

metals of agricultural products in developing countries and its human health risk assessment: a study from Iran. *Heliyon*. 2024 Dec: e40886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40886>

10. Shukla S, Mbingwa G, Khanna S, Dalal J, Santhyan D, Malik A, Badhwar N. Environment and health hazards due to military metal pollution: a review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2023 Jul :100857. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100857>

11. Khan J, Singh R, Upreti P, Yadav RK. Geo-statistical assessment of soil quality and identification of heavy metal contamination using Integrated GIS and Multivariate statistical analysis in industrial region of Western India. *Environmental Technology & Innovation*. 2022 May : 102646. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102646>

12. Li X, Pan Y, Zhu C, Tang L, Bai Z, Liu Y, Gu X, Gao Y, Zhou Y, Gao B. Priority areas identification for arable soil pollution prevention based on the accumulative risk of heavy metals. *Science of the Total Environment*. 2024 Dec; 954:176440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176440>

13. Eklund L, Degerald M, Brandt M, Prishchepov AV, Pilesjö P. How conflict affects land use: agricultural activity in areas seized by the Islamic State. *Environmental Research Letters*. 2017 Apr 27; 12(5) :054004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa673a>

14. Mohod C, Dhote J. Review of heavy metals in drinking water and their effect on human health. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013 ; 2(7) : 2992-6.

Дата надходження статті – 14.12.2024.

УДК 613.63:632.95:631.4

<https://doi.org/10.32402/dovkil2025.01.030>

TO THE QUESTION OF OPTIMIZING THE VOLUME OF EXPERIMENTAL STUDIES IN JUSTIFICATION OF THE MEDICAL AND SANITARY STANDARD FOR PESTICIDES IN SOIL

Korshun M.M., Gorbachevskyi R.V.

ДО ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБ'ЄМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕДИКО-САНИТАРНОГО НОРМАТИВУ ПЕСТИЦИДІВ У ҐРУНТІ

Н

**КОРШУН М.М.,
ГОРБАЧЕВСЬКИЙ Р.В.**
Національний медичний
університет
ім. О.О. Богомольця,
Київ, Україна

а сьогодні в Україні наукове обґрунтування медико-санітарного нормативу високостійких діючих речовин (ДР) засобів захисту рослин (ЗЗР) у ґрунті (період напіврозпаду >60 діб, I клас небезпечності згідно з гігієнічною класифікацією пестицидів [1]) здійснюється експериментальним шляхом, усіх інших ДР – розрахунковим методом з визначенням орієнтовно до-

ДО ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБ'ЄМУ
ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕДИКО-
САНИТАРНОГО НОРМАТИВУ ПЕСТИЦИДІВ У ҐРУНТІ
Коршун М.М., Горбачевський Р.В.
Національний медичний університет
ім. О.О. Богомольця, Київ, Україна

Мета: перевірка надійності методики оптимізації об'єму експериментальних досліджень для обґрунтування медико-санітарного нормативу діючої речовини (ДР) засобів захисту рослин (ЗЗР) у ґрунті на підставі аналізу результатів лабораторних експериментів з вивчення міграції пестицидів різних хімічних класів у системі «ґрунт – суміжні середовища» в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах.

Матеріали і методи. За оригінальною методикою здійснено прогнозування небезпеки забруднення приземного шару атмосферного повітря внаслідок випаровування із ґрунту 7 ДР ЗЗР, для яких раніше були обґрунтовані гранично допустимі концентрації у ґрунті (ГДК_г). Оцінено ризик можливого інгаляційного впливу досліджуваних ДР на організм сільськогосподарських працівників та населення шляхом визначення попереднього та кінцевого інтегральних індексів небезпечності (ПІІН та КІІН відповідно). Отримані результати дозволили зробити висновки щодо доцільності експериментального вивчення міграції досліджуваних ДР із ґрунту у повітря. Для оцінки надійності цих висновків проаналізовано порогові концентрації досліджуваних ДР у ґрунті за чотирма показниками шкідливості, які були раніше встановлені за результатами лабораторних експериментів з вивчення закономірностей міграцій у системі «ґрунт – суміжні середовища» для обґрунтування ГДК_г.

© Коршун М.М., Горбачевський Р.В. СТАТТЯ, 2025.

пустимої концентрації (ОДК) у ґрунті. Схема експериментального нормування передбачає встановлення в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах порогових концентрацій досліджуваної ДР за чотирма ознаками шкідливості (транслокаційною, водноміграційною, повітряною та загальною) з подальшим визначенням лімітувальної ознаки та гранично допустимої концентрації у ґрунті (ГДК_г) [2].

Аналіз існуючої бази медико-санітарних нормативів пестицидів [3, 4] засвідчив, що наразі науково обґрунтовано ГДК_г 98 ДР, переважна більшість яких встановлена за лімітувальною транслокаційною (57%), водноміграційною (27%) або цими обома (7%) ознаками шкідливості. У 7% ви-

падків лімітувальними були загальносанітарний або фітотоксичний показники (фітотоксичність ДР досліджується разом з її транслокацією для вивчення поведінки у системі «ґрунт – рослина»); в одному випадку (для ГДК_г гуазатину) лімітувальна ознака не зазначена. Варто підкреслити, що повітряно-міграційний показник жодного разу не був визнаний лімітувальним. Викладене вище актуалізує питання про доцільність вивчення повітряноміграційного показника шкідливості та визначення умов, за яких експериментальне вивчення поведінки ДР ЗЗР у системі «ґрунт – повітря» має бути обов'язковим.

У попередніх роботах було обґрунтовано ризик-орієнтовані підходи до оцінювання можливості шкід-

ливого інгалаційного впливу на організм людини ДР ЗЗР під час їх міграції із ґрунту та розроблено методику прогнозування небезпеки забруднення приземного шару атмосферного повітря пестицидами внаслідок їх випаровування [5, 6]. Зазначену методику можна застосовувати для оптимізації об'єму експериментальних досліджень під час обґрунтування ГДК_г ДР ЗЗР, оскільки дозволяє визначитися щодо необхідності вивчення міграції у системі «ґрунт – повітря» та обов'язковості встановлення порогової концентрації ДР у ґрунті за повітряноміграційним показником шкідливості.

Метою роботи була перевірка надійності методики оптимізації об'єму експериментальних досліджень для обґрунтування медико-санітарного нормативу ДР ЗЗР у ґрунті на підставі аналізу результатів лабораторних експериментів з вивчення міграції пестицидів різних хімічних класів у системі «ґрунт – суміжні середовища» в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах.

Матеріали і методи дослідження. Для досягнення мети було проаналізовано результати прогнозування небезпеки забруднення приземного шару атмосферного повітря (АП) та результати лабораторних гігієнічних експериментів з визначення рівнів міграції у системі «ґрунт – повітря» 7 ДР ЗЗР, для яких у свій час були експериментально обґрунтовані ГДК_г. До групи досліджуваних ДР увійшли 4 гербіциди (амікарбазон класу триазолонів, трикетон біциклопірон, імідазоліони імазапір та імазетапір) і 3 фунгіциди (стробілури димоксистробін, фосфорорганічна сполука іпробенфос (рицид П) та піразолкарбоксамід підфлуметофен).

Результати. Встановлено, що гербіциди амікарбазон (хімічний клас – триазолони), біциклопірон (трикетони), імазапір та імазетапір (імідазоліони) і фунгіциди димоксистробін (стробілури) та підфлуметофен (піразолкарбоксаміди) за величиною ПІН (3 бали для кожної ДР) та КІН (від 7 до 11 балів) не потребують експериментального встановлення порогової концентрації за повітряноміграційним показником шкідливості для обґрунтування ГДК_г. Фосфорорганічний фунгіцид іпробенфос за ПІН (5 балів) визнано претендентом на експериментальне дослідження міграції у системі «ґрунт – повітря»; значення КІН (17 балів) свідчить про обов'язковість встановлення порогової концентрації іпробенфосу за повітряноміграційним показником шкідливості.

Результати експериментальних досліджень міграції у системі «ґрунт – суміжні середовища» засвідчили можливість і доречність науково обґрунтованої відмови від вивчення міграції із ґрунту у повітря амікарбазону, обох імідазоліонів, біциклопірону, димоксистробіну та підфлуметофену. Водночас підтверджено необхідність та обов'язковість експериментального вивчення поведінки іпробенфосу у системі «ґрунт – повітря».

Висновки. На прикладі експериментального обґрунтування медико-санітарного нормативу у ґрунті 7 пестицидів різних хімічних класів доведено надійність методики оптимізації об'єму експериментальних досліджень під час встановлення ГДК_г ДР ЗЗР шляхом науково обґрунтованої відмови від вивчення в умовах лабораторного експерименту міграції у системі «ґрунт – повітря».

Ключові слова: гербіцид, фунгіцид, ґрунт, суміжні середовища, міграція, гранично допустима концентрація.

На першому етапі досліджень ми застосували розроблену за нашої участі методику [5, 6] (алгоритм наведено на рисунку) для прогнозування небезпеки забруднення приземного шару АП досліджуваними ДР внаслідок їх випаровування із ґрунту та оцінили ризик їхнього можливого інгаляційного впливу на організм сільськогосподарських працівників та населення. Вихідні дані для розрахунку максимально досяжної концентрації ДР у повітрі ($C_{\max}$), коефіцієнта можливості інгаляційного отруєння (КМІО), потенційного ризику професійного впливу (ПРПВ) та потенційного ризику непрофесійного впливу (ПРНПВ) наведено у таблиці 1.

На другому етапі ми проаналізували результати раніше проведених за нашої участі гігієнічних лабораторних експериментів з вивчення міграції із ґрунту у повітря досліджуваних ДР. Міграцію у системі «ґрунт – повітря» вивчали згідно з рекомендаціями [8] в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах у герметичних скляних робочих камерах, що були розміщені у мікрокліматичних пристроях «BINDER» (Німеччина).

Використовували модельний ґрунтовий еталон

№ 1 (МГЕ № 1) з низькою сорбційною спроможністю та високою повітропроникністю, який зволожували до 60% від повної вологоємності для зменшення поглинальної здатності та нагрівали до 70°C для відтворення найвищої температури на поверхні ґрунту у південних регіонах України влітку у середині дня під прямими сонячними променями.

Досліди провадили також на чорноземі вилуженому та дерновопідзолистому ґрунті (у випадку іпробенфосу) за аналогічного гідротермічного режиму. Вихідні концентрації ДР у ґрунті створювали у широкому діапазоні, виходячи з максимальної норми витрати, яка рекомендована для сільськогосподарського використання.

Окрім того, в екстремальних ґрунтово-кліматичних умовах, відтворених у спеціальних модельних пристроях (фітокліматичних камерах, фільтраційних колонах), було визначено порогові концентрації досліджуваних речовин у ґрунті за іншими показниками шкідливості (транслокаційним, водноміграційним, загально-санітарним), що згодом було використано для обґрунтування їхніх ГДК_г.

Результати дослідження та їх обговорення. Результати прогнозування забруднення приземного шару АП досліджуваними пестицидами внаслідок їх випаровування із ґрунту та оцінки небезпеки їхнього можливого інгаляційного впливу на організм сільськогосподарських працівників і населення наведено у таблиці 2.

Встановлено, що більшості досліджуваних ДР (6 з 7) притаманна низька леткість за тиском насиченої пари (P) за температури 20°C [від $6,0 \times 10^{-6}$ мПа (димоксистробін) до $1,33 \times 10^{-2}$ мПа (імазетапір)] і за цим критерієм вони отримують 1 бал згідно з алгоритмом, наведеним на рисунку. Так само усі зазначені 6 ДР є нелеткими у системі «вода – повітря» за константою Генрі, яка коливалася у доволі широкому діапазоні: від $1,7 \times 10^{-8}$ Па·м³·моль⁻¹ (біциклопірон) до $1,3 \times 10^{-2}$ Па·м³·моль⁻¹ (імазетапір). Лише фосфорорганічна сполука іпробенфос вирізнялася високою леткістю (12,2 мПа), і за цим критерієм отримала 3 бали. Нажаль, для іпробенфосу у доступних джерелах інформації не виявили значення константи Генрі, що змусило за цим критерієм надати речовині також максимальну оцінку – 3 бали.

Таблиця 1

Дані для прогнозування небезпеки забруднення приземного шару атмосферного повітря досліджуваними гербіцидами внаслідок їх випаровування із ґрунту

Діюча речовина	Фізико-хімічні властивості [7]		Максимально досяжна концентрація речовини у повітрі ($C_{\max}$), мг/м ³	Середня смертельна концентрація за гострого інгаляційного впливу (ЛК ₅₀), мг/м ³ [7]	Медико-санітарний норматив [3, 4]	
	Молярна маса (M), г/моль	Тиск насиченої пари (P), мм рт.ст.			Повітря робочої зони (ОБРВ _{п.р.з.}), мг/м ³	Атмосферне повітря (ОБРВ _{а.п.}), мг/м ³
Амікарбазон	241,29	$9,75 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-4}$	2030	0,5	0,001
Біциклопірон	399,39	$3,75 \times 10^{-8}$	$8,04 \times 10^{-4}$	5200	1,0	0,0001
Імазапір	261,28	$9,75 \times 10^{-8}$	$1,39 \times 10^{-3}$	5100	1,0	0,05
Імазетапір	289,33	$9,98 \times 10^{-8}$	$1,58 \times 10^{-3}$	3270	0,5	0,04
Димоксистробін	326,39	$4,5 \times 10^{-11}$	$8,02 \times 10^{-7}$	1300	1,0	0,01
Іпробенфос	288,34	$9,15 \times 10^{-5}$	$1,44 \times 10^0$	2836	0,3	0,01
Підіфлуметофен	426,67	$1,38 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-5}$	>5110	1,0	0,01

TO THE QUESTION OF OPTIMIZING
THE VOLUME OF EXPERIMENTAL STUDIES
IN JUSTIFICATION OF THE MEDICAL
AND SANITARY STANDARD
FOR PESTICIDES IN SOIL

Korshun M.M., Gorbachevskyi R.V.
*Bogomolets National Medical University,
Kyiv, Ukraine*

The aim: verification of the reliability of the methodology for optimizing the volume of experimental studies in the justification of the medical and sanitary standard of the active substance (AS) of plant protection products (PPP) in the soil based on the analysis of the results of laboratory experiments on the study of the migration of pesticides of different chemical classes in the «soil – adjacent environments» system in extreme soil and climatic conditions.

Materials and methods. According to the original methodology, the danger of contamination of the surface layer of the atmospheric air due to evaporation from the soil of 7 AS PPP, for which the maximum allowable concentrations in the soil (MPC_s) were previously substantiated, was carried out. For this purpose, the risk of the possible inhalation effect of the studied AS on the body of agricultural workers and the population was assessed by determining the preliminary and final integrated hazard indexes (PIHI and FIHI, respectively). The obtained results made it possible to draw conclusions about the expediency of the experimental study of the migration of the studied AS from the soil into the air. To assess the reliability of these conclusions, the threshold concentrations of the investigated AS in the soil were analyzed according to four indicators of harmfulness, which were previously established based on the results of laboratory experiments to study the patterns of migration in the «soil – adjacent environments» system when justifying the MPC_s .

Results. It was established that the herbicides amicarbazone (chemical class – triazolones), bicyclopyrone (triketones), imazapyr and imazethapyr (imidazolinones) and the fungicides dimoxystrobin (strobilurins) and pydiflumetofen (pyrazole carboxamides) by the value of PIHI (3 points for each AS) and FIHI (from 7 to 11 points) do not require experimental establishment of the threshold concentration according to the air-migration indicator of harmfulness when justifying the MPCs. The organophosphorus fungicide iprobenfos according to the PIHI (5 points) was recognized as a candidate for the experimental study of migration in the «soil – atmospheric air» system; the value of FIHI (17 points) indicates the necessity of setting the threshold concentration of iprobenfos according to the air-migration harmful index.

The results of experimental studies of migration in the «soil – adjacent environments» system proved the possibility and appropriateness of a scientifically based refusal to study the migration from soil to atmospheric air of amicarbazone, both imidazolinones, bicyclopyrone, dimoxystrobin and pydiflumetofen. At the same time, the necessity and obligation of experimental study of the behavior of iprobenfos in the «soil – atmospheric air» system was confirmed.

Conclusions. Using the example of experimental substantiation of the medical and sanitary standard in the soil of 7 pesticides of different chemical classes, the reliability of the method of optimizing the volume of experimental studies when establishing the MPC_s of AS PPP was proven by means of a scientifically justified refusal to study in the conditions of a laboratory atmospheric air» system.

Keywords: herbicide, fungicide, soil, adjacent environments, migration, maximum permissible concentration.

Амікарбазон, імазетапір, димоксистробін та іпробенфос за гострою інгалаційною токсичністю можна віднести до небезпечних пестицидів [II клас, середня смертельна концентрація (LK_{50}) у межах (500-000) mg/m^3], біциклопірон, імазапір та підіфлуметофен – до помірно небезпечних [III клас, LK_{50} (5001-50000) mg/m^3] згідно з «Гігієнічною класифікацією пестицидів за ступенем небезпечності» [1] (табл. 1). Водночас роз-

рахована нами C_{max} у повітрі 6 ДР є дуже низькою (табл. 1): від $8,02 \times 10^{-7} mg/m^3$ (димоксистробін) до $1,58 \times 10^{-3} mg/m^3$ (імазетапір). Лише C_{max} іпробенфосу сягнула $1,44 mg/m^3$, але всеодно була нижчою за LK_{50} ($2836 mg/m^3$) майже у 2000 разів. Тому дуже низькими виявилися значення КМІО усіх досліджуваних ДР (табл. 2), що дозволяє віднести їх за цим критерієм до малонебезпечних пестицидів (IV клас) згідно з [1] та

свідчить про надзвичайно низький ризик гострого інгалаційного отруєння внаслідок випаровування із ґрунту у приземний шар АП.

Медико-санітарні нормативи усіх досліджуваних пестицидів у повітрі робочої зони (табл. 1) визначаються у діапазоні (0,3-1) mg/m^3 , що дозволяє віднести їх до II класу (високонебезпечні речовини) відповідно класифікації, яку подано у [9]. Водночас під час оцінки ризику для здоров'я сільсько-

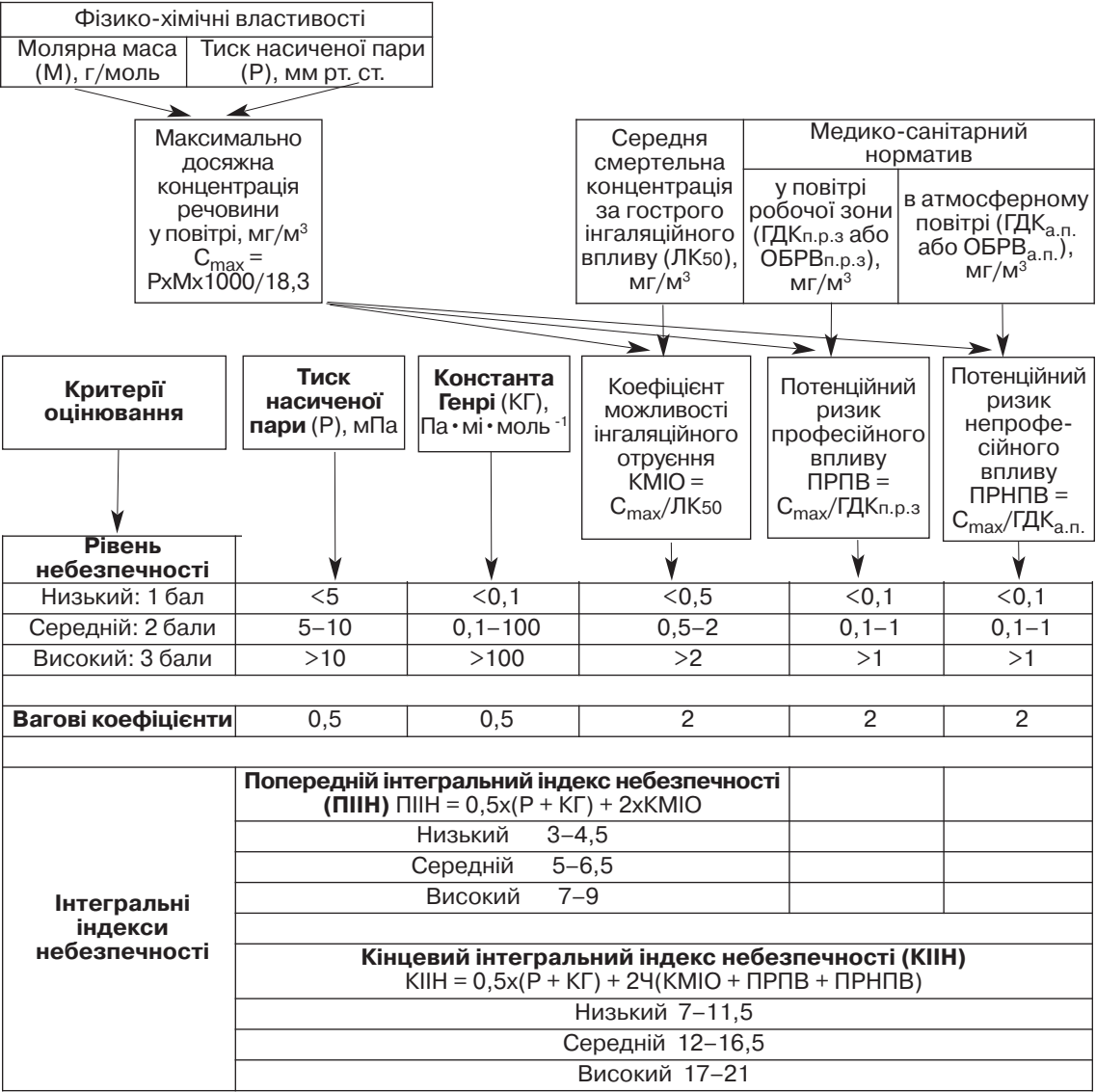
господарських робітників, який зумовлений випаровуванням досліджуваних ДР із ґрунту у повітря та їх інгаляційним надходженням до організму, встановлено, що ПРПВ 6 ДР є на 4-6 порядків меншим за 1 (табл. 2). Тобто шкідливий інгаляційний вплив на професійний контингент з регламентованою тривалістю щоденної дії протягом трудового стажу є малоймовірним. Лише ПРПВ іпробенфосу становить 4,8, що свідчить про високий рівень небезпеки (3 бали).

Аналіз медико-санітарних нормативів досліджуваних ДР в АП (табл. 1) засвідчив, що ОБРВ_{а.п.} лише іпробенфосу та імідазолінонових гербіцидів імазапіру та імазетапіру відрізняються від ОБРВ_{п.р.з.} у 30, 20 і 12,5 разів відповідно, тобто міжсередовищний градієнт визначається у межах від 10 до 100, що збігається з даними, наведеними у [10]. Нормативи в АП інших досліджуваних ДР є меншими за ОБРВ_{п.р.з.} у 100 разів (димоксистробін, підфлу-

метофен) і більшими (зокрема амікарбазон – у 500, біциклопірон – у 10 000). Зазначене зумовлено особливостями обґрунтування ОБРВ_{а.п.} ДР ЗЗР на відміну від інших шкідливих хімічних речовин. Ця особливість полягає у комплексному підході, згідно з яким нормування ДР у воді водойм, атмосферному повітрі, сільськогосподарській сировині та продуктах харчування спирається на допустиму добову дозу (ДДД), яку обґрунтовують за результатами глибоких

Рисунок

Алгоритм прогнозування та оцінки небезпеки забруднення приземного шару атмосферного повітря ДР пестицидів внаслідок їх випаровування із ґрунту



та всебічних токсикологічних досліджень. Нормативи у зазначених об'єктах довкілля мають гарантувати безпеку комплексного (сумарно з усіх середовищ) надходження ДР ЗЗР до організму людини [11]. При цьому провідним шляхом надходження є пероральний – з харчовими продуктами рослинного і тваринного походження та питною водою; питома вага атмосферного повітря не перевищує 20%. Обидва імідазоліни мають доволі високу ДДД – 1 мг/кг кожний, тоді як ДДД (мг/кг) інших досліджуваних ДР значно нижчі: амікарбазону – 0,005, біциклопірону – 0,0003, димоксистробіну – 0,005, підіфлуметофену – 0,03 [3, 4]. Саме цим зумовлені дуже низькі значення нормативів цих ДР в атмосферному повітрі (табл. 1).

Для оцінки небезпеки випаровування досліджуваних гербіцидів з ґрунту у повітря для здоров'я населення, яке не має професійного контакту з пестицидами, розрахували ПРНПВ (табл. 2). Встановлено, що

5 ДР (амікарбазон, імазапір, імазетапір, димоксистробін та підіфлуметофен) не чинитимуть шкідливого впливу на організм людини за інгаляційного надходження протягом не лише трудового стажу, а й усього життя, оскільки їхній ПРНПВ є меншим за 1, тобто допустимим. До того ж ПРНПВ обох імідазолінових гербіцидів, димоксистробіну та підіфлуметофену є меншим за 0,1. Водночас ПРНПВ біциклопірону та іпробенфосу є більшим за 1: їхня S_{max} виявилася вищою за ОБРВ_{а.п.} у 8,0 та 144 рази відповідно, що зумовлено дуже низьким значенням ОБРВ_{а.п.} біциклопірону – 0,0001 мг/м³ та дуже високою леткістю фосфорорганічної сполуки іпробенфосу – 1,44 мг/м³ (табл. 1).

Проведено розрахунки попереднього та кінцевого інтегральних індексів небезпечності (ПІІН та КІІН) досліджуваних пестицидів та встановлено, що більшість ДР (за виключенням іпробенфосу) має однаково низький ПІІН на рівні 3 балів (табл. 2). Тобто на підставі ПІІН, який було визначено з

урахуванням фізико-хімічних властивостей (молярна маса, тиск насиченої пари та константа Генрі) та гострої інгаляційної токсичності (ЛК₅₀), можна зробити попередній висновок про те, що ці 6 досліджуваних пестицидів не потребують експериментального вивчення міграції у системі «ґрунт – повітря». ПІІН іпробенфосу становить 5 балів та визнається середнім, а сама речовина – претендентом на експериментальне дослідження міграції у системі «ґрунт – повітря».

Щодо КІІН, то в обох імідазолінових гербіцидів, димоксистробіну та підіфлуметофену, він є найнижчим – 7 балів, в амікарбазону – 9 балів, біциклопірону – 11 балів у зв'язку з високим ПРНПВ. Оскільки КІІН цих 6 досліджуваних ДР низький (у межах від 7 до 11,5 балів), то, згідно з запропонованою нами методикою, експериментальні дослідження з встановлення порогової концентрації у ґрунті за повітряно-міграційним показником шкідливості провадити не потрібно. Водночас КІІН

Таблиця 2

Оцінка потенційного ризику шкідливого інгаляційного впливу на організм людини досліджуваних гербіцидів під час їх випаровування із ґрунту у приземний шар атмосферного повітря

Діюча речовина	Одиниці вимірювання	Тиск пари, мПа	Константа Генрі, Па·мі·моль ⁻¹	КМІО	ПІІН	ПРПВ	ПРНПВ	КІІН
Амікарбазон	Абс.	1,30x10 ⁻³	6,78x10 ⁻⁸	6,22x10 ⁻⁸	–	2,53x10 ⁻⁴	1,26x10 ⁻¹	–
	Бали	1	1	1	3	1	2	9
Біциклопірон	Абс.	5,00x10 ⁻³	1,70x10 ⁻⁸	1,55x10 ⁻⁷	–	8,04x10 ⁻⁴	8,04x10 ⁻⁰	–
	Бали	1	1	1	3	1	3	11
Імазапір	Абс.	1,30x10 ⁻²	3,00x10 ⁻⁷	2,73x10 ⁻⁷	–	1,39x10 ⁻³	2,78x10 ⁻²	–
	Бали	1	1	1	3	1	1	7
Імазетапір	Абс.	1,33x10 ⁻²	1,30x10 ⁻²	4,82x10 ⁻⁷	–	3,15x10 ⁻³	3,94x10 ⁻²	–
	Бали	1	1	1	3	1	1	7
Димоксистробін	Абс.	6,0x10 ⁻⁶	4,55x10 ⁻⁸	6,17x10 ⁻¹⁰	–	8,02x10 ⁻⁷	8,02x10 ⁻⁵	–
	Бали	1	1	1	3	1	1	7
Іпробенфос	Абс.	1,22x10 ¹	–	5,08x10 ⁻⁴	–	4,80x10 ⁻⁰	1,44x10 ²	–
	Бали	3	3*	1	5	3	3	17
Підіфлуметофен	Абс.	1,84x10 ⁻⁴	1,05x10 ⁻⁴	6,2x10 ⁻⁹	–	3,2x10 ⁻⁵	3,2x10 ⁻³	–
	Бали	1	1	1	3	1	1	7

Примітка: * – наведено умовну оцінку.

фосфорорганічного фунгіциду іпробенфосу становить 17 балів та визнається високим, у зв'язку з чим експериментальне дослідження міграції іпробенфосу у системі «ґрунт – повітря» та встановлення порогової концентрації у ґрунті за повітряноміграційним показником шкідливості є обов'язковим.

Для перевірки зазначеного висновка було проаналізовано результати експериментального вивчення міграції досліджуваних ДР у системі «ґрунт – суміжні середовища» в екстремальних ґрунтовокліматичних умовах [12-14]. Інформацію про встановлені у цих експериментах порогові концентрації у ґрунті кожної ДР за повітряноміграційною, водноміграційною, транслокаційною та загальносанитарною ознаками шкідливості узагальнено у таблиці 3.

Встановлено, що найвищими з випробуваних вихідних концентрацій досліджуваних ДР у МГЕ № 1, за яких в екстремальних ґрунтовокліматичних умовах у повітрі не було зареєстровано перевищення ОБРВ_{а.п.}, були концентрації (мг/кг) амікарбазону – 0,05, біциклопірону – 1,0, імазапіру –

0,75, імазетапіру – 0,6, димоксистробіну – 0,5, іпробенфосу – 1,0, підфлуметофену – 1,2. Ці концентрації у ґрунті було визнано пороговими за повітряноміграційним показником шкідливості та для біциклопірону, обох імідазолінонів, димоксистробіну та підфлуметофену виявилися доволі високими, оскільки були створені в орному шарі ґрунту внесенням 15 і більше м.н.в. досліджуваних ДР (табл. 3).

Окрім того, порогові концентрації у ґрунті цих 5 ДР за повітряноміграційним показником шкідливості були найвищими серед порогових концентрацій з усіх 4 показників шкідливості. Варто зазначити, що згідно з методикою оптимізації об'єму експериментальних досліджень ці 5 ДР не були претендентами на вивчення міграції у системі «ґрунт – повітря» за ПІН (сягав 3 бали для кожної ДР) та не потребували встановлення порогової концентрації за повітряноміграційною ознакою шкідливості за КІН (становив від 7 до 11 балів).

Щодо амікарбазону та іпробенфосу, то їхні порогові концентрації у ґрунті за

повітряноміграційним показником шкідливості виявилися вищими ніж за водноміграційним, але нижчими, ніж за транслокаційним та загальносанитарним показниками (табл. 3). Тобто і у цих випадках повітряноміграційна ознака шкідливості не була лімітувальною під час обґрунтування ГДК у ґрунті.

Отже, результати, які узагальнені у таблиці 3, доводять, що система «ґрунт – атмосферне повітря» не є провідною ланкою міграції у навколишньому середовищі усіх 7 досліджуваних ДР ЗЗР, а їхні ГДК_г обґрунтовані за водноміграційним лімітувальним показником шкідливості. У 5 речовин з 6, які не були претендентами на експериментальне вивчення міграції у системі «ґрунт – повітря» за значенням ПІН (3 бали), що підтверджувалося також низьким КІН (у межах (7-11) балів), експериментально встановлені в екстремальних ґрунтовокліматичних умовах порогові концентрації у ґрунті за повітряноміграційним показником, були доволі високими (у 5 речовин відповідали 15 і більше м.н.в.) і вищими за порогові концентрації інших показників шкідливості (у разі 5 речовин – з усіх 3).

Таблиця 3

Результати вивчення поведінки досліджуваних гербіцидів у системі «ґрунт – суміжні середовища» у лабораторному експерименті

Діюча речовина	Порогові концентрації (мг/кг) у ґрунті за показниками шкідливості				ГДК _г , мг/кг
	Водноміграційний	Повітряноміграційний	Транслокаційний	Загальносанитарний	
Амікарбазон	0,02 (0,5 м.н.в.)	0,05 (1 м.н.в.)	0,2 (4 м.н.в.)	0,2 (4 м.н.в.)	0,02
Біциклопірон	0,01 (0,2 м.н.в.)	1,0 (20 м.н.в.)	0,25 (5 м.н.в.)	0,05 (1 м.н.в.)	0,01
Імазапір	0,03 (1,5 м.н.в.)	> 0,75 (37,5 м.н.в.)	> 0,15 (7,5 м.н.в.)	0,15 (7,5 м.н.в.)	0,03
Імазетапір	0,03 (1 м.н.в.)	> 0,6 (20 м.н.в.)	> 0,15 (5 м.н.в.)	0,15 (7,5 м.н.в.)	0,03
Димоксистробін	0,05 (1,5 м.н.в.)	0,5 (15 м.н.в.)	0,1 (3 м.н.в.)	0,05 (1,5 м.н.в.)	0,05
Іпробенфос	0,03 (0,1 м.н.в.)	0,1 (0,3 м.н.в.)	0,3 (1 м.н.в.)	0,3 (1 м.н.в.)	0,03
Підфлуметофен	0,06 (1 м.н.в.)	1,2 (20 м.н.в.)	0,12 (2 м.н.в.)	> 0,12 і < 0,6 (> 2 м.н.в. і < 10 м.н.в.)	0,06

Примітка: м.н.в. – максимальна норма витрати, яка становить (кг/га) для амікарбазону – 0,14, біциклопірону – 0,15, імазапіру – 0,055, імазетапіру – 0,1, димоксистробіну – 0,1, іпробенфосу – 1,0, підфлуметофену – 0,18.

Тобто результати експериментальних досліджень міграції цих ДР у системі «ґрунт – повітря» свідчать про можливість і доречність науково обґрунтованої відмови від їх проведення.

Водночас згідно з запропонованою методикою прогнозування небезпеки забруднення приземного шару АП фосфорорганічну речовину іпробенфос спочатку було визнано претендентом на експериментальне дослідження міграції у системі «ґрунт – повітря» за ПІІН (5 балів). Надалі, за значенням КІІН (17 балів), встановлення порогової концентрації у ґрунті за повітряноміграційним показником шкідливості було визнано обов'язковим. Результати експериментів, проведених в екстремальних ґрунтових кліматичних умовах, показали, що порогова концентрація іпробенфосу у ґрунті за повітряноміграційною ознакою шкідливості є дуже низькою та відповідає лише 0,3 м.н.в. (табл. 3). Вона нижча за порогові концентрації речовини за транслокаційною та загальносанітарною ознаками шкідливості, які, у свою чергу, також є доволі низькими та відповідають 1,0 м.н.в.

Лише висока міграційна здатність іпробенфосу у системі «ґрунт – ґрунтові води» зумовила обґрунтування ГДК_г на рівні порогової концентрації за лімітувальним водноміграційним показником шкідливості – 0,03 мг/кг, що відповідає 0,1 м.н.в. Тобто щодо іпробенфосу експериментальне вивчення поведінки у системі «ґрунт – повітря» було не лише виправданим, а й вельми необхідним. Варто зазначити, що нині застосування ЗЗР на основі іпробенфосу, які були призначені лише для боротьби з перикуляріозом рису, в Україні заборонене.

Висновки

1. За величиною попереднього та кінцевого інтегральних індексів небезпечності (ІІН) амікарбазон класу триазолонів, трикетон біциклопірон, імідазолінони імазапір та імазетапір, стробілури димоксистеробін та піразолкарбоксамід підфлуметифен не потребують експериментального встановлення порогової концентрації за повітряноміграційним показником шкідливості для обґрунтування медико-санітарного нормативу у ґрунті.

2. Фосфорорганічну сполуку іпробенфос за попереднім ІІН (5 балів) визнано претендентом на експериментальне дослідження міграції у системі «ґрунт – повітря». За кінцевим ІІН (17 балів) встановлення порогової концентрації іпробенфосу за повітряноміграційним показником шкідливості визнано обов'язковим.

3. Результати експериментальних досліджень міграції у системі «ґрунт – суміжні середовища» засвідчили можливість і доречність науково обґрунтованої відмови від вивчення міграції із ґрунту у повітря амікарбазону, обох імідазолінонів, біциклопірону, димоксистеробіну та підфлуметифену. Водночас підтверджено необхідність та обов'язковість експериментального вивчення поведінки іпробенфосу у системі «ґрунт – повітря».

4. На прикладі експериментального обґрунтування медико-санітарного нормативу у ґрунті 7 пестицидів різних хімічних класів доведено надійність методики оптимізації об'єму експериментальних досліджень під час встановлення ГДК_г діючих речовин засобів захисту рослин шляхом науково обґрунтованої відмови від вивчення в умовах лабораторного експерименту міграції у системі

«ґрунт – атмосферне повітря».

Джерела фінансування:

Дослідження виконано у рамках ініціативно-пошукової науково-дослідної роботи «Наукове обґрунтування оптимізації експериментальних досліджень з гігієнічної регламентації екзогенних хімічних речовин у ґрунті», № державної реєстрації 0123U102295.

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Hihiiienichna klasyfikatsiia pestytsydiv za stupenem nebezpechnosti DSP 8.8.1.2.002-98, [Hygienic classification of pesticides by degree of danger DSP 8.8.1.2.002-98] Postanova Persho ho zastupnyka Holovno ho derzhavno ho sanitarno ho likaria Ukrainy [Order of the First Deputy Head of the State Sanitary Doctor of Ukraine] № 2, 1998 Aug 28. Ukrainian
2. Honcharuk Ye, Korshun M, Salata O, Tkachenko I, Dema O. Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku hihiiienichno ho normuvannia ekzohennykh khimichnykh rehovyn u grunti [Current status and prospects for the development of hygienic regulation of exogenous chemical substances in the soil]; In: *Hihiiienichna nauka ta praktyka na rubezhi stolit [Hygiene science and practice at the frontiers of the century]*; 2004 May 19-21; Dnipropetrovsk.: ART-PRES; . p. 160-4. Ukrainian
3. Dopustymi dozy, kontsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosfernomu povitri, vodi vodoimyshch, grunti [Permissible doses,

concentrations, quantities and levels of pesticides in agricultural raw materials, food products, working area air, atmospheric air, water bodies, soil] DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000-2001, Postanova Holovnoho derzhavnoho sanitarnoho likaria Ukrainy [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine] № 137, 2001 Sep 20. Ukrainian

4. Pro zatverdzhennia hiihienichnykh normatyviv i rehlamentiv bezpechnoho zastosuvannia pestytsydiv i ahrokhimikativ [For approval of sanitary and hygienic standards and regulations for the safe use of pesticides and agrochemicals], Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy [Order of the Ministry of Health of Ukraine] № 55, 2016 Feb 2. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0207-16#Text>. Ukrainian

5. Korshun MM, Korshun OM, Martiianova YV. Risk-oriented approaches to optimize the volume of experimental studies pesticides' hygiene standard in soil (first message). *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 2023;1(2):148. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-2-169-148-158>

6. Korshun MM, Korshun OM, Martiianova YV. Risk-oriented approaches to optimize the volume of experimental studies pesticides' hygiene standard in soil (second message). *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 2023;1(3):168. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-3-170-168-178>

7. AERU. PPDB - pesticides properties database; <http://sitem.herts.ac.uk/aer/uppdb/>.

8. Honcharuk Ye. Osoblyvosti hiihienichnoho normuvannia ekzohennykh khimichnykh rehovyn u grunti [Peculiarities

of hygienic regulation of exogenous chemical substances in the soil]. In: Zahalna hiihiena. Propedevtyka hiihieny [General hygiene. Hygiene education]. Kyiv: Vyshcha shkola; 1995. p. 316-24. Ukrainian

9. Pro zatverdzhennia hiihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn u povitri robochoi zony [On approval of hygiene regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the air of the working area], Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy [Order of the Ministry of Health of Ukraine] № 1596, 2020 Jul 14. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>. Ukrainian

10. Nakaz vid 07.10.2004 r. № 485 «Pro zatverdzhennia Metodychnykh vkazivok «Obgruntuvannia oriientovnykh bezpechnykh rivniv vplyvu (OBRV) khimichnykh rehovyn v atmosferному povitri naselennykh mist» [Order dated 07.10.2004. № 485 «On approval of Methodological instructions «Understanding of the orientation of safe levels of influence (OBRV) of chemical substances in the atmospheric air of populated areas», Nakaz MOZ Ukrainy [Order of the Ministry of Health of Ukraine] № 485, 2004 Oct 7. Ukrainian

11. Honcharuk Ye, Motuzynskyi M, Rokytskyi V. Kompleksne hiihienichne normuvannia ekzohennykh khimichnykh rehovyn u navkolyshnomu sere-dovyshchi [Comprehensive hygienic standards for exogenous chemicals in the environment]. In: Zahalna hiihiena. Propedevtyka hiihieny [General hygiene. Hygiene education]. Kyiv: Vyshcha shkola; 1995. p. 330-46. Ukrainian

12. Korshun M, Harkavyi S, Horbachevskyi R, Dema O, Korshun O. Naukove obgruntuvannia hiihienichnykh normatyviv pokhidnykh imidazolinonu u grunti [Scientific underpinnings of hygienic standards for the environmental protection of imidazolinone in soil]. In: *Aktualni pytannia hiihieny ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy* [Current issues of hygiene and environmental safety of Ukraine]; 2010 Oct 24-25; Kyiv. [place, publisher, date unknown]. p. 78-80. Ukrainian

13. Korshun M, Ruda T, Dema O, Korshun O, Horbachevskyi R, Kucherenko O. Zakonomirnosti mihratsii v systemi «grunt – sumizhni sere-dovyshcha» ta vplyvu na samo-ochyshchennia chornozemu vyluzhenoho novoho funhitsu dymoksyrobinu [The regularities of migration in the system «soil - mixed environment» and the impact of the new fungus dymoxystrobin on the self-purification of chernozem leached]. In: *Aktualni pytannia hiihieny ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy* [Current issues of hygiene and environmental safety of Ukraine]; 2015 Oct 8-9; Ivano-Frankivsk. p. 26-8. Ukrainian

14. Korshun MM, Martiianova YV, Korshun OM. Naukove obgruntuvannia medyko-sanitarnoho normatyvu u grunti novykh stiykykh pestytsydiv – predstavnykiv riznykh khimichnykh klasiv [Scientific substantiation of the medical-sanitary regulations in the soil of modern persistent pesticides - representatives of different chemical classes]. *Dovkillia ta zdorovia* [Environment & Health]. 2024 Mar ;(1(110)):57-65. <https://doi.org/10.32402/dovkil2024.01.057>. Ukrainian

Дата надходження статті – 08.11.2024.