


## АГРОНОМІЯ

УДК 631.95:663.15:632.95

**Екологічні проблеми сучасних систем захисту кукурудзи від шкідливих організмів в Україні (огляд)**Глуховець Д.В. , Матусевич Г.Д. *Інститут агроєкології і природокористування НААН* Матусевич Г.Д. E-mail: matusevichgalina1971@gmail.com

Глуховець Д.В., Матусевич Г.Д. Екологічні проблеми сучасних систем захисту кукурудзи від шкідливих організмів в Україні (огляд). «Агробіологія», 2024. № 1. С. 43–51.

Glukhovets D., Matusievich G. Ecological problems of modern corn protection systems against harmful organisms in Ukraine: review. «Agrobiology», 2024. no. 1, pp. 43–51.

Рукопис отримано: 20.02.2024 р.

Прийнято: 06.03.2024 р.

Затверджено до друку: 24.05.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2024-187-1-43-51

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Впродовж останніх десятиліть спостерігається неухильне зростання глобального попиту, виробництва та застосування пестицидів і добрив. Сукупні світові продажі агрохімікатів продовжують збільшуватися приблизно на 4,1 % на рік і за прогнозами до 2025 р. сягнуть 309 млрд дол. США. Враховуючи, що до 2050 року чисельність населення планети сягне 9,8 млрд осіб, потреба в ефективних засобах захисту сільськогосподарських культур (гербіциди, інсектициди, фунгіциди тощо) стає

Кукурудза є однією із небагатьох зернових культур, яка за маржинальністю і обсягами вирощування в агробізнесі не поступається традиційним польовим культурам. Ця сільськогосподарська культура й нині забезпечує також досить значну частку валютних надходжень від експорту аграрної продукції і є досить високоприбутковою в господарствах за умов дотримання технології вирощування.

Сучасні технології вирощування зернових культур передбачають широке застосування хімічних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Застосування пестицидів на посівах зернових культур є важливим чинником, що гарантує підвищення якості рослинницької продукції та отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур. У зв'язку з цим ставляться високі вимоги до пестицидів. Вони мають забезпечувати біологічну ефективність за мінімальних норм витрат, бути максимально безпечними для навколишнього середовища, зокрема не виявляти шкідливого впливу на ґрунт, рослини та інші корисні організми, а також мати низьку персистентність у природному середовищі.

Тому досить актуальними є наукові дослідження, пов'язані з екологізацією хімічного захисту рослин від шкідливих організмів та зменшенням впливу пестицидів на навколишнє природне середовище.

На основі опрацьованої зарубіжної літератури узагальнено інформацію щодо застосування пестицидів в світі. Подано дані щодо використання засобів захисту рослин в Україні.

Наведено основні побічні наслідки широкого застосування пестицидів у хімічному захисті кукурудзи, а саме фітотоксична дія на рослини, негативний вплив на корисну ентомофауну, мікробіом ґрунту, прояв резистентності, накопичення в рослинах і ґрунті залишкових кількостей пестицидів тощо.

**Ключові слова:** кукурудза, пестициди, хімічне забруднення, біологічне різноманіття, мікробіологічна активність ґрунту, резистентність.

все більш важливою у стратегіях сталого сільськогосподарського виробництва [1, 2].

За оцінками зарубіжних науковців, третину сільськогосподарської продукції у світі виробляють завдяки застосуванню засобів захисту рослин. Без використання пестицидів втрати сільськогосподарської продукції від шкідників, захворювань та бур'янів сягали б 30–100 % [3]. Загалом у всьому світі використовують близько 2 млн т пестицидів: 47,5 % гербіцидів, 29,5 % інсектицидів, 17,5 % фунгіцидів і 5,5 % інших пестицидів (рис. 1) [4, 5].

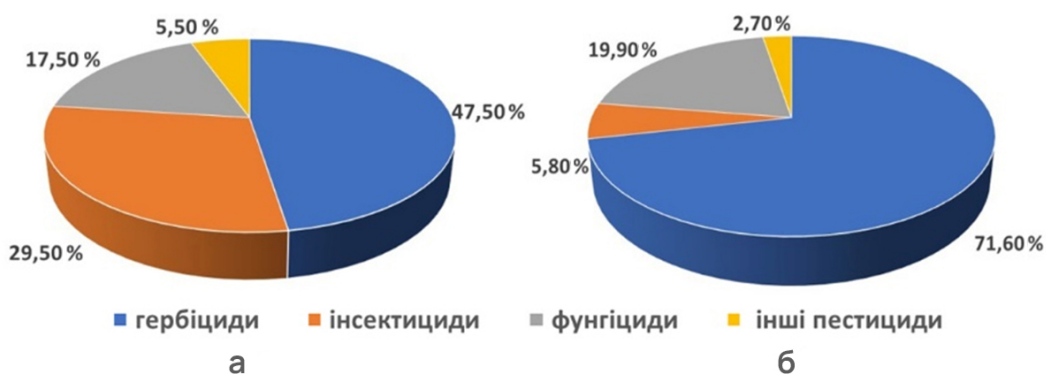


Рис. 1. Кількість пестицидів, що застосовують на кукурудзі в світі (а) та Україні (б).

В Україні за даними Державної служби статистики, кількість внесених пестицидів на гектар постійно зростає. Зокрема, обсяг застосування ЗЗР (засобів захисту рослин) в Україні з розрахунку активної речовини становив у 2018 р. – 25343,4 т; 2019 р. – 24326,9 т; 2020 р. – 24624,7 т; 2021 р. – 26971,5 т. Лише у 2022 р. через повномасштабне вторгнення росії та економічні негаразди кількість внесених пестицидів знизилась на 7,54 т й становила 19438,2 т [6]. Найбільше під урожай 2022 р. було внесено гербіцидів – 13928,8 т, фунгіцидів – 3884,7 т, інсектицидів – 1121,6 т, регуляторів росту – 478,8 т, інших пестицидів – 24,3 т. За діючою речовиною агропромислові переважно вносили – 2-метил-4-хлорфеноксифосфат, прометрин, гліфосат, бентазон, хлорпірифос тощо.

Отже, застосування пестицидів для захисту рослин від шкідливих організмів є невід’ємною складовою сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур. У разі застосування пестицидів в умовах інтенсивних технологій не виключений їх негативний вплив на систему ґрунт–рослина. Необґрунтоване застосування пестицидів призводить до кількісних та якісних змін у агроценозі, які проявляються в порушенні функціонування біологічних систем та погіршенні якості сільськогосподарської продукції [7–9].

Крім того, пестициди призводять до негативного впливу на здоров’я людини, як у результаті прямої дії, так і опосередковано – внаслідок накопичення залишкових кількостей у сільськогосподарських продуктах і питній воді. Забезпечити правильність використання пестицидів – завдання не лише важливе, а також вкрай складне, адже асортимент препаратів надзвичайно великий і характери-

зується значним різноманіттям властивостей, призначень, особливостей дії, впливу на людину, теплокровних тварин і корисні організми, поведінки в навколишньому середовищі та післядії [10].

Отже, враховуючи тенденції збільшення виробництва, попиту та споживання засобів захисту рослин **метою досліджень** було вивчення та аналіз екологічних проблем сучасних систем хімічного захисту кукурудзи.

**Матеріал і методи дослідження.** Матеріалом для роботи слугував порівняльний аналіз статистичних даних, наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів, які стосуються екологічних проблем вирощування кукурудзи за різних систем хімічного захисту.

**Результати дослідження та обговорення.** Застосування засобів захисту рослин у сільськогосподарському виробництві створює потенційну небезпеку забруднення ними навколишнього природного середовища. Ось лише деякі побічні наслідки широкого застосування пестицидів у захисті сільськогосподарських рослин – це забруднення залишковими кількостями пестицидів атмосфери, ґрунтів та води; фітотоксична дія на рослини; поява резистентності до діючих речовин у збудників захворювань та шкідників; негативний вплив на корисну ентомофауну, зокрема бджоли, сонечка тощо; зменшення біорізноманіття агроєкосистем, негативний вплив на ґрунтову біоту та мікробіологічну активність ґрунту тощо [11].

У інтенсивних технологіях вирощування кукурудзи широко застосовують засоби захисту рослин для контролювання шкідливих організмів та зниження втрат урожаю. Головна вимога цих технологій – це ефективне контролювання чисельності бур’янів. В Україні обробляють гербіцидами 99 % виробничих

площ під кукурудзою. Відомо, що, залежно від видового складу бур'янів, засміченості й тривалості впливу бур'янів на культуру, врожайність кукурудзи може знизитися на 25–40 %. За вкрай несприятливих умов втрати можуть сягнути й 60–80 %.

Гербициди – це високоактивні біологічно активні речовини, використання яких у агро-екосистемах призводить до значних змін, як у фізіології культурних рослин, так і рості та розвитку бур'янів. Зокрема, у разі застосування на кукурудзі ґрунтових гербицидів (Примекстра Голд і Харнес) перед передпосівною культивуацією, а також страхових гербицидів (Мілагро, Діален Супер, Хармоні, Дикамба) у фазу 3–5 листків істотно знизився урожай культури [12]. Результати досліджень показали, що внесення страхового гербициду Діален Супер (д.р. 2,4-Д, 344 г/л; дикамба, 120 г/л) зменшило вихід зерна кукурудзи на 0,32 т/га або 41,6 %; за внесення гербициду Хармоні – на 29,2 %. Гербицид 2,4-Д, взятий у більшій дозі (500 г/л), ніж він міститься у складі Діалену Супер, теж виявив високу токсичність до кукурудзи, знизивши врожайність зерна на 0,45 т/га або 10,9 % порівняно з контрольним варіантом без гербицидів.

У разі застосування гербицидів виникає небезпека накопичення в ґрунті та рослинах певної кількості діючих речовин, їх метаболітів, а також впливу всіх цих забруднювачів на наступні культури в сівозміні. Залишкові кількості гербицидів визначають в орному шарі ґрунту через 2–5 місяців після їх застосування. Зокрема, діючу речовину гербициду Діален Супер (2,4-Д диметиламінну сіль) [12] було виявлено на 63-тю, 108-му і на 150-ту добу з моменту його внесення і залишки його в ґрунті були на межі гранично допустимої концентрації. Водночас констатовано високий вміст залишкових кількостей діючих речовин гербицидів метолахлору, атразину, тіфенсульфурон-метилу, нікосульфурону.

Залишкові кількості гербициду Харнес в кукурудзі виявлено через 4,5 місяці після його застосування. Зокрема, вміст Харнесу в зразках насіння становив 0,08 мг/кг, в стеблах – 0,12 мг/кг (за МДР (максимально допустимий рівень) – 0,03 мг/кг). У зразках стебел кукурудзи виявлено залишки протруювача насіння ТМТД у кількості 0,02–0,03 мг/кг, що також перевищують МДР [13].

О. Демянюк та Д. Шацман вивчали застосування ґрунтових і страхових гербицидів за вирощування кукурудзи на зерно. Дослідження показали, що найповільніше розкладався у чорноземі типовому ґрунтовий гербицид Харнес і страховий Діанат. На 30-ту добу в зразках

ґрунту виявлено вміст їх діючих речовин на рівні 20,8 % ацетохлора і 12,5 % дикамби [14].

У науковій літературі є численні дані щодо впливу застосування різних пестицидів на мікробні угруповання і біологічну активність ґрунту [15–17].

За даними О.Є. Найдюнової [18], яка вивчала вплив комплексного застосування гербицидів, фунгіцидів та інсектицидів на стан мікробних ценозів чорнозему типового виявлено негативний вплив пестицидів на чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних груп. Зокрема, у ґрунті під кукурудзою, посіви якої обробляли двічі за вегетацію, і з моменту останньої обробки комплексом пестицидів минуло майже п'ять місяців, чисельність бактерій, що засвоюють органічні сполуки нітрогену, була нижчою в 1,7 раза, мікроорганізмів, що утилізують його мінеральні сполуки – в 1,9, грибів – у 1,6, евтрофів – у 1,8, оліготрофів – у 3,3 раза, ніж у контрольному варіанті. Коефіцієнти мікробної трансформації органічної речовини ґрунту та показники мінералізації також були значно нижчими за показники контролю. Рівень біологічної деградації ґрунту під кукурудзою змінився із сильного до середнього. Подібні зміни відбувалися і в активності ґрунтових ферментів. Через 20 діб після застосування пестицидів активність досліджуваних ферментів (дегідрогенази, інвертази, поліфенолоксидази) знизилася на 5, 19 та 55 % відповідно контролю.

М.Н. Filimon та ін. [19] вивчали негативний вплив двох інсектицидів (циперметрину та тіометоксаму) на мікробіологічну активність ґрунту. Результати показали, що тіометоксам призводить до зниження активності фосфатази на 6,5 %, а циперметрин дегідрогенази – на 32,8 % порівняно з контролем. Водночас значно зменшується за дії згаданих вище інсектицидів кількість нітрифікуючих бактерій – на 58,1 та 74 % відповідно. Ці результати узгоджуються з іншими дослідженнями. Зокрема, багаторазове застосування інсектицидів хлорпірифосу, малатіону, ліндану та ендосульфана зменшувало процеси нітрифікації та денітрифікації в ґрунті, навіть якщо ці інсектициди застосовували в дозах, рекомендованих у польових умовах [20]. Застосування високих концентрацій інсектициду циперметрин призводить до значного негативного впливу на дихання ґрунту, чисельність та біомасу мікроорганізмів [21].

О. Демянюк та Д. Шацман досліджували вплив гербицидів за беззмінного вирощування кукурудзи на активність біологічних процесів у чорноземі типовому. Результати досліджень показали зниження вмісту загальної біомаси

мікроорганізмів у ґрунті на 8–57 %, пригнічення активності поліфенолоксидази і пероксидази на 12–13 % та зростання інтенсивності виділення CO<sub>2</sub> з ґрунту на 2–13 % порівняно з контролем. Найвищу інгібіторну дію на активність оксидоредуктаз зафіксовано за внесення гербіцидів із діючими речовинами 2-етилгексилловий ефір 2,4-Д – на 19–20 %, ацетохлор – на 18–19 і пендиметалін – на 12–14 %. Внесення гербіциду Естерон 60 к.е. знизило вміст загальної біомаси мікроорганізмів на 42,1 %. Фітотоксичність ґрунту за внесення Естерону 60 була на рівні 56,5 %, що вдвічі більше ніж на контролі [22].

Є численні дані стосовно впливу різних пестицидів на ґрунтову біоту, а саме на черв'яків. Застосування засобів захисту рослин підвищує індивідуальну смертність, знижує плодючість і ріст черв'яків, призводить до зменшення їх загальної біомаси та щільності тощо [23]. У дослідженнях С.О. Мазур, за використання рекомендованих виробником норм витрат ґрунтових гербіцидів: Харнес (2 л/га), Дуал Голд (1,5 л/га), Гезагард (2 л/га) кількість дощового черв'яка (*Lumbricus terrestris*) у ґрунті через 30 діб після внесення гербіцидів зменшувалась у 2,1 рази після внесення триазинового гербіциду (Гезагард) та у 3,7 рази за внесення хлор-ацетомідів (Дуал Голд, Харнес) у порівнянні з контрольним варіантом [24].

Дослідження З. Туkenової, М. Мустафаєфа та ін. показали зменшення кількості ґрунтових безхребетних у світло-каштановому ґрунті, забрудненому пестицидами. Найбільш чутливими до забруднення ґрунту тебуконазолом були безхребетні з родин *Chrisomelidae*, *Elateridae*, *Chloropidae* і *Pyraustidae*. Зменшення щільності ґрунтової фауни відмічено у представників родин *Formicidae* – від 16,5 до 0,85 екз./м<sup>2</sup>, *Scarabaeidae* – від 13,5 до 0,7 екз./м<sup>2</sup>, *Lumbricidae* – від 22,3 до 0,9 екз./м<sup>2</sup> [25].

С.В. Тараненко вивчав вплив різних технологій вирощування кукурудзи на представників зооценозу чорнозему типового, а саме на чисельність та видову різноманіття дощових черв'яків (*Lumbricidae*), та на чисельність ногохвісток (*Collembola*). Чисельність дощових черв'яків (*Lumbricidae*) у варіанті із застосуванням принципів органічного землеробства становила 40,0 екз./м<sup>2</sup> та була у 10 разів більшою, ніж у варіанті з інтенсивною технологією вирощування кукурудзи (4,0 екз./м<sup>2</sup>). Функціональна активність ногохвісток (*Collembola*) також була вищою (майже у 1,5 рази) у варіанті з органічним землеробством порівняно із варіантом із застосуванням агрохімікатів та пестицидів (17,0 екз./м<sup>2</sup>) [26].

Результати дослідження С.В. Тараненко щодо чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп за різних технологій вирощування кукурудзи показали, що варіант із застосуванням інтенсивної технології характеризувався меншою загальною чисельністю мікроорганізмів майже у 4 рази, а також меншою чисельністю основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів: для бактерій, які для живлення використовують азот органічних сполук – у 5,1 рази; для бактерій, що асимілюють мінеральні форми азоту – в 4,2 рази; для педотрофної мікрофлори – в 1,2 рази; для оліготрофної мікрофлори – в 6,1 рази [27].

Щороку в Україні від отруєння пестицидами (хімічний токсикоз) гине безліч бджолосімей, що є величезною проблемою як для пасічників, так і землекористувачів, адже бджола – комаха, яка запилює ентомофільні культури, і в такий спосіб впливає на майбутній врожай. Хімічний токсикоз проявляється непередбачено, бджоли гинуть без явних клінічних ознак. В 95 % випадків хімічний токсикоз зумовлюють інсектициди, в 4 % – гербіциди і 1 % припадає на інші препарати. Екстенсивне та тривале застосування пестицидів призводить до зменшення їх кількості, порушення пам'яті, пригнічення репродуктивної функції, а саме зменшення чисельності нащадків, пригнічення імунітету, зниження здатності бджіл до польотів, скорочення тривалості їх життя тощо.

Дослідженнями F. Sanchez-Bayo, K. Goka встановлено, що інсектициди, а саме неонікотиніди (імідаклоприд, фіпроніл) є більш токсичними для бджіл, ніж більшість фосфор-органічних (малатіон), карбаматів (карбофуран) і піретроїдів (циперметрин). Вченими також встановлено, що застосування комбінації препаратів (фунгіцид+ інсектицид) посилює токсичність і синергізм усіх діючих речовин пестицидів [28].

Канадські вчені з університету Західного Онтаріо дійшли висновку, що тривалий вплив неонікотинідів може надмірно стимулювати медоносних бджіл і спричинювати гіперреакцію, що призводить до їх виснаження та гіпоактивності. Найбільш виражені когнітивні порушення у медоносних бджіл, зумовлені пестицидами, спостерігалися у процесах пам'яті, нюховому та зоровому процесах [29].

Вивчення впливу інсектициду імідаклоприду на показники життєдіяльності і приріст чисельності популяції бджіл (*Osmia lignaria*), показало суттєві зміни їх репродукції: зменшилася частка самок у новоутвореному потомстві, сповільнилися початок і припинення гніздування, знизилася швидкість підготовки

гнізд. Бджоли, що зазнали впливу інсектициду також утворювали менш численне потомство. Самки, які харчувались забрудненими інсектицидом пишком і нектаром, були повільнішими і потребували більше часу, щоб знайти своє гніздо, а також відклали меншу кількість яєць, ніж контрольна група [30].

Бджоли, які на стадії личинок піддавалися впливу інсектицидів, але на стадії дорослих особин не зазнали такого впливу, утворили на 30 % менше нащадків, ніж контрольна група, яка ніколи не піддавалась впливу препаратів. Бджоли, які на двох стадіях розвитку (личинки і дорослої особини) піддавалися впливу інсектицидів відклали приблизно на 20 % менше яєць, ніж комахи, які зазнали впливу інсектициду у дорослому віці; на 66 % менше, ніж комахи, які зазнали впливу лише на стадії личинок; на 72 % менше, ніж комахи контрольної групи. Зрештою чисельність популяції таких бджіл зменшилась у чотири рази у порівнянні з контролем [30].

У результаті згубного впливу інсектицидів на медоносних бджіл Європейський Союз заборонив до використання на сільськогосподарських культурах три інсектициди з групи неонікотиноїдів: клотіанідин, імідаклоприд та тіаметоксин [31].

Попри величезний перелік препаратів для захисту рослин, зареєстрованих до застосування (близько 3000 лише в Україні), асортимент діючих речовин не такий широкий – понад 200. Застосування одних і тих самих діючих речовин зумовлює виникнення з часом резистентності шкідливих організмів до застосовуваних ЗЗР [32].

Нині налічується 272 резистентних види одно- та дводольних бур'янів в різних країнах світу (155 дводольних та 117 однодольних). Бур'яни виробили стійкість до 168 різних хімічних груп гербіцидів (арилоксифеноксипропіонати, циклогександіони, фенілпіразоли та ін.). Стійкі до гербіцидів бур'яни були виявлені на 100 культурах у 72 країнах. На кукурудзі виявлено 67 видів бур'янів стійких до гербіцидів. Наприклад, в різних країнах світу виробилася стійкість дводольних бур'янів, таких як гусяча лапка (*Chenopodium album* var. *striatum*), паслін чорний (*Solanum nigrum*), осот колючий (*Sonchus asper*) та однодольних – мишій сизий (*Setaria pumila*), мишій гігантський (*Setaria faberi*) до діючих речовин гербіцидів – атразину, прометрину, симазину та тербутрину. В Україні в агроценозі кукурудзи виявлено стійкість дводольних бур'янів – амаранту загнутого (*Amaranthus retroflexus*) та лободи білої (*Chenopodium album*) до діючих речовин гербіцидів – флорасуламу,

флуметсуламу, форамсульфурону, імазамоксу, імазетапіру, йодосульфурон-метил-На, тіенкарбазон-метилу, тифенсульфурон-метилу та трибенурон-метилу [33].

У дослідженнях ряду науковців з'ясовано, що інтенсивний інсектицидний захист сільськогосподарських культур призводить також до появи толерантності до впливу ЗЗР і у шкідників сільськогосподарських культур. Зокрема, у кукурудзяної совки відносно висока частота генетичних варіацій стійкості до традиційних пестицидів. Згідно з результатами біологічних випробувань підтвердилося, що *Spodoptera frugiperdas* має високу стійкість до фосфорорганічних і піретроїдних пестицидів. Водночас, шкідник чутливий до нових гербіцидів групи амідів і Vt-токсину [34].

Із 1990-х років важливим нововведенням у захисті від комах-шкідників сільськогосподарства стало комерційне вирощування генетично модифікованої кукурудзи, а саме Vt-кукурудзи (*Bacillus thuringiensis maize*). Ця кукурудза була генетично модифікована для вироблення токсину *Bacillus thuringiensis* (Vt), який є отруйним для широкого спектра шкідливих комах. Із 2003 року трансгенну кукурудзу використовують для захисту від західного кукурудзяного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). Американські вчені виявили, що кукурудзяний жук (діабротика) виробив стійкість до двох з трьох типів Vt-токсинів. Серед чинників, що сприяли виникненню резистентності вчені відмітили недотримання агровиробниками сівозміни, а саме безперервне вирощування Vt-кукурудзи [35].

**Висновки.** З початку минулого року захист сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб та бур'янів був проведений на площі понад 38,8 млн га, з них біологічним методом захисту рослин всього лише на площі 1,2 млн га. Серед значної кількості зареєстрованих в Україні хімічних препаратів (майже 3000), біопрепаратів для захисту посівів сільськогосподарських культур не більше 300 найменувань.

Впровадження інтенсивних технологій збільшує пестицидне навантаження на агроценози с.-г. культур. Власне, під час вирощування кукурудзи пестицидне навантаження сягає 12–16 кг/га. Зокрема, погіршується якість вирощеної продукції, забруднюється ґрунт та знижується його біологічна активність, пригнічується його фауна ґрунту, виникають популяції шкідників, бур'янів, стійких до пестицидів тощо.

З метою захисту компонентів агроценозу кукурудзи від негативного впливу пестицидів

необхідно оцінювати ризики використання хімічних засобів захисту рослин, чітко дотримуватися рекомендацій щодо їх застосування, запроваджувати інтегровані та біологічні системи захисту. Потрібно також заборонити чи обмежити застосування пестицидів, які мають високий ступінь небезпечності (особливо пестицидів, які належать до 1 та 2 класу небезпечки), знизити норми внесення пестицидів, впроваджувати нові екологічно безпечні препарати нового покоління.

Наприклад, для регулювання чисельності шкідливих організмів у посівах кукурудзи рекомендується використовувати трихограму. Цей ентомофаг є основним засобом біологічного захисту від багатьох видів шкідників, а саме: листогризух та підгризаючих совок, лучного і стеблового (кукурудзяного) метеликів та інших лускокрилих шкідників. Випуск цього ентомофага не спричиняє забруднення навколишнього природного середовища і виробленої продукції, а впровадження біологічного методу захисту є найбільш радикальним способом до оздоровлення екологічної ситуації.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. United Nations Environment Programme World Health Organization Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40351>
2. Saravi S.S.S., Dehpour A.R. Potential role of organochlorine pesticides in the pathogenesis of neurodevelopmental, neurodegenerative, and neurobehavioral disorders: A review. *Life Sciences*. 2016. Vol. 145. P. 255–264. DOI: 10.1016/j.lfs.2015.11.006
3. United States Department of Agriculture. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads?tabName=%20default%20>
4. De A., Bose R., Kumar A., Mozumdar S. Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles. New Delhi: Springer, 2014. 99 p. DOI: 10.1007/978-81-322-1689-6
5. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem / A. Sharma et al. *SN Applied Sciences*. 2019. P. 1–16. DOI: 10.1007/s42452-019-1485-1
6. Державна служба статистики. URL: <https://ukrstat.gov.ua/>
7. Матусевич Г.Д. Екоотоксикологічне обґрунтування застосування сучасних пестицидів при вирощуванні ярих зернових культур за різних технологій в умовах Північного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2004. 30 с.
8. Use of pesticides in agriculture: impacts on soil, plant and human health / Z.U.R. Farooqi et al. 2021. 26 p. DOI: 10.1201/9781003104957-3
9. Мазур В.А., Ткачук О.П., Яковець Л.А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. Вінниця: ВНАУ, 2020. 442 с.
10. Інформаційний бюлетень. URL: <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2020/02/20/informatsijnyj-byuletень/>
11. Василенко Л.В. Ефективність застосування хімічних засобів захисту рослин у сільському господарстві. *Modern Economics*. 2018. № 11. С. 94–97. DOI: 10.31521/modecon.V11(2018)-06
12. Тохтарь К.І., Гаврилюк Ю.В. Чи можливе безпечне використання пестицидів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 76–85.
13. Швидь С.Ф., Швидь Л.М., Наталочка В.О., Ткаченко С.К. Динаміка залишкових концентрацій пестицидів у сільськогосподарській продукції в умовах Полтавської області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 28–32.
14. Дем'янюк О.С., Шацман Д.О. Агроекологічна та економічна оцінка застосування ґрунтових і страхових гербіцидів при вирощуванні кукурудзи на зерно в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 2. С. 57–64.
15. Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: A meta-analysis / D.B. Nguyen et al. *Soil biology and biochemistry*. 2016. Vol. 92. P. 50–57. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.09.014
16. Interaction of chiral herbicides with soil microorganisms, algae and vascular plants / M.A.U. Asad et al. *Science of the total environment*. 2017. Vol. 580. P. 1287–1299. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.092
17. Лоханська В.Й. Вивчення забруднення агроценозів пестицидами. *Наукові доповіді НАУ*. 2008. 2 (10). С. 1–12. URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2008-2/08lvioap.pdf>
18. Найдюнова О.Є. Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 65–75.
19. The effect of some insecticides on soil microorganisms based on enzymatic and bacteriological analyses / M.N. Filimon et al. *Romanian biotechnological letters*. 2015. Vol. 20. No 3. P. 10439–10447.
20. Influence of pesticides on the growth rate and plant-growth promoting traits of *Gluconacetobacter diazotrophicus* / M. Madhaiyan et al. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2006. Vol. 84. No 2. P. 143–154.
21. Goswami M.R., Pati U.K., Chowdhury A., Mukhopadhyay A. Studies on the effect of cypermethrin on soil microbial biomass and its activity in an alluvial soil. *Agricultural and Food Sciences*. 2013. P. 1–9.
22. Дем'янюк О.С., Шацман Д.О. Біологічна активність чорнозему типового за внесення гербіцидів у технології вирощування кукурудзи. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 93–99. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2019.183479.
23. Miglani R., Bisht S.S. World of earthworms with pesticides and insecticides. *Interdisciplinary Toxicology*. 2019. Vol. 12(2). P. 71–82. DOI: 10.2478/intox-2019-0008
24. Вплив гербіцидів на чисельність і розвиток *Lumbricus terrestris* / С.О. Мазур та ін. *Збалансоване*

природокористування. 2023. № 2. С. 123–131. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2023.282756

25. Influence of pesticides on the biological activity of light chestnut soils in South-East Kazakhstan / Z. Tukenova et al. Journal of water and land development. 2021. No 48. P. 141–147. DOI: 10.24425/jwld.2021.136157

26. Тараненко С.В. Вплив різних технологій вирощування кукурудзи на представників зооценозу ґрунту. Таврійський науковий вісник. 2015. Вип. 91. С. 79–85. URL: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/91\\_2015/18.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/91_2015/18.pdf)

27. Тараненко С.В. Вплив різних технологій вирощування кукурудзи на ґрунтові мікроорганізми. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. № 4. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd\\_2015\\_4\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2015_4_16)

28. Sanchez-Bayo F., Goka K. Impacts of pesticides on honey bees. Beekeeping and bee conservation. 2016. P. 78–97. DOI: 10.5772/62487

29. Understanding the effects of sublethal pesticide exposure on honey bees: a role for probiotics as mediators of environmental stress / J.A. Chmiel et al. Frontiers in ecology and evolution. 2020. Vol. 8. P. 1–19. DOI: 10.3389/fevo.2020.00022

30. Stuligross C., Williams N.M. Past insecticide exposure reduces bee reproduction and population growth rate. PNAS. Ecology. 2021. No 48. P. 1–6. DOI: 10.1073/pnas.2109909118.

31. ЄС обмежує пестициди, щоб урятувати бджіл. URL: [https://www.bbc.com/ukrainian/news/2013/04/130429\\_eu\\_bees\\_pesticides\\_it](https://www.bbc.com/ukrainian/news/2013/04/130429_eu_bees_pesticides_it)

32. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenyh-do-vykorystannya-v-ukrayini/>

33. International herbicide-resistant weed database. URL: <https://www.weedscience.org/Pages/crop.aspx>

34. High-depth resequencing reveals hybrid population and insecticide resistance characteristics of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invading China / L. Zhang et al. Biorxiv. 2019. P. 1–23. DOI: 10.1101/813154

35. Aaron J. Gassmann. Resistance to Bt maize by western corn rootworm: effects of pest biology, the pest–crop interaction and the agricultural landscape on resistance. Insects. 2021. 12(2). 136 p. DOI: 10.3390/insects12020136

## REFERENCES

1. United Nations Environment Programme World Health Organization Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40351>

2. Saravi, S.S.S., Dehpour, A.R. (2016). Potential role of organochlorine pesticides in the pathogenesis of neurodevelopmental, neurodegenerative, and neurobehavioral disorders: A review. Life Sciences. Vol. 145, pp. 255–264. DOI: 10.1016/j.lfs.2015.11.006

3. United States Department of Agriculture. Available at: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/>

[app/index.html#/app/downloads?tabName=%20default%20](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads?tabName=%20default%20)

4. De, A., Bose, R., Kumar, A., Mozumdar, S. (2014). Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles. New Delhi, Springer, 99 p. DOI: 10.1007/978-81-322-1689-6

5. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G.P.S., Handa, N., Kohli, S.K., Yadav, P., Bali, A.S., Parihar, R.D. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. SN Applied Sciences. pp. 1–16. DOI: 10.1007/s42452-019-1485-1

6. Derzhavna sluzhba statistiki [State statistics service]. Available at: <https://ukrstat.gov.ua/>

7. Matusevich, G.D. (2004). Ekotoksikologichne obruntuvannya zastosuvannya suchasnih pesticidiv pri viroshhuvanni jarih zernovih kul'tur za riznih tehnologij v umovah Pivnichnogo Lisostepu Ukrai'ni: avtoref. kand. s.-g. nauk: 03.00.16 [Ecotoxicological justification of the use of modern pesticides in cultivating spring cereal crops under various technologies in the conditions of the northern Forest-Steppe of Ukraine: abstract of candidate of agricultural sciences]. Kyiv, 30 p.

8. Farooqi, Z.U.R., Kareem, A., Ayub, M.A., Hussain, M.M., Zeeshan, N., Shehzad, M.T. (2021). Use of pesticides in agriculture: impacts on soil, plant and human health. 26 p. DOI: 10.1201/9781003104957-3.

9. Mazur, V.A., Tkachuk, O.P., Jakovec, L.A. (2020). Ekologichna bezpeka zernovoi' ta zernobobovoi' produkci' [Environmental safety of grain and legume products]. Vinnytsia, VNAU, 442 p.

10. Informacijnij bjuleten [Information bulletin]. Available at: <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2020/02/20/informatsijnyj-byuleten/>

11. Vasilenko, L.V. (2018). Efektivnist zastosuvannya himichnih zasobiv zahistu roslin u silskomu gospodarstvi [Efficiency of chemical plant protection agents application in agriculture]. Modern Economics. no. (11), pp. 94–97. DOI: 10.31521/modecon.V11(2018)-06

12. Tohtar, K.I., Gavriljuk, Ju.V. (2020). Chi mozhlive bezpechne vikoristannya pesticidiv [Is safe pesticide use possible?]. Agrohimiya i gruntoznavstvo [Agrochemistry and soil science]. Vol. 90, pp. 76–85.

13. Shvid, S.F., Shvid, L.M., Natalochka, V.O., Tkachenko, S.K. (2010). Dinamika zalishkovih koncentracij pesticidiv u silskogospodarskij produkci' v umovah Poltavskoi' oblasti [Dynamics of residual pesticide concentrations in agricultural products in the conditions of Poltava Region]. Visnik Poltavskoi' derzhavnoi' agrarnoi' akademii' [Bulletin of Poltava state agrarian]. no. (2), pp. 28–32.

14. Demjanjuk, O.S., Shacman, D.O. (2019). Agroekologichna ta ekonomichna ocinka zastosuvannya gruntovih i strahovih gerbicidiv pri viroshhuvanni kukurudzi na zerno v umovah Livoberezhnogo Lisostepu Ukrai'ni [Agroecological and economic assessment of soil and insurance herbicides application in grain maize cultivation in the Left-Bank Forest-Steppe conditions of Ukraine]. Zbalansovane prirodokoristuvannya [Balanced nature management]. no. (2), pp. 57–64.

15. Nguyen, D.B., Rose, M.T., Rose, T.J., Morris, S.G., Zwieten, L. (2016). Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: A meta-

analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 92, pp. 50–57. DOI:10.1016/j.soilbio.2015.09.014

16. Asad, M.A.U., Lavoie, M., Song, H., Jin, Y., Fu, Z., Qian, H. (2017). Interaction of chiral herbicides with soil microorganisms, algae and vascular plants. *Science of the total environment*. Vol. 580, pp. 1287–1299. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.12.092

17. Lohanska, V.J. (2008). Vivchennja zabrudnennja agrocenoziv pesticidami [Study of pesticide contamination in agrocenoses]. *Naukovi dopovidi NAU [Scientific reports of the National agricultural university]*. Vol. 2 (10), pp. 1–12. Available at: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2008-2/08lvioap.pdf>.

18. Najdonova, O.Je. (2020). Dinamika chisel'nosti mikroflori i biokhimichnoi aktivnosti chornozemu tipovogo za zastosuvannja kompleksu pesticidiv [Dynamics of microflora population and biochemical activity of typical chernozem under the application of pesticide complex]. *Agrohimiya i rruntoznastvo [Agrochemistry and Soil Science]*. Vol. 90, pp. 65–75.

19. Filimon, M.N., Voia, S.O., Popescu, R., Dumitrescu, G., Ciocina, L.P., Mituletu, M., Vlad, D.C. (2015). The effect of some insecticides on soil microorganisms based on enzymatic and bacteriological analyses. *Romanian Biotechnological Letters*. Vol. 20, no. (3), pp. 10439–10447.

20. Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Hari, K., Saravanan, V.S., Sa, T. (2006). Influence of pesticides on the growth rate and plant-growth promoting traits of *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. Vol. 84, no. (2), pp. 143–154.

21. Goswami, M.R., Pati, U.K., Chowdhury, A., Mukhopadhyay, A. (2013). Studies on the effect of cypermethrin on soil microbial biomass and its activity in an alluvial soil. *Agricultural and Food Sciences*. pp. 1–9.

22. Demjanjuk, O.S., Shacman, D.O. (2019). Biologichna aktivnist' chornozemu tipovogo za vnesennja gerbicidiv u tehnologij' viroshuvannja kukurudzi [Biological activity of typical chernozem under herbicide application in corn cultivation technologies]. *Agroekologichnij zhurnal [Agroecological journal]*. no. (3), pp. 93–99. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2019.183479

23. Miglani, R., Bisht, S.S. (2019). World of earthworms with pesticides and insecticides. *Interdisciplinary Toxicology*. Vol. 12(2), pp. 71–82. DOI: 10.2478/intox-2019-0008

24. Mazur, S.O., Matusievich, G.D., Gorodiska, I.M., Buhtik, S.S., Mursjukajev, F.F. (2023). Vpliv gerbicidiv na chisel'nist' i rozvitok *Lumbricus terrestris* [Influence of herbicides on the population and development of *Lumbricus terrestris*]. *Zbalansovane prirodokoristuvannja [Balanced nature management]*. no. (2), pp. 123–131. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2023.282756

25. Tukenova, Z., Mustafayev, M., Alimzhanova, M., Akylbekova, T., Ashimuly, K. (2021). Influence of pesticides on the biological activity of light chestnut soils in South-East Kazakhstan. *Journal of water and land development*. no. (48), pp. 141–147. DOI: 10.24425/jwld.2021.136157

26. Taranenko, S.V. (2015). Vpliv riznih tehnologij viroshuvannja kukurudzi na predstavnikiv zoocenozu

gruntu [The impact of different corn cultivation technologies on soil zoocenosis representatives]. *Tavriskij naukovij visnik [Tavria scientific herald]*. Vol. 91, pp. 79–85. Available at: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/91\\_2015/18.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/91_2015/18.pdf)

27. Taranenko, S.V. (2015). Vpliv riznih tehnologij viroshuvannja kukurudzi na gruntovi mikroorganizmi [Influence of different corn cultivation technologies on soil microorganisms]. *Naukovi dopovidi Nacionalno-go universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannja Ukrai'ni [Scientific reports of the National university of life and environmental sciences of Ukraine]*. no. (4). Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd\\_2015\\_4\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2015_4_16)

28. Sanchez-Bayo, F., Goka, K. (2016). Impacts of pesticides on honey bees. *Beekeeping and bee conservation*. pp. 78–97. DOI: 10.5772/62487

29. Chmiel, J.A., Daisley, B.A., Pitek, A.P., Thompson, G.J., Reid, G. (2020). Understanding the effects of sublethal pesticide exposure on honey bees: a role for probiotics as mediators of environmental stress. *Frontiers in ecology and evolution*. Vol. 8, pp. 1–19. DOI: 10.3389/fevo.2020.00022

30. Stuligross, C., Williams, N.M. (2021). Past insecticide exposure reduces bee reproduction and population growth rate. *PNAS*. *Ecology*. no. (48), pp. 1–6. DOI: 10.1073/pnas.2109909118.

31. The EU restricts pesticides to save bees. Available at: [https://www.bbc.com/ukrainian/news/2013/04/130429\\_eu\\_bees\\_pesticides\\_it](https://www.bbc.com/ukrainian/news/2013/04/130429_eu_bees_pesticides_it)

32. The state register of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine. Available at: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenyh-do-vykorystannya-v-ukrayini/>

33. International herbicide-resistant weed database. Available at: <https://www.weedscience.org/Pages/crop.aspx>

34. Zhang, L., Liu, B., Zheng, W., Liu, C., Zhang, D., Zhao, S., Xu, P., Withers, A., Jones, C.M., Smith, J.A., Chipabika, G. (2019). High-depth resequencing reveals hybrid population and insecticide resistance characteristics of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invading China. *Biorxiv*, pp. 1–23. DOI: 10.1101/813154

35. Aaron, J.G. (2021). Resistance to Bt maize by western corn rootworm: effects of pest biology, the pest–crop interaction and the agricultural landscape on resistance. *Insects*. no. 12(2), 136 p. DOI: 10.3390/insects12020136

### Ecological problems of modern corn protection systems against harmful organisms in Ukraine: review

**Glukhovets D., Matusievich G.**

Maize remains one of the few grain crops that in terms of marginality and cultivation volumes in agribusiness is not inferior to traditional field crops. This agricultural crop currently also provides a fairly significant share of foreign exchange earnings from the export of agricultural products and remains highly profitable in the farms in compliance with cultivation technologies.

Modern grain cultivation technologies involve the extensive use of chemical plant protection agents



against pests, diseases, and weeds. The application of pesticides in grain crops is a crucial factor guaranteeing improved quality of crop products and high yields of agricultural crops. In this regard there are high demands on pesticides themselves. They must ensure biological effectiveness with minimal consumption rates, be as environmentally friendly as possible, including showing no harmful effects on soil, plants, and other beneficial organisms, and have low persistence in the natural environment.

Therefore, scientific research related to the chemical plant protection ecologization against harmful organisms and reducing the impact of pesticides on the natural environment are quite relevant.

Based on researched foreign literature information on the use of pesticides in the world has been summarized. Data on the use of plant protection products in Ukraine are presented.

The article outlines the main adverse consequences of widespread pesticide use in maize chemical protection, namely phytotoxic effects on plants, negative impact on beneficial entomofauna, soil microbiome, resistance manifestation, and accumulation of pesticide residues in plants and soil.

**Key words:** corn, pesticides, chemical pollution, biological diversity, soil microbiological activity, resistance.



Copyright: Глуховець Д.В., Матусевич Г.Д. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Глуховець Д.В.

Матусевич Г.Д.

<https://orcid.org/0009-0009-1973-485X>

<https://orcid.org/0009-0008-6513-5287>