

ПИТАННЯ ГІГІЄНИ ТА ЕКОЛОГІЇ

УДК 614.777:632.95.024.391

DOI 10.54229/2226-2008-2023-2-15

А. М. Антоненко¹, А. А. Борисенко¹, С. Т. Омельчук¹, І. М. Пельо¹, В. В. Бабієнко²

ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА МІГРАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ У ҐРУНТОВІ ТА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ ПІСЛЯ ОБРОБКИ АГРОКУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ РИЗИКУ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

¹Інститут гігієни та екології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця, Київ, Україна

²Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

УДК 614.777:632.95.024.391

А. М. Антоненко¹, А. А. Борисенко¹, С. Т. Омельчук¹, І. М. Пельо¹, В. В. Бабієнко²

ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА МІГРАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ У ҐРУНТОВІ ТА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ ПІСЛЯ ОБРОБКИ АГРОКУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ РИЗИКУ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

¹Інститут гігієни та екології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця, Київ, Україна

²Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

Внесення препаратів для обробок сільськогосподарських культур за допомогою БПЛА, інжекторних форсунок і технології 3RIVE 3D дозволить фермерам використовувати пестициди точніше та ефективніше. Інтенсивне застосування пестицидних препаратів у вітчизняному сільському господарстві викликає підвищене занепокоєння щодо їх потрапляння в ґрунтові води та погіршення їх якості. Що, в свою чергу, може мати негативний вплив на здоров'я населення, що вживає таку воду для питних потреб.

Встановлено, що за стійкістю в ґрунті в ґрунтово-кліматичних умовах у різних ґрунтово-кліматичних умовах Південно-Східної Європи дикват дибромід та біфентрин відносяться до немобільних сполук у ґрунті (5 клас), азоксистробін – мало мобільний (4 клас), ципроконазол – помірно мобільний (3 клас).

Ключові слова: пестициди, міграційна здатність, здоров'я населення, ризик споживання, технології внесення.

UDC 614.777:632.95.024.391

A. M. Antonenko¹, A. A. Borysenko¹, S. T. Omelchuk¹, I. M. Pelo¹, V. V. Babienko²

HYGIENIC ASSESSMENT OF THE PESTICIDES MIGRATION IN SOIL AND SURFACE WATER AFTER AGRICULTURES PROCESSING USING INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND REVEALING OF THE RISK OF THEIR NEGATIVE IMPACT ON HUMAN HEALTH

¹Hygiene and Ecology Institute of Bogomolet's National Medical University, Kyiv, Ukraine

²Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

Introduction. The application of pesticides for the treatment of agricultural crops using UAVs, injector nozzles and 3RIVE 3D technology will allow farmers to use pesticides more precisely and efficiently. The intensive use of pesticides in domestic agriculture causes increased concern about their migration into groundwater and deterioration of its quality. Which, in turn, can have a negative impact on the health of the population that uses such water for drinking purposes.

The purpose of the work was to conduct a comparative hygienic assessment of the migration of active substances of pesticides into ground and surface water after application using innovative methods and the risk of their negative impact on humans when consuming contaminated water.

Results and discussion. One of the main factors that determines the speed of migration through the soil profile is the sorption-desorption balance in the 'pesticide-soil' system. Diquat dibromide and bifenthrin are non-mobile compounds in the soil (class 5), azoxystrobin is slightly mobile (class 4), and cyproconazole is moderately mobile (class 3). For a more thorough assessment of this risk, we used the GUS and LEACH indicators.

According to the GUS rating scale, there is a very low (azoxystrobin and cyproconazole) and extremely low (diquat dibromide and bifenthrin) risk of leaching into groundwater for the studied compounds. According to the LEACH_{mod} the risk for bifenthrin is moderate (class 2), for the rest of the compounds it is low (class 3). The obtained results can be explained by the extremely high solubility of bifenthrin in water, which, even against the background of low stability and low mobility in the soil profile, significantly increases the risk of its getting into water bodies.

Conclusions. It is shown that according to the integral indicator of the danger of consuming water contaminated with pesticides, cyproconazole belongs to extremely dangerous compounds in the case of human consumption of water contaminated with it (class 1A), bifenthrin belongs to dangerous compounds (class 2), azoxystrobin and diquat dibromide are moderately dangerous (class 3).

Key words: pesticides, migration ability, public health, consumption risk, application technologies.

Вступ. Застосування пестицидів вручну може бути складним і трудомістким завданням, що потребує важкої праці та досвіду. Однією з головних переваг застосування інноваційних технологій внесення засобів захисту рослин є достовірне зменшення навантаження на робітника [1]. Автоматизовані аплікатори пестицидів можуть покривати значно більші площі за коротший час, зменшуючи кількість професійного контингенту, необхідного для застосування хімікатів. Це не тільки заощаджує витрати на оплату праці, але також знижує ризик нещасних випадків і травм, пов'язаних із ручним внесенням пестицидів [1; 2].

Внесення препаратів для обробок сільськогосподарських культур за допомогою БПЛА, інжекторних форсунок і технології 3RIVE 3D дозволить фермерам використовувати пестициди точніше та ефективніше. Ці системи направлені на доставку «правильної» кількості формуляції до культури, забезпечуючи її рівномірне внесення по всьому полю. Це покращує ефективність та зменшує ризик недостатнього або надмірного внесення, що може призвести до пошкодження або втрати врожаю чи завдати шкоди навколишньому середовищу [3].

Хімічні засоби захисту рослин потенційно можуть потрапити в об'єкти навколишнього середовища різними шляхами: розкладання, адсорбція частинками ґрунту, змивання з поверхневим стоком, міграція по профілю ґрунту, випаровування [4]. На ці процеси впливає багато різноманітних факторів. Наприклад, фізико-хімічні властивості самого пестициду, норма витрати і тип пестицидної формуляції, властивості і склад ґрунту, умови і методи обробки тощо [4].

Інтенсивне застосування пестицидних препаратів у вітчизняному сільському господарстві викликає підвищене занепокоєння щодо їх потрапляння в ґрунтові води та погіршення їх якості. Що, в свою чергу, може мати негативний вплив на здоров'я населення, що вживає таку воду для питних потреб [3; 4].

Саме тому нами було проведено оцінку здатності до міграції по профілю ґрунту в ґрунтові води азокси-стробіну, ципроконазолу, дикват диброміду та біфентрину – діючих речовин препаратів, що рекомендовані до застосування з використанням новітніх технологій внесення (інжекторні форсунок, БПЛА та 3Rive3D технології). Крім того, ми оцінили потенційний ризик для здоров'я населення (непрофесійних контингентів) при споживанні для питних потреб ґрунтових та поверхневих вод, що потенційно можуть бути забруднені вищезазначеними пестицидними сполуками після застосування на прилеглих територіях препаратів на їх основі.

Метою роботи було проведення порівняльної гігієнічної оцінки міграції у ґрунтові та поверхневі води діючих речовин пестицидних препаратів після внесення з використанням інноваційних методів та ризику їх негативного впливу на людину при вживанні контамінованої води.

Матеріали і методи. Польові дослідження з вивчення динаміки залишкових кількостей дикват диброміду, біфентрину, азокси-стробіну, ципроконазолу, їх стійкості та поведінки в об'єктах біоценозів проводили відповідно до [5] у різних ґрунтово-кліматичних

умовах Південно-Східної Європи: Степу, Лісостепу, Полісся.

Стійкість сполук у ґрунті оцінювали за ДСТУ 8.8.1.002-98 [6] та міжнародною класифікацією IUPAC [7].

Для оцінки міграційної здатності пестицидів використовували наступні індекси: K_{oc} (константа сорбції органічного вуглецю) [8], GUS (Groundwater Ubiquity Score) [9] – індекс потенційного вимивання, який показує ймовірність міграції з ґрунту в підземні води та LEACH (Leaching Estimation and Chemistry) [10] – індекс вимивання для оцінки потенційного забруднення ґрунтових і річкових вод. Міграційну здатність за константою K_{oc} оцінювали за допомогою міжнародної класифікації SSLRS [11].

Для прогнозування ризику для здоров'я людини через споживання або комерційне використання потенційно контамінованої пестицидами води інтегральний індекс небезпеки споживання води, забрудненої пестицидами (ПНЦВ) [12].

Результати та обговорення. Одним з основних чинників, що визначає швидкість міграції по ґрунтовому профілю, є сорбційно-десорбційна рівновага в системі «пестицид-ґрунт». Згідно з [11] дикват дибромід та біфентрин відносяться до немобільних сполук у ґрунті (5 клас), азокси-стробін – мало мобільний (4 клас), ципроконазол – помірно мобільний (3 клас) (табл. 1).

Однак оцінювати ризик забруднення ґрунтових вод лише за цим показником не доречно, аде при тривалій персистенції сполуки у ґрунті, її високій розчинності у воді, значній стабільності у водному середовищі потенційний ризик контамінування ґрунтових, а також поверхневих вод значно підвищується.

Для більш ретельної оцінки такого ризику нами були використані показники GUS [9] та LEACH [10].

За деталізованою шкалою оцінки GUS [13] для досліджуваних сполук існує дуже низький (азокси-стробін та ципроконазол) та надзвичайно низький (дикват дибромід та біфентрин) ризик вимивання в ґрунтові води. Тобто, вони відповідно відносяться до 5 та 6 класів небезпечності (табл. 1).

Це обумовлено, в першу чергу, їх малою стійкістю в ґрунті в ґрунтово-кліматичних умовах України при проведенні обробок сільськогосподарських культур з використанням новітніх методів внесення препаратів (інжекторні форсунок, БПЛА, 3Rive3D технологія). А також досить високими для азокси-стробіну та ципроконазолу та дуже високими для диквату та біфентрину значеннями коефіцієнтів сорбції органічним вуглецем.

Індекс вилугування ($LEACH_{mod}$) додатково враховує ще й розчинність сполук у воді та дозволяє оцінити не лише потрапляння сполуки у ґрунтові води шляхом міграції за профілем ґрунту, а й в поверхневі водойми. За даним показником ризик для біфентрину помірний (2 клас), для решти сполук – низький (3 клас) (табл. 1). Отримані результати можна пояснити надзвичайно високою розчинністю біфентрину у воді, що навіть на фоні низької стійкості та малої рухливості за профілем ґрунту, значно збільшує ризик його потрапляння в водні об'єкти.

Мобільність в ґрунтово-кліматичних умовах України

Критерії оцінки	LEACH _{mod} [*] у.о.*	GUS*	K _{oc} , мг/л за [12]	S _w , мг/л за [12]	τ ₅₀ у ґрунті, діб *	SCI-GROW, мкг/л	τ ₅₀ у воді, діб за [12]
азоксистробін							
Величина показника	7,2×10 ⁻²	0,96	589	6,7	6,4	3,83×10 ⁻¹	6,1
Клас небезпечності	3 за [10]	5 за [13]	4 за [11]	-	4 за [6]	-	2 за [6]
ципроконазол							
Величина показника	4,1×10 ⁻¹	0,28	364	93	1,6	3,46×10 ⁻¹	40
Клас небезпечності	3 за [10]	5 за [13]	3 за [11]	-	4 за [6]	-	1 за [6]
дикват дибромід							
Величина показника	2,9×10 ⁻⁸	-1,2	236610	0,001	7,0	5,35×10 ⁻³	1
Клас небезпечності	3 за [10]	6 за [13]	5 за [11]	-	4 за [6]	-	3 за [6]
біфентрин							
Величина показника	1,2	-1,4	2184750	718000	3,6	5,35×10 ⁻³	8
Клас небезпечності	2 за [10]	6 за [13]	5 за [11]	-	4 за [6]	-	2 за [6]

Примітки: LEACH_{mod} – індекс вилуговування; у.о. – умовні одиниці; GUS – ground ubiquity score (індекс потенційного вимивання); K_{oc} – константа сорбції органічним вуглецем; S_w – розчинність речовини у воді; τ₅₀ – період напівруйнування речовини, SCI-GROW – скринінг концентрації пестицидів у ґрунтових водах, мкг/л; * – власні дані

Також нами було використано скринінг концентрації у ґрунтових водах (SCI-GROW) [14], розроблений та широко використовуваний в США. Даний показник враховує норму витрати і кратність обробок, K_{oc}, τ₅₀ у ґрунті. В результаті розрахунків ми отримали величини максимально можливих концентрацій речовини (мкг/л) в ґрунтових водах при нормі витрати 1 кг/га або 1 л/га (табл. 1)

Як видно з таблиці 1, всі отримані показники значно менші 1, а також менші за нормативи сполук у воді (ГДК у воді). Не в останню чергу це пов'язано з незначною стійкістю даних пестицидів, невисокими нормами витрат, що стало можливим саме завдяки використанню сучасних технологій внесення формуляції на основі вказаних речовин.

Оцінку ж ризику для людини при споживанні потенційно контамінованої азоксистробіном, ципроконазолом, дикватом та біфентрином води здійснювали за [12].

Розрахунок максимально можливого добового надходження пестициду з водою (ММДНВ) проводили з урахуванням величини SCI-GROW, максимальної норми витрати пестициду з урахуванням кратності обробок та добової норми споживання води людиною (табл. 2).

Величина допустимого добового надходження (ДДН) включає допустиму добову дозу та масу тіла людини. Для приведення значень до одних одиниць вимірювання та для урахування максимального допустимого надходження з водою ДДН множимо на 200 (1000×0,2).

Як видно із таблиці 2, максимальне фактичне надходження сполуки з водою на 4-6 порядків менше відповідного допустимого добового надходження. Навіть якщо врахувати, що з водою максимально допускається надходження 20% від ДДН, фактичні величини все одно на 3-5 порядків менші за допустимі.

У всіх випадках ризик споживання людиною потенційно контамінованої азоксистробіном, ципроконазолом, дикватом та біфентрином води менше 1, тобто є допустимим.

Однак недоліком проведених розрахунків є те, що фактичний показник не враховує токсикологічні властивості сполук. Тому ми застосували інший метод, розроблений експертами Інституту гігієни та екології НМУ [12]. Методика передбачає бальну оцінку (від 1 до 4 балів) індексу вимивання LEACH_{mod}, τ₅₀ у воді та ДДД.

Таким чином, ципроконазол відноситься до надзвичайно небезпечних сполук при споживанні людиною контамінованої ним води (1А клас), що обумовлено його високою токсичністю (низьке значення ДДД) та відносно високою стійкістю у воді. Біфентрин відноситься до небезпечних (2 клас) сполук, в першу чергу, за рахунок високого (найвищого серед досліджуваних пестицидів) ризику вимивання в ґрунті та поверхневій воді. Азоксистробін та дикват дибромід є помірно небезпечними (3 клас), бо мають середні значення всіх показників (азоксистробін) або їх висока токсичність компенсується мінімальною стійкістю у воді та ризиком вимивання (таблиця 3).

Висновки. Встановлено, що за стійкістю в ґрунті в ґрунтово-кліматичних умовах у різних ґрунтово-кліматичних умовах Південно-Східної Європи дикват дибромід та біфентрин відносяться до немобільних сполук у ґрунті (5 клас), азоксистробін – мало мобільний (4 клас), ципроконазол – помірно мобільний (3 клас).

Показано, що для досліджуваних сполук існує дуже низький (азоксистробін та ципроконазол) та надзвичайно низький (дикват дибромід та біфентрин) ризик вимивання в ґрунті води (5 та 6 класи небезпечності, відповідно). Однак ризик вимивання в поверхневій воді для надзвичайно високо розчинного у воді біфентрину помірний (2 клас), для решти сполук – низький (3 клас).

Показано, що за інтегральним показником безпеки споживання води, забрудненої пестицидами, ципроконазол відноситься до надзвичайно небезпечних сполук при споживанні людиною контамінованої ним води (1А клас), біфентрин відноситься до небезпечних сполук (2 клас), азоксистробін та дикват дибромід є помірно небезпечними (3 клас).

Оцінка ризику для людини при споживанні контамінованої пестицидами води
(на основі максимальної концентрації речовин у воді)

Назва сполуки	SCI-GROW мкг/л	N, л/га	ММДНВ, мкг/добу	ДДД, мг/кг	ДДНВ, мкг/добу
Азоксистробін	$3,83 \times 10^{-1}$	1,5	1,7	0,03	360
Ципроконазол	$3,46 \times 10^{-1}$	1,5	1,6	0,002	24
Дикват дибромід	$5,35 \times 10^{-3}$	1,5	0,02	0,002	24
Біфентрин	$5,35 \times 10^{-3}$	1,5	0,02	0,02	240

Примітки: SCI-GROW – скринінг концентрації пестицидів у ґрунтових водах; N – максимальна норма витрати пестициду, з урахуванням кратності обробок; ММДНВ – максимально можливе добове надходження пестициду з водою; ДДНВ – допустиме добове надходження пестициду з водою

Оцінка ризику для людини при споживанні контамінованої пестицидами води
(з урахування показників токсичності сполуки)

Назва сполуки	LEACH _{mod} , у.о.		τ_{50} у воді, доба		ДДД, мг/кг		Сумарний бал
	значення	бал	значення	бал	значення	бал	
Азоксистробін	$7,2 \times 10^{-2}$	2	6,1	2	0,03	1	5
Ципроконазол	$4,1 \times 10^{-1}$	3	40,0	4	0,002	4	11
Дикват дибромід	$2,9 \times 10^{-8}$	1	1,0	1	0,002	4	6
Біфентрин	1,2	4	8,0	2	0,02	2	8

Примітки: SCI-GROW – скринінг концентрації пестицидів у ґрунтових водах; N – максимальна норма витрати пестициду, з урахуванням кратності обробок; ММДНВ – максимально можливе добове надходження пестициду з водою; ДДНВ – допустиме добове надходження пестициду з водою

ЛІТЕРАТУРА

- Depenbusch, L., Farnworth, C. R., Schreinemachers, P. et al. When Machines Take the Beans: Ex-Ante Socioeconomic Impact Evaluation of Mechanized Harvesting of Mungbean in Bangladesh and Myanmar. *Agronomy*. 2021; 11(5): 925. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050925>.
- Sims, B., Corsi, S., Gbehounou, G., Kienzle, J., Taguchi, M., Friedrich, T. Sustainable weed management for conservation agriculture: Options for smallholder farmers. *Agriculture*. 2018; 8(8):118. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture8080118>.
- Borysenko, A. A., Antonenko, A. N., Omelchuk, S. T., Bardov, V. G., Borysenko, A. V. Professional risks when applying pesticides using unmanned aircraft: features and comparative hygienic assessment. *Medical Science of Ukraine (MSU)*. 2021; 17(4):102–107. URL: <https://doi.org/10.32345/2664-4738.4.2021.15>.
- Sabzevari S., Hofman J. A worldwide review of currently used pesticides' monitoring in agricultural soils. *Science of The Total Environment*. 2022; (812): 152344.
- Methodical instructions on hygienic assessment of new pesticides: MU № 4263-87, approved. 03/13/87. Kiev : Ministry of Health of the USSR, 1988: 210.
- Pesticides. Classification according to the degree of danger: State Standard 8.8.1.002-98 / Coll. important official materials on sanitary and anti-epidemic issues. Kyiv, 2000; 9(1): 249–266.
- NPIC: National Pesticide Information Center. OSU Extension Pesticide Properties Database. [Internet]. [cited 2023 Feb 20]. Available from: <http://npic.orst.edu/ingred/ppdmmove.htm>.
- PPDB: Pesticide Properties DataBase. [Internet]. [cited 2023 Apr 28]. Available from: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm#D>.
- Gustafson D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1989; (8): 339–357.
- Claudia A. Spadotto. Screening method for assessing pesticide leaching potential. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. Curitiba*. 2002; (12): 69–78.
- SSLRC classification: Classification of mobility. Soil Survey and land research centre. Cranfield University, UK.
- Antonenko A.M., Vavrinevych O.P., Omelchuk S.T., Korshun M.M. Comparative hygienic evaluation and prediction of hazard to human health of groundwater contamination by herbicides of the most common chemical classes. *The unity of science*. Vienna, 2015. P. 153–157.
- Vogue, P.A., Kerle E. A., Jenkins, J.J. OSU Extension Pesticide Properties Database; National pesticide information center. (1994). [cited 2023 March 05]. Available from: <http://npic.orst.edu/ingred/ppdmmove.htm>.
- US EPA. SCI-GROW (Screening Concentration In Ground Water). Water Models. Pesticides: Science and Policy. [cited 2023 March 05]. Available from: <http://www.epa.gov/oppefedl/models/water/index.htm#scigrow>.

Надійшла до редакції 09.05.2023 р.

Прийнята до друку 30.05.2023 р.

Електронна адреса для листування andrey-b.07@ukr.net