

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ПЕСТИЦИДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

А.М. Ліщук, І.М. Городиська, Н.В. Карачинська

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8339-9365

e-mail: anni0479@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1580-3450

e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6571-8430

У статті зосереджено увагу на актуальності дослідження екологічних ризиків пестицидного забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення, які є кормовою та сировинною базою для бджільництва. Зазначено про важливість постійного контролю за вмістом небезпечних токсикантів, зокрема хлорорганічних пестицидів, у меду бджололиному та інших продуктах бджільництва. Представлено результати досліджень вмісту залишкових кількостей стійких хлорорганічних пестицидів ГХЦГ і ДДТ у зразках меду соняшникового, відібраних із бджільницьких пасік трьох адміністративних районів Черкаської обл. Встановлено істотне забруднення меду соняшникового з пасіки бджільницького господарства с. Новоселиця залишковими кількостями пестицидів, за якого концентрація суми метаболітів та ізомерів ДДТ перевищувала гранично допустимі нормативи від 1,3 до 2,3 рази. Слід відзначити, що виявлені концентрації вищезазначеного пестициду в ґрунті (від 6,41 до 23,53 мкг/кг за ГДК ДДТ = 100 мкг/кг) не можуть бути джерелом значного забруднення меду бджололиного. Зроблено припущення, що причиною надходження ксенобіотика у продукти бджільництва шляхом біологічного колообігу (ґрунт — рослина-медонос — мед) є наявність у межах ареалу медозбору недиючого складу отрутохімікатів, що є потужним джерелом надходження токсикантів, у т.ч. і пестицидів, у об'єкти доквілля. Встановлено безпосередню кореляційну залежність вмісту пестицидів у меду від їх концентрації у ґрунті (у межах від $r = 0,61$ для с. Стебне до $r = 0,98$ для с. Новоселиця і с. Червоне). Доведено важливість оцінювання екологічних ризиків забруднення навколишнього природного середовища залишками пестицидів, оскільки навіть незначна концентрація токсичної речовини у ґрунті, воді, повітрі, нектарі або пилку медоносних рослин часто призводить до масового ураження та загибелі бджіл. Відмічено, що мед можна використовувати як відповідний біоіндикатор для оцінювання екологічних ризиків забруднення навколишнього природного середовища токсичними речовинами, включаючи хлорорганічні пестициди.

Ключові слова: хлорорганічні пестициди, мед, ґрунт, забруднення, екотоксикологічна оцінка, екологічні ризики.

ВСТУП

В умовах сучасного ведення сільськогосподарського виробництва методи хімічного захисту рослин є переважаючими. В період збору нектару і пилку бджоли стають доволі вразливими щодо надходження пестицидів до агроценозів та природних біоценозів, які використовуються як сировинна база та кормові угіддя для бджільництва [1]. Особливо важливо оцінити екологічні ризики забруднення навколишнього природного середовища залишками пестицидів, оскільки навіть незначна

концентрація токсичної речовини у ґрунті, воді, повітрі, нектарі або пилку медоносних рослин часто призводить до масового ураження та загибелі бджіл [2–4].

Останнім часом значна увага приділяється проблемам удосконалення нормативної бази щодо якості меду. Особливе занепокоєння викликають пестициди, застосування яких веде до накопичення залишкових кількостей токсикантів у доквіллі. Властивості пестицидів різних хімічних груп різняться, оскільки вони мають неоднакову стійкість, що зумовлює широкий діапазон їх залишкових кількостей [5].

Серед найнебезпечніших засобів захисту рослин слід виділити стійкі хлороорганічні пестициди (ХОП), які заборонені для використання, однак їхні залишки впродовж десятиліть ідентифікуються в об'єктах навколишнього природного середовища, тканинах живих організмів та харчових продуктах [6; 7]. Це пояснюється тривалим терміном напіврозпаду таких пестицидів та здатністю до кумуляції у компонентах довкілля.

Найважливішою властивістю ХОП є їхня здатність до значного накопичення у продуктах тваринного та рослинного походження. Ця група пестицидів має нейротоксичну, гепатотоксичну, канцерогенну дію на організм людини та ембріотоксичні властивості. Більшість із цих сполук заборонені. Нині існує перелік стійких органічних забруднювачів (СОЗ), затверджений у 2001 р. Стокгольмською конвенцією про стійкі органічні забруднювачі, до якого увійшли такі пестициди: альдрин, гексахлорбензол, гептахлор, дільдрин, ДДТ, ендрін, мірекс, токсафен, хлордан, хлордекон, ендосульфат та ліндан (включаючи супутні альфа- і бета-ізомери ГХЦГ). Пестициди цього переліку заборонені для використання у сільському господарстві. Максимально допустимі рівні залишкових кількостей цих речовин у харчових продуктах зарегламентовані у державних і світових стандартах. Так, наприклад, відповідно до вимог Євросоюзу у всьому світі посилюються імперативні норми державних нормативних документів щодо показників якості продуктів бджільництва, їх екологічної чистоти і безпеки. В ЄС базові законодавчі вимоги щодо якості та безпечності бджолиного меду визначені Директивою 2014/63/ЄС Європейського парламенту та Ради [8]. Директива 2014/63/ЄС встановлює основні положення щодо вимог, яким повинна відповідати якість меду, що надходить на внутрішній ринок ЄС. Вимогами затверджені загальні правила щодо маркування та складу меду, які гарантують якість харчового продукту для споживача.

В Україні показники якості меду регламентовані ДСТУ 4497:2005 «Мед нату-

ральний. Технічні умови» [9], у яких зазначені фізико-хімічні, біохімічні, мінімальні показники діастазної активності, вмісту масової частки води, загальної та активної кислотності та ін., та ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» [10], які обмежують гранично допустимі концентрації стійких ХОП (ГХЦГ та ДДТ) у меду — на рівні 5 мкг/кг, у ґрунті — 100 мкг/кг. Однак вказані нормативні документи не передбачають показників безпеки меду, а саме допустимих рівнів залишків інших класів пестицидів, нітратів та нітритів, забрудненості радіонуклідами тощо. Поготів відмічена відсутність нормування забруднювачів у інших продуктах бджільництва — прополісі, воску, пилку (бджолине обніжжя), перзі (бджолиний хліб) та ін. Варто наголосити, що в Україні донині залишається не вирішеною проблема нормативного контролювання якості меду та продуктів бджільництва через відсутність законодавчо затвердженого нормування небезпечних токсикантів. Тому доволі актуальним і важливим є постійний контроль за вмістом у продуктах бджільництва токсичних речовин, зокрема стійких хлороорганічних пестицидів.

Мета роботи — оцінити екологічні ризики забруднення залишками стійких органічних пестицидів продуктів бджільництва (меду) та агроландшафтів, які використовуються як сировинна база та кормові угіддя для бджільництва.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Цінність меду бджолиного, як харчового і лікувально-профілактичного продукту, та ефективність його дієтичної і лікувальної дії залежить від якості цього продукту. Наразі виробництво якісної продукції бджільництва залежить від екологічного стану довкілля, яке пов'язане з екологічними ризиками забруднення токсичними речовинами та потребує регулярного контролю

відповідно до вимог, встановлених чинними нормативно-правовим законодавством [11].

З екотоксикологічної точки зору більшість сучасних пестицидів характеризуються високим ступенем деградації препаратів, що швидко знижує вірогідність інтоксикації бджіл. Однак хлорорганічні пестициди другого покоління – ГХЦГ (гексахлорциклогексан) та ДДТ (дихлордифеніл-трихлорметилметан), які вже давно зняті з виробництва і понад 50 років не застосовуються у сільськогосподарській практиці, викликають серйозні занепокоєння. Залишки таких пестицидів до цього часу знаходяться у ґрунті в кількостях, які в кілька разів перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК), що неодноразово було доведено нашими науковими дослідженнями [5; 12; 13]. Тривалий термін зберігання хлорорганічних пестицидів у ґрунтах призводить не лише до пригнічення життєдіяльності мікрофлори, але й до накопичення забруднювачів у сільськогосподарській продукції, зокрема й продуктах бджільництва [14].

Особливістю хлорорганічних пестицидів є надзвичайна стійкість у об'єктах довкілля. Вони практично не розкладаються під дією температури, інсоляції, вологи та інших чинників зовнішнього середовища. Специфічною особливістю є їхня здатність до кумуляції, тобто нагромадження в кожній наступній ланці трофічного ланцюга. Ця група пестицидів має виражену кумулятивну здатність у жирових тканинах живих організмів. Водночас відомо, що ДДТ розкладається з утворенням метаболітів ДДЕ і ДДД, які є також токсичними та більш стійкішими речовинами в об'єктах довкілля і класифікуються як «можливі» канцерогени для людини [11; 12].

Науковцями світу доведено негативний вплив хімічних пестицидів на популяції медоносних бджіл, навіть у концентраціях, нижчих за порогову смертельну дозу [15; 16]. Дослідженнями, викладеними у працях [17; 18], показано, що сублетальні дози пестицидів, включаючи піретроїди, неонікотиноїди, феніліпіразол та фосфор-

органічні інсектициди, змінюють рухову активність медоносних бджіл, впливають на їхню пам'ять, що спричиняє спонтанну поведінку під час пошуку їжі.

Стійкі органічні забруднювачі характеризуються своєю хімічною та екологічною стійкістю, вони дуже повільно розкладаються у довкіллі, а їх ліпофільні властивості призводять до біоаккумуляції. Так, наприклад, у бджолиному воску, зібраному з вуликів медоносних бджіл, Ravoet et al. (2015) визначили наявність СОЗ. Це явище вони пояснюють наявністю ліпідів у бджолиному воску та ліпофільними властивостями СОЗ, а отже, здатністю медоносних бджіл біоконцентрувати хлоровані сполуки (ГХЦГ, ПХБ (поліхлоровані біфенільні ізомери) тощо) та насичувати продукти бджільництва цими забруднювачами [19; 20].

Дослідники Sanchez-Bayo та Goka (2014) [21], оцінюючи ризики впливу пестицидів, що були використані у технологіях хімічного захисту сільськогосподарських культур, визначили, що токсиканти мають безпосередній негативний вплив на бджіл. Головну увагу було зосереджено на прямому гострому отруєнні бджіл під час розпилювання агрохімікатів. Найвищий ризик виявлено при контакті бджіл із зараженим пишком залишками піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів. У зв'язку з цим актуальності набувають дослідження екологічних ризиків за пестицидного забруднення ґрунтів, які є сировинною базою та кормовими угіддями для бджільництва.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено в Інституті агроєкології і природокористування НААН згідно з науково-технічною програмою «Розробити наукові основи управління екологічними ризиками в аграрному виробництві за вирощування сільськогосподарських культур». Досліджено вміст залишків хлорорганічних пестицидів ГХЦГ (α -, β -, γ -ізомери) і ДДТ (ізомери та стійкі метаболіти ДДЕ і ДДД) у зразках меду со-

няшникового. Для дослідження використано зразки меду з бджільницьких пасік трьох адміністративних районів Черкаської обл. з різним ступенем антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище: с. Новоселиця Катеринопільського р-ну, с. Стебне Звенигородського р-ну та с. Червоне Тальнівського р-ну. Відбір зразків меду здійснювали після його відкачування по закінченню цвітіння сільськогосподарської культури-медоносу (соняшника) відповідно до «Порядку відбору зразків продукції тваринного, рослинного і біотехнологічного походження для проведення досліджень» (затв. Постановою КМУ № 833 від 14.06.2002 р.). Вивчали кореляційну залежність вмісту ХОП у меду від їх концентрації у ґрунті (шар 0–20 см), відбраному з відповідних полів під посівами соняшника. Відбір ґрунту проводили методом конверта в радіусі двох кілометрів від пасік з кожної площі, зайнятої медоносними рослинами. Для оцінки екологічних ризиків пестицидного забруднення ґрунту та продуктів бджільництва (зокрема, меду) за вмістом залишкових кількостей ХОП було проаналізовано результати трирічних досліджень.

Вміст хлорорганічних пестицидів визначали методом газорідинного хроматографа за М.А. Клісенко (1983) за офіційно затвердженими методиками [22] на газорідинному хроматографі «Кристалл 2000». Статистичну обробку отриманих результатів проводили за використання стандартних статистичних програм Microsoft Office Excel та S-plus.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Робота спрямована на оцінювання екологічних ризиків забруднення меду бджололиного залишками хлорорганічних пестицидів та встановлення кореляційної залежності вмісту токсикантів у меду від концентрації цих забруднювачів у ґрунті.

За результатами досліджень виявлено, що всі зразки ґрунту та меду соняшникового різних адміністративних районів Черкаської обл. містили залишки хлорорганіч-

них пестицидів ГХЦГ і ДДТ. Результати досліджень вмісту суми ізомерів ГХЦГ у зразках меду та ґрунту з пасік Черкаської обл. (села Новоселиця, Червоне, Стебне) представлено в *табл. 1*.

Таблиця 1. Вміст залишкових кількостей ХОП у зразках меду соняшникового і ґрунту

Місце відбору зразка	Сума ізомерів ГХЦГ (α-, β-, γ-ізомери), мкг/кг	
	мед	ґрунт
с. Новоселиця	0,29 ± 0,03	1,85 ± 0,74
с. Червоне	0,13 ± 0,06	1,28 ± 0,87
с. Стебне	3,18 ± 0,07	0,48 ± 0,05
ГДК	5	100

Як видно з *табл. 1*, вміст суми ізомерів ГХЦГ у зразках ґрунту, на якому зростала медоносна агрокультура — соняшник, невисокий і становив від 0,48 до 1,85 мкг/кг (ГДК ДДТ = 100 мкг/кг). Через високу леткість та відносно добру розчинність у воді ГХЦГ характеризується значною рухомістю у ґрунті та помірною стійкістю у довкіллі. Завдяки високій здатності до рухомості ГХЦГ може транслокуватися і накопичуватися у сільськогосподарській рослинницькій продукції [6]. Тому визначені концентрації пестициду в ґрунті не можуть бути причиною значного забруднення меду бджололиного, однак такі показники підтверджують наявність стійких органічних забруднювачів у досліджуваних ґрунтах.

За результатами хроматографічного аналізу, рівень вмісту гексахлорциклогексану у зразках меду соняшникового з пасік Черкаської обл. сягав від 0,13 до 3,18 мкг/кг, що не перевищувало встановлених гігієнічних нормативів. Результати досліджень вмісту суми ізомерів ДДТ у зразках меду і ґрунту з пасік Черкаської обл. наведено в *табл. 2*.

Аналіз вмісту залишкових кількостей суми метаболітів та ізомерів ДДТ показав істотне забруднення меду соняшникового цими пестицидами. Так, мед із бджільницького господарства с. Новоселиця, неподалік якого розташовано недіючий склад

Таблиця 2. Вміст залишкових кількостей ДДТ у зразках меду соняшникового і ґрунту

Місце відбору зразка	Сума ізомерів та метаболітів ДДТ (ДДЕ, ДДТ, ДДД), мкг/кг	
	мед	ґрунт
с. Новоселиця	11,63 ± 0,28	23,53 ± 2,84
с. Червоне	6,53 ± 0,57	11,02 ± 0,23
с. Стебне	4,96 ± 1,04	6,41 ± 0,43
ГДК	5	100

отрутохімікатів, містив ДДТ у кількості 11,63 мкг/кг. Слід зазначити, що сумарне значення метаболітів та ізомерів ДДТ у меду з цієї території перевищувало ГДК у 2,3 раза. Вміст пестициду у меду з пасік с. Червоне сягав 6,53 мкг/кг. У цих зразках меду концентрація залишків пестицидів перевищувала ГДК у 1,3 раза. Концентрація суми метаболітів та ізомерів ДДТ в меду з пасік с. Стебне досягала кількості 4,96 мкг/кг, яка не перевищувала, проте межувала з показниками ГДК.

Отже, можна припустити, що на підвищений вміст ксенобіотиків у меду соняшниковому певним чином впливає антропогенне навантаження в межах ареалу медозбору. В цьому випадку таким джерелом можуть слугувати непридатні пестициди, які до цього часу у значних кількостях зберігаються на недіючих складах отрутохімікатів, які не можна використовувати у сільському господарстві внаслідок втрати своїх властивостей, термінів придатності, чи заборонених до використання, або невизначених препаратів через деструкцію пакувальних пакетів. Унаслідок незадовільних умов зберігання залишки непридатних до застосування токсичних сполук із недіючих складів отрутохімікатів надходять у ґрунтову систему і мігрують у об'єкти довілля та продукцію сільськогосподарського виробництва [5; 12].

Відомо, що надходження ДДТ та його метаболітів із ґрунту у рослини агроценозів, а також процеси їх накопичення та трансформації рослинами залежать від вихідного рівня забруднення ґрунту, на-

явності у ньому токсичних речовин та видових особливостей рослин. Адже деякі рослини здатні накопичувати ДДТ та його метаболіти у значних кількостях не лише у тканинах коренів, але й у стеблі, листках та суцвіттях. Це свідчить про можливість застосування цих видів як фітостабілізаторів СОЗ у ґрунті для запобігання міграції токсикантів у суміжні середовища. На концентрацію ксенобіотиків у меду безпосередньо можуть впливати фізіологічні особливості культури-медоноса соняшника, який, завдяки своїй потужній розгалуженій кореневій системі здатний до вилучення з ґрунту, біокумуляції і транслокації пестицидів. Чим глибше проникає корінь рослини в ґрунт, тим більша ймовірність вилучення токсикантів. Пестицид, поглинутий кореневою системою, у подальшому може розподілятися між органами рослини, до того ж, його концентрація у корені, стеблі, листках, генеративних органах може значно варіювати [23].

У зв'язку з цим можливо припустити, що соняшник бажано застосовувати як рослину-ремедіатор для оперативного очищення забруднених пестицидами агроценозів із метою сільськогосподарського використання відновлених ґрунтів, зокрема, для ведення органічного землеробства. Адже фітореMediaція і фітоMelіорація ґрунтів є екологічними інструментами управління екологічними ризиками в умовах органічного землеробства [24]. Однак використання культурних рослин у технологіях фітореMediaції в умовах тривалого пестицидного забруднення обмежується фітотоксичністю ґрунтів, які в значних кількостях містять залишки гербіцидів, та ліпофільними властивостями самих пестицидів. Тому існує великий ризик значного накопичення цих токсикантів переважно у продуктивному й товарному органі цієї культури – олійному насінні соняшника. Одним із основних показників здатності рослин до фітоекстракції забруднювачів є коефіцієнт транслокації, який визначається за співвідношенням умісту пестицидів у надземних органах рослин до їх вмісту у кореневій системі. Вважається, що при

значеннях цього коефіцієнта ≥ 1 , рослини володіють високою здатністю перемішувати полютанти із кореневої у надземну частину та є перспективними для використання у технологіях фітоекстракції. Разом із тим, питання біоаккумуляції та транслокації пестицидів у органах рослин сояшника наразі досконало не вивчено і є доволі перспективним напрямом у галузі розроблення фітореMediaційних технологій за допомогою олійних культур.

За отриманими результатами проведено корелятивний аналіз для дослідження залежності вмісту ХОП у меду сояшниковому від його наявності в ґрунтах, на яких зростала медоносна культура сояшник. Для різних районів Черкаської обл. виявлено різні показники кореляційної залежності. Вони варіювали у межах від $r = 0,61$ (для с. Стебне) до $r = 0,98$ (для с. Новоселиця і с. Червоне), але загалом позитивні для всього дослідженого регіону, що свідчить про безпосередню залежність щодо накопичення залишків пестицидів у меду від їхнього вмісту у ґрунті.

Отже, мед можна використовувати як відповідний біоіндикатор для оцінювання екологічних ризиків забруднення навколишнього природного середовища токсичними речовинами, включаючи хлорорганічні пестициди.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що на підвищений вміст ксенобіотиків у меду сояшниковому

впливають як антропогенне навантаження на ареал медозбору, (наприклад, близьке розташування недіючих складів отрутохімікатів неподалік с. Новоселиця, що нині слугують першочерговим джерелом надходження пестицидів у об'єкти довкілля), так і фізіологічні особливості культури-медоноса сояшника, який, завдяки своїй потужній кореневій системі, здатний до біокумуляції і транслокації пестицидів. Отриманими результатами підтверджено необхідність проведення екотоксикологічного контролю за вмістом залишкових кількостей стійких хлорорганічних пестицидів у меду бджололиному. Показано, що хлорорганічні пестициди (ГХЦГ і ДДТ) здатні до накопичення у меду бджололиному у значних кількостях, незважаючи на те, що їх багато років не застосовують на сільськогосподарських угіддях для хімічного захисту рослин. Концентрація токсикантів у меду безпосередньо залежить від рівня забрудненості ними ґрунтів, що доведено результатами корелятивного аналізу. Підкреслено важливість проведення дослідження з оцінювання екологічних ризиків забруднення залишками стійких органічних пестицидів агроландшафтів, які використовуються як сировинна база та кормові угіддя для бджільництва. Мед можна використовувати як відповідний біоіндикатор для оцінювання екологічних ризиків забруднення навколишнього природного середовища токсичними речовинами, включаючи хлорорганічні пестициди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Drummond J., Williamson S.M., Fitchett A.E. et al. Spontaneous honeybee behaviour is altered by persistent organic pollutants. *Ecotoxicology*. 2017. № 26. P. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1749-0>
2. Разанов С.Ф. Особливості накопичення важких металів у стільниках бджололиного гнізда. In: *Topical issues of the development of modern science: the 6th International scientific and practical conference (February 12–14, 2020)*. Publishing House «ACCENT», Sofia, Bulgaria. 2020. P. 792–1018.
3. Скрипка Г.А., Касянчук В.В. Порівняльний аналіз вмісту хлорорганічних та фосфорорганічних пестицидів у меді та продуктах бджільництва. *Біологія тварин*. 2015. Т. 17. № 1. С. 99–108.
4. Hooven L.A., Chakrabarti P., Harper B.J. et al. Potential risk to pollinators from nanotechnology-based pesticides. *Molecules*. 2019. № 24 (24). 4458. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24244458>
5. Туренко В.П., Білик М.О., Станкевич С.В. та ін. Сучасні пестициди і технічні засоби їх застосування: навч. посіб. Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2022. 564 с.
6. Lishchuk A., Parfenyk A., Horodyska I. et al. Environmental Risks of the Pesticide Use in Agroecosystems and their Management. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. № 24 (3). P. 199–212. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158537>
7. Камінська К.В., Ткачук С.А. Залишкова кількість пестицидів в меді і продуктах бджільництва. In: *Problems and prospects of implementation of innovative research results: collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ»*

- with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (December 13, 2019). Valletta, Republic of Malta: European Scientific Platform NGO. 2019. Vol. 3. С. 8–10.
8. Directive 2014/63/EU of the European Parliament and of the council amending Council Directive 2001/110/EC relating to honey of 15 May 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32014L0063>.
 9. ДСТУ 4497:2005. Мед натуральний. Технічні умови. [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіс. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 22 с.
 10. ДСанПІН 8.8.1.2.3.4-000–2001. Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті. [Чинний від 2001–20–09]. Вид. офіс. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2001.
 11. Моклячук Л.І., Ліщук А.М., Матусевич Г.Д. Аналіз міжнародної практики та методичних підходів щодо вивчення екологічних ризиків пестицидів. *Збалансоване природокористування*. 2012. № 1. С. 46–50.
 12. Моклячук Л.І., Ліщук А.М., Яцук І.П., Городиська І.М. Забруднення агрокосистем непридатними пестицидами як регіональний індикатор стану земельних ресурсів. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 2. С. 140–144.
 13. Яцук І.П., Ліщук А.М., Матусевич Г.Д. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів Чернігівської області за вмістом пестицидів і важких металів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 2. С. 117–120.
 14. Ponce-vejar G., Ramos de Robles S.L., Macias-Macias J.O. et al. Detection and concentration of neonicotinoids and other pesticides in honey from honey bee colonies located in regions that differ in agricultural practices: implications for human and bee health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. № 19 (13). 8199. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19138199>.
 15. Dively G.P., Embrey M.S., Kamel A. et al. Assessment of chronic sublethal effects of imidacloprid on honey bee colony health. *PLoS ONE*. 2015. № 10 (3). e0118748. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126043>
 16. Charreton M., Decourtye A., Henry M. et al. A locomotor deficit induced by sublethal doses of pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the honeybee *Apis mellifera*. *PLoS ONE*. 2015. № 10 (12). e0144879. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144879>.
 17. Attaullah M., Nawaz M.A., Ilahi I. et al. Honey as a bioindicator of environmental organochlorine insecticides contamination. *Brazilian Journal of Biology*. 2021. P. 83. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250373>.
 18. Williamson S.M., Willis S.J. and Wright G.A. Exposure to neonicotinoids influences the motor function of adult worker honeybees. *Ecotoxicology*. 2014. № 23. P. 1409–1418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1283-x>.
 19. Ravoet J., Reybroeck W. and de Graaf D.C. Pesticides for apicultural and/or agricultural application found in Belgian honey bee wax combs. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 2015. № 94. P. 543–548. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1511-y>.
 20. Malhat F.M., Haggag M.N., Loutfy N.M. et al. Residues of organochlorine and synthetic pyrethroid pesticides in honey, an indicator of ambient environment, a pilot study. *Chemosphere*. 2015. № 120. P. 457–461. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.032>.
 21. Sanchez-Bayo F. and Goka K. Pesticide residues and bees — a risk assessment. *PLoS ONE*. 2014. № 9 (4). e94482. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482>.
 22. Методи определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде: Справочное издание / под ред. М.А. Клисенко. Москва: Колос, 1983. 304 с.
 23. Ліщук А.М., Городиська І.М., Драга М.В. Концептуальні підходи до реабілітації забруднених пестицидами ґрунтів України. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 3. С. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2021.247134>.
 24. Моклячук Л.І., Городиська І.М., Ліщук А.І. Природоохоронні технології відновлення деградованих ґрунтів у органічному землеробстві. *Агро-екологічний журнал*. 2017. № 2. С. 134–141. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220169>.

REFERENCES

1. Drummond, J., Williamson, S.M., Fitchett, A.E. et al. (2017). Spontaneous honeybee behaviour is altered by persistent organic pollutants. *Ecotoxicology*, 26, 141–150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1749-0> [in English].
2. Razanov, S.F. (2020). Osoblyvosti nakopychennia vazhkykh metaliv u stilnykakh bdzholynoho hnidza [Features of the accumulation of heavy metals in the honeycombs of the bee nest]. *Topical issues of the development of modern science: the 6th International scientific and practical conference*. (pp. 792–1018). Publishing House "ACCENT", Sofia, Bulgaria [in Ukrainian].
3. Skrypka, H.A. & Kasianchuk, V.V. (2015). Porivnialnyi analiz vmistu khlororhanichnykh ta fosfororhanichnykh pestytsydiv u medi ta produktakh bdzhilnytstva [Comparative analysis of the content of organochlorine and organophosphorus pesticides in honey and beekeeping products]. *Biolohiia tvaryn — Biology of animals*, 17, 1, 99–108 [in Ukrainian].
4. Hooven, L.A., Chakrabarti, P., Harper, B.J. et al. (2019). Potential risk to pollinators from nanotechnology-based pesticides. *Molecules*, 24 (24), 4458. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24244458> [in English].
5. Turenko, V.P., Bilyk, M.O., Stankevych, S.V. et al. (2022). *Suchasni pestytsydy i tekhnichni zasoby yikh zastosuvannia: navchalnyi posibnyk [Modern pesticides and technical means of their use: textbook]*. Kharkiv: «Vydavnytstvo Ivanchenko I.S.» [in Ukrainian].

6. Lishchuk, A., Parfenyuk, A., Horodyska, I. et al. (2023). Environmental Risks of the Pesticide Use in Agroecosystems and their Management. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (3), 199–212. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158537> [in English].
7. Kaminska, K.V. & Tkachuk, S.A. (2019). Zalyshkova kilkist pestytsydiv v medi i produktakh bdzhilnytstva [Residual amount of pesticides in honey and beekeeping products]. *Problems and prospects of implementation of innovative research results: collection of scientific papers «АГОНОС» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 8–10). Valletta, Republic of Malta [in Ukrainian].
8. Directive 2014/63/EU of the European Parliament and of the council amending Council Directive 2001/110/EC relating to honey of 15 May 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32014L0063> [in English].
9. Med naturalnyi. Tekhnichni umovy [Natural honey. Technical conditions]. (2007). *DSTU 4497:2005 from 1st January 2007*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
10. Dopustymi dozy, konsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosfernomu povitri, vodi vodoimyshech, grunti [Permissible doses, concentrations, quantities and levels of pesticide content in agricultural raw materials, food products, air of the working area, atmospheric air, water of reservoirs, soil]. (2001). *DSanPIN 8.8.1.2.3.4-000-2001 from 20th September 2001*. Kyiv: Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy [in Ukrainian].
11. Moklyachuk, L.I., Lishchuk, A.M. & Matusyevych, G.D. (2012). Analiz mizhnarodnoi praktyky ta metodychnykh pidkhodiv shchodo vyvchennia ekolohichnykh ryzykiv pestytsydiv [Analysis of international practice and methodical approaches to the study of ecological risks of pesticides]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management*, 1, 46–50 [in Ukrainian].
12. Moklyachuk, L.I., Lishchuk, A.M., Yatsuk, I.P. & Horodyska, I.M. (2017). Zabrudnennia ahroekosystem neprydatnyimi pestytsydamy yak rehionalnyi indyikator stanu zemelnykh resursiv [Contamination of agroecosystems with unsuitable pesticides as a regional indicator of the state of land resources]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management*, 2, 140–144 [in Ukrainian].
13. Yatsuk, I.P., Lishchuk, A.M. & Matusyevych, G.D. (2014). Ekotoksykologichna otsinka gruntiv Chernihivskoi oblasti za vmistom pestytsydiv i vazhkykh metaliv [Ecotoxicological assessment of soils of Chernihiv region for the content of pesticides and heavy metals]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva — Bulletin of the Uman National University of Horticulture*, 2, 117–120 [in Ukrainian].
14. Ponce-Vejar, G., Ramos de Robles, S.L., Macias-Macias, J.O. et al. (2022). Detection and concentration of neonicotinoids and other pesticides in honey from honey bee colonies located in regions that differ in agricultural practices: implications for human and bee health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (13), 8199. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19138199> [in English].
15. Dively, G.P., Embrey, M.S., Kamel, A. et al. (2015). Assessment of chronic sublethal effects of imidacloprid on honey bee colony health. *PLoS ONE*, 10 (3), e0118748. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126043> [in English].
16. Charreton, M., Decourtye, A., Henry, M. et al. (2015). A locomotor deficit induced by sublethal doses of pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the honeybee *Apis mellifera*. *PLoS ONE*, 10 (12), e0144879. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144879> [in English].
17. Attaullah, M., Nawaz, M.A., Ilahi, I. et al. (2021). Honey as a bioindicator of environmental organochlorine insecticides contamination. *Brazilian Journal of Biology*, 83. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250373> [in English].
18. Williamson, S.M., Willis, S.J. & Wright, G.A. (2014). Exposure to neonicotinoids influences the motor function of adult worker honeybees. *Ecotoxicology*, 23, 1409–1418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1283-x> [in English].
19. Ravoet, J., Reybroeck, W. & de Graaf, D.C. (2015). Pesticides for apicultural and/or agricultural application found in Belgian honey bee wax combs. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 94, 543–548. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1511-y> [in English].
20. Malhat, F.M., Haggag, M.N., Loutfy, N.M. et al. (2015). Residues of organochlorine and synthetic pyrethroid pesticides in honey, an indicator of ambient environment, a pilot study. *Chemosphere*, 120, 457–461. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.032> [in English].
21. Sanchez-Bayo, F. & Goka, K. (2014). Pesticide residues and bees — a risk assessment. *PLoS ONE*, 9 (4), e94482. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482> [in English].
22. Klisenko, M.A. (Ed.). (1983). *Metodyi opredeleniya mikrokolichestv pestitsidov v produktakh pitaniya, kormah i vneshney srede: Spravochnoe izdanie. [Methods of determining microquantities of pesticides in food products, fodder and the environment: Reference edition]*. Moskva: Kolos [in Russian].
23. Lishchuk, A.M., Horodyska, I.M. & Draga, M.V. (2021). Kontseptualni pidkhody do reabilitatsii zabrudnennykh pestytsydamy gruntiv Ukrainy [Conceptual approaches to the rehabilitation of pesticide-contaminated soils of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management*, 3, 88–96. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2021.247134> [in Ukrainian].
24. Moklyachuk, L.I., Horodyska, I.M. & Lishchuk, A.M. (2017). Pryrodookhoronni tekhnologii vidnovlennia dehradovanykh gruntiv u orhanichnomu zemlerobstvi [Environmental protection technologies for restoration of degraded soils in organic farming]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 134–141. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220169> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 01.04.2023