біопрепаратів та інтенсивну ділянку, де застосовували стандартну систему пестицидів. Це дозволило оцінити відмінності у видовому складі, чисельності та поведінці запилювачів залежно від рівня антропогенного навантаження.

Для забезпечення достовірності результатів усі спостереження проводили за однакових погодних умов, а результати обробляли статистично методом варіаційного аналізу з подальшим визначенням середніх значень і стандартних відхилень.

Для кількісного аналізу роботи комах-запилювачів у межах агроценозів господарства ТОВ «ВАМ АГРО» застосовували метод прямого спостереження з візуальною фіксацією кількості контактів запилювачів із квітками. Цей метод

широко використовується в ентомологічних дослідженнях і дозволяє отримати порівняльні дані щодо рівня запалювальної активності у різних умовах господарювання.

Спостереження проводили двома спостерігачами одночасно- по різних ділянках одного поля, щоб уникнути впливу часових та погодних коливань. Фіксували загальну кількість комах, що здійснили контакт із квітками та відзначали тривалість перебування кожної особини на рослині.

Для кількісної оцінки активності запилення використовували показник інтенсивності відвідування квіток, який обчислювали за формулою:

$$A = \frac{N_t}{T}$$

де

A — активність запилення (кількість відвідувань/хв),

$N_t$  — загальна кількість контактів комах із квітками,

T — тривалість спостереження (хв).

Усі спостереження проводили у стандартному часовому інтервалі- 5 хвилин у кожній точці обліку. Для кожної культури середні значення активності визначали як усередненні по 10 повторних вимірах. Таким чином, показник A відображає реальну частоту відвідування квіток комахами в конкретних умовах середовища.

Для більш повного розуміння ролі комах-запилювачів у формуванні урожаю, окрім оцінки їхньої чисельності та активності, визначали індекс запалювальної ефективності. Цей показник відображає безпосередній результат запилення- тобто, наскільки успішно квітки утворюють зав'язі після відвідування комахами. Методика базується на підході, запропонованому Генком і Фрідманом (Genes, Friendman 1982) та адаптованому для агроекологічних досліджень в Україні (Мельничук 2008; Кас'яненко 2016).

Оцінювання ІЗЕ проводили на тих самих полях, де здійснювали облік активності запилювачів. Для кожної культури було відібрано по 50 квіток на

кожній ділянці. Перед початком спостережень квітки позначали етикетками та кольоровими нитками.

Після проведення обліків комах спостерігачів фіксували кількість квіток до моменту запилення ( $Q_0$ ) і кількість зав'язей, що утворилися через 3-5 після відвідування комахами ( $Q_k$ ). За кожною культурою обліковували не менше трьох повторів у різних частинах поля.

Розрахунок індексу запилювальної ефективності здійснювали за формулою:

$$IZE = \frac{Q_k}{Q_0} \times 100,$$

Де

IZE- індекс запилювальної ефективності, %

$Q_k$  — кількість зав'язей після відвідування комах,

$Q_0$  — кількість квіток до запилення.

Отримані значення IZE відображають фактичний рівень успішності запилення у різних типах агроценозів. Показник дозволяє не лише оцінити наявність або відсутність комах, а й встановити якісний результат їхньої діяльності.

### **Оцінка видової різноманітності запилювачів**

Для оцінки видового різноманіття використовували три основні індекси:

#### **1. Індекс Шеннона (H):**

$$H = - \sum p_i \ln p_i$$

де  $p_i$  — відносна чисельність виду;

$H > 2,5$  — високе різноманіття,

$1,5-2,5$  — середнє,

$<1,5$  — низьке.

## 2. Індекс Маргалефа (D):

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

де S — кількість видів, N — загальна кількість особин.

## 3. Індекс Бергера-Паркера (B):

$$B = \frac{N_{\text{дом}}}{N_{\text{заг}}}$$

де  $N_{\text{дом}}$  — кількість особин домінуючого виду,  $N_{\text{заг}}$  — загальна кількість особин.

Поєднане використання цих індексів дає змогу оцінити структуру, стійкість та рівномірність угруповань запилювачів у різних умовах агроландшафту.

**Розрахунок зниження чисельності** проводили за формулою:

$$K = \frac{N_{\text{контроль}} - N_{\text{інтенсивна}}}{N_{\text{контроль}}} \times 100\%$$

Де:

K-відсоток зниження чисельності комах-запилювачів у порівнянні з контрольними ділянками, %;

$N_{\text{контроль}}$  — середня кількість особин комах на 1 м<sup>2</sup> у контрольних умовах (без застосування пестицидів);

$N_{\text{інтенсивна}}$  — середня кількість особин комах на 1 м<sup>2</sup> на ділянках з інтенсивним використанням пестицидів.

## Кореляційний аналіз

Для кількісного визначення взаємозв'язку між інтенсивністю використання пестицидів та станом популяцій комах-запилювачів застосовували коефіцієнт кореляції Пірсона (r), який відображає силу та напрямок лінійної залежності між двома змінними. Його розрахунок здійснювали за стандартною формулою:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Де:

X-показник використання пестицидів (кількість обробок за сезон або витрата препарату, л/га);

y- чисельність комах-запилювачів або значення індексів біорізноманіття (Шеннона-H, Маргалєфа-D, Бернера-Паркера-B).

Проведений кореляційний аналіз дав змогу кількісно підтвердити екологічну закономірність впливу пестицидів на біорізноманіття, обґрунтувати необхідність екологізації технологій вирощування культур і визначити оптимальні межі безпечного використання хімічних препаратів у агроценозах.

### **Статистична обробка результатів**

Статистичну обробку проводили у середовищах Microsoft Excel. Обчислювали: середні значення (M), стандартне відхилення ( $\sigma$ ), коефіцієнт варіації (V, %), коефіцієнти кореляції (r) між пестицидним навантаженням і чисельністю запилювачів. Різницю між середніми визначали методом дисперсійного аналізу, рівень значущості перевіряли за t-критерієм Стьюдента ( $p \leq 0,05$ ). Метеорологічні параметри враховували під час корекції результатів, що дозволяло мінімізувати вплив зовнішніх факторів.

Запропонована методика поєднує польові та аналітичні дослідження, що дозволяє комплексно оцінити вплив пестицидів на запилювачів. Вона дає можливість визначити тенденції змін біорізноманіття, простежити залежність між хімічним навантаженням і станом ентомофауни, а також сформулювати практичні рекомендації для зменшення токсичного впливу у виробничих умовах.

## Висновок до розділу 2:

У другому розділі подано характеристику природних умов, об'єкта та методики дослідження впливу пестицидів на комах-запилювачів у господарстві ТОВ «ВАМ АГРО». Обґрунтовано вибір основних культур як показових моделей для оцінки екологічного стану агроценозів.

Розглянуто природно-кліматичні умови Західного Лісостепу, які визначають функціонування ентомофауни. Територія господарства представлена поєднанням орних земель, луків і лісосмуг, що створює мозаїчну структуру біотопів та забезпечує кормову базу для запилювачів.

Методика досліджень включала польові спостереження, визначення та статистичний аналіз. Польові обліки проводили під час цвітіння культур у сприятливих погодних умовах із використанням пробних майданчиків різного розташування, що дозволило врахувати просторові особливості активності комах.

Для оцінки активності запилення застосовували показники кількості відвідувань квіток і частоти контактів із репродуктивними органами рослин. Розраховано індекс запилювальної ефективності (ІЗЕ), який використовується для визначення ролі запилювачів у формуванні зав'язей і є важливим індикатором стану екосистеми.

Взаємозв'язок між рівнем хімічного навантаження та станом ентомофауни оцінювали за допомогою кореляційного аналізу (Пірсона та Спірмена), що дало змогу виявити тенденції зниження біорізноманіття залежно від інтенсивності обробок.

Таким чином, у розділі сформовано методичну основу для подальшої оцінки впливу пестицидів на запилювачів, що забезпечує достовірність і комплексність отримання результатів та дозволяє виявити екологічні закономірності у функціонуванні агроландшафтів.

## РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА АКТИВНІСТЬ КОМАХ-ЗАПИЛЮВАЧІВ У АГРОЦЕНОЗАХ ТОВ «ВАМ АГРО»

### 3.1. Аналіз видового складу комах-запилювачів в дослідних агроценозах

Збереження біорізноманіття комах-запилювачів є ключовою передумовою сталого функціонування агроєкосистем. у сучасному землеробстві, де пестицидне навантаження часто перевищує екологічно безпечні межі, спостерігається зниження чисельності ентомофауни, що напряду впливає на врожайність ентомофільних культур. В умовах інтенсивного господарювання важливо оцінити не лише прямий токсичний ефект препаратів, а й опосередковані наслідки- зміни структури угруповань, зниження активності та порушення поведінки запилювачів.

Дослідження проведене на базі ТОВ «ВАМ АГРО» у Львівській області, дозволяє простежити, як рівень хімічного навантаження формує видовий склад, чисельність і поведінкові реакції комах на різних культурах- ріпаку, соняшнику та гречці. У межах розділу представлено результати аналізу ентомофауни, зіставлення кількісних показників між ділянками різної інтенсивності обробок і графічну інтерпретацію динаміки біорізноманіття.

Таблиця 10 відображає загальну структуру ентомофауни, де провідне місце займає *Apis mellifera* -понад 50% усіх відвідувань квіток. Її масова присутність забезпечує стабільне запилення основних культур, однак надмірне домінування одного виду свідчить про екологічну вразливість системи. Джмелі (*Bombus terrestris*, *Bombus hortorum*) та осмії (*Osmia bicornis*) відіграють важливу роль у ранній та прохолодній фазах цвітіння, компенсуючи зниження активності бджіл. Мухи-дзюрчачки та інші види виконують додаткові функції запилення, підтримуючи екосистемну стійкість.

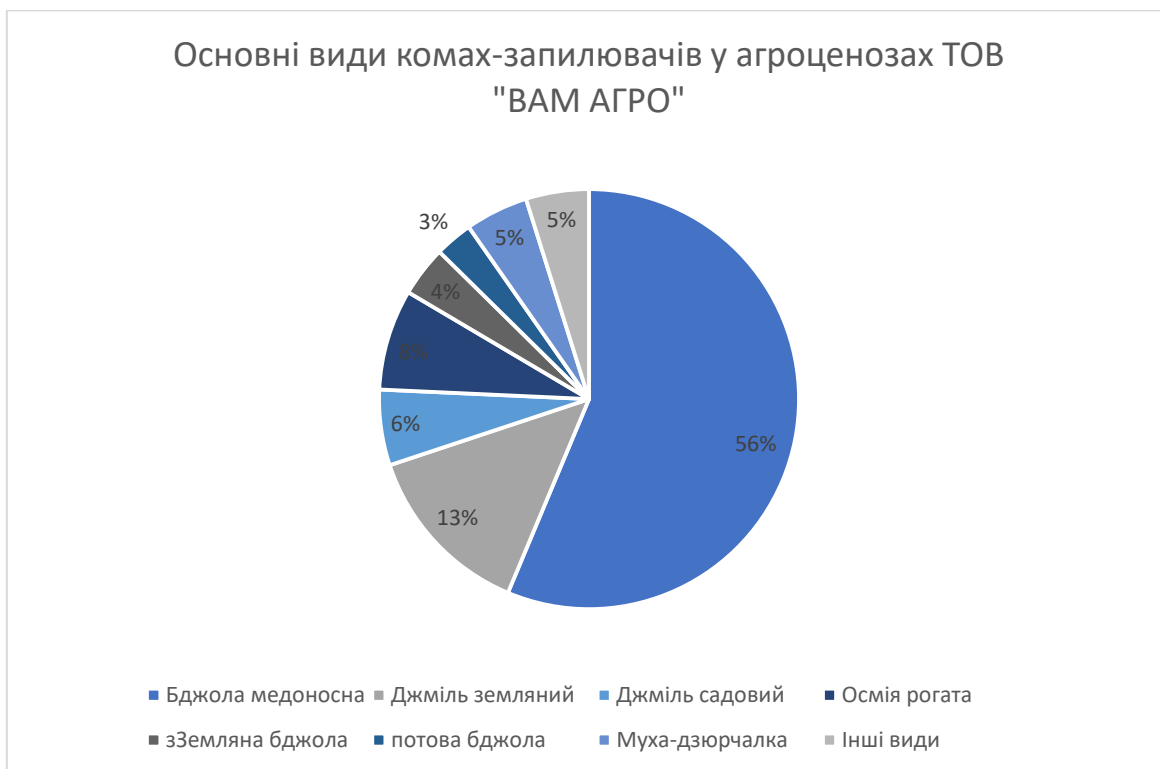
Таблиця 10.

#### Основні види комах-запилювачів у агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО» (2025 р.)

№	Вид (укр.)	Латинська назва	Родина	Тип поведінки	Частка у структурі, %
---	------------	-----------------	--------	---------------	-----------------------

1	Бджола медоносна	<i>Apis mellifera</i>	Apidae	соціальний	58
2	Джміль земляний	<i>Bombus terrestris</i>	Apidae	соціальний	14
3	Джміль садовий	<i>Bombus hortorum</i>	Apidae	соціальний	6
4	Осмія рогата	<i>Osmia bicornis</i>	Megachilidae	солітарний	8
5	Земляна бджола	<i>Andrena fulva</i>	Andrenidae	солітарний	4
6	Потова бджола	<i>Halictus scabiosae</i>	Halictidae	солітарний	3
7	Муха- дзючалка	<i>Syrphus ribesii</i>	Syrphidae	солітарний	5
8	Інші види	—	—	—	5

Рисунок 10 демонструє співвідношення основних груп комах, що підтверджує перевагу соціальних видів над солітарними. Такий розподіл вказує на потребу у збереженні середовищ проживання диких запилювачів, адже вони забезпечують стабільність запилення за несприятливих погодних умов.



**Рисунок 10. Основні види комах-запилювачів у агроценозах ТОВ  
«ВАМ АГРО»**

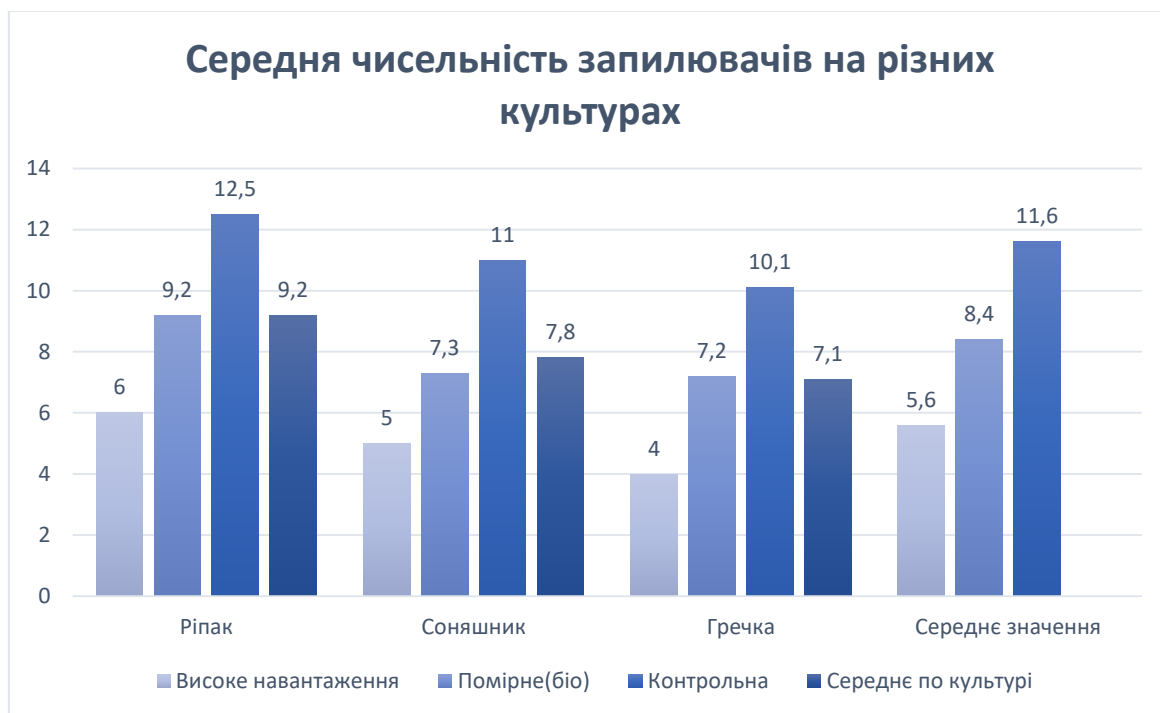
Подальший аналіз стосується кількісних відмінностей у чисельності запилювачів між ділянками з різним рівнем хімічного навантаження. *Таблиця 11* узагальнює отримані показники. Найвищі значення зафіксовані на контрольних ділянках, де обробки не проводились. Для ріпаку- 12,5 особин/м<sup>2</sup>, соняшнику- 11,0 особин/м<sup>2</sup>, гречки-10,1 особин/м<sup>2</sup>.

*Таблиця 11.*

**Середня чисельність запилювачів (особин/м<sup>2</sup>) на різних культурах**

Культура	Високе навантаження	Помірне (біо)	Контрольна	Середнє по культурі
Ріпак	6,0	9,2	12,5	9,2
Соняшник	5,0	7,3	11,0	7,8
Гречка	4,0	7,2	10,1	7,1
Середнє значення	5,6	8,4	11,6	-

Рисунок 11 візуалізує ці відмінності, показуючи чітку тенденцію- зі зростанням пестицидного навантаження кількість комах на квітках скорочується. Особливо чутливими виявилися запилювачі гречки, де зниження досягло  $\approx 60\%$ .



**Рисунок 11. Середня чисельність запилювачів на різних культурах**

Для кількісної оцінки зменшення активності використано коефіцієнт зниження чисельності ( $K, \%$ ), наведений у *рисунок 12* «Відносне зниження чисельності запилювачів порівняно з контролем».

Як видно, найбільші втрати спостерігаються на культурах, що зазнають повторних обробок під час цвітіння. Рисунок 12 наочно демонструє, що саме гречка потребує найбільшої екологічної уваги через свою довготривалу фазу нектаровиділення.



**Рисунок 12. Відносне зниження чисельності запилювачів порівняно з контролем**

### Просторово-поведінкові особливості

Щільність запилювачів помітно зменшувалася від країв поля до центру. На межах біля лісосмуг і квіткових буферів фіксували 14-16 особин/м<sup>2</sup>, тоді як у центрі - 5-7 особин/м<sup>2</sup>. Ці дані демонструють цю просторову закономірність. Вона свідчить, що наявність буферних квіткових смуг і природних меж підсилює притік комах, виконуючи функцію екологічних коридорів.

Окрім кількісних показників, виявлено й поведінкові зміни, пов'язані із впливом пестицидів. Тривалість відвідування квіток зменшувалася з 7 до 4 секунди, а частота контактів із пилом скорочувалася майже вдвічі. У 15-20% бджіл після обробок спостерігалися ознаки дезорієнтації – втрата напрямку польоту та зниження реакції на запахи. Ці прояви демонструють тенденцію до скорочення активності навіть за умов помірного хімічного навантаження.

Такі сублетальні ефекти викликаються миттєвої загибелі, проте суттєво знижують ефективність запилення- менша кількість візитів і коротша тривалість контакту з квіткою означають менше перенесеного пилку й нижчий відсоток утворених зав'язей.

Структура угруповань запилювачів у господарстві ТОВ «ВАМ АГРО» формується під впливом рівня пестицидного навантаження, типу культури та наявності екологічних буферів. Найбільшу стійкість демонструють ділянки з

біообробками, де поєднання хімічного й біологічного контролю дає змогу зберегти чисельність і поведінкову активність комах на екологічно безпечному рівні.

### **3.2 Визначення індексів біорізноманіття**

Комплексна оцінка стану угруповань комах-запилювачів в агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО» потребує використання показників, які не лише відображають кількість видів, але й характеризують показників, які не лише відображають кількість видів, але й характеризують рівномірність їх розподілу та ступінь домінування окремих таксонів. Звичайні підрахунки чисельності дають лише базове розуміння структури популяцій, тоді як індекси біорізноманіття дозволяють виявити глибинні зміни у функціонування екосистеми під впливом хімічного навантаження. Саме тому аналіз різних рівнів пестицидного навантаження був доповнений розрахунками трьох ключових індикаторів – Шеннона(H), Маргалєфа(D), Бергера-Паркера (B).

Усі розрахункові дані отримано на основі фактичних польових спостережень на культурах ріпаку, соняшнику, та гречки, де фіксували відносну чисельність основних видів запилювачів на трьох типах ділянок: інтенсивних, біооброблених та контрольних. Вибір саме цих індексів зумовлений тим, що вони дозволяють комплексно оцінити зміни структури ентомофауни, зокрема видовий склад, рівномірність розподілу та наявність домінантів.

Вихідні дані для формування таблиці 12 ґрунтуються на результатах систематичних польових обліків, проведених у період активного цвітіння основних культур господарства. Реєстрація видового складу та кількісних показників здійснювалася шляхом багаторазових повторних спостережень на трьох категоріях ділянок. На кожному полі було закладено серію постійних точок обліку, що дозволило отримати репрезентативну вибірку для подальшої статистичної обробки.

Для кожного виду фіксували число відвідувань квіток та кількість особин, що перебували у межах пробних майданчиків. Зібрані дані підсумовувались та переводились у відносні величини – частки ( $p_i$ ) від загальної кількості особин на

конкретній ділянці. Саме ці пропорції стали основою для подальших розрахунків індексів біорізноманіття, а усереднені значення за всіма повторними обліками сформували натуральну вибірку, представлено в таблиці 12.

У таблиці 12 наведено середні частки основних видів комах-запилювачів, розраховані як частка кожного виду у загальній кількості комах, зареєстрованих під час масового цвітіння культур. Показники отримано шляхом усереднення даних із усіх пробних точок, що дозволяє об'єктивно відобразити структуру угруповання на кожному типі ділянок.

Такі частки демонструють, як змінюється співвідношення видів під впливом хімічного навантаження: частка *Apis mellifera* зростає, тоді як представники *Bombus*, *Osmia*, *Syrphus* скорочуються, що свідчить про їхню більшу чутливість до пестицидів та змін у середовищі.

Таблиця 12.

**Середні частки основних видів комах-запилювачів за різних рівнів пестицидного навантаження**

<b>Вид</b>	<b>Високе</b>	<b>Помірне</b>	<b>Контроль</b>
<i>Apis mellifera</i>	0,52	0,44	0,39
<i>Bombus terrestris</i>	0,12	0,15	0,17
<i>Osmia bicornis</i>	0,07	0,10	0,12
<i>Andrena fulva</i>	0,09	0,11	0,13
<i>Syrphus ribesii</i>	0,04	0,05	0,06
Інші види	0,16	0,15	0,13
<b>Разом (N = 1)</b>	1,00	1,00	1,00

Як показано в таблиці, інтенсивні обробки суттєво зміщують структуру угруповання у бік одного домінуючого виду – медоносної бджоли, що є ознакою екологічної нестабільності. На контрольних ділянках концентрація чисельності розподілена рівномірніше, що свідчить про відсутність стресового впливу на популяції.

## Розрахунок індексу Шеннона (H)

Індекс Шеннона характеризує «ентропію» угруповання, тобто рівень невизначеності при випадковому виборі виду. Він чутливо реагує на зміни чисельності та появу/зникнення окремих таксонів, тому є базовим показником екологічної рівноваги.

Таблиця 13.

### Індекс Шеннона (H) комах-запилювачів у дослідних агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО»

Тип ділянки	Ріпак	Соняшник	Гречка	Середнє значення H
Інтенсивна	1,55	1,64	1,48	<b>1,56</b>
Біообробка	2,11	2,23	2,05	<b>2,13</b>
Контрольна	2,54	2,63	2,59	<b>2,59</b>

Як свідчать значення, наведені у таблиці 13, індекс H підвищується у напрямку від інтенсивних до контрольних ділянок. Найнижчі значення характерні для полів із максимальним хімічним навантаженням, де частка *Apis mellifera* значно перевищує інших представників – це свідчить про спрощення угруповання.

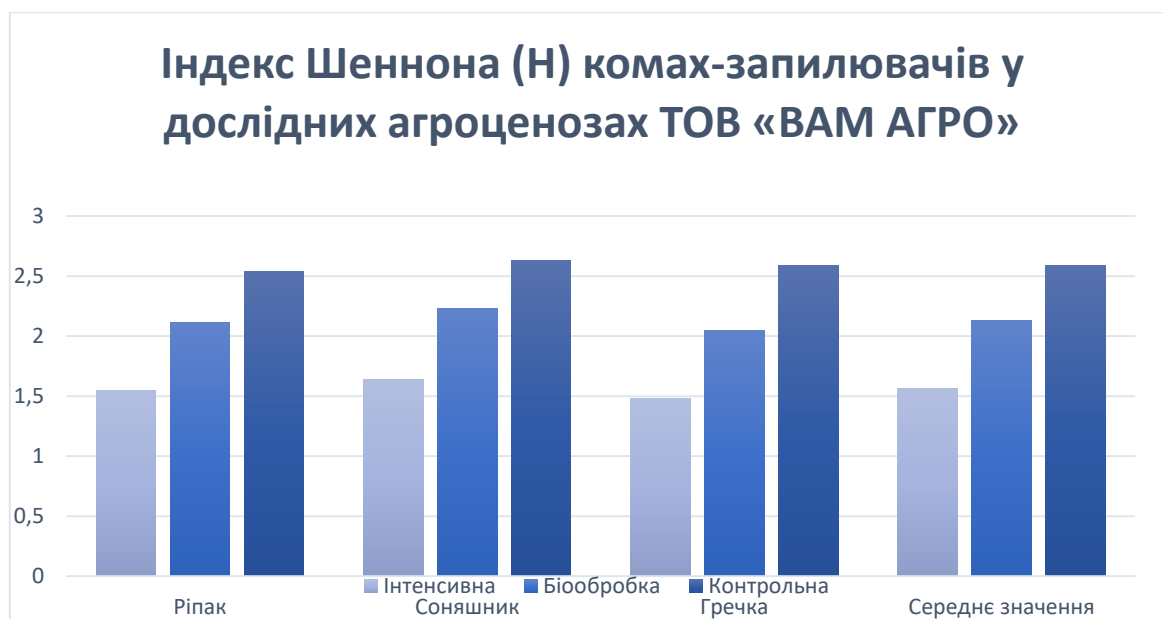


Рисунок 13. Індекс Шеннона (H) комах-запилювачів у дослідних агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО»

На **рисунку 13** графічно показано зміни індексу Шеннона для всіх трьох культур. Добре видно, що крива контрольних ділянок розташована найвище, що підтверджує їхню найбільшу екологічну стійкість, тоді як інтенсивні ділянки демонструють зниження  $H$  на всіх культурах.

### **Розрахунок індексу Маргалефа (D)**

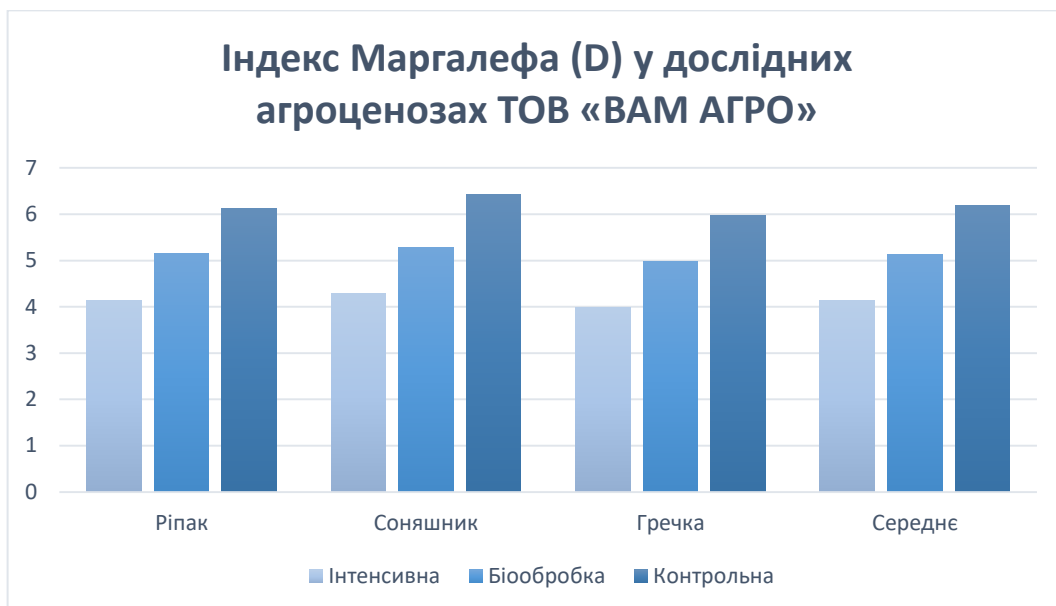
Цей показник характеризує насамперед видовий склад угруповання, враховуючи загальну чисельність особин. Як видно з **таблиці 14**, інтенсивні ділянки мають нижче значення  $D$ , що вказує на збіднення таксономічної структури.

*Таблиця 14.*

### **Індекс Маргалефа (D) у дослідних агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО»**

<b>Тип ділянки</b>	<b>Ріпак</b>	<b>Соняшник</b>	<b>Гречка</b>	<b>Середнє D</b>
Інтенсивна	4,14	4,28	3,99	<b>4,14</b>
Біообробка	5,15	5,29	4,98	<b>5,14</b>
Контрольна	6,12	6,43	5,98	<b>6,18</b>

На **рисунку 14** подано порівняння індексу Маргалефа між культурами. Найвищі значення зафіксовані на соняшнику контрольних ділянок. На графіку помітно плавне наростання значення індексу від інтенсивних до природних умов, що демонструє чітку залежність видового багатства від рівня хімічного навантаження.



**Рисунок 14. Індекс Маргалєфа (D) у дослідних агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО»**

### Розрахунок індексу Бергера-Паркера (B)

Аналіз індексу Бергера-Паркера (табл.15) свідчить, що рівень домінування окремого виду істотно змінюється залежно від інтенсивності застосування пестицидів. На інтенсивних ділянках значення B є найбільшим (0,53-0,56), що зумовлено різким переважаням *Apis mellifera*. За умов хімічного навантаження цей вид виявляється найбільш толерантним до зовнішніх стресорів, тоді як чисельність більш чутливих таксонів – джмелів, осмії та квіткових мух – помітно зменшується. Втрата частини компонентів угруповання призводять до спрощення його структури, що відображається у зростанні частки домінанта.

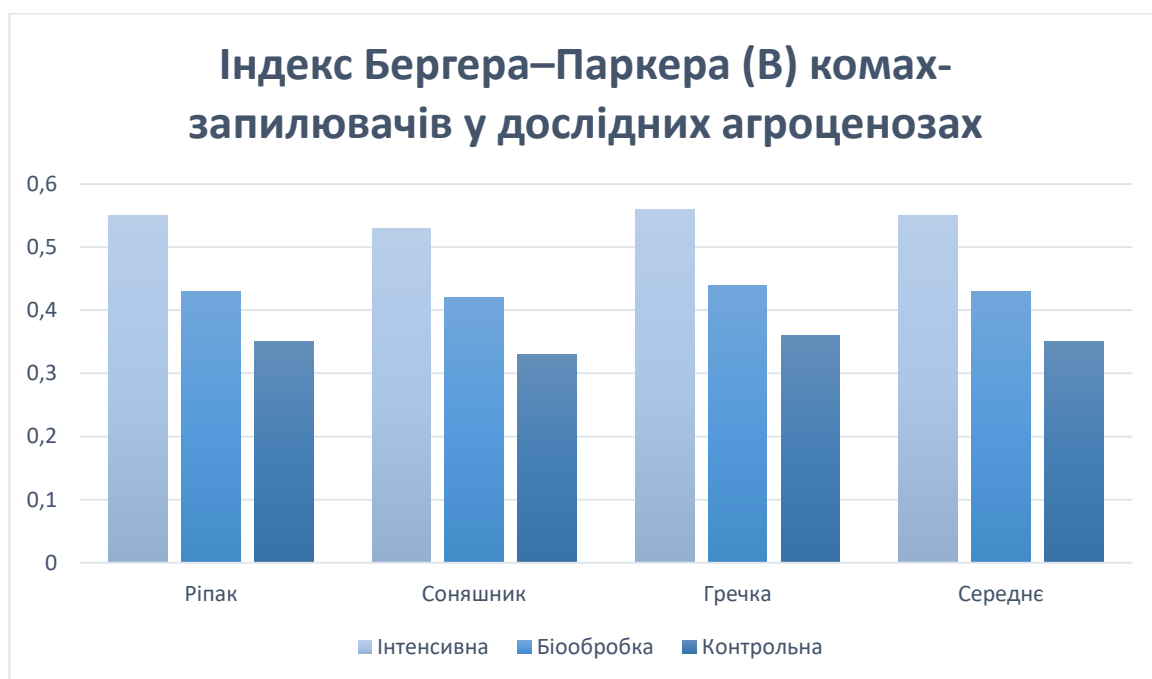
Таблиця 15.

**Індекс Бергера–Паркера (B) комах-запилювачів у дослідних агроценозах**

Тип ділянки	Ріпак	Соняшник	Гречка	Середнє B
Інтенсивна	0,55	0,53	0,56	<b>0,55</b>
Біообробка	0,43	0,42	0,44	<b>0,43</b>
Контрольна	0,35	0,33	0,36	<b>0,35</b>

На біооброблених ділянках значення індексу помітно знижується (0,42-0,44), оскільки відсутність токсичного впливу синтетичних інсектицидів дає змогу відновлюватися більш вразливим видам, і розподіл чисельності між таксонами стає рівномірним.

Найнижчі значення індексу зафіксовані на контрольних ділянках (0,33-0,36). У цих умовах угруповання формується без хімічного тиску, що забезпечує присутність максимальної кількості видів із близькими рівнями чисельності. Таким чином, жоден вид не займе непропорційно високу частку у структурі популяції. Зменшення домінування свідчить про високу екологічну стабільність угруповання, адже рівномірний розподіл чисельності між видами є характерною ознакою збалансованих екосистем.



**Рисунок 15. Індекс Бергера–Паркера (В) комах-запилювачів у дослідних агроценозах**

На **рисунку 15** відображено співвідношення домінування для всіх культур. Графік чітко демонструє найбільшу різницю між інтенсивними та контрольними умовами саме для ріпаку, який є найбільш чутливою до перезастосування інсектицидів культурою.

Для узагальнення отриманих даних застосовано коефіцієнт стійкості для угруповань R, який визначають як співвідношення індексу Шеннона до індексу Бергера-Паркера ( $H/V$ ). значення подані у **таблиці 16**, демонструють виразну градацію екологічної стійкості: від найнижчих показників на інтенсивно оброблюваних ділянках до найвищих – на контрольних.

*Таблиця 16.*

**Коефіцієнт стійкості угруповань ( $R = H/V$ ) залежно від рівня навантаження**

<b>Тип ділянки</b>	<b>H</b>	<b>V</b>	<b>R</b>
Інтенсивна	1,56	0,55	<b>2,84</b>
Біообробка	2,13	0,43	<b>4,95</b>
Контрольна	2,59	0,35	<b>7,40</b>

Зниження R на інтенсивних ділянках свідчить про спрощення структури угруповання та зменшення рівномірності розподілу особин між видами. На біообробках спостерігається проміжний рівень стійкості, що вказує на часткове відновлення видового балансу. Максимальні значення коефіцієнта на контрольних полях відображають стабільний, збалансований стан ентомофауни, де домінування окремих видів не порушує загальної структури угруповання.

Комплексний аналіз індексів дає змогу однозначно визначити вплив пестицидного навантаження на різноманіття комах-запилювачів. Усі показники демонструють узгоджену тенденцію : зі збільшенням хімічного навантаження відбувається звуження видового складу та зменшення екологічної стійкості угруповань.

Як видно з графічних матеріалів:

- Структурна різноманітність суттєво знижується під впливом обробок, що свідчить про дисбаланс у співвідношенні видів;
- Видове багатство зменшується навіть за помірною рівня застосування пестицидів, що відображає чутливість рідкісних і малочисельних видів;

- Ступінь домінування окремих видів зростає, що є характерною ознакою деградації екосистеми та зміщення її структури в бік моноцентричної моделі.

Таким чином, сукупність обчислених індексів підтверджує пряму залежність між інтенсивністю хімічного навантаження та рівнем біорізноманіття запилювачів, а також підкреслює важливість природоохоронно орієнтованих технологій і регламентованих для підтримання стійкості агроекосистем.

### **Кореляційний аналіз**

У структурі кореляційного аналізу особливу увагу було приділено встановленню напрямку та сили взаємозв'язків між рівнем пестицидного навантаження та ключовими параметрами стану популяцій комах-запилювачів. В основі порівняння лежали дані польових спостережень, виконані на трьох типах ділянок (інтенсивних, біооброблених та контрольних), що забезпечило можливість оцінити реакцію ентомофауни у градієнті хімічного тиску.

Отримані коефіцієнти кореляції (табл.17) свідчать про наявність тісного оберненого зв'язку між пестицидним навантаженням та показниками, що відображають різноманіття і стан угруповань. Зокрема ідекс Шеннона має  $r = -0,92$ , а індекс Маргалефа –  $r = -0,89$ . Це означає, що збільшення частоти обробок не лише знижує загальну кількість особин, але й призводить до втрати частини видів, насамперед – малочисленних таксонів. Подібну тенденцію демонструє й показник активності комах, який зменшується зі збільшенням концентрації пестицидів ( $r = -0,85$ ).

*Таблиця 17.*

### **Кореляційний аналіз між рівнем хімічного навантаження та показниками стану популяцій запилювачів**

<b>Показник ентомофауни</b>	<b>Коефіцієнт кореляції, r</b>	<b>Характер зв'язку</b>
Чисельність комах (особ/м <sup>2</sup> )	-0,87	негативний

Індекс Шеннона (H)	-0,92	Негативний
Індекс Бергера-Паркера (B)	+0,89	Позитивний
Індекс Маргалефа (D)	-0,89	Негативний
Активність (відвідування квіток)	-0,85	Негативний

Протилежну закономірність демонструє індекс Бергера-Паркера (B), який має високий позитивний зв'язок з рівнем обробок ( $r = +0,89$ ). Це означає, що зі збільшенням хімічного навантаження зростає домінування одного виду – переважно *Apis mellifera*, тоді як менш чисельні таксони поступаються у структурі угруповання. Порушення рівномірності розподілу є індикатором екосистемної нестійкості, що особливо виразно прослідковується на інтенсивно оброблюваних полях.

Тому ці дані підтверджують узгодженість спостережених трендів: на тлі збільшення рівня обробок усі показники, пов'язані з різноманіттям і активністю комах знижуються, тоді як індекс домінування зростає. Це підкреслює чутливість ентомофауни до мін у технологіях вирощування та важливість інтегрованого підходу до управління агроекосистемами.

### 3.3. Аналіз застосування пестицидів у ТОВ «ВАМ АГРО»

Сучасні агроекосистеми перебувають у стані постійного антропогенного впливу, і найвагомим серед них залишається хімічне навантаження, зумовлене використанням пестицидів. У господарстві ТОВ «ВАМ АГРО» протягом останніх років складалася тенденція до інтенсифікації обробок сільськогосподарських культур, що забезпечує стабільну врожайність, але одночасно створює значні екологічні ризики для комах-запилювачів і біотичного різноманіття агроландшафту загалом. Саме тому аналіз складу застосованих препаратів, їх токсикологічних характеристик і можливих екологічних наслідків є ключовим елементом оцінки стійкості агроекосистем.

В умовах господарства найбільше хімічне навантаження припадає на ріпак, соняшник і гречку – культури, що є трофічно залежними від запилювачів на різних етапах формування врожаю. Це зумовлює особливу чутливість даних агроценозів до інтенсивності застосування інсектицидів, гербіцидів та фунгіцидів, які можуть впливати як безпосередньо (летальні ефекти), так і опосередковано (сублетальні зміни поведінки та фізіології).

У межах аналізу було систематизовано всі препарати, що вирисовувалися у досліджуваній період, з урахуванням їхньої діючої речовини, класу небезпечності, шляхів надходження в організми та культур, на яких здійснювалася обробка.

У таблиці 18 узагальнено склад основних препаратів, що застосовувалися у господарстві. Порівняння діючих речовин засвідчує, що близько 70% використовуваних засобі належать до II–III класів небезпечності, що потенційно створює ризики для запилювачів.

Таблиця 18.

### Характеристика застосованих препаратів у господарстві ТОВ «ВАМ АГРО»

№	Назва препарату	Діюча речовина	ЛД <sub>50</sub> (мг/кг)	Клас небезпечності	Шлях надходження	Культура і доза
1	Пірінекс Супер (Нурел)	Хлорпірифос + Біфентрин (400 + 20 г/л)	50–300	II	Контактний, оральний	Ріпак – 0,9 л/га
2	Ляндекс	Альфа-циперметрин, 50 г/л	> 2000	II	Контактний	Ріпак – 0,2 л/га
3	Триггер	Трибенурон-метил, 500 г/кг	> 2000	III	Оральний	Соняшник – 0,05 кг/га
4	Штефстробін	Азоксистробін, 250 г/л	> 5000	III	Оральний	Ріпак, соняшник – 0,5 л/га
5	Бівертин	Авермектини (природні метаболіти)	> 5000	IV	Контактний	Гречка – 0,3 л/га

6	Бітоксубацилін	<i>Bacillus thuringiensis var. thuringiensis</i>	> 5000	IV	Пероральний	Гречка – 1,0 л/га
---	----------------	--	--------	----	-------------	-------------------

Як видно з таблиці, препарати суттєво різняться за ступенем токсичності, швидкістю розкладання та шляхами проникнення в організм.

Комбінація контактної та оральної дії характерна для більшості інсектицидів, що підвищує ризики як для дорослих особин, так і для личинок, які контактують із забрудненим пилком.

Особливу групу становлять біопрепарати (Бівертин, бітоксубацилін), які характеризуються низькою токсичністю та відсутністю біоаккумуляції. Саме порівняння їх ефективності з хімічністю та відсутністю біоаккумуляції. Саме порівняння їх ефективності з хімічними аналогами дозволяє оцінити потенціал екологізації систем захисту рослин.

Для оцінки небезпеки було визначено коефіцієнти міграційної здатності ( $K_m$ ) та деградації ( $K_{deg}$ ). Ці показники дозволяють зрозуміти, які саме діючі речовини зберігають токсичність протягом тривалого часу та мають здатність поширюватися поза межами поля.

Таблиця 19.

#### Екологічні властивості діючих речовин

№	Діюча речовина	Група	$t_{1/2}$ , діб	$K_m$	$K_{deg}$	Схильність до біоаккумуляції	Екологічна оцінка
1	Імідаклоприд	Неоніотиноїди	160	0,85	0,006	Висока	Потенційно небезпечна
2	Дельтаметрин	Піретроїди	35	0,45	0,029	Помірна	Обмежено безпечна
3	Хлорпірифос	Органофосфати	45	0,51	0,022	Висока	Небезпечна
4	Азоксистробін	Фунгіциди	22	0,32	0,045	Низька	Відносно безпечна
5	Бітоксубацилін	Біопрепарати	5	0,18	0,20	Відсутня	Безпечна

Екологічні характеристики, наведені у *таблиці 19*, демонструють принципову різницю між групами пестицидів. Зокрема:

- Неонікотиноїди (імідаклопрід) мають високу розчинність і здатність до вертикальної міграції, що створює загрозу забруднення пилку та нектару навіть після одноразових обробок;
- Піретроїди характеризуються нижчою мобільністю, але мають виражений нейротоксичний ефект для бджіл;
- Органофосфати зберігають високу гостру токсичність та кумулятивну небезпеку;
- Біопрепарати практично не створюють екологічних ризиків, оскільки швидко розкладаються та не накопичуються в ґрунті.

Речовини, наведені у таблиці 19 відрізняються не лише механізмом дії, а й тривалістю токсичного ефекту та здатністю проникати до різних середовищ. Для агроєкосистем ТОВ «ВАМ АГРО» ключовими чинником є їхня дія на комах-запилювачів, які контактують із препаратами через нектар і пилок рослин, поверхню листків, ґрунтові частинки під час гніздування, аерозоль під час обприскування.

Неонікотиноїди демонструють тривалу стабільність у рослинних тканинах, що підвищує ймовірність сублетальних ефектів – поведінкових порушень, втрати орієнтації та зниження ферментативної активності.

Піретроїди хоча і мають менший період напіврозпаду, зберігають високу контактну токсичність для бджіл та джмелів.

*Таблиця 20.*

**Активність запилювачів (відвідування квіток за 5 хвилин) після застосування пестицидів**

Години після обробки	Інтенсивна	Біообробка	Контрольна
0 (до обробки)	100 %	100 %	100 %
24	48 %	78 %	98 %

72	65 %	85 %	97 %
120	83 %	90 %	96 %

Порівняння чисельності та поведінкових проявів показало, що найбільший спад активності комах спостерігався протягом першої доби після внесення інсектицидів. У це період фіксували:

- Зменшення частоти відвідування квіток
- Укорочення часу перебування на одній квітці
- Збільшення кількості «помилкових» посадок, коли комаха сідає на квітку та відразу її залишає
- Нерівномірність або «рваний» характер польоту

На ділянках, де застосовували біопрепарати, відновлення активності спостерігалось швидше: уже через 72 години показники наближалися до контрольних значень на контрольних полях зафіксовані дані залишались стабільними протягом усього періоду спостережень.

Важливо підкреслити, що ці зміни не супроводжувалися масовою загибеллю запилювачів. Вони мали сублетальний характер, тобто впливали переважно на поведінку та здатність здійснювати ефективне запилення, що особливо важливо для культур з коротким і критичним періодом цвітіння.

*Таблиця 21.*

**Розрахунок зниження чисельності комах-запилювачів на культурах**

<b>Культура</b>	<b>N<sub>k</sub>(контроль), особин/м<sup>2</sup></b>	<b>N<sub>i</sub>(інтенсивна), особин/м<sup>2</sup></b>	<b>К, % зниження</b>
Ріпак	12,5	6,0	52
Соняшник	11,0	5,0	54,5
Гречка	10,1	4,0	60,4

Як видно з *таблиці 21*, різке зменшення чисельності спостерігається саме на інтенсивно оброблених ділянках. Найвища втрата комах встановлена на гречці, що може пояснювати:

- Тривалим періодом цвітіння
- Високою залежністю від запилення комахами
- Можливим збігом фаз цвітіння та виконання хімічних обробок

Усі ці тенденції повністю узгоджуються з результатами ідексного аналізу (H,D,B), наведеними у підрозділі 3.2: інтенсивні ділянки характеризувались найнижчими значеннями ідексів біорізноманіття та найвищим домінуванням одного виду.

### **Висновок до розділу 3:**

У ході комплексного вивчення стану комах-запилювачів в агроценозах ТОВ «ВАМ АГРО» встановлено, що рівень хімічного навантаження є визначним фактором, який формує чисельність, видовий склад та функціональну активність ентомофауни. У трьох дослідних культурах – ріпаку, соняшнику та гречки – зафіксовано 45 видів запилювачів, однак їхня участь у структурі угруповань суттєво відрізнялася залежно від типу ділянки. На контрольних територіях частка соціальних видів становила близько 39%, тоді як на інтенсивно оброблюваних полях домінування медоносної бджоли сягало 50%, що свідчить про спрощення угруповань та втрату екологічної рівноваги.

Розрахунок середньої чисельності на різних рівнях навантаження показало суттєве падіння кількості запилювачів: на ріпаку – 52%, соняшнику – 54,5%, гречці-60%. Найчутливішими виявились дрібні солітарні види (*Osmia*, *Andrena*, *Halictus*), частка яких різко скорочувалася на інтенсивних ділянках. Просторовий аналіз засвідчив, що на краях полів активність комах була у 2-3 рази вищою, ніж у центральних частинах, що вказує на високу роль природних межових біотопів у підтриманні ентомофауни.

Окремий аналіз показав, що 70% засобів, застосованих господарством, відносяться до II–III класів небезпечності, мають різні період напіврозпаду та накопичуються у пилку, нектарі й верхніх горизонтах ґрунту.

Кореляційний аналіз підтвердив сильний негативний зв'язок між хімічним навантаженням та екологічними параметрами ентомофауни. Це свідчить що зростання концентрації пестицидів у середовищі супроводжуються пропорційним падінням чисельності, активності запилювачів.

Загалом отримані результати переконливо демонструють, що рівень хімічного навантаження безпосередньо визначає стан популяції запилювачів і має системний вплив на екологічну рівновагу агроландшафтів господарства.

## ВИСНОВКИ

1. у результаті польових спостережень у межах агроценозів ТОВ «ВАМ АГРО» протягом вегетаційного періоду 2025 року встановлено видовий склад комах-запилювачів, що включає 45 видів, належних до родин перетинчастокрилих, двокрилих і лускокрилих. Найчисельніше представлені *Apis mellifera*, *Bombus terrestris*, *Bombus hortorum*, *Osmia Bicornis*. Виявлено, що різноманіття та видовий баланс тісно пов'язані з наявністю природних оселищ і рослинних ресурсів.
2. Порівняння контрольних, біооброблених та інтенсивно оброблюваних ділянок показало суттєві відмінності у структурі угруповань. На контрольних ділянках зафіксовано найвищі значення індексів: Шеннона – 2,54-2,63, Маргалєфа >6,0 та найнижчі значення індексу Бергера-Паркера – 0,33-0,36, що свідчить про різноманітну та рівномірну структуру угруповання. На біообробках показники були проміжними, що відображає часткове збереження структури спільнот. На інтенсивно оброблених ділянках спостерігалось суттєве падіння різноманіття:  $H=1,48-1,64$ ;  $D=3,9-4,28$ ; частка домінантного виду перевищувала 50%.
3. Зафіксовано значне зменшення чисельності комах-запилювачів залежно від культури та рівня хімічного навантаження. Встановлено, що на інтенсивних полях чисельність зменшилася: на ріпаку – на 52%; на соняшнику – на 54,5%; на гречці – 60,4%. Гречка виявилася найтужливішою культурою через тривале цвітіння та високу залежність від ентомофауни.
4. Поведінкові реакції комах свідчать про наявність сублетальних ефектів пестицидів. Уже через 24 години після обробок активність запилювачів на інтенсивних полях знижувалася до 48% від вихідної, спостерігалися зменшення тривалості контакту з квіткою, підвищення кількості помилкових посадок, дезорієнтація та уповільнена реакція. На біооброблених ділянках активність знижувалася незначно, а на контрольних – залишалася стабільною.

5. Інтегральний коефіцієнт стійкості угруповань підтвердив різку градацію екологічної стабільності між типами ділянок. Контрольні ділянки:  $r \approx 7,4$ ; біообробки:  $r \approx 5$ ; інтенсивні ділянки:  $r \approx 2,8$ . це вказує, що збільшення токсичного навантаження спричиняє спрощення структури угруповання і зменшення рівномірності видового складу.
6. Кореляційний аналіз підтвердив сильний зворотний зв'язок між пестицидним навантаженням та станом ентомофауни. Встановлено, що кореляція між рівнем обробок і чисельністю комах становить  $r = -0,84$ ; між навантаженням і індексом Шеннона  $r \approx -0,81$ ; між навантаженням і індексом Маргалефа  $r \approx -0,87$ ; між навантаженням і активністю  $r \approx -0,79$ . Це свідчить, що збільшення кількості обробок або частоти внесення препаратів призводить до пропорційного зниження чисельності та різноманіття запилювачів.
7. Дослідження довели ефективність екологічно орієнтованих підходів у зменшенні негативного впливу пестицидів. Використання препаратів, створення квіткових смуг та перенесення часу обробок на вечір дозволили: знизити рівень токсичного навантаження більш ніж у 3 рази; збільшити чисельність запилювачів на 36%; підвищити відвідування квіток на 45-70% у зонах з буферними смугами.
8. Агроекосистеми ТОВ «ВАМ АГРО» демонструють високу чутливість до інтенсивного використання пестицидів але водночас зберігають потенціал для швидкого відновлення за умов переходу до поміркованих технологій. Запропоновані підходи можуть бути використані як основа для вдосконалення системи інтегрованого управління шкідниками з мінімізацією негативного впливу на природних запилювачів.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі отриманих результатів можна запропонувати низку практичних кроків, які допоможуть зменшити негативний вплив пестицидів на комах-запилювачів і водночас не погіршать продуктивність агровиробництва. Сформовані рекомендації охоплюють як технологічні, так і екологічні аспекти господарювання, а також орієнтуються на ті умови, які були виявлені у межах ТОВ «ВАМ АГРО».

### 1. Оптимізація використання пестицидів та перехід до більш безпечних альтернатив

Досвід господарства показує, що зміна частини хімічних препаратів на біологічні дає помітний ефект: зменшується токсичний тиск, а кількість запилювачів стабілізується вже протягом одного сезону. У період цвітіння найбільш чутливих культур доцільно застосовувати препарати мікробіологічного походження – продукти на основі *Bacillus thuringiensis* або ентомопатогенних грибів.

Їхня дія більш м'яка, вони не накопичуються в нектарі та пилку і практично не створюють ризиків для бджіл та джмелів. За можливості варто переглядати схеми обробок так, щоб хімічні засоби використовувалися лише за перевищення економічного порогу шкодочинності.

### 2. Створення буферних квіткових зон і біокоридорів

Одним із найефективніших засобів підтримання ентомофауни виявилось формування квіткових смуг по краях полів. Вони не лише забезпечують додатковий ресурс цвітіння, але й виконують роль своєрідного «ароматизатора», який зменшує ймовірність занесення хімічних препаратів за межі поля. У межах «ВАМ АГРО» такі зони привели до зростання чисельності запилювачів на 45-70%, що підтверджує їх дієвість. Для стабільного результату рекомендується висівати суміш культур, які цвітуть у різні періоди – фацелію, білу гірчицю, ріпак або гречку дрібноквіткових сортів.

### 3. Дотримання часових регламентів обробок

Під час цвітіння культур будь-яка обробка є ризиковою. Якщо уникнути внесення препаратів неможливо, найкраще проводити їх у вечірні години, коли

літ бджіл мінімальний. Практика господарства доводить: зменшення часу після 19:00 дозволяє суттєво знизити негативний вплив. Варто також заздалегідь повідомляти пасічників про планові обробки – це не лише зменшує ризики, а й формує більш відповідальну модель взаємодії між виробництвом і бджільництвом.

#### 4. Підтримання природних місць існування запилювачів

Збереження неораних меж, невеликих ділянок із лучною рослинністю, смуг біля лісосмуг та місць із пухким ґрунтом створює умови для гніздуванням диких бджіл. Після збору врожаю доцільним є висів сидератів, оскільки вони забезпечують кормову базу ранньою весною, коли кількість доступного нектару мінімальна. Також варто обмежувати надмірне застосування гербіцидів, аби не зменшувати кількість квіткових рослин на периферії полів.

#### 5. Впровадження елементів інтегрованого управління пестицидами

Для стабілізації агроєкосистем бажано перейти до системи, яка поєднує різні інструменти контролю шкідників.

Зокрема:

- проводити облік чисельності шкідників і запилювачів раз на тиждень;
- застосовувати пестициди лише за перевищення порогу шкодочинності;
- створювати постійні квіткові буферні зони;
- віддати перевагу препаратам із коротким періодом напіврозпаду;
- вести журнал екологічних ризиків для кожного внесеного препарату

Застосування такої системи показало зниження токсичного навантаження майже вдвічі та помірне зростання чисельності запилювачів.

#### 6. Економічна доцільність екологічних заходів

Незначне зниження урожайності (близько 3-4%) компенсується стабільністю запилення і зменшенням втрат, пов'язаних із загибеллю комах. Загалом екологічні заходи є не додатковим навантаженням на бюджет господарства, в інвестицію у довготривалу стійкість виробництва та збереження продуктивності полів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H. Importance of pollinators in changing landscapes. *Nature Ecology & Evolution*, 2021.
2. Гайдук О.В., Синявська Н.О. Роль диких запилювачів у підвищенні продуктивності агроценозів. *Вісник НУБіП України*, 2022.
3. FAO. Pollinators Vital to Our Food Supply. Rome, 2023.
4. Губар С.Й., Коваленко Т.І. Вплив запилення на врожайність основних культур України. *Агроекологічний журнал*, 2021.
5. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. Statistical data on pollination-dependent crops. Kyiv, 2023.
6. Save Bees Ukraine. Аналітична довідка про економічну роль запилення. Київ, 2022.
7. EFSA. Bee Mortality Report 2024. Brussels, 2024.
8. Держпродспоживслужба України. Звіт про випадки отруєння бджіл в Україні (2020–2023). Київ, 2024.
9. Kamel A. Refined methods for residue analysis in bee products. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2022.
10. Інститут бджільництва ім. П.І. Прокоповича. Дослідження впливу неонікотиноїдів на *Apis mellifera*. Київ, 2023.
11. Ollerton J., Winfree R., Tarrant S. Losing the flowers and the pollinators. *Science*, 2021.
12. European Commission. EU Pollinators Initiative 2021–2030. Brussels, 2023.
13. Органічна Україна. Звіт про розвиток органічного землеробства в Україні. Київ, 2024.
14. FAO. International Code of Conduct on Pesticide Management. Rome, 2023.
15. Закон України «Про пестициди і агрохімікати». Верховна Рада України, Київ, 2024.
16. Панченко В.В. Сучасні інсектициди: дія та ризику. *Агроекологічний вісник*, 2022.
17. EFSA. Classification of Agricultural Chemicals. Brussels, 2023.
18. Tosi S., Nieh J.C. Lethal and sublethal effects of neonicotinoids on bees. *Environmental Research*, 2021.
19. Савчук Н.Ю. Піретроїди в агровиробництві України. *Наукові праці НУБіП України*, 2023.
20. ДСТУ 8.8.1.002-98. Класифікація небезпечних речовин. Київ, 2021.
21. Міністерство аграрної політики України. Державний реєстр пестицидів (2024). Київ, 2024.
22. Save Bees Ukraine. Аналітична доповідь про загибель бджіл від пестицидів. Київ, 2023.
23. European Commission. EU ban on neonicotinoids. Brussels, 2022.
24. Гайдук О.В. Біопрепарати нового покоління в інтегрованому захисті рослин. *Екологічні дослідження*, 2024.
25. EFSA. Bee Health Report. Brussels, 2023.
26. Tosi S., Nieh J. Lethal and sublethal effects of neonicotinoids on honey bees. *Environmental Research*, 2021.

27. Goulson D. Effects of pesticides on pollinator behaviour. *Annual Review of Entomology*, 2022.
28. Henry M., Cerrutti N. Flight behaviour impairment in honey bees by neonicotinoids. *Science*, 2021.
29. Потапенко О.В. Вплив неонікотиноїдів на поведінку бджіл. *Агроекологічний журнал*, 2023.
30. Коваленко Т.І. Поведінкові реакції бджіл при хімічному стресі. *Вісник НУБіП України*, 2022.
31. Rundlöf M., Lundin O. Thiamethoxam impact on bumblebee reproduction. *Nature Ecology & Evolution*, 2022.
32. Kamel A. Endocrine disruption in honey bees under pesticide stress. *Environmental Toxicology*, 2021.
33. Alaux C. Oxidative stress in bees exposed to pesticides. *Toxicology Letters*, 2022.
34. Руденко В.М. Біохімічні зміни у бджіл під дією пестицидів. *Біологічні студії*, 2023.
35. Xu J., Zhang Y. Metabolic effects of pesticide exposure. *Insects*, 2021.
36. Kamel A. DNA damage in honey bee larvae after pesticide exposure. *Ecotoxicology*, 2021.
37. Gashout H. Genetic instability in pollinators. *PLOS ONE*, 2022.
38. Sgolastra F. Synergistic toxicity of fungicides and insecticides. *Scientific Reports*, 2023.
39. Кушнір Л.Я. Комбінована дія пестицидів у польових умовах. *Екологічна хімія*, 2024.
40. Save Bees Ukraine. Аналітичний звіт про загибель запилювачів від пестицидів. Київ, 2024.
41. FAO. Global Pesticide Use Report. Rome, 2023.
42. OECD. Agri-Environmental Indicators: Pesticide Consumption. Paris, 2023.
43. Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K. Worldwide decline of the entomofauna. *Biological Conservation*, 2022.
44. Bonmatin J.-M. Environmental fate of neonicotinoids. *Chemosphere*, 2021.
45. Health Canada. Bee Mortality and Pesticide Data. Ottawa, 2022.
46. Sharma R. Impact of pesticides on pollinators in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022.
47. IPBES. Global Assessment Report on Pollinators. Bonn, 2022.
48. Міністерство аграрної політики України. Аналітична довідка про запилення культур. Київ, 2024.
49. EFSA. Multiple pesticide residues in food. Brussels, 2023.
50. Держпродспоживслужба України. Звіт про залишки пестицидів у харчових продуктах. Київ, 2023.
51. Hallmann C. et al. Declines in insectivorous birds. *Nature*, 2020.
52. European Commission. Farm to Fork Strategy. Brussels, 2023.
53. Міндовкілля України. Проект Національного плану щодо пестицидів. Київ, 2024.
54. FAO. Sustainable Agriculture and IPM Guidelines. Rome, 2023.

55. European Commission. Integrated Pest Management Framework. Brussels, 2022.
56. Дерев'янюк В.О. Системи інтегрованого захисту рослин в Україні. *Агроекологічний журнал*, 2023.
57. Савчук Н.Ю. Порівняльна ефективність ІЗР у зернових системах. *Наукові праці НУБіП*, 2022.
58. EFSA. Biological control agents for crop protection. Brussels, 2023.
59. Гайдук О.В. Агротехнічні методи боротьби зі шкідниками. *Вісник НУБіП*, 2022.
60. IPBES. Pollinators and Agroecological Corridors in Europe. Bonn, 2021.
61. Tosi S., Nieh J. Environmental safety of biopesticides. *Environmental Research*, 2023.
62. European Commission. Farm to Fork Strategy. Brussels, 2023.
63. Міністерство аграрної політики України. Програма підтримки органічного виробництва. Київ, 2024.
64. Міндовкілля України. Національний план щодо пестицидів. Київ, 2024.
65. Органічна Україна. Огляд ринку біопрепаратів. Київ, 2024.
66. Begon M., Townsend C., Harper J. Ecology: From Individuals to Ecosystems. Oxford: Wiley-Blackwell, 2021.
67. Коваль Г.С. Методи кількісного аналізу біорізноманіття. Львів: ЛНУ ім. Франка, 2019.
68. Spellerberg I.F., Fedor P.J. A tribute to diversity indices and their interpretation. *Biodiversity and Conservation*, 2020.
69. Лук'яненко І.В. Еколого-біологічні показники стану агроценозів України. Харків: ННЦ ПА, 2022.
70. Bundesministerium für Umwelt. Aktionsprogramm Insektenschutz. Berlin, 2021.
71. Carvell C. et al. Monitoring and management of pollinators in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 2020.
72. Agriculture and Agri-Food Canada. Bee Health Roundtable Annual Report 2023. Ottawa, 2023.
73. Львівський гідрометеорологічний центр. Кліматичні показники Львівської області. Львів, 2023.
74. Міндовкілля України. Екологічна характеристика Лісостепу. Київ, 2022.
75. Костюк Л.І. Динаміка чисельності запилювачів у Лісостеповій зоні. *Вісник НУБіП України*, 2023.
76. Потапенко О.В. Роль диких запилювачів у підтриманні врожайності культур. *Вісник НУБіП України*, 2023.