

**ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА НОВИХ ПЕСТИЦИДІВ
ДЛЯ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ ЗЕРНОВИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР**

Кориун М.М. <https://orcid.org/0000-0002-0204-8281>
Мартіянова Ю.В. <https://orcid.org/0000-0002-9609-2717>

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

ulia.martianova@gmail.com

Актуальність. Використання пестицидів у народному господарстві для знищення чи пригнічення росту шкідливих рослин та захисту сільськогосподарських культур від збудників хвороб передбачає обов'язкову оцінку їх еколого-гігієнічної небезпечності.

Ціль: оцінка небезпечності трьох нових пестицидів для захисту зернових злакових культур: амікарбазону з хімічного класу триазолонових сполук, біциклопірону з класу трикетонів і підіфлуметофену з класу карбоксамідів, за показниками екотоксичності та поведінки у довкіллі.

Матеріали та методи. Оцінку небезпечності досліджуваних пестицидів здійснили на підставі даних джерел інформації про їх фізико-хімічні властивості, параметри токсикометрії для різних видів живих організмів та поведінку у навколишньому середовищі. Для інтегральної оцінки потенційної небезпечності для наземних екосистем було розраховано екотокс з врахуванням токсичності для ссавців, персистентності та максимальної норми витрати. Для виявлення лімітуючої ланки міграції здійснено математичне моделювання в системах «грунт – вода», «грунт – рослини» та «грунт – атмосферне повітря».

Результати. Встановлено, що амікарбазон є надзвичайно токсичним для водоростей та високотоксичним для вищих водних рослин (ВВР) (I клас небезпечності), середньотоксичним (IV клас) для ссавців, слабботоксичним (III клас) для птахів, ґрунтової мезофауни та безхребетних, практично нетоксичним для бджіл та риб; біциклопірон – надзвичайно токсичний для ВВР (I клас) та середньотоксичний (II клас) для найбільш чутливих водоростей, слабботоксичний (III клас) для птахів, риб та безхребетних та практично нетоксичний для інших представників наземної фауни; підіфлуметофен є високотоксичним (I клас) для риб та безхребетних, середньотоксичним (II клас) як для водоростей, так і для ВВР, практично не токсичним для всієї наземної біоти. Доведено, що підіфлуметофен – високостійкий та мало мобільний у ґрунті; амікарбазон – стійкий та мобільний; біциклопірон – високостійкий в лабораторних експериментах та помірно стійкий в польових дослідах, його рухливість коливається у широкому діапазоні: від дуже мобільного до мало мобільного в окремих ґрунтах. Небезпечність для наземних біоценозів усіх досліджуваних пестицидів за різних ґрунтово-кліматичних умов є нижчою на (1-5) порядків у порівнянні з високостійким ДДТ; найнижчою є екотоксичність біциклопірону, найвищою – підіфлуметофену. Усі досліджувані речовини є високостійкими у воді. Провідною ланкою їх міграції у довкіллі є система «грунт – вода водоєм» та у разі підіфлуметофену – також «грунт – рослини».

Ключові слова: пестициди, екотоксичність, стабільність, міграція, оцінка небезпечності.

Актуальність. Серед різноманітних хімічних речовин, що застосовуються в народному господарстві, пестициди займають особливе місце, оскільки вони призначені для знищення та обмеження розвитку шкідливих живих організмів – бур'янів, комах, збудників хвороб рослин тощо. Саме таке цільове призначення робить хімічні засоби захисту рослин (ХЗЗР) потенційно небезпечними для здоров'я населення, стану довкілля, численних видів корисної флори та фауни. Ключовими поняттями в регулюванні обігу ХЗЗР є: безпека, під якою розуміють здатність пестициду чинити негативний вплив на здоров'я людини і навколишнє природне середовище, та ризик – ймовірність виникнення шкідливих для здоров'я і довкілля ефектів в реальних умовах виробництва або використання отрутохімікату. Тому в процесі державної реєстрації нових пестицидів, поряд з оцінкою ризиків для здоров'я людини, передбачена й обов'язкова оцінка їх еколого-гігієнічної небезпечності.

Ціль: оцінка небезпечності трьох нових пестицидів для захисту зернових злакових культур: амікарбазону з хімічного класу триазолонових сполук,

біциклопірону з класу трикетонів і підіфлуметофену з класу карбоксамідів, за показниками екотоксичності та поведінки у довкіллі.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об'єктами дослідження були токсичність для живих організмів (ссавців, птахів, бджіл, водних організмів тощо) та поведінка у навколишньому середовищі (стійкість у ґрунті та воді, рухливість в системі «грунт – суміжні середовища», біоаккумуляція) досліджуваних пестицидів. Оцінку небезпечності амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену здійснили на підставі даних джерел інформації про їх фізико-хімічні властивості, параметри токсикометрії для різних видів живих організмів і поведінку в ґрунті; встановлення класу небезпечності – згідно з міжнародними та національною класифікаціями.

Оскільки небезпечність отрутохімікатів для біоти пов'язана не лише з їх токсичністю для живих організмів, а й з їх персистентністю у довкіллі та нормами витрати у сільському господарстві, для оцінки ризи-

ку шкідливого впливу усіх досліджуваних речовин на наземні біоценози визначили їх екотоксичність (екотокс) за методикою [1]. При цьому врахували мінімальний та максимальний періоди напівруйнування (DT_{50}) речовини у різних ґрунтах в лабораторних та польових умовах, найменшу середню смертельну дозу (LD_{50}) за перорального надходження речовини в організм білих щурів та максимальну норму витрати з врахуванням регламентованої кратності обробок (амікарбазону – 0,14 кг/га, біциклопірону – 0,15 кг/га, підіфлуметофену – 0,36 кг/га). Екотокс дозволяє порівняти екотоксичність досліджуваної речовини та високостійкого хлороорганічного інсектициду дихлордифенілтрихлорметилметану (ДДТ), екотоксикологічну небезпечність якого, при персистентності – 312 тижнів, LD_{50} – 300 мг/кг і нормі витрати – 1 кг/га, прийнято за одиницю екотоксу.

Прогнозування лімітуючої ланки міграції досліджуваних пестицидів з ґрунту в суміжні середовища здійснили шляхом математичного моделювання міграції в системах «ґрунт – вода» та «ґрунт – рослини» у відповідності до рівнянь, наведених у [2–5]. Для моделювання процесу міграції з ґрунту в атмосферне повітря визначили максимально досягнути концентрацію кожної сполуки в повітрі за рівнянням Менделєєва-Клапейрона [6], враховуючи молярну масу речовини (мг/моль) та тиск її насиченої пари (мм рт. ст.).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За механізмом дії на шкідливі організми гербіциди амікарбазон та біциклопірон належать до інгібіторів фотосинтезу та 4-гідроксифенілпіруват-діоксигенази рослин, відповідно, фунгіцид підіфлуметофен – до інгібіторів сукцинатдегідрогенази фітопатогенів [7]. Препарати на основі амікарбазону та біциклопірону рекомендовані для захисту посівів кукурудзи; для інших сільськогосподарських культур вони фітотоксичні. Препарати на основі підіфлуметофену запропоновані для боротьби із хворобами хлібних зернових (пшениці та ячменю озимих та ярих) та зернобобових (соя) культур.

Модельним видом тварин при оцінці небезпечності пестицидів для ссавців є щури, оціночним критерієм – LD_{50} при введенні у шлунок, за якою пестициди поділяють на надзвичайно токсичні (I клас небезпечності, $LD_{50} \leq 5$ мг/кг), дуже високотоксичні (II клас, $> 5 - 50$), високотоксичні (III клас, $> 50 - 300$), середньотоксичні (IV клас, $> 300 - 2000$), слаботоксичні (V клас, $> 2000 - 5000$) та практично нетоксичні (> 5000) [8]. Встановлено (табл. 1), що амікарбазон є середньотоксичним (IV клас), біциклопірон та підіфлуметофен – практично нетоксичні для ссавців.

Небезпечність ХЗЗР оцінюють: для птахів – за LD_{50} для представницького тестового виду – віргінської перепелиці (*Colinus virginianus*) [13]; для корисних комах – за контактною токсичністю для тестового виду – медоносних бджіл (*Apis mellifera*) [13]; для ґрунтової мезофауни – за середньою смертельною концентрацією (LC_{50}) для тестового виду – дощових черв'яків (*Eisenia foetida*) [14]. За гострою токсичністю для птахів, бджіл та дощових черв'яків пестициди поділяють на 5 класів токсичності і 3 класи небезпечності (табл. 2).

Дані, представлені у таблиці 1, дозволяють віднести амікарбазон та біциклопірон за гострою токсичністю для птахів до слаботоксичних (III клас), підіфлуметофен – до практично нетоксичних пестицидів. Усі досліджувані речовини за контактною токсичністю для бджіл є практично нетоксичними. Для ґрунтової мезофауни амікарбазон є слаботоксичним (III клас), підіфлуметофен та біциклопірон – практично нетоксичними пестицидами.

Інтегральна оцінка екотоксикологічної небезпечності за методикою [1] показала, що за різних ґрунтово-кліматичних умов екотоксикологічних досліджуваних пестицидів є нижчим на (1-5) порядків у порівнянні з ДДТ; найнижчою є екотоксичність біциклопірону, найвищою – підіфлуметофену, що зумовлено його надповільною деградацією у довкіллі (табл. 3). До того ж, екотоксикологічних досліджуваних пестицидів біциклопірону та амікарбазону, визначені з урахуванням найвищої персистентності у ґрунті в польових дослідженнях,

Таблиця 1

Параметри токсичності досліджуваних пестицидів для наземних організмів

Діюча речовина	Джерело інформації	Ссавці, LD_{50} , мг/кг	Птахи, LD_{50} , мг/кг	Медоносні бджоли, LD_{50} , мкг/бджолу	Дощові черви, LC_{50} , мг/кг
Амікарбазон	[7]	1015	1965	–	–
	[9]	≈1200	> 2000	> 200	931
Біциклопірон	[7]	> 5000	–	780	–
	[10]	> 5000	1206	>200	> 1000
Підіфлуметофен	[7]	> 500	3776	–	> 1000
	[11]	> 5000	–	>100	–
	[12]	> 5000	3776	–	–

Примітка: Знак «–» означає відсутність інформації.

Таблиця 2

Класифікація пестицидів за гострою токсичністю для птахів [13], медоносних бджіл [13], дощових черв'як [14] та водних організмів [18]

Клас небезпечності	Клас токсичності	Птахи, LD ₅₀ , мг/кг	Медоносні бджоли, LD ₅₀ , мкг/бджолу	Дощові черви, LC ₅₀ , мг/кг	Водні організми, LC ₅₀ /EC ₅₀ , мг/дм ³
I	Надзвичайно токсичні	≤ 10	≤ 0,1	≤ 1	≤ 0,1
	Високотоксичні	> 10-50	> 0,1-1	> 1-10	> 0,1-1
II	Середньотоксичні	> 50-500	> 1-10	> 10-100	> 1-10
III	Слаботоксичні	> 500-2000	> 10-100	> 100-1000	> 10-100
Не класифікується	Практично нетоксичні	> 2000	> 100	> 1000	> 100

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості та показники поведінки досліджуваних речовин у ґрунті та суміжних середовищах [7, 9-12, 16, 17]

Показник, одиниці вимірювання Амікарбазон		Діюча речовина		
		Біциклопірон	Підіфлуметофен	
Молекулярна маса		241,29	399,36	426,67
Період напівруйнування у ґрунті (DT ₅₀) min – max, доба	ЛУ	14-87	19,8-434	84-4170
	ПУ	4-87	1,7-36	29-8540
Екотокс (E)*, у.о.	ЛУ	$\frac{2,76 \times 10^{-4}}{1,71 \times 10^{-3}}$	$\frac{8,48 \times 10^{-5}}{1,86 \times 10^{-3}}$	$\frac{8,64 \times 10^{-4}}{4,29 \times 10^{-2}}$
	ПУ	$\frac{7,88 \times 10^{-5}}{1,71 \times 10^{-3}}$	$\frac{7,28 \times 10^{-6}}{1,54 \times 10^{-4}}$	$\frac{2,95 \times 10^{-4}}{8,78 \times 10^{-2}}$
K _{oc} min – max, мл/г		16,7-44	6-500	1165-3808
Період напіврозпаду у воді (T ₅₀), доба	Гідроліз	64	>365	>365
	Система «вода-осад»	116	681	662
Тиск насиченої пари	мПа (при температурі, °С)	$3,0 \times 10^{-3}$ (25)	$25 \text{ C } 5 \times 10^{-3}$ (25)	$1,84 \times 10^{-4}$ (20)
	мм рт. ст.	$2,25 \times 10^{-8}$	$3,75 \times 10^{-8}$	$1,38 \times 10^{-9}$
Константа Генрі, Па·м ³ ·моль ⁻¹		$6,78 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-8}$	$1,05 \times 10^{-4}$

Примітки: 1. ЛУ – лабораторні умови, ПУ – польові умови; 2. * – результати власних розрахунків; в чисельнику – мінімальне значення, в знаменнику – максимальне значення.

були нижчими, ніж у гербіцидів попередніх поколінь: сим-триазинів (атразину, пропазину, симазину) та шестичленних гетероциклів (бентазону, метрибузину) [15].

Небезпечність досліджуваних пестицидів для водних організмів оцінена за гострою токсичністю [18]. Як критерії, використані: для риб – середня смертельна концентрація (LC₅₀) при 96-годинному впливі для райдувної форелі (*Oncorhynchus mykiss*); для безхребетних – концентрація, що пригнічує ріст *Daphnia magna* на 50 % (EC₅₀) за 48 годин; для водоростей – EC50 для зелених водоростей (*Pseudokirchneriella subcapitata*) при 72- або 96-годинній дії; для вищих водних рослин (ВВР) – концентрація, що пригнічує ріст біомаси ряски горбатой (*Lemna gibba*) на 50 % (EC50) за 7 діб. Класифікація наведена в таблиці 2.

Встановлено (табл. 4), що фунгіцид підіфлуметофен є найтоксичнішим для риб та безхребетних (I клас небезпечності); біциклопірон – слаботоксичний (III клас); амікарбазон для безхребетних – слаботоксичний (III клас), для риб – практично нетоксичний. Водночас для водоростей та ВВР небезпечнішими є гербіциди: амікарбазон – надзвичайно токсичний для водоростей та високотоксичний для ВВР (I клас); біциклопірон – надзвичайно токсичний для ВВР (I клас) та середньотоксичний (II клас) для найчутливіших водоростей; підіфлуметофен – середньотоксичний (II клас) і для водоростей, і для ВВР.

Основними процесами, що обумовлюють розподіл діючої речовини пестициду в довкіллі після його застосування, є: руйнування (деструкція), сорбція, вилуговування, випаровування, поглинання живими організмами.

Параметри токсичності досліджуваних пестицидів для водних організмів

Діяча речовина	Джерело інформації	Риби, LC50, мг/л	Безхребетні, EC50, мг/л	Водорості, EC50, мг/л	Вищі рослини, EC50, мг/л
Амікарбазон	[7]	> 120	> 40,8	–	0,21
	[9]	> 100	41	0,035	–
Біциклопірон	[7]	46,9	46,7	–	0,013
	[10]	93	>93,3	5,9-94,8	0,073
Підіфлуметофен	[7]	0,18	0,42	> 5,9	> 6,3
	[11]	0,18	<1	–	–
	[12]	0,18-0,66	0,42-4,65	1,5 - > 5,9	> 6,3

Примітка: Знак «–» означає відсутність інформації.

За даними, наведеними у таблиці 3, найвищу стабільність у різних ґрунтово-кліматичних умовах має підіфлуметофен, який є високостійким (I клас за ДСП 8.8.1.2.002-98 «Гігієнічна класифікація пестицидів за ступенем небезпечності» та класифікацію [7]) як в лабораторних, так і в натурних умовах. Найшвидше деградує у ґрунті амікарбазон, який, як в лабораторних, так і в польових дослідах, за класифікацію [7] можна віднести до помірно стійких (III клас) пестицидів, але за ДСП 8.8.1.2.002-98 – до високостійких (I клас небезпечності). Біциклопірон є високостійким (I клас за обома класифікаціями) в лабораторних експериментах та помірно стійким (III клас) – в польових дослідах.

Міграційну здатність досліджуваних пестицидів оцінювали за коефіцієнтом сорбції, скорегованим на вміст органічного вуглецю у ґрунті (Koc), згідно з класифікацію SSLRC (Soil Survey and Land Research Centre) [7]. Відповідно до даних, що наведені у таблиці 3, амікарбазон – мобільний (II клас); підіфлуметофен – маломобільний (IV клас), біциклопірон – залежно від типу ґрунту від дуже мобільний (I клас) до маломобільний (IV клас) в окремих ґрунтах.

За персистентністю у воді (табл. 3) усі три досліджувані пестициди є високостійкими (I клас небезпечності) як при гідролізі у нейтральному буферному розчині (рН 7, температура 20 °С), так і у системі «вода – осад», згідно як з ДСП 8.8.1.2.002-98, так і з класифікацією, що наведена у [7].

Важливою характеристикою пестициду з еколого-гігієнічних позицій є здатність поглинатися живими організмами із оточуючого середовища, яку оцінюють за коефіцієнтом біоаккумуляції (BCF – Bio-concentration factor). Останній являє собою відношення концентрації речовини в організмі до її концентрації назовні та визначається переважно для біоти водойм. Здатність до біоаккумуляції нових пестицидів, для яких ще не встановлено BCF, можна опосередковано оцінити за десятичним логарифмом коефіцієнту розподілу н-октанол-вода (log P). Якщо $\log P < 2,7$, то пестициду притаманний низький рі-

вень біоаккумуляції, тобто існує низька ймовірність перетинання речовиною біологічних мембран, тому її прямий чи опосередкований вплив на водні організми є мало ймовірним. Про помірний рівень біоаккумуляції свідчить $\log P$ в межах 2,7-3; про високий – $\log P > 3,0$ [7]. Виходячи з наведеного амікарбазону ($\log P = 1,23$) та біциклопірону ($\log P = -1,2$) притаманний низький рівень біоаккумуляції, підіфлуметофену ($\log P = 3,8$) – високий. Можливо, саме високий рівень біоаккумуляції (висока ліпофільність) є однією з передумов високої токсичності підіфлуметофену для риб та безхребетних.

Основними характеристиками, що визначають здатність пестицидів випаровуватися, є тиск насиченої пари та константа Генрі, яка є мірою летючості речовини з розбавлених водних розчинів, що близько до стану пестициду в реальних умовах застосування у сільському господарстві. За тиском насиченої пари та константою Генрі (табл. 3) усі досліджувані речовини є нелеткими, згідно з класифікацією, наведеною в [7].

Прогнозування лімітуючої ланки міграції амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену у системі «ґрунт – суміжні середовища» здійснили шляхом математичного моделювання за рівняннями регресії, які наведені у таблиці 5.

Рівняння (1)-(5) описують залежність між ГДК в ґрунті (ГДК_г), що встановлена за транслокаційним показником шкідливості, та мінімальною величиною МДР в продуктах харчування рослинного походження. Рівняння (6)-(9) описують залежність між ГДК_г, яка встановлена за лімітуючим водно-міграційним показником шкідливості, і ГДК у воді водойм (ГДК_{в.в.}). Оскільки при лімітуючому транслокаційному показнику шкідливості ГДК_г чисельно дорівнює пороговій концентрації, при якій міграція у товарні частини сільськогосподарських рослин не перевищить МДР, а при лімітуючому водно-міграційному показнику шкідливості ГДК_г чисельно дорівнює пороговій концентрації, при якій міграція у воду не перевищить ГДК_{в.в.}, то рівняння (1)-(5) і (6)-(9) можна

Рівняння регресії та результати розрахунків порогових концентрацій амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену в ґрунті

Формули	Джерело інформації	Амікарбазон	Біциклопірон	Підіфлуметофен
$Y = 1,23 + 0,48 \lg \text{МДР}$ (1)	[5]	0,41	0,41	0,27
$Y = 1,15 + 0,76 \lg \text{МДР}$ (2)	[3]	-0,14	-0,14	-0,37
$Y = 0,27 + 0,55 \text{МДР}$ (3)	[2]	0,28	0,28	0,28
$Y = 1,11 + 0,53 \lg \text{МДР}$ (4)	[2]	0,21	0,21	0,05
$Y = 1,29 \times \sqrt{\text{МДР}}$ (5)	[2]	0,18	0,18	0,13
$Y = 0,24 + 2,49 \text{ГДКв.в.}$ (6)	[2]	0,24	0,24	0,24
$Y = 1,02 + 0,31 \lg \text{ГДКв.в.}$ (7)	[2]	0,18	0,02	0,18
$Y = 2,28 \times \sqrt{\text{ГДКв.в.}}$ (8)	[2]	0,10	0,06	0,10
$Y = 0,568 + 0,084 \ln \text{ГДКв.в.}$ (9)	[4]	0,05	-0,06	0,05

Примітка. *Y* – порогові концентрації у ґрунті, мг/кг; МДР – мінімальна величина МДР в продуктах харчування, мг/кг: амікарбазону – 0,02, біциклопірону – 0,02, підіфлуметофену – 0,01; ГДКв.в. – ГДК у воді водойм, мг/дм³: амікарбазону – 0,002, біциклопірону – 0,0006, підіфлуметофену – 0,002.

використовувати як регресійні моделі процесів міграції в системах «ґрунт – рослини» та «ґрунт – вода водойм» відповідно.

Дані, які наведені у таблиці 5, свідчать, що значення, отримані за рівнянням (2) для усіх трьох досліджуваних сполук та за рівнянням (9) для біциклопірону, позбавлені сенсу. Згідно з принципом аградації, пороговою концентрацією в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості визнано найменше з 4 значень, отриманих за формулами (1) і (3)-(5): амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену – 0,18 мг/кг; 0,18 мг/кг та 0,05 мг/кг, відповідно; пороговою концентрацією за водно-міграційним показником шкідливості – найменше із значень, отриманих за формулами (6)-(9): амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену – 0,05 мг/кг; 0,02 мг/кг і 0,05 мг/кг, відповідно.

Отже, транслокація досліджуваних речовин у товарні частини сільськогосподарських рослин не перевищить МДР при вмісті у ґрунті: амікарбазону – 0,18 мг/кг, біциклопірону – 0,18 мг/кг та підіфлуметофену – 0,05 мг/кг і нижче. Міграція у воду підземних та поверхневих водойм не перевищить ГДКв.в. при вмісті у ґрунті: амікарбазону – 0,05 мг/кг, біциклопірону – 0,02 мг/кг та підіфлуметофену – 0,05 мг/кг і нижче.

Моделювання процесу випаровування досліджуваних пестицидів з ґрунту в атмосферне повітря

здійснили шляхом розрахунку максимально досяжної концентрації речовини в повітрі за рівнянням Менделєєва-Клапейрона [6], врахувавши молекулярну масу і тиск насиченої пари кожної сполуки, які наведені у таблиці 3. Зауважимо, що насиченою називається пара, що знаходиться в рівновазі з рідиною або твердим тілом. Амікарбазон, біциклопірон та підіфлуметофен при температурі 20 °С або 25 °С є твердими речовинами, точка плавлення яких становить 137,5 °С; 65,3 °С та 113 °С, відповідно [7].

Результати розрахунків, які наведені у таблиці 6, свідчать, що максимально досяжні внаслідок випаровування концентрації досліджуваних речовин у повітрі значно нижчі за гігієнічні нормативи: амікарбазону – в 3,4 рази, ніж ОБРВ в атмосферному повітрі (ОБРВа.п.), і в 1724 рази, ніж ОБРВ в повітрі робочої зони (ОБРВп.р.з.); біциклопірону – в 1244 рази, ніж ОБРВп.р.з., підіфлуметофену – в 312,5 рази, ніж ОБРВа.п., і в 31250 рази, ніж ОБРВп.р.з.

Таким чином, максимально досяжні концентрації досліджуваних речовин в повітрі при температурі 25 °С (амікарбазон, біциклопірон) або 20 °С (підіфлуметофен) є значно нижчими, ніж ОБРВ в повітрі робочої зони (усі 3 сполуки) та атмосферному повітрі (амікарбазон, підіфлуметофен); максимально досяжна концентрація біциклопірону лише у 8 разів

Таблиця 6

Показники поведінки досліджуваних пестицидів в системі «ґрунт – повітря»

Показник, одиниці виміру	Діюча речовина		
	Амікарбазон	Біциклопірон	Підіфлуметофен
Максимально досяжна концентрація в повітрі, мг/м ³	2,9·10 ⁻⁴	8,04·10 ⁻⁴	3,2·10 ⁻⁵
ОБРВ в повітрі робочої зони, мг/м ³	0,5	1,0	1,0
ОБРВ в атмосферному повітрі, мг/м ³	0,001	0,0001	0,01

перевищувала ОБРВа.п.. Тому система «грунт – повітря» не є провідною ланкою міграції досліджуваних речовин у навколишньому середовищі. Оскільки порогові концентрації амікарбазону та біциклопірону у ґрунті за водно-міграційним показником шкідливості (0,05 мг/кг і 0,02 мг/кг, відповідно) менші, ніж за транслокаційним показником (0,18 мг/кг і 0,18 мг/кг), а порогові концентрації підіфлуметофену за обома показниками (0,05 мг/кг і 0,05 мг/кг) співпадають, то лімітуючою ланкою міграції усіх досліджуваних речовин є система «грунт – вода водойм» та у разі підіфлуметофену – ще й «грунт – рослини».

ВИСНОВКИ

1. За токсичністю для наземних організмів амікарбазон є середньотоксичним (IV клас небезпечності) для ссавців, слаботоксичним (III клас) для птахів та ґрунтової мезофауни, практично нетоксичним для бджіл; біциклопірон є слаботоксичним (III клас) для птахів та практично нетоксичним для інших представників наземної фауни; підіфлуметофен – практично нетоксичний для всієї наземної біоти.

2. Підіфлуметофен є високостійким у ґрунті (I клас небезпечності) при різних ґрунтово-кліматичних умовах; найшвидше деградує у ґрунті амікарбазон, який за міжнародною класифікацією є помірно стійким (III клас); біциклопірон є високостійким (I клас) в лабораторних експериментах та помірно стійким (III клас) – у польових дослідках.

3. Екотоксикологічна небезпечність (з урахуванням персистентності та максимальної норми витрати) усіх досліджуваних пестицидів за різних ґрунтово-кліматичних умов є нижчою на (1-5) порядків в порівнянні з ДДТ. До того ж, екотокси сучасних гербіцидів біциклопірону та амікарбазону були нижчими, ніж екотокси їх попередників з класів сим-триазинів (атразину, пропазину, симазину) та шестичленних гетероциклів (бентазону, метрибузину).

4. Усі досліджувані речовини є високостійкими (I клас небезпечності) у воді. Водночас, вплив амікарбазону та біциклопірону на водні організми є мало ймовірним, оскільки їм притаманний низький рівень біоаккумуляції, на відміну від підіфлуметофену, який вирізняється високою ліпофільністю.

5. Підіфлуметофен є високотоксичним (I клас небезпечності) для риб та безхребетних; біциклопірон – слаботоксичним (III клас); амікарбазон для риб практично не токсичний, для безхребетних – слаботоксичний (III клас). Для водоростей та вищих водяних рослин (ВВР) небезпечнішими є гербіциди: амікарбазон – надзвичайно токсичний для водоростей та високотоксичний для ВВР (I клас); біциклопірон – надзвичайно токсичний для ВВР (I клас) та середньотоксичний (II клас) для найчутливіших водоростей; підіфлуметофен є середньотоксичним (II клас) як для водоростей, так і для ВВР.

6. За рухливістю у ґрунті амікарбазон є мобільним (II клас), підіфлуметофен – мало мобільним (IV клас); рухливість біциклопірону коливається у широкому діапазоні: від дуже мобільний (I клас) до мало мобільний (IV клас) в окремих ґрунтах. За константою Генрі, усі досліджувані речовини є нелеткими. Встановлено, що провідною ланкою міграції у довкіллі амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену є система «грунт – вода водойм» та у разі підіфлуметофену – також «грунт – рослини».

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

- Melnikov NN. [To the question of soil pollution with organochlorine compounds]. *Agrokimiya*. 1996;10:72-4. [in Russian].
- [Methodology for the Calculation Hygienic Standardization of the Pesticides in Soil]. *Information Letter № 131-2005 on the Innovations in the System of Public Health / Ukrmedpatentinform*. Kyiv. 2005; 2. [in Ukrainian].
- [Methodical directions on the hygienic assessment of new pesticides: MD № 4263-87]. Kyiv. 1988; 210. [in Russian].
View at: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092699>
- Molozhanova EG, Petrashenko LP, Yurchenko TV, Kolontaeva NV. [Prospects in the Development of the Hygienic Standardization of the Chemical Anthropogenic Compounds in Soil]. In: [Hygiene of Settlements]. Kyiv. 2001;38(1):247-9. [in Russian].
View at: IRBIS: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=-JRN&P21DBN=JRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_a11&C21COM=S&S21CN-R=20&S21P01=0&S21P02=0&S21COLORTERMS=0&S21P03=I=&S21STR=%D0%9662201/2001\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=-JRN&P21DBN=JRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_a11&C21COM=S&S21CN-R=20&S21P01=0&S21P02=0&S21COLORTERMS=0&S21P03=I=&S21STR=%D0%9662201/2001$)
- [Temporary guidelines for the application of the calculation method for substantiating the tentatively permissible concentrations (TPC) of pesticides in the mail]. TG No. 2283-81. Moscow. 1982. [in Russian].
- Goncharuk EI, Sidorenko GI. [Hygienic Standardization of the Chemical Substances in Soil: Manual]. Moscow: Medicine. 1986;320. [in Russian].
- PPDB: Pesticide Properties Data Base. University of Hertfordshire. Version: July 2020.
View at: Publisher Site: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>
- OECD Guidelines for the testing of chemicals. Guideline 423. Acute oral toxicity – Acute toxic class method. OECD, Paris. 2001; 14.
View at: Publisher Site: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-423-acute-oral-toxicity-acute-toxic-class-method_9789264071001-en
- Public release summary on the evaluation of the new

- product Amitron 700WG Herbicide. 2018; 46.
View at: Publisher Site: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29506-amitron_700wg_herbicide_prs.pdf
10. Public release summary on the evaluation of the new active bicyclopiron in the product Talinor Herbicide. 2017; 54.
View at: Publisher Site: <https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/26736-prs-bicyclopiron-talinor-herbicide.pdf>
 11. Public release summary on the evaluation of pydiflumetofen in the product Miravis Fungicide. 2018; 58.
View at: Publisher Site: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29011-pydiflumetofen_draft_prs-final_.pdf
 12. European Commission. Pydiflumetofen. 2019; 1: 197.
View at: URL: <https://echa.europa.eu/documents/10162/4d8943f7-5028-4c59-7421-8938ff1ef9c3>
 13. Classification of hazards to the terrestrial environment. A review. Draft report to the UN sub-committee of experts on the GHS: terrestrial environmental hazards. Document ENV/JM/HCL (2008) 3, OECD, Paris. 2008; 42.
View at: URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2008/ac10c4/UN-SCEGHS-15-inf29e.pdf>
 14. OECD Guidelines for the testing of chemicals, Section 2. Test № 207: Earthworm, acute toxicity tests. OECD, Paris. 1984; 9.
View at: URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/1948293.pdf>
 15. Melnikov NN, Belan SR. [Comparative danger of soil contamination with herbicides – derivatives of simtriazines and some other six-membered heterocyclic compounds]. *Agrokhimiya*. 1997;2:66-7. [in Russian].
 16. Department of agriculture. Pydiflumetofen. New Active Ingredient Review. CAS 1228284-64-7; EPA PC CODE 090110. 2018. P. 1-2.
View at: URL: <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/inline-files/Pydiflumetofen.pdf>
 17. US EPA-Pesticides; Amicarbazone: HED Human Health Risk Assessment for New Food Use Herbicide on Field Corn. 2005;86.
View at: URL: <https://archive.epa.gov/pesticides/chemicalsearch/chemical/foia/web/pdf/114004/114004-2005-08-10a.pdf>
 18. Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS). Fourth revised edition. United Nations, New York and Geneva. 2011;694.
View at: URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf

Article history
Received: 11.06.2021
Revision requested: 22.07.2021
Revision received: 24.08.2021
Accepted: 24.09.2021
Published: 30.09.2021

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ПЕСТИЦИДОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЗЕРНОВЫХ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

Коршун М.М., Мартянова Ю.В.

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

ulia.martianova@gmail.com

Актуальность. Использование пестицидов в народном хозяйстве для уничтожения или подавления роста вредных растений и защиты сельскохозяйственных культур от возбудителей болезней предусматривает обязательную оценку их эколого-гигиенической опасности.

Цель: оценка опасности трех новых пестицидов для защиты зерновых злаковых культур: амикарбазона из химического класса триазолоновых соединений, бициклопирона из класса трикетонных и пидифлуметофена из класса карбоксамидов, по показателям экотоксичности и поведения в окружающей среде.

Материалы и методы. Оценку опасности исследуемых пестицидов осуществили на основании данных источников информации об их физико-химических свойствах, параметрах токсикометрии для различных видов живых организмов и поведении в окружающей среде. Для интегральной оценки потенциальной опасности для наземных экосистем был рассчитан экотокс с учетом токсичности для млекопитающих, персистентности и максимальной нормы расхода. Для выявления лимитирующего звена миграции осуществлено математическое моделирование в системах «почва – вода», «почва – растения» и «почва – атмосферный воздух».

Результаты. Установлено, что амикарбазон является чрезвычайно токсичным для водорослей и высокотоксичным для высших водных растений (ВВР) (I класс опасности), среднетоксичным (IV класс) для млекопитающих, слаботоксичным (III класс) для птиц, почвенной мезофауны и беспозвоночных, практически нетоксичным для пчел и рыб; бициклопирон – чрезвычайно токсичный для ВВР (I класс) и среднетоксичный (II класс) для наиболее чувствительных водорослей, слаботоксичный (III класс) для птиц, рыб и беспозвоночных и практически нетоксичный для других представителей наземной фауны; пидифлуметофен является высокотоксичным (I класс) для рыб и беспозвоночных, среднетоксичным (II класс) как для водорослей, так и для ВВР, практически нетоксичным для всей наземной биоты. Доказано, что пидифлуметофен – высокостойкий и маломобильный

в почве; амикарбазон – стойкий и мобильный; бициклопирон – высокостойкий в лабораторных опытах и умеренно стойкий в полевых опытах, его подвижность колеблется в широком диапазоне: от очень мобильного до маломобильного в отдельных почвах. Опасность для наземных биоценозов всех исследуемых пестицидов при различных почвенно-климатических условиях ниже на (1-5) порядков по сравнению с высокостойким ДДТ; самой низкой является экотоксичность бициклопирона, высокой – пидифлуметофена. Все исследуемые вещества являются высокостойкими в воде. Ведущим звеном их миграции в окружающей среде является система «почва – вода водоемов» и в случае пидифлуметофена – также «почва – растения».

Ключевые слова: пестициды, экотоксичность, стабильность, миграция, оценка опасности.

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF NEW PESTICIDES FOR GRAIN CEREALS CHEMICAL PROTECTION

Korshun M.M., Martianova Y.V.

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

ulia.martianova@gmail.com

Relevance. The use of pesticides in the national economy is to destroy or inhibit the growth of harmful plants and to protect crops from pathogens requires a mandatory assessment of their environmental hygienic hazard.

Objective of our study is to assess the hazards of three new pesticides for cereal grains protection: amicarbazone from the chemical class of triazinone compounds, bicyclopyrone from the class of tricetones and pydiflumetofen from the class of carboxamides, in terms of ecotoxicity and environmental behavior.

Materials and methods. Hazard assessment of amicarbazone, bicyclopyrone and pydiflumetofen was performed on the basis of data sources on their physico-chemical characteristics, toxicometry parameters for different species of living things and indicators of environmental behavior. For potential hazards integral assess for terrestrial ecosystems an ecotox was calculated taking into account mammalian toxicity, persistence and maximum rate consumption. To identify the limiting section of migration, the mathematical modeling was performed in the systems “soil-water”, “soil-plants” and “soil-atmospheric air”.

Results. Amicarbazone has been shown to be extremely toxic to algae and highly toxic to higher aquatic plants (HAP) (hazard class I), moderately toxic (class IV) to mammals, mildly toxic (class III) to birds, soil mesofauna and invertebrates, virtually non-toxic to bees and fish; bicyclopyrone - extremely toxic to HAP (class I) and moderately toxic (class II) to the most sensitive algae, mildly toxic (class III) to birds, fish and invertebrates and virtually non-toxic to other terrestrial fauna; pydiflumetofen is highly toxic (class I) to fish and invertebrates, moderately toxic (class II) to algae and HAP, virtually non-toxic to all terrestrial biota. Pydiflumetofen has been shown to be a highly resistant and poorly mobile in soil; amicarbazone is stable and mobile; bicyclopyrone is highly resistant in laboratory experiments and moderately stable in field experiments, its mobility varies in a wide range: from very mobile to less mobile in some soils. The danger for terrestrial biocenoses of all studied pesticides under different soil and climatic conditions is lower by (1–5) orders of magnitude in comparison with DDT; the lowest is the ecotoxicity of bicyclopyrone, the highest – pydiflumetofen. All test substances are highly stable in water. The leading section of their migration in environment is the system “soil – water of ponds” and in case of pydiflumetofen – “soil – plants” as well.

Key words: pesticides, ecotoxicity, stability, migration, hazard assessment.