Захист і карантин рослин. 2021. Вип. 67.

УДК: 543.544 + 632.911

DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.42-72>

¹О.І. БОРЗИХ, доктор сільськогосподарських наук

¹Л.І. БУБЛИК, доктор сільськогосподарських наук

¹Л.Л. ГАВРИЛЮК, кандидат сільськогосподарських наук

¹О.В. ШЕВЧУК, кандидат сільськогосподарських наук

²М.В. ГУНЧАК, кандидат сільськогосподарських наук

¹Інститут захисту рослин НААН, вул. Васильківська, 33, м. Київ, 03022, Україна, e-mail: phytopri@ukr.net

²Українська науково-дослідна станція карантину рослин Інституту захисту рослин НААН, вул. Наукова, 1, с. Бояни Чернівецької обл., 60321, Україна, e-mail: gunchak00@ukr.net

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ БЕЗПЕЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ХІМІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ЯБЛУНІ ВІД ШКІДЛИВИХ ОРГАНІЗМІВ ДО ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОЇ ПРОВІНЦІЇ КАРПАТСЬКОЇ ГІРСЬКОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Мета. Екотоксикологічне та економічне обґрунтування хімічних систем захисту яблуні від шкідливих організмів, оптимізація та адаптація до погодно-кліматичних умов і фітосанітарного стану яблуневого агроценозу в Передкарпатській провінції Карпатської гірської зони України. **Методи.** Фітосанітарний моніторинг проводили візуально та за допомогою феромонних пасток. Класифікацію пестицидів за полярністю, визначення залишків, вивчення процесів детоксикації пестицидів у яблуневому агроценозі проводили з використанням фізико-хімічних методів аналізу за офіційно затвердженими методиками. Ступінь небезпечності застосування пестицидів оцінювали за інтегральною 7-ступенневою шкалою, ризик — за агроекотоксикологічним індексом (АЕТІ). **Результати.** Визначено екотоксикологічні характеристики пестицидів сучасного асортименту, що застосовуються для захисту яблуні від шкідників і хвороб: величини дипольного моменту (μ), константу швидкості розпаду (частин за добу), період напів- та повного розпаду (T_{50} та T_{95} , діб) в яблуневому агроценозі. Здійснено класифікацію за ступенем небезпечності застосування. Найбільш небезпечними є неполярні сполуки І—3 ступеня небезпечності та частково малополярні 4 ступеня, які відносяться до І та ІІ класу небезпечності за токсичністю (LD_{50}) або

стійкістю (к). За даними моніторингу фітосанітарного стану та пестицидів в яблуневому агроценозі у 2015—2020 рр. розроблено науково-методологічні параметри екологічно безпечних ($AETI < 1$) і економічно ефективних систем хімічного захисту яблуні, адаптованих до ґрунтово-кліматичних умов Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України — інтенсивної хімічної та удосконаленої хімічної. **Висновки.** На основі співвимірювання пестицидного навантаження зі здатністю агроценозу до самоочищення розроблено модель екологічно-безпечного захисту яблуневого саду від комплексу шкідливих організмів, яка адаптована до ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фітосанітарного стану Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України. За результатами досліджень швидкість детоксикації пестицидів у листках та плодах яблуні залежить від фізико-хімічних властивостей та корелює з полярністю сполук. Здійснено класифікацію пестицидів, що застосовуються для контролю комплексу шкідників та хвороб в агроценозі яблуні, та показано, що сучасний їх асортимент дає змогу розробити системи захисту, для яких середньозважений ступінь небезпеки знаходиться на рівні $Q=5$. Розроблено модель граничного пестицидного навантаження на яблуневий агроценоз, за якого $AETI$ не перевищує 1. Дослідження та розрахунки свідчать, що проведення хімічного захисту яблуні є екологічно та економічно виправданим. В умовах 2018—2020 рр. прибуток становив від 40 000 до 100 000 грн/га, за рентабельності 32,4—76,5%.

зональні хімічні системи захисту; яблуня; фітосанітарний стан; пестициди; полярність; стійкість; небезпечність; хімічні системи захисту; екоотоксикологічні нормативи та регламенти

Сільськогосподарська наука в усьому світі визнає використання хімічного захисту рослин як одного із методів управління якістю агроценозів, що враховує економічну доцільність та екологічну безпеку. Наукові основи захисту рослин від шкідливих організмів в агроценозах були розроблені вченими Інституту захисту рослин у XX сторіччі і продовжується робота над ними у XXI. Інтегровану систему захисту рослин розглядають як розвиток комплексних заходів з управління агроценозом та популяціями шкідливих і корисних видів з метою зменшення втрат урожаю та покращення його якості, оптимізації застосування хімічних засобів за рахунок доступних методів і заходів профілактичного характеру, а також уточнення критеріїв і способів застосування пестицидів [1]. Серед вітчизняних дослідників Васильєв Вадим Петрович був першим у розробці принципів та критеріїв захисту плодів культур, зокрема яблуні [2]. Сума ефективних температур на початку відродження гусениць яблуневої плодожерки, принципи зонального районування домінантних видів шкідників та зональних

систем захисту, економічного та екотоксикологічного обґрунтування застосування хімічних засобів є основою розробки сучасної стратегії і тактики інтегрованого захисту яблуні [1].

Регулярне використання пестицидів потенційно може становити загрозу для навколишнього середовища, особливо якщо залишки зберігаються в ґрунті або мігрують за межами саду і потрапляють у водні шляхи (наприклад, через знос піл час обробки або стік). Зменшення шкідливих наслідків для здоров'я та навколишнього середовища від використання пестицидів наразі є головним пріоритетом порядку денного аграрної політики в Європейському Союзі (ЄС), США, Китаї та інших країнах [3–6].

За останні десятиріччя у світі було розроблено багато інструментів оцінки ризику застосування пестицидів. Залежно від передбачуваного використання одержаних показників, вони називалися по-різному: рейтинг безпеки, коефіцієнт впливу, контрольний орієнтир, відносний рейтинг ризику, інструмент оцінки ризиків тощо [7–21]. Для оцінки ступеня безпеки всі вони використовують різні показники, які можна поділити на такі основні групи: токсичність пестицидів, доза, тривалість впливу та характеристика поведінки в довкіллі. Для визначення ризиків використовують якісні та кількісні оцінки ймовірності того, що може виникнути будь-яка з небезпек, пов'язаних з пестицидом. При цьому, як правило, використовують показники, що характеризують сукупну небезпеку застосування того чи іншого препарату.

Також, розроблено індикатори ризику, що використовуються для реалізації політики сприяння скороченню використання пестицидів [5, 6, 13, 22, 23] та з подвійною метою (наприклад, для оцінки ризику використання пестицидів та як метод оподаткування) [13].

Екологічні проблеми захисту яблуневих насаджень зумовлені особливостями агроєкосистеми: монокультурний характер вирощування багаторічних насаджень створює постійно високий інфекційний фон. У ланцюгу живлення «плодові дерева — фітофаги — хижаки та паразити» найбільш вразливою ланкою до абіотичних, біотичних та антропогенних чинників є рослини. В останні роки на продуктивність садів суттєво впливає зміна клімату — зими з різкими перепадами температур (від відлиги до сильних морозів), заморозки під час цвітіння, ґрунтові і повітряні посухи в період росту та дозрівання плодів. Назріла необхідність переходу до адаптивного садівництва та удосконалення всіх елементів технології вирощування яблуні, зокрема зональних систем захисту від шкідливих організмів [24].

Мета досліджень — екотоксикологічне та економічне обґрунтування хімічних систем захисту яблуні від шкідливих організмів, їх оптимізація та адаптація до погодно-кліматичних умов і фітосані-

тарного стану яблуневого агроценозу в Передкарпатській провінції Карпатської гірської зони України.

Методика досліджень. Роботу виконували впродовж 2014—2020 рр. в Інституті захисту рослин Національної академії аграрних наук України (ІЗР НААН) в лабораторії аналітичної хімії пестицидів, в Українській науково-дослідній станції карантину рослин ІЗР НААН (УкрНДСКР ІЗР) в лабораторії органічного землеробства та біоенергетичних культур.

Дослідження проводили в плодovому саду УкрНДСКР ІЗР (Чернівецька область, село Бояни Новоселицького району), Державного підприємства «Дослідного господарства Придністровської дослідної станції садівництва Інституту садівництва НААН» та на базі господарств (ПП Збіра І.Р. та СФГ «Бояни-Глинниця»), які займаються вирощуванням яблуневої продукції, за загальноприйнятими методиками [25, 26].

Фітосанітарний моніторинг проводили візуально та за допомогою феромонних пасток [26]. Класифікацію пестицидів за полярністю за величиною дипольного моменту, визначення залишків, вивчення процесів детоксикації пестицидів в яблуневому агроценозі проводили з використанням фізико-хімічних методів аналізу. Ступінь небезпечності застосування пестицидів оцінювали за інтегральною 7-ступеневою шкалою, ризик — за агроекотоксикологічним індексом (АЕТИ) [2, 27]. Статистичну обробку одержаних даних здійснювали з використанням комп'ютерної програми Microsoft Office Excel.

Результати досліджень та обговорення. Сучасна стратегія застосування пестицидів заснована на співвимірюванні їх властивостей та навантаження зі здатністю агроценозів до самоочищення, тобто включення пестицидів в біотичний кругообіг елементів [1]. Прогнозування забруднення яблуневих агроценозів пестицидами та розробка заходів щодо запобігання негативним наслідкам (порушення природних біоценозів і зниження саморегуляції, поява нових економічно значущих шкідників, знищення корисної флори й фауни, резистентність у шкідливих організмів, забруднення урожаю та накопичення в ґрунті залишкових кількостей, потенційна загроза здоров'ю людини) можливі лише за глибокого розуміння механізмів токсичної дії на живі організми, взаємодії пестицидів з об'єктами навколишнього середовища, встановлення критеріїв оцінки цих процесів для формування екологічно безпечного асортименту, нормування та регламентів їх застосування.

Оцінку екологічного ризику систем хімічного захисту яблуні від шкідливих організмів проводили за агроекотоксикологічним індексом (АЕТИ) [2]:

$$AETI = \frac{10V(1+V)^3}{(1+V)^4 + 5000}, \quad (1)$$

де V — прогнозоване забруднення пестицидами сільськогосподарсько-го ландшафту (умовних кг/га).

Згідно з АЕТІ ризик характеризували за 10-бальною шкалою: 0—1 — малонебезпечний, 1—4 — середньонебезпечний, 4—8 — підвищеної небезпечності, 8—10 — високонебезпечний (рис. 1).

Модель (рис. 1) відображає хвилеподібну залежність ризику від пестицидного навантаження, їх властивостей та толерантності агроценозу. Спочатку з ростом навантаження крива повільно піднімається до порогового значення — 4 умовних кг/га. На цьому відрізку масове навантаження пестицидів співвимірюється зі здатністю агроценозу до самоочищення, а АЕТІ має значення від 0 до 1. Далі створюється «хвиля», коли ризик зростає пропорційно збільшенню навантаження. Висота «хвилі» лімітується потенційними можливостями виживання фауни та збереження гігієнічних нормативів якості продукції: максимально допустимий рівень в урожаї, продуктах харчування (МДР, мг/кг), гранично допустима концентрація в ґрунті, воді, повітрі (ГДК, мг/кг, мг/л, мг/м³); строки очікування до збору урожаю.

Прогнозоване забруднення (V , умовних кг/га) залежить від сезонного навантаження пестицидів на одиницю площі (ΣH , кг/га), ступеня небезпечності застосованого асортименту (Q) і розраховується за формулою:

$$V = \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} \cdot Q}, \quad (2)$$

де $I_{\text{зон}}$ — зональний індекс здатності території до самоочищення (оцінюється за шкалою від 0 до 1); k — коефіцієнт абсорбційної властивості листової поверхні, який змінюється залежно від типу культури і для польових культур становить 1, для плодового саду — 3.

Відповідно модель приймає вигляд:

$$\text{АЕТІ} = \frac{10 \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} \cdot Q} (1 + \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} \cdot Q})^3}{(1 + \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} \cdot Q})^4 + 5000}. \quad (3)$$

При плануванні хімічних заходів слід добирати асортимент пестицидів та норму їх витрати на одиницю орної площі з таким розрахунком, щоб значення АЕТІ були якомога меншими й не перевищували 1. Такому значенню АЕТІ відповідає прогнозоване забруднення в розмірі 4 умовних кг/га, тобто має виконуватися обмеження:

$$\frac{\sum H}{3 \cdot Q \cdot I_{\text{зон}}} \leq 4. \quad (4)$$

У плодовому саду толерантність агроценозу збільшується втричі за рахунок абсорбційної властивості листової поверхні, тому рівняння граничного безпечного навантаження пестицидів матиме вигляд:

$$\sum H = 12 \cdot Q \cdot I_{\text{зон}}. \quad (5)$$

Таким чином, сезонне навантаження залежить від середньозваженого ступеня небезпечності (Q) та толерантності території ($I_{\text{зон}}$).

Для оцінки препаратів за нормою витрати використовували середньозважений ступінь небезпеки (Q), який розраховували за формулою:

$$Q = (C_{n1} \times N_1 + C_{n2} \times N_2 + \dots + C_{nn} \times N_n) / \sum N, \quad (6)$$

де C_n — ступінь небезпечності пестициду за інтегральною класифікацією; $N_{i...}$ — норма витрати препарату, кг/га; $\sum N$ — сумарна норма витрати препаратів, кг/га.

Для оцінки небезпечності застосування пестицидів краще використовувати інтегральний показник — ступінь небезпечності застосування (C_n), який враховує як токсиколого-гігієнічний (K_A , I—IV клас), так і екотоксикологічний (K_B , I—IV клас) аспекти застосування пестициду. Інтегральна класифікація пестицидів за ступенем небезпечності їх застосування була розроблена в Інституті захисту рослин

[2]. Вона представлена шкалою, яка містить сім ступенів, що визначають з рівняння:

$$C_n = (K_A + K_B) - 1. \quad (7)$$

Ступінь небезпечності характеризує пестициди таким чином: 1 і 2 — високонебезпечні, 3 — небезпечні, 4 і 5 — помірно небезпечні, 6 і 7 — малонебезпечні.

Ступінь небезпечності, що характеризує екотоксикологічні властивості сполук, може використовуватися для оновлення їх асортименту за рахунок помірно- та малонебезпечних пестицидів, ефективних з малими нормами витрати.

Індекс самоочищення території ($I_{\text{зон}}$) характеризує інтенсивність розпаду пестицидів залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Він вимірюється за допомогою балів від 0,1 до 1: дуже інтенсивна — понад 0,8; інтенсивна — 0,8—0,6; помірна — 0,6—0,4; слабка — 0,4—0,2; дуже слабка — менше 0,2. Значення $I_{\text{зон}}$ корелюють із значенням ГТК [1, 2, 27].

Для сучасного асортименту пестицидів ступінь небезпеки становить 3—6. $I_{\text{зон}}$ в умовах України змінюється від 0,23 до 0,7.

Толерантність сільськогосподарських угідь до пестицидного навантаження зумовлена інтенсивністю фізико-хімічних і мікробіологічних процесів детоксикації біологічно активних сполук, яка, в свою чергу, залежить від погодно-кліматичних умов [2, 27].

Інтенсивне потепління спостерігається в Україні з 1988 р. і особливо відчутне в зимові місяці. Агроекотоксикологічне районування території України із використанням комп'ютерної програми Arc GIS дало змогу встановити, що за 20-річчя (1989—2011 рр.) зміни клімату в Україні проявились через вирівнювання та підвищення середньорічної температури, збільшення суми ефективних температур. По всій території зменшилися показники гідротермічного коефіцієнту (ГТК) та здатності до самоочищення ($I_{\text{зон}}$), особливо в умовах Лісостепу [27]. Цю тенденцію підтверджують результати досліджень у Південно-Західному Лісостепу України у 2015—2020 рр. Кліматичні умови за роки досліджень відрізняються від середніх багаторічних показників більшою контрастністю. Зміни клімату (зими з різкими перепадами температур від відлиги до морозів, заморозки в період цвітіння, ґрунтові та повітряні посухи в період росту і дозрівання плодів) впливають на продуктивність садів регіону та погіршують їх фітосанітарний стан.

У 2015 р. фенологічні фази розвитку яблуні збіглися з багаторічними. В період з кінця березня до кінця квітня вегетація яблуневих насаджень відбувалась у фенофази «набрякання бруньок» — «рожевий бутон». Період цвітіння припадав на середину третьої декади квітня — кінець першої декади травня. У травні відбувалося формування

плодів, далі — їхній ріст. Період дозрівання плодів припадав на першу — другу декаду вересня. У 2016—2017 рр., внаслідок більш високих середньодобових температур повітря на 3—5°C, розвиток яблуні у фенологічні фази «набрякання бруньок» — «рожевий бутон» проходив від 4 до 7 днів швидше, ніж у попередні роки. Цвітіння яблуні відбувалося майже на два тижні, а формування плодів — на тиждень швидше терміну, властивого даному регіону. Далі погодні умови сприяли росту плодів, а дозрівання яблук відбувалося на кілька днів швидше, ніж у попередні роки.

У 2018—2019 рр. період вегетації яблуні за фенологічними термінами був подібним до багаторічних. Період «набрякання бруньок» — «рожевий бутон» тривав з кінця березня до кінця квітня; період цвітіння — до закінчення першої декади травня; період формування плодів — до кінця другої декади травня, далі — період їх росту. Починаючи з вересня відбувалося дозрівання плодів яблуні. У 2020 р. внаслідок низьких температур повітря на початку вегетації яблуні, її розвиток не був типовим для даного регіону. Тому, фенологічні фази «набрякання бруньок» — «рожевий бутон» проходили на 5—8 днів пізніше попередніх років. Цвітіння яблуні та період «формування плодів» відбувалися майже на 10 днів пізніше та тривали до середини третьої декади травня. Далі відбувався «ріст плодів» яблуні та їхнє дозрівання.

За вегетаційний період (травень — вересень) СЕТ повітря вище 10°C з початку вегетаційного періоду накопичилась, відповідно по роках з 2015 по 2020 — 3128, 3153, 2451, 2861, 3048 та 3347°C, а гідротермічний коефіцієнт становив 0,7; 0,9; 1,3; 1,1; 0,8 та 1,0.

Аналізуючи одержані дані спостерігаємо, як змінюються агрометеорологічні умови та слабшає здатність до самоочищення. У Лісостепу Буковини, де переважають чорноземи та сірі лісові ґрунти, а ГТК становить 0,7—1,3, показник здатності території до самоочищення ($I_{\text{зон}}$) дорівнює 0,6—0,45. В передгірській частині з дерново-підзолистими ґрунтами та ГТК — 1,8—2,0, $I_{\text{зон}}$ становить 0,75—0,65. Відповідно до наведених показників, здатність території до самоочищення характеризується як помірна.

Побудовано модель (рис. 2) допустимого сезонного навантаження пестицидів (ΣH , кг/га) у яблуневому агроценозі залежно від небезпечності застосованого асортименту (Q) та ґрунтово-кліматичних умов ($I_{\text{зон}}$).

Погодно-кліматичні умови сприяли розвитку шкідливих організмів. За результатами фітосанітарного моніторингу яблуневому агроценозу найбільшої шкоди завдавали такі шкідники: яблунева плодожерка (38%), попелиці (19), листовійки (13—18), кліщі (12), яблунева міль (10), оленка волохата (8).

Яблунева плодожерка розвивалася у двох повних поколіннях. По-

годні умови були сприятливими для розвитку першого та другого покоління шкідника. За період перезимівлі загинуло 10—14% гусениць, під час цвітіння (перша декада травня) чисельність гусениць першого покоління становила 1,8—2,0 екз./ловильний пояс. Початок льоту метеликів яблуневої плодожерки реєструвався в першій декаді травня за СЕТ від 143 до 307°C. Середні показники виловів на пастку становили 2 екз./пастку за 7 діб.

Максимум льоту генерації, що перезимувала, спостерігали у першій декаді червня (плід розміром ліщини) за СЕТ від 594 до 740°C. Показники виловів на пастку становили 4—7 екз. за 7 діб. Кінець льоту метеликів покоління, що перезимувало, та початок льоту літнього покоління зареєстровано у III декаді червня за СЕТ від 1124 до 1332°C.

Максимум льоту метеликів другої генерації припав на другу декаду серпня за СЕТ °C. Показники виловів дорівнювали 3—7 екз./пастку за 7 діб. Закінчення льоту II покоління метеликів зафіксовано у III декаді вересня. Показники виловів дорівнювали 3—7 екз./пастку за 7 діб. Заселеність саду яблуневою плодожеркою під час осінніх обстежень становила 2—5 гусениць на дерево. Гусениці першого покоління пошкодили 1—8%, другого — 8—12% плодів. Під час рос-

ту плодів інтенсивність льоту метелика першого покоління досягала 8 екз./феромонну пастку (ЕПШ 3 екз./пастку), а метелика другого покоління — до 7 екз./феромонну пастку (ЕПШ 5 екз./пастку) за 7 діб. Яблунева плодожерка спричиняє прямі втрати урожаю, шкідлива стадія живиться в плодах. Гусениця вигризає прямий хід до насінної камери та виїдає насіння в плоді. Проведення захисних заходів є обов'язковим для одержання високоякісних плодів. Тому феромонні пастки використовують для контролю та знищення шкідника.

Для контролю чисельності яблуневої плодожерки використовували синтетичні статеві феромони *Cydia pomonella* ((Е,Е)-8,10-dodecadien-1-ol), на всій площі саду вивішували по 10 пасток/га для масового вилову самців та по 6 контрольних пасток для вивчення фенологічних строків розвитку шкідників і визначення щільності їхньої популяції. Для препарату ґрунтується на тому, що самці першого покоління плодожерки з'являються в природі дещо раніше самиць, наприкінці цвітіння яблуні. Саме у цей час і було вивішано пастки з феромоном яблуневої плодожерки і таким чином виловлено основну кількість самців.

Сучасна інтегрована система захисту яблуневого саду від шкідливих організмів базується на інтенсивному застосуванні хімічного методу, який включає в середньому 15—18, а іноді навіть і 30 обробок фунгіцидами та інсектицидами з високими нормами витрати, не враховуючи чергування пестицидів різного механізму дії. Зменшення пестицидного навантаження на агроценоз можливе за скорочення кількості обробок та формування екологічно безпечного асортименту за параметрами фізико-хімічних та токсиколого-гігієнічних властивостей пестицидів і механізмів їхньої дії.

Фізико-хімічні властивості пестицидів є функцією електронних структур їх молекул і характеризуються за полярністю згідно з величиною дипольного моменту (μ): неполярні з величиною дипольних моментів від 0 до 2, малополярні — більше 2 до 6, полярні з величиною μ більше 6 Дебай (табл. 1). У таблиці наведено приклад визначення дипольного моменту методом тонкошарової хроматографії. В снові хроматографічного процесу лежить обмін речовин між рухомою та нерухомою фазами. Швидкість руху речовин у тонкому шарі адсорбенту характеризується величиною R_f , яка залежить від дипольного моменту сполуки (μ) та діелектричної проникності рухомої фази (ϵ) і описується рівнянням [2]:

$$R_f = V/U = S_1 t / S_2 t = (\epsilon - \mu)^{1/2} / K \quad (8)$$

де V — швидкість руху речовини; U — швидкість руху елюенту; S_1 — відстань від старту до центру хроматографічної зони; S_2 — відстань від старту до фронту елюенту; t — час хроматографування; μ — дипольний момент сполуки; ϵ — діелектрична проникність рухомої фази,

розрахована за правилом адитивності; K — коефіцієнт адсорбції чи розподілу, що залежить від хімічної природи досліджуваної сполуки та умов хроматографування.

Ця залежність була використана для визначення дипольних моментів досліджуваних сполук.

Дослідження проводили в стандартних умовах: адсорбент Silpearl (реакція рН кисла), рухома фаза — аполлярний апротонний розчинник н-гексан ($\epsilon_1 = 1.89$; $\mu = 0$), до якого постійно додається полярний дипротонний розчинник ацетон ($\epsilon_2 = 21.3$; $\mu = 2.7$) для одержання систем з різною елююючою здатністю: гексан ацетон (об'єм/об'єм) — (20:1, $\epsilon = 2.82$); (10:1, $\epsilon = 3.65$); (10:1.5, $\epsilon = 4.34$); (4:1, $\epsilon = 5.77$); (3:1, $\epsilon = 6.74$); (2:1, $\epsilon = 8.36$). Швидкість руху пестицидів в адсорбенті пропорційна їх полярності. Тому, в тій самій фазі величина R_f більш полярних сполук менша, ніж у сполук з меншою полярністю.

Для кожної сполуки встановлюється залежність величини R_f від діелектричної проникності рухомої фази (ϵ). Розрахунок дипольного моменту проводиться за формулою [13]:

$$\mu = (R_{f2}^2 \epsilon_1 - R_{f1}^2 \epsilon_2) / (R_{f2}^2 - R_{f1}^2), \quad (9)$$

де R_{f2} — значення у більш полярній фазі з ϵ_2 ; R_{f1} — значення в менш полярній фазі з ϵ_1 .

Ця формула використовується для рухомих фаз з близькими значеннями діелектричної проникності, при яких коефіцієнт K має однакові значення, а залежність величини R_f від ϵ — лінійна.

За величиною дипольних моментів пестициди розділено на три групи: неполярні з μ від 0 до 2 Дебай (Д), малополярні з μ більше 2 до 6 Дебай та полярні з μ більше 6 Дебай, деякі з яких наведено в таблиці 1.

У таблиці 1 пестициди розміщені в порядку зростання величини дипольного моменту. Результати досліджень доводять, що сполуки різних органічних класів з близькими значеннями дипольних моментів мають однакові властивості. Неполярні (карбоксаміди, піретроїди, фосфорорганічні сполуки) практично нерозчинні у воді і мають контактний механізм дії. До неполярних сполук відносяться інсектициди. Із збільшенням μ сполуки краще розчиняються у воді, що зумовлює механізм їхньої дії. Сучасний асортимент інсектицидів та фунгіцидів, що застосовуються для захисту яблуні, складають малополярні сполуки контактної-системної та системної дії.

Сполуки різних хімічних класів відрізняються специфікою дії на шкідливі організми. Інсектициди з класів піретроїдів, ФОС, неонікотинної дії чинять нейротоксичну дію, блокують дихальний метаболізм, порушують обмін речовин, зумовлюють розлад функцій різних органів. Карбамати, фенілсечовини порушують процеси росту і розвитку

1. Характеристика за полярністю пестицидів, що застосовуються для захисту яблуні

Пестицид (клас сполук: призначення)	Емпірична формула	Рухома фаза		$R_f \pm 0,02$		$\mu \pm 0,05$ Д
		ϵ_1	ϵ_2	R_{f1}	R_{f2}	
Неполярні (μ від 0 до 2 Д)						
Гекситіазокс (КМ:Ін.)	$C_{17}H_{21}ClN_2O_2S$	1,89	2,82	0,32	0,44	0,85
Малополярні (μ від 2 до 6 Д)						
Метирам (Т:Ф)	$C_{12}H_{12}N_6S_{16}Zn$	3,65	4,34	0,20	0,32	3,20
Пропінеб (ДД:Ф)	$C_5H_8N_2S_4Zn$	3,65	4,34	0,10	0,18	3,95
Піриметаніл (АП:Ф)	$C_{12}H_{13}N_3$	5,77	6,74	0,15	0,19	4,10
Каптан (ФТ:Ф)	$C_9H_8Cl_3NO_2S$	5,77	6,74	0,16	0,20	4,32
Хлорантраніліпрол (А:Ін.)	$C_{18}H_{14}BrCl_2N_5O_2$	5,77	6,74	0,16	0,21	4,42
Флуопірам (ПЕ:Ф)	$C_{16}H_{11}ClF_6N_2O$	5,77	6,74	0,15	0,20	4,50
Манкоцеб (Д:Ф)	$C_8H_{12}MnN_4S_8Zn$	5,77	6,74	0,14	0,19	4,55
Спіродиклофен (К:Ін.)	$C_{21}H_{24}Cl_2O_4$	6,74	8,36	0,09	0,14	5,44
НІР ₀₅	-	-	-	-	-	0,8
Примітки: 1. А — антраніламіди, АП — анілінопіримідини, Д — дитіокарбамати, ДД — диметилдитіокарбамати, К — кетеноли, КМ — карбоксаміди, ПЕ — піридилетиламіди, Т — триазолі, ФТ — фталіміди, Ін. — інсектициди, Ф — фунгіциди; 2. $R_f \pm 0,02$ — довірчий інтервал за $P = 0,95$; $n = 5$, критерій Ст'юдента $t_{\alpha} 2,78$; 3. μ — величина дипольного моменту, Дебай.						

комах, антраніламіди знижують статеву активність метеликів, викликають параліч м'язів личинок і зупинку живлення, чинять овцідну дію [24, 28].

Таким чином величина дипольного моменту (μ) сполуки є моделлю її властивостей. Асортимент пестицидних сполук удосконалюється за рахунок включення до «Переліку ...» більш полярних препаратів, які подібні природним сполукам, що виконують виключну роль у біологічних процесах обміну речовин. Для упередження розвитку резистентності до хімічних засобів захисту у шкідників та збудників хвороб слід чергувати та комбінувати при обприскуванні препарати контактної та контактано-системної дії.

Для оцінки екотоксикологічної небезпеки застосування пестицидів вивчено особливості, швидкість та динаміку їх детоксикації в яблуневому агроценозі впродовж вегетаційного періоду.

Встановлено, що цей процес під впливом абіотичних, біотичних та антропічних чинників, відбувається за експоненційною моделлю:

$$C_t = C_0 / e^{kt}, \quad (10)$$

де C_0 — початкова концентрація; C_t — концентрація в певний момент часу t , мг/кг; k — константа швидкості детоксикації, частин за добу.

За цим рівнянням можна розрахувати кількість пестициду в будь-який момент часу, що може бути використано для нормування і регламентації раціонального, екологічно безпечного їх застосування.

Зменшення токсичного потенціалу пестицидів в агроценозах розглядається як багатофакторний процес їхньої детоксикації, що характеризується константою швидкості (k , частин за добу), періодом напіврозпаду (T_{50}) і розпаду на 95% (T_{95}). Ці показники дозволяють оцінювати інтенсивність процесу детоксикації пестицидів та прогнозувати забруднення навколишнього середовища.

Показники розраховували за наступними рівняннями першого порядку:

$$k = (2,303 \lg C_0 / C_t) / t; \quad (11)$$

$$T_{50} = 0,693 / k; \quad (12)$$

$$T_{95} = 2,999 / k. \quad (13)$$

За результатами досліджень швидкість детоксикації пестицидів в листках та плодах яблуні залежить від їх фізико-хімічних властивостей та корелює з полярністю сполук. Неполарні пестициди розпадаються зі швидкістю $0,07—0,12 \pm 0,05$ частин за добу, тобто процес детоксикації відбувається повільніше, ніж у малополярних пестицидів, швидкість розпаду яких становить $0,15—0,22 \pm 0,05$ частин за добу.

Але слід враховувати, що вихідний токсичний потенціал (вміст пестициду та термін його знаходження в агроценозі залежить від норми витрати. Зменшення початкового токсичного потенціалу можливе при застосуванні неполярних пестицидів із меншими нормами витрат у комбінаціях з більш полярними сполуками.

У листках яблуні вміст пестициду (мг/кг) після обробки у кілька разів перевищує вміст у плодах за рахунок адсорбційної властивості листової поверхні. Динаміку детоксикації різнополярних пестицидів в листках яблуні наведено на рисунку 3, що характеризує процес швидкості розпаду пестицидів та показує динаміку цього процесу з першої по тридцяті добу. На першу добу після обприскування у листі яблуні містилося від 0,31 до 8,43 мг/кг досліджуваних пестицидів. У процесі їхньої детоксикації через 30 діб після обробки їх залишки становили $0,0006—0,09$ мг/кг, що значно менше МДР.

Рис. 3. Динаміка детоксикації різнополярних пестицидів у листках яблуні.

Обробка у фенофази: «**відокремлення бутонів**», I декада квітня — 1. Енжіо, 0,2 л/га (лямбда-цигалотрин, 21,2 г/га + тіаметоксам, 28,2 г/га) + 2. Делан, 0,8 кг/га (дитіанон, 600 г/га); «**рожевий бутон**», II декада квітня — 3. Делан, 0,5 кг/га (дитіанон, 350 г/га) + 4. Каліпсо, 0,3 л/га (тіаклоприд, 144 г/га) + 5. Хорус, 0,2 кг/га (ципродиніл, 150 г/га); «**кінець цвітіння**», III декада квітня — 6. Ніссоран, 0,5 кг/га (гекситіазокс, 50 г/га)

Таким чином, визначивши полярність пестицидів можна прогнозувати їхню поведінку в яблуневому агроценозі, а за константою швидкості детоксикації моделювати динаміку цього процесу, що дає змогу уникнути забруднення урожаю та навколишнього середовища.

Інсектициди, що застосовувались для захисту яблуні від шкідників, відносяться до небезпечних та помірно небезпечних препаратів. За полярністю їх діючі речовини належать до неполярних та малополярних сполук.

Найнебезпечнішими є неполярні інсектициди з класу піретроїдів та фосфорорганічних сполук, які за токсичністю або стійкістю в агроценозі відносяться до другого класу небезпечності і за інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності 3 (Пірінекс Супер 420 КЕ; Нурел Д; Блокбастер, КЕ) або 4 (Енжіо 247 КС). Інсектициди з класу неонікотинοїдів є малополярними сполуками і за інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності 4—5 (Актара 25, ВГ; Каліпсо 480, КС; Канонір Дуо, КЕ; Моспілан ВП). Специфічний акарицид контактної дії, призначений для знищення рослинотічних кліщів, гекситіазокс належить до неполярних сполук 4 класу небезпечності за токсичністю та до 2 класу за стійкістю в агроценозі й має 5-й ступінь

небезпечності застосування (Ніссоран, ЗП). Інсектициди з класу антраніламідів та кетоенолів (тетронікові кислоти) є більш полярними і менш токсичними сполуками. За інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності 6 (Кораген 20, КС; та Енвідор 240, КС). Також, для всіх досліджуваних пестицидів було розраховано вміст в урожаї на період його збору, який становив від $5,8 \times 10^{-14}$ до 0,01 мг/кг, що значно нижче максимально допустимого рівня залишків для кожного пестициду.

Малополярні фунгіциди, які застосовували для захисту яблуні, відносяться до помірно та малонебезпечних препаратів. Фунгіциди з класу анілінопіримідинів та стробілуринів відносяться до другого класу небезпечності й за інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності 4 (Блюз, КС; Луна Сенсейшн 500 SC, КС; Флінт Стар 520 SC, КС; Хорус 75 WG, ВГ). Їх розрахунковий вміст залишків у врожаї становив від $4,2 \times 10^{-10}$ до 0,0008 мг/кг, що значно нижче МДР. Помірно небезпечними зі ступенем небезпечності 5 є фунгіциди з класу дитіанів, анілінопіримідинів, піридилетиламідів, фталімідів та бензи-мидазолів (Делан, ВГ; Малвін 80, ВГ; Полірам ДФ, ВГ; Скала 400 SC, КС; Скор 250 ЕС, КЕ; Топсін-М, ЗП), розрахунковий вміст залишків у врожаї яких — від $2,2 \times 10^{-16}$ до 0,08 мг/кг. Фунгіциди з класу дитіокарбаматів та диметилдитіокарбаматів є мало небезпечними сполуками зі ступенем небезпечності застосування 6 (Пенкоцеб, ЗП; Антракол 70 WP, ЗП). Розрахунковий вміст залишків цих пестицидів у врожаї відповідно $4,8 \times 10^{-8}$ і $3,1 \times 10^{-5}$ мг/кг.

Виходячи з цієї класифікації, за необхідності застосування хімічного методу захисту рослин доцільно проводити обробку препаратами зі ступенем небезпечності 4—6, а пестициди зі ступенем 3, є більш небезпечними для людини та біоти і потребують детальнішої регламентації, нормування та контролю. Тому, одним із необхідних елементів раціонального та екологічно безпечного застосування хімічних засобів захисту яблуні є чергування різнополярних пестицидів контактної та системної дій з різним механізмом впливу на шкідливі організми.

Розроблено дві системи хімічного захисту яблуневого саду від шкідливих організмів, які адаптовано до погодно-кліматичних умов Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України: інтенсивна хімічна система та удосконалена хімічна система.

Інтенсивна хімічна система захисту базується на 12-ти обробках хімічними пестицидами відповідно до 12-ти основних фаз розвитку яблуні, в які найбільше шкідливі організми заселяють та шкодять садовому агроценозу: «зелений конус», «відокремлення бутонів», «рожевий бутон», «кінець цвітіння», «формування плодів», «ріст плодів» (плід розміром ліщини), «ріст плодів» (плід розміром волоського горіха), «ріст плодів» (I—II декада липня), «ріст плодів» (II—III декада

липня), «ріст плодів» (I декада серпня), «ріст плодів» (II декада серпня), «дозрівання плодів» (I—II декада вересня).

Урожайність за використання даної системи становила 25,9—27,4 т/га, що свідчить, про повну реалізацію потенціалу яблуні. Технічна ефективність даної системи захисту яблуні становила у середньому від 85,5 до 97,4% (табл. 2). Показник сезонного навантаження пестицидів (ΣH) для даної системи становив 29,5 кг/га, а середньозважений ступінь небезпеки (Q) — 5,0.

Удосконалена хімічна система захисту, яка враховує біологічні особливості розвитку шкідливих організмів та погодно-кліматичні умови у регіоні, дає можливість зменшити кількість обробок з 12 до 9 застосуванням низькотоксичних пестицидів з низькими нормами витрати (0,15—2,0 л, кг/га). За розробки даної системи було враховано всі недоліки, які були у інтенсивної хімічної системи: зменшено або виключено ті обробки, де період захисної дії препаратів після попередньої обробки був більшим, ніж період між двома обробками (Енжіо 247 SC, КС); виключено препарати, спектр дії яких у бакових сумішах направлений на один і той самий об'єкт (Скала 400 SC, КС; Малвін 80, ВГ; Канонір Дуо, КЕ); виключено ті препарати, які за ступенем інтегральної класифікації пестицидів відносяться до небезпечних та помірно небезпечних. Урожайність за використання даної системи у середньому 25,4—26,2 т/га, за технічної ефективності на рівні 90—95%. Показник сезонного навантаження пестицидів (ΣH) становив 10,5 кг/га, а середньозважений ступінь небезпеки (Q) — 4,9.

Проведено економічну оцінку вирощування яблуні за застосування хімічної системи захисту від шкідливих організмів (шкідників та хвороб) у 2018—2020 рр. Для контролю розраховували показники економічної ефективності вирощування яблуні без застосування захисних заходів (табл. 3).

Дослідження та розрахунки показали, що застосування хімічної системи захисту яблуні дозволило отримати прибуток у 2018—2020 рр. від 42488,52 до 99250,10 грн/га, за рівня рентабельності — 32,4—76,5%. Середня врожайність становила 26,8 т/га, з них 64,0% — I-го сорту. При вирощуванні яблуні без застосування захисних заходів, отримали прибуток у 2018—2020 рр. — 16628,08—38995,66 грн/га, за рівня рентабельності — 28,1—58,9%. Врожайність становила 15,8—16,1 т/га, з них 19,6% — I-го сорту. Дещо нижчі показники економічної ефективності у 2018 р. зумовлені зниженням цін на яблуневу продукцію внаслідок зростання пропозиції на вітчизняному та європейському ринках.

Було розраховано показник АЕТІ за різних індексів зональності (від 0,5 до 0,7), оскільки територія знаходиться на кордоні лісостепової і передгірської зон, а межа між ними достатньо умовна, адже

2. Інтенсивна хімічна система захисту яблуні від шкідників і хвороб та її екотоксикологічні показники
(яблуневий сад, УкрНДСКР ІЗР НААН, 2015–2020 рр.)

№ з/п	Назва препарату (призначення) вміст діючої речовини, г/л, кг	Норма витрати, г, кг, л/га	Максимальна кількість обробок / назва ураженого органу	Об'єкт, проти якого проводиться обробка	Технічна ефективність, %	T _{50±0,5*} діб*	T _{95±2,0*} діб**	Сп	МДР, мг/кг	Вміст в урожаї, мг/кг		
										експ. ***	розрах. ****	
1	Зелений конус / III декада березня — I декада квітня											
	Енжіо 247 SC, КС (Ін.) лямбда-цигалотрин, 106 тіаметоксам, 141	0,15	2 / бутони	Попеліці, довгоносики, кліщі	95,3	7–8 4–5	30 13	4,7 4 5	0,03 0,1	НВ НВ	5,3×10 ^{−9} 2,2×10 ^{−15}	
	Косайд 2000, ВГ (Ф) міді гідроксид, 538	2,5	3 / листки	Парша	95,5	3–4	14	5	5,0	НВ	—	
2	Відокремлення бутонів / I—II декада квітня											
	Енжіо 247 SC, КС (Ін.) лямбда-цигалотрин, 106 тіаметоксам, 141	0,2	2 / бутони	Попеліці, довгоносики	94,7	7–8 4–5	30 13	4,7 4 5	0,03 0,1	НВ НВ	5,3×10 ^{−9} 2,2×10 ^{−15}	
	Делан, ВГ (Ф) дитіанон, 700	0,8	3 / листки	Парша	94,8	4–5	18	5	0,004	НВ	0,0002	
	Кумулос ДФ, ВГ (Ф) сірка, 800	6,0	2 / листки	Борошниста роса	94,8	3–4	13	5	50,0	НВ	—	
3	Рожевий бутон / II—III декада квітня											
	Каліпсо 480 SC, КС (Ін.) тіаклопрід, 480	0,3	1 / суцвіття, листки	Листовійки, оленка волохата, моші	97,8	3–4	16	5	0,1	НВ	5,8×10 ^{−14}	

Продовження табл. 2

№ з/п	Назва препарату (призначення) вміст діючої речовини, г/л, кг	Норма витрати, г, кг, л/га	Максимальна кількість обробок / назва ураженого органу	Об'єкт, проти якого проводиться обробка	Технічна ефективність, %	T _{50+0,5*} діб*	T _{95+2,0*} діб**	Сп	МДР, мг/кг	Вміст в урожаї, мг/кг	
										експ.***	розрах.***
	Хорус 75 WG, ВГ (Ф) ципродиніл, 750	0,2	4 / листки	Парша, борошниста роса	95,0	4–5	20	4	0,05	НВ	4,2×10 ⁻¹⁰
	Скала 400 SC, КС (Ф) піриметаніл, 400	0,8	3 / листки	Парша, борошниста роса	95,0	4–5	17	5	0,2	НВ	7,3×10 ⁻¹¹
	Делан, ВГ (Ф) дітіанон, 700	0,5	3 / листки	Парша	95,0	3–4	17	5	0,004	НВ	0,0002
4	Кінець цвітіння / III декада квітня — I декада травня										
	Пірінекс Супер, КЕ (ін.) хлорпірифос, 400 біфентрин, 20	1,5	2 / листки, суцвіття	Плодожерка, молі, листовійки, попелиці	96,6	7–8 9–10	30 43	3 3 3	0,5 0,2	НВ НВ	1,3×10 ⁻⁶ 0,0006
	Ніссоран, ЗП (ін.) гексипазокс, 100	0,5	1 / листки	Кліщі	96,0	8–9	38	5	0,1	НВ	6,1×10 ⁻⁶
5	Формування плодів / I–III декада травня										
	Малвін 80, ВГ (Ф) каптан, 800	2,0	3 / листки	Парша	90,5	3–4	16	5	3,0	НВ	1,6×10 ⁻⁷
	Флінт Стар 520 SC, КС (Ф) трифлуксіетробін, 120 піриметаніл, 400	0,5	3 / листки	Парша, борошниста роса	90,5	4–5 3–4	20 17	4,8 4 5	0,1 0,2	НВ НВ	0,0008 0,0003

Продовження табл. 2

№ з/п	Назва препарату (призначення) вміст діючої речовини, г/л, кг	Норма витрати, г, кг, л/га	Максимальна кількість обробок / назва ураженого органу	Об'єкт, проти якого проводиться обробка	Технічна ефективність, %	T _{50±0,5*} діб*	T _{95±2,0*} діб**	Сп	МДР, мг/кг	Вміст в урожаї, мг/кг	
										експ.***	розрах.****
6	Ріст плодів (плід розміром ліщини) / III декада травня — I декада черня										
	Актара 25 WG, ВГ (ін.) тіаметоксам, 250	0,14	2 / листки	Попелиці, моли, листовійки, плодожерка	96,9	4—5	14	5	0,1	НВ	8,9×10 ⁻¹²
	Антракол, 70 WP, ЗП (Ф) пропінеб, 700	2,0	3 / листки	Парша	93,4	4—5	18	6	0,05	НВ	4,8×10 ⁻⁸
7	Ріст плодів (плід розміром волоссяного горіха) / II—III декада черня										
	Енвідор 240 SC, КС (ін.) спіродиклофен, 240	0,5	2 / листки	Кліщі	97,5	3—4	13	6	0,2	НВ	4,1×10 ⁻¹⁰
	Кораген 20, КС (ін.) хлорантранліпрол, 200	0,2	2 / листки, плоди	Плодожерка, листовійки, моли	96,8	3—4	22	6	0,5	НВ	4,9×10 ⁻⁷
	Скор 250 ЕС, КЕ (Ф) дифеноконазол, 250	0,2	4 / листки	Парша, борошниста роса	94,2	3—4	14	5	0,1	НВ	7,8×10 ⁻¹⁰
8	Ріст плодів / I—II декада липня										
	Кораген 20, КС (ін.) хлорантранліпрол, 200	0,2	2 / листки, плоди	Плодожерка, листовійки	95,4	3—4	22	6	0,5	НВ	4,9×10 ⁻⁷

Продовження табл. 2

№ з/п	Назва препарату (призначення) вміст діючої речовини, г/л, кг	Норма витрати, г, кг, л/га	Максимальна кількість обробок / назва ураженого органу	Об'єкт, проти якого проводиться обробка	Технічна ефективність, %	T _{50±0,5°} діб*	T _{95±2,0°} діб**	Сп	МДР, мг/кг	Вміст в урожаї, мг/кг	
										експ. ***	розрах. ****
	Канонір Дуо, КС (Ін.)	0,1	1 / листки, плоди	Листовійки, плодожерки, попелиці	95,4	3—4 7—8	15 30	4,8 5 4	0,03 0,07	НВ НВ	6,1×10 ⁻⁵ 2,2×10 ⁻⁷
	імдаклопрід, 300										
	лямбда-цигалотрин, 100										
	Малвін 80, ВГ (Ф)	2,0	3 / листки	Парша	96,5	3—4	16	5	3,0	НВ	1,6×10 ⁻⁷
	каптан, 800										
9	Ріст плодів / II—III декада липня										
	Нурел Д, КЕ (Ін.)	1,0	2 / листки, плоди	Листовійки, плодожерки, попелиці, молі	97,0	7—8 4—5	30 25	3,3 3 4	0,5 0,01	НВ НВ	0,005 0,0001
	хлорпірифос, 500										
	циперметрин, 50										
	Луна Сенсейшн 500 SC, КС (Ф)	0,35	2 / листки, плоди	Парша, борошніста роса, моніліоз	94,5	4—5 3—4	20 15	4,5 4 5	0,1 0,5	НВ НВ	9,6×10 ⁻⁶ 1,4×10 ⁻⁷
	трифлоріастробін, 250										
	флуопірам, 250										
10	Ріст плодів / I декада серпня										
	Кораген 20, КС (Ін.)	0,2	2 / листки, плоди	Плодожерки, листовійки	94,1	3—4	22	6	0,5	НВ	4,9×10 ⁻⁷
	хлорантраніліпрол, 200										
	Пенкоцеб, ЗП(Ф)	2,0	5 / листки, плоди	Парша, моніліоз	94,6	3—4	15	6	0,04	НВ	3,1×10 ⁻⁵
манкоцеб, 800											

Закінчення табл. 2

№ з/п	Назва препарату (призначення) вміст діючої речовини, г/л, кг	Норма витрати, г, кг, л/га	Макси- мальна кількість обробок / назва ураженого органу	Об'єкт, проти якого проводиться обробка	Технічна ефективність, %	T _{50±0,5*} дів**	T _{95±2,0*} дів**	Сн	МДР, мг/кг	Вміст в урожаї, мг/кг	
										експ. ***	розрах. ****
11	Ріст плодів / II декада серпня										
	Моспілан, ВП (Ін.) ацетаміпрід, 200	0,2	2 / листки, плоди	Плодожерки, листовійки	96,0	3—4	14	5	0,05	НВ	1,2×10 ⁻⁷
	Полірам ДФ, ВГ (Ф) метирам, 700	2,5	2 / листки, плоди	Парша	95,3	4—5	20	5	0,02	НВ	0,009
12	Дозрівання плодів / III декада серпня — I декада вересня										
	Топсін-М, ЗП (Ф) тіофанат-метил, 700	2,0	3 / листки, плоди	Парша	95,1	4—5	20	5	0,5	НВ	0,08
Примітки: * — тривалість захисної дії; ** — строк останньої обробки до збирання врожаю, *** — експериментальний; **** — розрахунковий; НВ — не виявлено											

3. Економічна ефективність та урожайність хімічної системи захисту яблуні від шкідливих організмів
(яблуневий сад, СФГ «Бояни-Глинця», 2018–2020 рр.)

Показник	2018		2019		2020	
	Контроль	Хімічна система захисту	Контроль	Хімічна система захисту	Контроль	Хімічна система захисту
Вартість системи та витрати, пов'язані з її застосуванням, грн/га	—	25179,20	—	26916,40	—	27678,70
Урожайність, т/га:	16,10	27,40	15,80	25,90	15,90	27,10
у т.ч. I сорт, %	15,62	67,52	20,53	63,32	22,64	61,99
II сорт, %	40,13	25,55	38,14	26,25	35,04	27,31
нестандарт, %	44,25	6,93	41,33	10,42	42,32	10,70
Прибуток, грн/га	16628,08	42488,52	38995,66	92250,10	20788,93	63189,30
Рівень рентабельності, %	28,1	32,4	58,9	76,5	27,3	44,5

кліматичні умови, характерні для Лісостепу, характерні і для передгірської частини регіону. Агроекотоксикологічний індекс для досліджуваних систем є мало небезпечним і не перевищує 0,844 за застосування інтенсивної хімічної системи в умовах, коли $I_{\text{зон}} = 0,5$ (рис. 4).

Показник сезонного навантаження пестицидів (ΣH) для інтенсивної хімічної системи становив 29,5 кг/га, в той час як для удосконаленої — 10,5 кг/га, що є значно меншим показником. Середньозважений ступінь небезпеки (Q) в системі інтенсивного хімічного захисту становив 5,0, а для удосконаленої системи — 4,9, а це означає, що ці системи є помірно небезпечними. Агроекотоксикологічний індекс для розглянутих варіантів був меншим 1, тобто всі системи захисту є малонебезпечними та не приводять до забруднення екосистеми. Для інтенсивної системи хімічного захисту цей показник становив від 0,298 до 0,844, для удосконаленої — від 0,015 до 0,038.

Дослідження проводили в рамках ПНД 12 «Наукові основи сучасних технологій прогнозу і управління фітосанітарним станом агроценозів» («Захист рослин»); № ДР 0116U003542 та № ДР 0119U001156.

ВИСНОВКИ

На основі співвимірювання пестицидного навантаження зі здатністю агроценозу до самоочищення розроблено модель екологічно-безпечного захисту яблуневого саду від комплексу шкідливих організмів, яка адаптована до ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фітосанітарного стану Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України.

За результатами досліджень швидкість детоксикації пестицидів у листках та плодах яблуні залежить від їхніх фізико-хімічних властивостей та корелює з полярністю сполук. Здійснено класифікацію пестицидів, що застосовуються для контролю комплексу шкідників та хвороб в агроценозі яблуні, та показано, що сучасний асортимент дає змогу розробити системи захисту, для яких середньозважений ступінь небезпеки $Q=5$.

Розроблено модель граничного пестицидного навантаження на яблуневий агроценоз, за якого АЕТІ не перевищує 1.

Дослідження та розрахунки свідчать, що проведення хімічного захисту яблуні є економічно виправданим. В умовах 2018—2020 рр. прибуток становив від 40—100 тис. грн/га, за рентабельності 32,4—76,5%.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Стратегія і тактика захисту рослин*. т. 1: Стратегія ; за ред. В.П. Федоренка. Київ: Альфа-стевія, 2012. 500 с.

2. Васильев В.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.И. Интегральная классификация пестицидов по степени опасности загрязнения, создаваемого их применением, и оценка опасности загрязнения окружающей среды. *Агрохимия*. 1989. № 6. С. 97—102.

3. Möhring N., Bozzola M., Hirsch S., Finger R. Are pesticides risk decreasing? The relevance of pesticide indicator choice in empirical analysis. *Agricultural Economics*. 2020. V. 51. P. 429—444. <https://doi.org/10.1111/agec.12563>

4. Piwowar A. The use of pesticides in Polish agriculture after integrated pest management (IPM) implementation. *Environmental Science and Pollution Research* 2021. V. 28. P. 26628—26642. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12283-w>

5. Lee R., den Uyl R., Runhaar H. Assessment of policy instruments for pesticide use reduction in Europe; Learning from a systematic literature review. *Crop Protection*. 2019, V. 126. 104929, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104929>

6. Gill H., Garg H. Pesticides: Environmental impacts and management strategies. In: *Pesticides — Toxic Aspects*. 2014. P. 188—230. ISBN: 978-953-51-1217-4 <https://doi.org/10.5772/57399> URL: <https://www.intechopen.com/chapters/46083>

7. Kudsk P., Jørgensen L.N., Ørum, J.E. Pesticide Load — A new Danish pesti-

cide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*. 2018. V. 70. P. 384—393. doi:10.1016/j.landusepol.2017.11.010

8. Cross P. Pesticide hazard trends in orchard fruit production in Great Britain from 1992 to 2008: a time-series analysis. *Pest Manag. Sci.* 2012. V. 69. P. 768—774. <https://doi.org/10.1002/ps.3436>

9. Biddinger D.J., Leslie T.W., Joshi N.K. Reduced-risk pest management programmes for Eastern US peach orchards: effects of arthropod predators, parasitoids and select pest. *J. Econ. Entomol.* 2014. V. 107. P. 1084—1091. <https://doi.org/10.1603/EC13441>

10. Tillie P., Dillen K., Rodríguez-Cerezo E. Modelling ex-ante the economic and environmental impacts of genetically modified herbicide tolerant maize cultivation in Europe. *Agric. Syst.* 2014. V. 127. P. 150—160. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.004>

11. Strassmeyer J., Daehmlow D., Dominic A.R. et al. SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop Prot.* 2017. V. 97. P. 28—44. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.036>

12. Lindahl A.M.L., Bockstaller C. An indicator of pesticide leaching to groundwater. *Ecological Indicators*. 2012. V. 23. P. 95—108. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.014>

13. Pierlot F., Marks-Perreau J., Réal B. et al. Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination. *Science of The Total Environment*. 2017. V. 605—606. P. 655—665. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.112

14. Cochran R.C., Ross J.H. A method for quantitative risk appraisal for pesticide risk assessments. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Part A. 2016. V. 80, N 1. P. 1—17. doi:10.1080/15287394.2016.1224747

15. Schmolke A., Roy C., Brain R., Forbes V. Adapting Population Models for Application in Pesticide Risk Assessment: A Case Study with Mead's Milkweed: Plant population models for pesticide risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2018. V. 37, N 8. P. 2235—2245. 10.1002/etc.4172.

16. Arora S. Techniques for pesticide risk assessment. In: Pesticide risk assessment. New Delhi: ICAR, 2019. ISBN 9781780646336. doi:10.1079/9781780646336.0181

17. Köck-Schulmeyer M., Ginebreda A., González S. et al. Analysis of the occurrence and risk assessment of polar pesticides in the Llobregat River Basin (NE Spain). *Chemosphere*. 2019. V. 86. P. 8—16. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.034>

18. De Souza R.M., Seibert D., Quesada H.B. et al. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. V. 135. P. 22—37. doi:10.1016/j.psep.2019.12.035

19. He J., Wu W.-Z., Kong D.-Y et al. Application of pesticide risk assessment techniques to pesticide pollution control. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 2016. V. 32. P. 1008—1011. doi:10.11934/j.issn.1673-4831.2016.06.022

20. Zhan Yu, Zhang M. Pesticide Use Risk Evaluation (PURE), a Self-Evaluation Tool of Pesticide Use. In: Managing and Analyzing Pesticide Use Data for Pest Management, Environmental Monitoring, Public Health, and Public Policy. 2018. P. 517—534. DOI: 10.1021/bk-2018-1283

21. Oliver D., Kookana R., Anderson J. et al. Field evaluation of two risk indicators for predicting likelihood of pesticide transport to surface water from two orchards. *The Science of the total environment*. 2016. V. 571. 819—825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.056>

22. Lamichhane J.R. Pesticide Use and Risk Reduction in European Farming Systems with IPM. *Crop Protection*. 2017. V. 97. P. 1—6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.017>

23. Durand-Réville J. Pesticide risk: prevention and reconciliation. *Environnement Risques Santé*. 2020. V. 19. P. 127—131. DOI : 10.1684/ers.2020.1407

24. Черній А.М. Проблеми фітосанітарного оздоровлення агроєкосистеми плодового саду. *Захист і карантин рослин*. 2014. № 60. С. 482—502.

25. Ретьман С.В., Борзих О.І., Кислих Т.М. та ін. Реєстраційні випробування фунгіцидів у сільському господарстві. Т. 2. ; за ред. С.В. Ретьмана. Київ: Колобіг, 2014. 352 с.

26. Шевчук І.В., Гриник І.В., Каленич Ф.С. та ін. Агроєкологічні системи інтегрованого захисту плодів і ягідних культур від шкідників і хвороб. Рекомендації. Київ: ПП Санспарель, 2021, 188 с.

27. Крук І.В. Агрокліматичне та екотоксикологічне районування території України щодо вирощування ріпаку. *Агроєкологічний журнал*. 2012. № 3. С. 67—70.

28. Секун М.П., Жеребко В.М., Лана О.М. та ін. Довідник із пестицидів. Київ: Колобіг, 2007. 360 с.

¹Борзих А.И., ¹Бублик Л.И., ¹Гаврилюк Л.Л.,

¹Шевчук О.В., ²Гунчак М.В.

¹Інститут захисту рослин НААН, ул. Васильковская, 33, г. Киев, 03022, Украина, e-mail: phytoppi@ukr.net

²Украинская научно-исследовательская станция карантина растений Института защиты растений НААН, ул. Научная, 1, с. Бояны Черновицкой обл., 60321, Украина, e-mail: gunchak00@ukr.net

**Екотоксикологічні параметри безпечної застосування
і адаптації хімічних систем захисту яблони від шкідливих організмів**

к почвенно-климатическим условиям Предкарпатской провинции Карпатской горной зоны Украины

Цель. Экотоксикологические и экономические обоснования химических систем защиты яблони от вредных организмов, их оптимизация и адаптация к погоднo-климатическим условиям и фитосанитарному состоянию яблоневого агроценоза в Предкарпатской провинции Карпатской горной зоны Украины. **Методы.** Фитосанитарный мониторинг проводили визуально и с помощью феромонных ловушек. Классификацию пестицидов по полярности, определение остатков, изучение процессов детоксикации пестицидов в яблоневом агроценозе проводили с использованием физико-химических методов анализа по официально утвержденным методикам. Степень опасности применения пестицидов оценивали по интегральной 7-ступенчатой шкале, риск — по агроэкотоксикологическому индексу (АЭТИ). **Результаты.** Определены экотоксикологические характеристики пестицидов современного ассортимента, применяемых для защиты яблони от вредителей и болезней: величина дипольного момента (μ), константа скорости распада (частей в сутки), период полу- и полного распада (T_{50} и T_{95} , суток) в яблоневом агроценозе. Осуществлена классификация по степени опасности их применения. Наиболее опасны неполярные соединения 1—3 степени опасности и частично малополярные 4 степени, которые относятся к I и II классам опасности по токсичности ($ЛД_{50}$) или устойчивости (k). По данным мониторинга фитосанитарного состояния и пестицидов в яблоневом агроценозе в 2015—2020 гг. разработаны научно-методологические параметры экологически безопасных ($АЭТИ < 1$) и экономически эффективных систем химической защиты яблони, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Предкарпатской провинции Карпатской горной зоны Украины — интенсивной химической и усовершенствованной химической. **Выводы.** На основе соизмерения пестицидной нагрузки со способностью агроценоза к самоочищению разработана модель экологически безопасной защиты яблоневого сада от комплекса вредных организмов, которая адаптирована к почвенно-климатическим условиям и особенностям фитосанитарного состояния Предкарпатской провинции Карпатской горной зоны Украины. По результатам исследований скорость детоксикации пестицидов в листьях и плодах яблони зависит от их физико-химических свойств и коррелирует с полярностью соединений. Осуществлена классификация пестицидов, применяемых для контроля комплекса вредителей и болезней в агроценозах яблони и показано, что современный их ассортимент позволяет разработать системы защиты, для которых средневзвешенная степень опасности находится на уровне $Q = 5$. Разработана модель предельной пестицидной нагрузки на яблоневый агроценоз, при которой АЭТИ не превышает 1. Исследования и рас-

четы показывают, что проведение химической защиты яблони является экологически и экономически оправданным. В условиях 2018–2020 гг. прибыль была на уровне от 40 000 до 100 000 грн/га при рентабельности 32,4–76,5%.

зональные химические системы защиты; яблоня; фитосанитарное состояние; пестициды; полярность; устойчивость; опасность; химические системы защиты; экотоксикологические нормативы и регламенты

¹Borzykh O., ¹Bublyk L., ¹Gavrylyuk L.,
¹Shevchuk O., ²Hunchak M.

¹Institute of Plant Protection of NAAS, 33, Vasytkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: phytoppi@ukr.net

²Ukrainian Research Plant Quarantine Station of Institute of Plant Protection of NAAS, 1, Naukova str., Boyany, Chernivtsi region, 60321, Ukraine, e-mail: gunchak00@ukr.net

Ecotoxicological parameters of safe application and adaptation of chemical protection systems against harmful organisms in apple orchards to the soil and climatic conditions of the Precarpathian province of Carpathian mountain zone of Ukraine

Goal. *Ecotoxicological and economic substantiation of chemical systems of apple protection against harmful organisms, their optimization and adaptation to weather and phytosanitary conditions of apple agroecosystem in the Precarpathian province of the Carpathian mountain zone of Ukraine.* **Methods.** *Phytosanitary monitoring was performed visually and using pheromone traps. Classification of pesticides by polarity, determination of residues, study of pesticide detoxification processes in the apple agroecosystem were performed using physico-chemical methods of analysis according to officially approved methods. The degree of hazard of pesticides was assessed by an integrated 7-point scale, the risk — by agroecotoxicological index (AETI).* **Results.** *The ecotoxicological characteristics of pesticides of modern assortment used to protect apple trees from pests and diseases were determined: the value of the dipole moment (μ), the detoxication rate constant (parts per day), the period of semi- and complete decomposition (T_{50} and T_{95} , days) in the apple agroecosystem, the classification according to the degree of hazard of their use was carried out. The most dangerous are non-polar compounds of 1–3 degrees of hazard and partially low-polar of 4 degree, which belong to the I and II class of danger in terms of toxicity (LD_{50}) or persistence (k). According to the monitoring of phytosanitary conditions and pesticides in the apple agroecosystem in 2015–2020, scientific and methodological parameters of ecologically safe ($AETI < 1$) and cost-effective systems of chemical protection of apple adapted*

to soil and climatic conditions of the Precarpathian province of the Carpathian mountain zone of Ukraine were developed: chemical, advanced chemical. **Conclusions.** Based on the co-measurement of pesticide load with the ability of agrocenosis to self-cleaning, a model of ecologically safe protection of apple orchard from a complex of pests which is adapted to soil and climatic conditions and phytosanitary conditions of Precarpathian province of Carpathian mountain zone of Ukraine was developed. According to research, the rate of detoxification of pesticides in the leaves and fruits of apple depends on their physicochemical properties and correlates with the polarity of the compounds. The classification of pesticides used to control the complex of pests and diseases in the apple agrocenosis was shown. It was shown that modern assortment of pesticides allows to develop protection systems with weighted average degree of hazard at the level $Q=5$. A model of the maximum pesticide load on the apple agrocenosis, in which the AETI does not exceed 1, has been developed. Investigations and calculations showed that the chemical protection of apple is ecologically and economically viable. In the conditions of 2018–2020, the profit was at the level from forty thousands to ten thousands UAH/ha, with a profitability of 32.4–76.5%.

zonal chemical protection systems; apple; phytosanitary condition; pesticides; polarity; resistance; hazard; chemical protection systems; ecotoxicological norms and regulations

REFERENCES

1. Fedorenko V.P. (Ed). (2012). *Stratehiia i taktyka zakhystu roslyn*. T. 1: *Stratehiia*. [Strategy and tactics of plant protection. Vol. 1: Strategy]. Kyiv: Alfa-steviia. 500 p. (in Ukrainian).
2. Vasil'yev V.P., Kavetskiy V.N., Bublik L.I. (1989). Integral'naya klassifikatsiya pestitsidov po stepeni opasnosti zagryazneniya sozdavayemogo ikh primeneniym i otsenka opasnosti zagryazneniya okruzhayushchey sredy. [Integral classification of pesticides according to the degree of pollution hazard created by their use and assessment of the hazard of environmental pollution]. *Agrokimiya*. [Agrochemistry]. № 6. 97–102. (in Russian).
3. Möhring N., Bozzola M., Hirsch S., Finger R. (2020). Are pesticides risk decreasing? The relevance of pesticide indicator choice in empirical analysis. *Agricultural Economics*. 51. 429–444. <https://doi.org/10.1111/agec.12563>
4. Piwowar A. (2021). The use of pesticides in Polish agriculture after integrated pest management (IPM) implementation. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 26628–26642. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12283-w>
5. Lee R., den Uyl R., Runhaar H. (2019). Assessment of policy instruments for pesticide use reduction in Europe; Learning from a systematic literature review. *Crop Protection*. 126. 104929. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104929>

6. Gill H., Garg H. (2014). Pesticides: Environmental impacts and management strategies. In: *Pesticides — Toxic Aspects*. 188—230. ISBN: 978-953-51-1217-4. <https://doi.org/10.5772/57399> Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/46083>
7. Kudsk P., Jørgensen L. N., Ørum, J.E. (2018). Pesticide Load-A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*. 70. 384—393. doi:10.1016/j.landusepol.2017.11.010
8. Cross P. (2012). Pesticide hazard trends in orchard fruit production in Great Britain from 1992 to 2008: a time-series analysis. *Pest Manag. Sci.* 69, 768—774. <https://doi.org/10.1002/ps.3436>
9. Biddinger D.J., Leslie T.W., Joshi N.K. (2014). Reduced-risk pest management programmes for Eastern US peach orchards: effects of arthropod predators, parasitoids and select pest. *J. Econ. Entomol.* 107/ 1084—1091. <https://doi.org/10.1603/EC13441>
10. Tillie P., Dillen K., Rodríguez-Cerezo E. (2014). Modelling ex-ante the economic and environmental impacts of genetically modified herbicide tolerant maize cultivation in Europe. *Agric. Syst.* 127. 150—160. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.004>
11. Strassemeyer J., Daehmlow D., Dominic A.R. et al. (2017). SYNOPS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop Prot.* 97. 28—44. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.036>
12. Lindahl A.M.L., Bockstaller C. (2012). An indicator of pesticide leaching to groundwater. *Ecol. Indicators*. 23. 95—108. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.014>
13. Pierlot F., Marks-Perreau J., Réal, B. et al. (2017). Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination. *Science of The Total Environment*. 605-606. 655-665. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.112
14. Cochran R.C., Ross J.H. (2016). A method for quantitative risk appraisal for pesticide risk assessments. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80(1). 1—17. doi:10.1080/15287394.2016.1224747
15. Schmolke A., Roy C., Brain R., Forbes V. (2018). Adapting Population Models for Application in Pesticide Risk Assessment: A Case Study with Mead's Milkweed: Plant population models for pesticide risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 37 (8). 2235—2245. <https://doi.org/10.1002/etc.4172>
16. Arora S. (2019). Techniques for pesticide risk assessment. In: *Pesticide risk assessment*. New Delhi: ICAR. ISBN 9781780646336. doi:10.1079/9781780646336.0181
17. Köck-Schulmeyer M., Ginebreda A., González S. et al. (2011). Analysis of the occurrence and risk assessment of polar pesticides in the Llobregat

River Basin (NE Spain). *Chemosphere*. 86. 8—16. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.034>

18. De Souza R. M., Seibert D., Quesada H. B. et al. (2020). Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 135, 22—37. doi:10.1016/j.psep.2019.12.035

19. He J., Wu W.-Z., Kong, D.-Y. et al. (2016). Application of pesticide risk assessment techniques to pesticide pollution control. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 32. 1008—1011. doi:10.11934/j.issn.1673-4831.2016.06.022

20. Zhan Yu, Zhang M. (2018). Pesticide Use Risk Evaluation (PURE), a Self-Evaluation Tool of Pesticide Use. In: *Managing and Analyzing Pesticide Use Data for Pest Management, Environmental Monitoring, Public Health, and Public Policy*. 517—534. DOI: 10.1021/bk-2018-1283

21. Oliver D., Kookana R., Anderson J. et al. (2016). Field evaluation of two risk indicators for predicting likelihood of pesticide transport to surface water from two orchards. *The Science of the total environment*. 571. 819—825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.056>

22. Lamichhane J.R. (2017). Pesticide Use and Risk Reduction in European Farming Systems with IPM. *Crop Protection*. 97, 1—6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.017>

23. Durand-Réville J. (2020). Pesticide risk: prevention and reconciliation. *Environnement Risques Santé*. 19. 127—131. DOI : 10.1684/ers.2020.1407

24. Chernii A.M. (2014) Problemy fitosanitarnoho ozdorovlennia ahroekosystemy plodovoho sadu. [Problems of phytosanitary improvement of agro-ecosystem of orchard]. *Zakhyst i karantyn roslyn*. [Plant protection and quarantine]. № 60. P. 482—502. (in Ukrainian).

25. Retman S.V., Borzykh O.I., Kyslykh T.M. et al. (S.V. Retman Ed.). (2014). Reiestratsiini vyprobuвання funhitsydiv u silskomu hospodarstvi. V.2. [Registration tests of fungicides in agriculture]. V. 2. Kyiv: Kolobih, 352 p. (in Ukrainian)

26. Shevchuk I.V., Hrynyk I.V., Kalenych F.S. et al. (2021) Ahroekologichni systemy intehrovanoho zakhystu plodovykh i yahidnykh kultur vid shkidnykiv i khvorob. [Agroecological systems of integrated protection of fruit and berry crops from pests and diseases]. Kyiv: PP Sansparel. 188 p. (in Ukrainian).

27. Kruk I.V. (2012). Ahroklimatychni ta ekotoksykologichne raionuvannia terytorii Ukrainy shchodo vyroshchuvannia ripaku. [Agroclimatic and ecotoxicological zoning of the territory of Ukraine for rapeseed cultivation]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. [Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics]. № 23. P. 67—70. (in Ukrainian).

28. Sekun M.P., Zhrebko V.M., Lapa O.M. et al. (2007). Handbook of pesticides. [Dovidnyk iz pestytsydiv]. Kyiv: Kolobih. 360 p. (in Ukrainian).

Надійшла 03.08.2021 p.