

DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2023-27(1)-26

УДК: 614.76:632.95

## ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА МІГРАЦІЇ НОВИХ ПЕСТИЦИДІВ З ҐРУНТУ У ПРИЗЕМНИЙ ШАР АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Коршун М. М., Мартіянова Ю. В., Горбачевський Р. В.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця (бульвар Тараса Шевченка, 13, м. Київ, Україна, 01601)

Відповідальний за листування:  
e-mail: ulia.martianova@gmail.com

Статтю отримано 08 грудня 2022 р.; прийнято до друку 12 січня 2023 р.

**Анотація.** Велику небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я населення становить надходження в атмосферне повітря хімічних речовин техногенного походження, зокрема засобів захисту рослин. Метою дослідження була оцінка небезпеки шкідливого інгаляційного впливу на організм людини нових пестицидів: триазолонового гербіциду амікарбазону, трикетонного гербіциду біциклопірону та карбоксамідного фунгіциду підіфлуметофену, при їх міграції з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря. Проведено математичне моделювання процесу випаровування досліджуваних пестицидів з ґрунту в атмосферне повітря та порівняння максимально досяжних при цьому концентрацій з середньою смертельною концентрацією при гострому інгаляційному впливі та гігієнічними нормативами в повітряному середовищі. Експериментальне вивчення поведінки амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену в системі "ґрунт - атмосферне повітря" здійснено в лабораторних умовах. Концентрації досліджуваних речовин у повітрі визначено методом високоефективної рідинної хроматографії. Встановлено, що амікарбазон, біциклопірон та підіфлуметофен є нелеткими за тиском насиченої пари і константою Генрі та малонебезпечними за коефіцієнтом можливості інгаляційного отруєння. Гостре інгаляційне отруєння внаслідок випаровування з ґрунту у приземний шар атмосферного повітря є малоймовірним. Максимально досяжні концентрації досліджуваних пестицидів, що можуть сформуватися у повітрі внаслідок випаровування з ґрунту, значно нижчі за їх гігієнічні нормативи в повітрі робочої зони. Рівні міграції досліджуваних речовин з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря є вищими за більших вихідних концентрацій і залежать від типу ґрунту: з піщаного ґрунту біциклопірон та підіфлуметофен мігрують інтенсивніше, ніж з чорнозему вилуженого. Порогові концентрації у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості: амікарбазону - 0,05 мг/кг, біциклопірону - 1,0 мг/кг та підіфлуметофену - 1,2 мг/кг, формуються в орному шарі ґрунту при внесенні досліджуваних пестицидів відповідно у 1-й, 20-й і 20-й максимальних нормах витрати. Система "ґрунт - атмосферне повітря" не є провідною ланкою міграції досліджуваних пестицидів у довкіллі. Отримані результати використані при обґрунтуванні гігієнічного нормативу амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену у ґрунті.

**Ключові слова:** пестициди, ґрунт, атмосферне повітря, інгаляційне отруєння, порогова концентрація.

### Вступ

Одним із шляхів надходження пестицидів у атмосферне повітря сільськогосподарських ландшафтів, поряд з безпосереднім потраплянням при їх застосуванні наземними засобами або авіацією, є випаровування з поверхні ґрунту, рослин та води [16]. Потрапляючи у повітря, пестициди можуть поширюватися за межі оброблюваних ділянок та більш-менш тривало циркулювати у біосфері, охоплюючи великі території та зумовлюючи глобальну міграцію. І хоча пестициди становлять доволі незначну частину загальної маси забруднювачів, що надходять у довкілля, вони, внаслідок високої біологічної активності, можуть бути дуже небезпечними для всіх живих організмів і завдавати шкоди корисним комахам, тваринному світу та здоров'ю людини [16]. Зокрема, аналіз та узагальнення матеріалів 157 наукових статей та бази даних ВООЗ показав, що у 141 країні світу за рік зареєстровано приблизно 740 тисяч випадків гострих ненавмисних отруєнь пестицидами [2]. В Україні за сучасних форм та особливостей господарювання (численні дрібні приватні підприємства, невеликі фермерські господарства, значна питома вага найманих сезонних працівників, застаріла сільськогосподарська техніка, маломеханізовані трудові операції, великий

обсяг ручної праці у вимушеній позі тощо) гострі, часто групові, отруєння пестицидами, які виникають внаслідок порушень гігієнічних вимог щодо їх застосування, є причиною тривалої втрати професійної працездатності, а нерідко і стійкої інвалідизації робітників сільського господарства (переважно буряківників і виноградарів), та супроводжуються значними соціально-економічними збитками [1]. Саме тому розробка нових і вдосконалення існуючих профілактичних заходів з мінімізації ризиків гострих, особливо групових, інгаляційних отруєнь пестицидами сільськогосподарських працівників дотепер залишається важливим завданням гігієнічної науки та практики.

Метою дослідження була оцінка небезпеки шкідливого інгаляційного впливу на організм людини нових пестицидів: триазолонового гербіциду амікарбазону, трикетонного гербіциду біциклопірону та карбоксамідного фунгіциду підіфлуметофену при їх міграції з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря.

### Матеріали та методи

Обрані для дослідження пестициди є доволі стабільними у ґрунті, що створює можливість їх накопичен-

ня (депонування) у ґрунті та пролонгує час їх циркуляції у навколишньому середовищі, чим підвищує потенційну небезпеку для біоти та організму людини. Так, період напіврозпаду амікарбазону у різних типах ґрунтів коливається у межах 14-87 діб у лабораторних та 4-87 діб у натурних умовах, біциклопірону - 19,8-434 та 1,7-36 діб відповідно, підфлуметофену - 84-4170 діб в лабораторних та 29-8540 діб у польових дослідженнях [7].

Крім того, потенційну небезпеку амікарбазону та біциклопірону підвищує їх низька сорбція ґрунтом, що робить їх доволі мобільними та сприяє міграції у системі "ґрунт - суміжні середовища". Зокрема, за коефіцієнтом сорбції, скорегованим на вміст органічного вуглецю у ґрунті ( $K_{oc}$ ), амікарбазон є мобільним ( $K_{oc}$  від 16,7 до 44 мл/г) [7]. Біциклопірон також має дуже високу рухливість у більшості ґрунтів (17 з 23 випробуваних, найнижче значення  $K_{oc}$  становить 6 мл/г); ще в трьох ґрунтах - високу рухливість ( $K_{oc}$  у межах (50-150) мл/г), і лише у трьох ґрунтах - середню рухливість ( $K_{oc}$  у межах (150-500) мл/г) [14]. У той же час підфлуметофен добре сорбується ґрунтом ( $K_{oc}$  у межах (1165-3808) мл/г) [7].

На I етапі досліджень було проведено математичне моделювання процесу випаровування пестицидів, що вивчались, з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря. З метою агравації вважали, що адсорбція речовини ґрунтом відсутня. Розрахунок максимально досяжної концентрації речовини в повітрі (С<sub>мах</sub>) здійснювали, спираючись на рівняння Менделєєва-Клапейрона, за формулою, що наведена у [4].

Для оцінки потенційної небезпеки інгаляційного впливу досліджуваних речовин на організм людини їх максимально досяжні концентрації у повітрі порівнювали з:

1) середньою смертельною концентрацією у повітрі при гострому інгаляційному впливі ( $LK_{50}$ ) з визначенням коефіцієнту можливості інгаляційного отруєння (КМІО) як співвідношення  $C_{мах}$  до  $LK_{50}$ ;

2) гігієнічним нормативом у повітрі робочої зони та

3) гігієнічним нормативом в атмосферному повітрі.

Дані про молярну масу, тиск насиченої пари, параметри токсиметрії, гігієнічні нормативи у повітряному середовищі досліджуваних речовин були взяті з друкованих та електронних джерел інформації [13, 14, 15, 18] та узагальнені в таблиці 1.

Експериментальне вивчення поведінки амікарбазону, біциклопірону та підфлуметофену в системі "ґрунт - атмосферне повітря" (II етап досліджень) здійснювали в мікрокліматичних камерах "BINDER" (Німеччина) з двома герметичними скляними робочими камерами в кожній згідно з Е. Г. Гончарук та ін. (1995) та "Методичними вказівками ... " (1988) [3, 9]. Міграцію в повітря вивчали з використанням двох типів ґрунту - модельного ґрунтового еталону №1 (МГЕ №1) і чорнозему вилуженого, при температурі 70°C та зволоженні на рівні 60 % від повної вологоємності. Оскільки досліджувані речовини мають низьку леткість, створювали доволі

**Таблиця 1.** Дані для оцінки поведінки досліджуваних пестицидів у системі "ґрунт - атмосферне повітря".

Показник, одиниця вимірювання	Пестициди			
	Амікарбазон	Біциклопірон	Підфлуметофен	
М, г/моль	241,29	399,39	426,67	
Р	мПа (при температурі, °С)	$3,0 \times 10^{-3}$ (25)	$5 \times 10^{-3}$ (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 <sup>3</sup> ·моль <sup>-1</sup>	$6,78 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-8}$	$1,05 \times 10^{-4}$	
$LK_{50}$ , мг/м <sup>3</sup>	>2030	>5200	>5110	
ОБРВ <sub>а.п.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	0,001	0,0001	0,01	
ОБРВ <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	0,5	1,0	1,0	
$C_{мах}$ , мг/м <sup>3</sup>	$2,9 \times 10^{-4}$	$8,06 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-5}$	
КМІО	$1,4 \times 10^{-7}$	$1,55 \times 10^{-7}$	$6,2 \times 10^{-9}$	

**Примітки:** М - молярна маса; Р - тиск насиченої пари;  $LK_{50}$  - середня смертельна концентрація у повітрі; ОБРВ<sub>а.п.</sub> - орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ) в атмосферному повітрі; ОБРВ<sub>р.з.</sub> - ОБРВ у повітрі робочої зони; С<sub>мах</sub> - максимально досяжна концентрація в повітрі; КМІО - коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння.

**Таблиця 2.** Схема експерименту з вивчення міграції досліджуваних пестицидів у системі "ґрунт - атмосферне повітря".

Речовина	Тип ґрунту	Кількість максимальних норм витрати*	Вихідні концентрації у ґрунті, мг/кг	Тривалість експерименту, доба
Амікарбазон	МГЕ № 1	1, 10 і 20	0,05; 0,5 і 1,0	8
Біциклопірон	МГЕ № 1	10 і 20	0,5 і 1,0	6
	Чорнозем вилужений	20 і 40	1,0 і 2,0	
Підфлуметофен	МГЕ № 1	10 і 20	0,6 і 1,2	7
	Чорнозем вилужений	20 і 40	1,2 і 2,4	

**Примітки:** \* - Максимальна норма витрати становить: амікарбазону - 0,14 кг/га, біциклопірону - 0,15 кг/га, підфлуметофену - 0,18 кг/га.

високі вихідні концентрації сполук у ґрунті (табл. 2).

Проби повітря відбирали за допомогою електроаспіратора та послідовно з'єднаних двох скляних U-подібних поглинаючих приладів з пористою пластинкою, що були заповнені ацетонітрилом. Визначення концентрації досліджуваних речовин у повітрі здійснювали згідно з офіційно затвердженими методичними вказівками методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) [10, 11, 12]. Межа кількісного визначення (МКВ) та межа виявлення (МВ) становили відповідно: амікарбазону - 0,001 мг/м<sup>3</sup> та 0,0007 мг/м<sup>3</sup>, біциклопірону - 0,0001 мг/м<sup>3</sup> та 0,00005 мг/м<sup>3</sup>; підфлуметофену - 0,008 мг/м<sup>3</sup> та 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

*Дослідження виконане в рамках НДР: "Оптимізація методики гігієнічної регламентації пестицидів у воді водойм та ґрунті як складової гігієнічного моніторин-*

у при застосуванні хімічних засобів захисту рослин в сільському господарстві", № держреєстрації: 0118U001390.

### Результати. Обговорення

Основними характеристиками, які визначають здатність пестицидів випаровуватися, є тиск насиченої пари і константа Генрі. За тиском насиченої пари (табл. 1) усім досліджуваним речовинам притаманна низька леткість згідно з класифікацією, наведеною в PPDB: Pesticide Properties DataBase (July 2020) [13]. Константа Генрі, яка є мірою леткості речовини з розбавлених водних розчинів, що близько до стану пестициду в реальних умовах застосування у сільському господарстві, дозволяє класифікувати пестициди за рухливостю в системі "вода - повітря". За константою Генрі (табл. 1) усі досліджувані речовини є нелеткими згідно з вказаною класифікацією [13].

Результати математичного моделювання процесу міграції досліджуваних пестицидів з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря наведені у таблиці 1. Зіставлення отриманої максимально досяжної концентрації ( $C_{max}$ ) з ЛК50 свідчать, що КМЮ усіх досліджуваних пестицидів значно (на 6-8 порядків) нижче за 0,5, тобто усі речовини за цим критерієм є малонебезпечними згідно з "Гігієнічною класифікацією пестицидів за ступенем небезпечності" [17], а гостре інгаляційне отруєння внаслідок випаровування з ґрунту у приземний шар атмосферного повітря - малоймовірним.

При порівнянні з гігієнічними нормативами у повітряному середовищі встановлено, що  $C_{max}$  амікарбазону в повітрі ( $2,9 \times 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>) у 3,4 рази нижча, ніж орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ) в атмосферному повітрі (ОБРВ<sub>а.п.</sub> =  $1 \times 10^{-3}$  мг/м<sup>3</sup>), і в 1724 рази нижча, ніж ОБРВ у повітрі робочої зони (ОБРВ<sub>п.р.з.</sub> = 0,5 мг/м<sup>3</sup>). Максимально досяжна концентрація підфлуметофену ( $3,2 \times 10^{-5}$  мг/м<sup>3</sup>) в 312,5 рази нижча за ОБРВ<sub>а.п.</sub> ( $1 \times 10^{-2}$  мг/м<sup>3</sup>) і в 31250 рази нижча за ОБРВ<sub>п.р.з.</sub> (1,0 мг/м<sup>3</sup>). Максимально досяжна концентрація біциклопірону ( $8,06 \times 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>) в 1241 рази нижча за ОБРВ<sub>п.р.з.</sub> (1,0 мг/м<sup>3</sup>) та лише у 8,1 рази вища, ніж ОБРВ<sub>а.п.</sub> ( $1 \times 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>).

Отже, результати розрахунків свідчать, що  $C_{max}$  амікарбазону та підфлуметофену, що можуть сформуватися у повітрі внаслідок випаровування при температурі 25°C та 20°C відповідно, значно нижчі за гігієнічні нормативи як в повітрі робочої зони, так і в атмосферному повітрі, тобто не чинитимуть шкідливого впливу на організм людини при інгаляційному надходженні протягом не лише трудового стажу, а й усього життя. До того ж система "ґрунт - атмосферне повітря" за даними, наведеними в Інформаційному листі № 13/2 щодо інновацій у системі охорони здоров'я (2022) [4], не є провідною ланкою міграції цих пестицидів у довкіллі.

У випадку біциклопірону  $C_{max}$  пестициду у повітрі є в 1241 рази нижчою за ОБРВ<sub>п.р.з.</sub>, тобто біциклопірон при випаровуванні з ґрунту у приземний шар атмосфер-

ного повітря за температури 25 °C не спричинить шкідливого інгаляційного впливу на організм сільськогосподарських працівників при регламентованій тривалості щоденної дії протягом трудового стажу. Водночас  $C_{max}$  біциклопірону перевищує його ОБРВ<sub>а.п.</sub> у 8,1 рази, що зумовлено дуже низьким значенням гігієнічного нормативу в атмосферному повітрі. Так, міжсередовищний градієнт, тобто співвідношення між ОБРВ<sub>п.р.з.</sub> та ОБРВ<sub>а.п.</sub>, для біциклопірону становить 10000, тоді як для амікарбазону та підфлуметофену - 500 і 100 відповідно. Якщо концентрація біциклопірону в атмосферному повітрі знаходиться на рівні  $C_{max}$  ( $8,06 \times 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>), то в організм людини протягом доби інгаляційним шляхом може надійти 0,016 мг речовини. Допустиме добове надходження (ДДН) біциклопірону, розраховане на підставі величини, затвердженої в Україні, допустимої добової дози (0,0003 мг/кг), становить для людини масою 60 кг 0,018 мг. Тобто добове надходження в організм людини біциклопірону з атмосферним повітрям, в якому речовина знаходиться в концентрації на рівні  $C_{max}$ , не перевищить ДДН. До того ж, оскільки  $C_{max}$  біциклопірону у повітрі нижча за його ОБРВ<sub>п.р.з.</sub> більш, ніж у 1000 разів, то згідно з [4] можна спрогнозувати, що система "ґрунт - повітря" не буде провідною ланкою міграції цього пестициду у навколишньому середовищі.

Лабораторні експерименти з вивчення міграції досліджуваних пестицидів з ґрунту в приземний шар атмосферного повітря проводили в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах, які максимально сприяють надходженню речовин з ґрунту в повітря. Так, використовували МГЕ №1, який є сумішшю середньо- та дрібнозернистого річкового піску і відрізняється від природних ґрунтів надзвичайно низькою сорбційною здатністю та високою повітропроникністю. Для зменшення сорбції речовини ґрунтовими часточками ґрунт зволожували на рівні 60 % від повної вологоємності. Для створення екстремальних кліматичних умов і посилення випаровування досліди проводили при температурі ґрунту 70°C, яка відтворює найвищу температуру, що була зафіксована в південних регіонах України на поверхні оголеного (62°C) або вкритого рідкою сухою травою (74°C) ґрунту влітку в середині дня під прямими сонячними променями [19].

На підставі результатів експериментального вивчення поведінки амікарбазону, біциклопірону та підфлуметофену в системі "ґрунт - приземний шар атмосфери" встановлено, що рівні міграції усіх досліджуваних речовин у повітря залежать від їх вихідних концентрацій у ґрунті (табл. 3 і 4).

При вихідних концентраціях амікарбазону у ґрунті 0,5 мг/кг і 1,0 мг/кг, які відповідали 10 і 20 м.н.в., максимальний вміст речовини в повітрі становив відповідно 0,0021 мг/м<sup>3</sup> і 0,0034 мг/м<sup>3</sup>, що перевищує ОБРВ<sub>а.п.</sub> (0,001 мг/м<sup>3</sup>) в 2,1 і 3,4 рази. Тільки при початковій концентрації 0,05 мг/кг вміст амікарбазону у повітрі не перевищив гігієнічного нормативу. Тому пороговою концентрацією амікарбазону у ґрунті за повітряно-міграційним показником

**Таблиця 3.** Динаміка вмісту амікарбазону в повітрі при вивченні міграції в системі "ґрунт - приземний шар атмосфери".

Термін спостереження, доба	Концентрація амікарбазону в повітрі* (мг/м <sup>3</sup> ) в залежності від вихідного вмісту речовини в МГЕ №1 (мг/кг)		
	0,05	0,5	1,0
1	н.в.	<0,001	<0,001
2	н.в.	0,0010	0,0023
3	<0,001	0,0021	0,0034
6	<0,001	0,0017	0,0019
7	н.в.	<0,001	<0,001
8	н.в.	н.в.	н.в.

**Примітки:** \* - Наведено середні значення з трьох визначень. н.в. - не виявлено при МВ 0,0007 мг/дм<sup>3</sup>.

**Таблиця 4.** Динаміка вмісту біциклопірону та підфлуметофену в повітрі при вивченні міграції в системі "ґрунт - приземний шар атмосфери".

Термін спостереження, доба	Концентрація пестициду в повітрі* (мг/м <sup>3</sup> ) в залежності від типу ґрунту та вихідного вмісту речовини (мг/кг)							
	Біциклопірон				Підфлуметофен			
	МГЕ № 1		Чорнозем вилужений		МГЕ № 1		Чорнозем вилужений	
	0,5	1,0	1,0	2,0	0,6	1,2	1,2	2,4
1	н.в.	<0,0001	н.в.	н.в.	н.в.	<0,008	н.в.	н.в.
2	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	<0,008	н.в.	н.в.
3	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
4	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
5	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.

**Примітки:** \* - Наведено середні значення з трьох визначень; н.в. - не виявлено при МВ біциклопірону 0,00005 мг/м<sup>3</sup>; підфлуметофену 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

шкідливості слід вважати концентрацію 0,05 мг/кг.

При вихідній концентрації біциклопірону в МГЕ № 1 на рівні 1,0 мг/кг, яка відповідала 20 м.н.в., вміст речовини в повітрі через 1 добу спостереження був меншим за 0,0001 мг/м<sup>3</sup>, тобто не перевищував ОБРВ<sub>а.п.</sub> (0,0001 мг/м<sup>3</sup>); в інші терміни спостереження біциклопірон у повітрі не виявлено. При вихідній концентрації біциклопірону 0,5 мг/кг (10 м.н.в.) в МГЕ №1 та 1,0 і 2,0 мг/кг у чорноземі вилуженому біциклопірон у повітрі не виявлено в жодний з термінів спостереження, тобто його вміст був нижчим за 0,00005 мг/м<sup>3</sup>. Тому порогова концентрація біциклопірону у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості, яка була визначена в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах (МГЕ № 1), становить 1,0 мг/кг.

При вихідній концентрації підфлуметофену в МГЕ №1 на рівні 1,2 мг/кг, яка відповідала 20 м.н.в., вміст речовини в повітрі в перші 2 доби спостереження був меншим за 0,008 мг/м<sup>3</sup>, тобто не перевищував ОБРВ<sub>а.п.</sub> (0,01 мг/м<sup>3</sup>); в інші терміни спостереження підфлуметофен в повітрі не виявлено. При вихідній концентрації підфлуметофену 0,6 мг/кг (10 м.н.в.) в МГЕ №1 та 1,2 і 2,4 мг/кг у чорноземі вилуженому речовину в повітрі не

виявлено в жодний з термінів спостереження, тобто її вміст був нижчим за 0,003 мг/м<sup>3</sup>. Тому порогова концентрація підфлуметофену у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості, яка була визначена в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах (МГЕ № 1), становить 1,2 мг/кг.

Таким чином, в результаті лабораторних експериментів з вивчення поведінки досліджуваних пестицидів в системі "ґрунт - приземний шар атмосферного повітря" встановлені порогові концентрації (ПК) амікарбазону, біциклопірону та підфлуметофену у ґрунті на рівні 0,05 мг/кг, 1,0 мг/кг та 1,2 мг/кг відповідно, при яких не очікується перевищення гігієнічного нормативу кожної речовини в атмосферному повітрі навіть в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах. При цьому ПК амікарбазону за повітряно-міграційним показником шкідливості виявилась вищою, ніж ПК цієї речовини за водно-міграційним показником шкідливості (0,02 мг/кг) [6]. ПК за повітряно-міграційним показником шкідливості кожного з двох інших пестицидів виявилась вищою, ніж ПК за впливом на самоочищення ґрунту, яка у разі підфлуметофену знаходиться у межах 0,12-0,6 мг/кг, у разі біциклопірону становить 0,05 мг/кг [8]. Також ПК за повітряно-міграційним показником шкідливості цих двох речовин є вищою, ніж їх ПК за транслокаційним показником шкідливості: біциклопірону - 0,25 мг/кг та підфлуметофену - 0,12 мг/кг [5]. Зазначене свідчить, що повітряно-міграційний показник шкідливості не буде лімітуючим при обґрунтуванні гранично допустимої концентрації (ГДК) досліджуваних пестицидів у ґрунті, а система "ґрунт - атмосферне повітря" не буде провідною ланкою їх міграції у навколишньому середовищі, що повністю співпадає з прогнозом, наведеним в Інформаційному листі № 13/2 щодо інновацій у системі охорони здоров'я (2022). [4].

Необхідно відзначити, що аналогічний факт має місце щодо 93 пестицидів з різних хімічних класів, ГДК яких у ґрунті обґрунтовані на підставі результатів експериментальних досліджень. Зокрема, переважна більшість ГДК у ґрунті встановлені за лімітуючим транслокаційним (60 %), або водно-міграційним (24 %), або цими обома (8 %) показниками шкідливості. У 8 % випадків лімітуючими були загальносанітарний або фітотоксичний показники шкідливості. Жодного разу міграція пестициду з ґрунту у повітря не була визнана лімітуючою [4]. Це може виявитися підставою для оптимізації об'єму експериментальних досліджень при обґрунтуванні ГДК пестицидів у ґрунті. Так, якщо діюча речовина пестициду за тиском насиченої пари та константою Генрі визнається нелеткою згідно з класифікацією, наведеною у PPDB: Pesticide Properties DataBase (July 2020) [13], та доведено, на підставі співставлення максимально досяжної концентрації у повітрі з гігієнічними нормативами згідно з Інформаційним листом № 13/2 щодо інновацій у системі охорони здоров'я (2022) [4], що система "ґрунт - повітря" не може бути провідною ланкою

міграції цієї речовини у довкіллі, то експериментальні дослідження з встановлення порогової концентрації у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості проводити не доречно.

### Висновки та перспективи подальших розробок

1. Встановлено, що триазолоновий гербіцид амікарбазон, трикетоновий гербіцид біциклопірон і карбоксамідний фунгіцид підіфлуметофен є нелеткими за тиском насиченої пари і константою Генрі та малонебезпечними за коефіцієнтом можливості інгаляційного отруєння (КМІО на 6-8 порядків нижче за 0,5) згідно з "Гігієнічною класифікацією пестицидів за ступенем небезпечності". Гостре інгаляційне отруєння внаслідок випаровування досліджуваних речовин з ґрунту у приземний шар атмосферного повітря є малоімовірним.

2. Максимально досяжні концентрації амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену, що можуть сформуватися у приземному шарі атмосферного повітря внаслідок випаровування з ґрунту, значно (на 3-4 порядки) нижчі за їх гігієнічні нормативи в повітрі робочої зони, тобто не чинитимуть шкідливого інгаляційного впливу на організм сільськогосподарських працівників, залучених до проведення ручних робіт на оброблених пестицидами угіддях.

3. Встановлено, що рівні міграції усіх досліджуваних

речовин в системі "ґрунт - приземний шар атмосферного повітря" є вищими за більших вихідних концентрацій і залежать від типу ґрунту: за однакових інших умов з чорнозему вилуженого біциклопірон та підіфлуметофен мігрують меншою мірою, ніж з МГЕ № 1.

4. В екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах визначено порогові концентрації у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості: амікарбазону - 0,05 мг/кг, біциклопірону - 1,0 мг/кг та підіфлуметофену - 1,2 мг/кг, які формуються в орному шарі ґрунту при внесенні досліджуваних пестицидів відповідно у 1-й, 20-й і 20-й максимальних нормах витрати. Зазначене було використано при обґрунтуванні гігієнічного нормативу амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену у ґрунті.

5. Доведено (на підставі результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах), що система "ґрунт - атмосферне повітря" не є провідною ланкою міграції амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену у навколишньому середовищі.

Кінцева оцінка небезпеки шкідливого інгаляційного впливу на організм людини міграції амікарбазону, підіфлуметофену та біциклопірону з ґрунту у приземний шар атмосферного повітря буде надана за результатами польових досліджень у ґрунтово-кліматичних умовах України.

### Список посилань - References

- [1] Balan, G. M., Kharchenko, O. A., & Bubalo N. M. (2013). Причини, структура та клінічні синдроми гострих отруєнь пестицидами у працівників сільського господарства в умовах його реформування [Acute pesticide poisoning reasons structure and clinical syndromes in the farm workers during reforming of agricultural sector]. *Український журнал сучасних проблем токсикології - Ukrainian journal of modern problems of toxicology*, 4(63), 22-29.
- [2] Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P., & Marquez, E. (2020). The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. *BMC Public Health*, 20, 1875. DOI: 10.1186/s12889-020-09939-0
- [3] Goncharuk, E. G., Kundiev, Y. I., & Bardov, V. G. (1995). Загальна гігієна: пропедевтика гігієни [General hygiene: propaedeutics of hygiene]. Київ: Вища школа - Kyiv: High school.
- [4] Information Letter № 13/2 on the Innovations in the System of Public Health (2022). *Методика прогнозування провідної ланки міграції пестицидів у навколишньому середовищі [Methodology for forecasting the leading link of migration of pesticides in the environment]*. Київ - Kyiv.
- [5] Korshun, M. M., Martiianova, Yu. V., & Korshun, O. M. (2022). Гігієнічна оцінка транслокації нових пестицидів у системі "ґрунт - рослина" [Hygienic assessment of new pesticides translocation in "soil - plant" system]. *Вісник медичних і біологічних досліджень - Bulletin of Medical and Biological Research*, 4(14), 28-34. DOI: 10.11603/bmbr.2706-6290.2022.4.13261
- [6] Martiianova, Yu. V., & Korshun, M. M. (2020). Експериментальне вивчення міграції нового гербіцида амікарбазону в системі "ґрунт-підземні води" [Experimental study of new herbicide amicarbazone migrations in the "soil-groundwater" system]. *Охорона та захист здоров'я людини в умовах сьогодення: збірник тез наукових робіт учасників міжнародної науково-практичної конференції (с. 65-68) [Protecting and protecting human health in modern conditions: collection of abstracts of scientific works of participants of the international scientific-practical conference (p. 65-68)]*. Київ, Київський медичний науковий центр - Kyiv, Kyiv medical research center.
- [7] Martiianova, Yu. V., & Korshun, M. M. (2021). Прогнозування ступеню небезпечності забруднення ґрунту, підземних та поверхневих вододжерел пестицидами з класів триазолонів, трикетонів та карбоксамідів залежно від ґрунтово-кліматичних умов [Forecasting the degree of pollution in soil, underground and surface water sources by pesticides from the triazolones, triketones and carboxamides classes in a wide range in soil - climatic conditions]. *Український науково-медичний молодіжний журнал - Ukrainian scientific medical youth jour*, 124(2), 77-88. DOI: 10.32345/USMYJ.2(124).2021.77-88
- [8] Martiianova, Yu. V., & Korshun, O. M. (2022). Гігієнічна оцінка впливу пестицидів з класів трикетонів та карбоксамідів на нітрифікуючу активність чорнозему вилуженого [Hygienic assessment of the pesticides effect of tricetones and carboxamides classes on leached chernozem nitrifying activity]. *Вісник проблем біології і медицини - Bulletin of problems biology and medicin*, 1(163), 107-112. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-1-163-107-112
- [9] Ministry of Health of the USSR (1988). Методические указания по гигиенической оценке новых пестицидов: МУ № 4263-87 [Methodical directions on the hygienic assessment of new pesticides: MD № 4263-87]. Киев - Kyiv.
- [10] Ministry of ecology and natural resources of Ukraine № 246 (06.07.2018). Методичні вказівки з визначення амікарбазону в повітрі робочої зони та атмосферному повітрі ме-

- тодом високоефективної рідинної хроматографії, № 1528-2018. [Methodological guidelines for the determination of amicarbazone in the air of the working area and atmospheric air by the method of high performance liquid chromatography № 1528-2018]. Київ - Kyiv.
- [11] Ministry of ecology and natural resources of Ukraine № 576 (06.09.2021). Методичні вказівки з визначення біциклопірону в повітрі робочої зони та атмосферному повітрі методом високоефективної рідинної хроматографії, № 1744-2021. [Methodological guidelines for the determination of bicyclopyrone in the air of the working area and atmospheric air by the method of high performance liquid chromatography, № 1744-2021]. Київ - Kyiv.
- [12] Ministry of ecology and natural resources of Ukraine № 212 (27.10.2020). Методичні вказівки з визначення підфлуме-тофену (адепідинуТМ) в повітрі робочої зони та атмосферному повітрі методом високоефективної рідинної хроматографії, № 1685-2020 [Methodological guidelines for the determination of pydiflumetofen (adepidinТМ) in the air of the working area and atmospheric air by the method of high performance liquid chromatography, № 1685-2020]. Київ - Kyiv.
- [13] PPDB: Pesticide Properties DataDase (July 2020). University of Hertfordshire. PPDB, BDPB, VSDB. URL: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>
- [14] Public release summary on the evaluation of the new active bicyclopyrone in the product Talinor Herbicide (2017), 2-30. URL: <https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/26736-prs-bicyclopyrone-talinor-herbicide.pdf>
- [15] Public release summary on the evaluation of pydiflumetofen in the product Miravis Fungicide (2018), 58. URL: [https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29011-pydiflumetofen\\_draft\\_prs-final\\_.pdf](https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29011-pydiflumetofen_draft_prs-final_.pdf)
- [16] Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., & Pysarenko, V. V. (2007). *Агроекологія [Agroecology]*. Полтава: РВВ ПДАА - Poltava: RVV PDAA, 227.
- [17] State Standard 8.8.1.002-98 (1998). "Hygienic classification of pesticides by hazard". Approv. by Ministry of Health of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va002282-98#Text>
- [18] US EPA-Pesticides (13.01.2023). Amicarbazone. URL: [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/cleared\\_reviews/csr\\_PC-114004%20Amicarbazone\\_20-Jun-05\\_a.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/cleared_reviews/csr_PC-114004%20Amicarbazone_20-Jun-05_a.pdf)
- [19] Weather station Rivne. Rivne regional centre for hydrometeorology (20.02.2013). Добовий та річний хід температури поверхні ґрунту [Daily and annual changes in soil surface temperature]. URL: [https://pogoda.rovno.ua/temperatura\\_poverhni\\_gruntu](https://pogoda.rovno.ua/temperatura_poverhni_gruntu)

#### HYGIENIC ASSESSMENT OF NEW PESTICIDES MIGRATION FROM SOIL INTO THE LOWER ATMOSPHERIC AIR LAYER

**Korshun M. M., Martiianova Y. V., Gorbachevskiy R. V.**

**Annotation.** A great danger to the environment and the health of the population is the release of chemical substances of technogenic origin, in particular plant protection products into the atmospheric air. The aim of the study was to evaluate the hazard of harmful inhalation impact on the human body of new pesticides: triazolone herbicide amicarbazone, tricotone herbicide bicyclopyrone, and carboxamide fungicide pydiflumetofen, during their migration from soil to the lower atmospheric air layer. Mathematical modeling of the process of evaporation of the studied pesticides from soil to the atmospheric air was carried out and comparison of the maximum achievable concentrations with the average lethal concentration during acute inhalation exposure and hygienic standards in the air environment. Experimental study of the behavior of amicarbazone, bicyclopyrone, and pydiflumetofen in the "soil - atmospheric air" system was carried out in laboratory conditions. The concentrations of the studied substances in the air were determined by the method of high - performance liquid chromatography. It was established that amicarbazone, bicyclopyrone, and pydiflumetofen are non - volatile under saturated vapor pressure and Henry's law constant, and low - risk by the coefficient of possible inhalation poisoning. Acute inhalation poisoning as a result of evaporation from the soil into the lower atmospheric air layer is unlikely. The maximum achievable concentrations of the studied pesticides that can form in the air as a result of evaporation from the soil are significantly lower than their hygienic standards in the working zone. The migration levels of the studied substances from soil to the lower atmospheric air layer depend on their initial concentrations and the type of soil: bicyclopyrone and pydiflumetofen migrate more intensively from sandy soil than from leached chernozem. Threshold concentrations in the soil according to the air - migration indicator of harmfulness: amicarbazone - 0.05 mg/kg, bicyclopyrone - 1.0 mg/kg and pydiflumetofen - 1.2 mg/kg are formed in the plow layer of soil when researched pesticides are introduced according to 1th, 20th and 20th maximum consumption rates. The "soil - atmospheric air" system is not a leading link to the migration of the studied pesticides in the environment. The obtained results were used in the substantiation of hygienic standard of amicarbazone, bicyclopyrone and pydiflumetofen in soil.

**Keywords:** pesticides, soil, atmospheric air, inhalation poisoning, threshold concentration.