

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПЕСТИЦИДАМИ РУДЕРАЛЬНИХ І КУЛЬТУРНИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ

М. Іванків, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-4911-2877

Н. Качмар, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0003-4471-5895

Т. Дацко, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-2957-1822

А. Дидів, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-4436-9008

С. Павкович, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-0844-3071

В. Бальковський, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-3995-1909

Львівський національний університет природокористування

<https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.038>

Іванків М., Качмар Н., Дацко Т., Дидів А., Павкович С., Бальковський В. Екологічні ризики забруднення пестицидами рудеральних і культурних біогеоценозів

Наголошено, що важливим завданням захисту довкілля сьогодні є попередження загрози екоризиків на першому етапі мінімізації можливих негативних наслідків. Доведено актуальність завдання щодо антропогенного забруднення токсикантами територій, прилеглих до складів агрохімікатів, спричиненого локалізацією і транслокацією залишків пестицидів у компонентах агробіогеоценозів. Проаналізовано екологічні аспекти оцінювання ризику небезпеки на наукових засадах, що дозволить виявити наслідки антропогенного навантаження на навколишнє середовище на локальному рівні. Залишки пестицидів – стійкі екоотоксиканти у природних середовищах, здатні мігрувати у харчових ланцюгах набагато швидше, ніж важкі метали. Тому наслідки їх потрапляння в біогеоценози небезпечні, оскільки багато з них є стійкими і лабільними.

Зауважено, що, незважаючи на отримані невисокі значення коефіцієнтів транслокації, багаторічні рослини здатні рости в умовах фітотоксичності ґрунту і накопичувати ДДТ та його метаболіти у значних кількостях у тканинах коренів. Отримані результати підтверджують наявність певного фізіологічного бар'єру щодо накопичення рослинами екоотоксикантів з ґрунту та залежність такого накопичення від видових особливостей рослин. Найнижчі показники вмісту пестицидів отримано для дерев'ю звичайного, де мінімальні концентрації ДДТ знайдено в надземних органах – 18,1 мкг/кг, у кореневій системі – 404,6 мкг/кг, а високі кількості досліджено у полині звичайному, який при вмісті ДДТ у ґрунті ризосфери становив 1642,8 мкг/кг (16,4 ГДК), накопичував пестицид у надземних органах рослин у концентрації 1898,4 мкг/кг у перерахунку на суху масу рослин, а його коренева система – 1846,2 мкг/кг.

Досліджено процеси транслокації і трансформації хлорорганічних пестицидів та встановлено закономірності розподілу пестицидів у вегетативних органах ячменю ярого. Дослідженнями на темно-сірому опідзоленому ґрунті в умовах Західного Лісостепу України визначено, що біотичне накопичення залишків ДДТ у вегетативній масі рослин ячменю ярого залежить не тільки від біологічних особливостей культури, а й від вихідної концентрації у ризосферному ґрунті.

Ключові слова: екоотоксиканти, транслокація, біоаккумуляція, трансформація, ґрунт, рослини.

Ivankiv M., Kachmar N., Datsko T., Dydiv A., Pavkovych S., Balkovsky V. Ecological risks of pesticide contamination of ruderal and cultural biogeocenoses

Attention is focused on the fact that the urgent task of protecting the environment today is to prevent the threat of ecological risks at the first stage of minimizing possible negative consequences. The article is devoted to the solution of the actual problem of anthropogenic contamination with toxicants of the territories adjacent to the warehouses of agrochemicals, caused by the localization and translocation of pesticide residues in the components of agrobiogeocenoses. Ecological aspects of hazard risk assessment are analyzed on a scientific basis, which will allow to reveal the consequences of anthropogenic load on the environment at the local level. Pesticide residues are potent ecotoxicants, and some are very persistent in natural environments, able to migrate through food chains much faster than heavy metals. Therefore, the consequences of their entry into biogeocenoses are dangerous, since many of them are stable and labile.

The studies have shown that despite the obtained low values of translocation coefficients, perennial plants are able to grow in conditions of phytotoxicity of the soil and accumulate significant quantities of DDT and its metabolites in root tissues. The obtained results confirm existence of a certain physiological barrier to the accumulation of ecotoxicants from the soil by plants and the dependence of such accumulation on the species characteristics of plants. The lowest indicators of pesticide content were obtained for common yarrow, where the minimum concentrations of DDT were found in aerial organs – 18.1 mg/kg, and in the root system – 404.6 mg/kg, and high amounts were investigated in wormwood, which with DDT content in the soil of the rhizosphere was 1642.8 mg/kg (16,4 MPC), the pesticide accumulated in the aerial organs of plants at a concentration of 1898.4 mg/kg based on the dry weight of plants, and its root system – 1846.2 mg/kg.

The processes of translocation and transformation of organochlorine pesticides are investigated in the article and regularities of distribution of pesticides in the vegetative organs of spring barley were determined. The experiment was conducted on dark grey podzolized soils in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine and showed that biological accumulation of DDT residues in the vegetative mass of spring barley plants depends not only on biological features of culture, but also on the initial concentration in rhizosphere soil.

Key word: ecotoxicants, translocation, bioaccumulation, transformation, soil, plants.

Постановка проблеми. Потенційні ризики використання пестицидів, характерні високою хімічною стабільністю, зумовлені їх різнобічним негативним впливом не тільки для земельних ресурсів, а й для тваринного та рослинного світу. Основна небезпека пестицидів полягає у входженні їх у біологічний колообіг, у процесі якого вони надходять в організм тварин і людини. Негативному впливу пестицидів піддаються насамперед агрофітоценози та їхні основні компоненти: ґрунти сільськогосподарських угідь, рослинний покрив, наземна та ґрунтова біота, водні об'єкти, зокрема ґрунтові води [3; 4; 10; 11; 13]. Дуже важливо сьогодні акцентувати увагу на тому, що загрозу довкіллю становлять непридатні або заборонені пестициди та інші отрутохімікати, які не утилізовані та зберігаються з порушенням правил. Саме тому в Україні проблема забруднення земель сільськогосподарського призначення залишковими кількостями пестицидів та питання збереження агробіорізноманіття сьогодні актуальні для суспільства.

Потрапляючи до ґрунту, пестициди забруднюють його токсичними сполуками, пригнічують біологічну активність, породжують небезпеку для популяційного складу біоценозів, спричиняють появу мутацій, що порушує генетичну чистоту високопродуктивних сортів та погіршує якість сільськогосподарської продукції, а відтак з'являється небезпека інтоксикації тварин і людини.

Найбільш суттєвою ознакою екобезпеки є ризик, як слушно вказує М. О. Фролов у своїх працях [16], адже питання про обрання того чи іншого заходу, важеля, механізму забезпечення екологічної безпеки залежить від конкретного прояву, реалізації чинника екологічного ризику.

Орел С. М. та Мальований М. С. зазначають, що забруднення та завдання шкоди довкіллю і необхідність ухвалення відповідних рішень для його зменшення вимагають здійснити

оцінку стану довкілля, а відтак – забезпечувати його захист з мінімальними затратами. Важливо науково обґрунтувати підходи до зниження рівня накопичення ксенобіотиків у продуктах харчування та кормах, тож необхідно з'ясувати шляхи міграції й накопичення ксенобіотиків агроєкосистемами. Отже, аналіз екологічного ризику є одним з ефективних інструментів, який об'єднує екологічні дані з управлінськими рішеннями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Численні публікації про високу стійкість пестицидів та їх метаболітів у довкіллі до розпаду, що є важливою передумовою їхньої міграції за профілем ґрунту, а також у суміжні середовища (рослини, повітря, воду), що небезпечно для природних біоценозів і, відповідно, для здоров'я людини, свідчать про те, що проблема, пов'язана із застосуванням цих полютантів, становить значний науковий та практичний інтерес.

Прогресивний або регресивний розвиток агробіогеоценозу визначається трансформацією і міграцією небезпечних речовин, енергії та інформації. Прогресивний розвиток характерний накопиченням екосистемою внутрішньої енергії, збільшенням довговічності та надійності [9; 12; 15]. Це супроводжується збільшенням адаптаційних можливостей екосистеми або ступенем її еластичності. Слід зауважити, що для агроєкосистеми, яка має високу врожайність одного (декількох) видів або сортів культурних рослин, характерні низька надійність і нездатність до тривалого існування без підтримки людиною. Тому для підвищення можливості її існування та посилення функціональної ефективності необхідно збільшувати надійність.

Науковці Войціцький В. М., Хижняк С. В., Данчук В. В., Ушкалов В. О. зазначають, що принциповим при оцінюванні накопичувальної та транс-

портувальної здатності агроєкосистеми щодо екотоксикантів є встановлення їхньої місткості стосовно цих речовин – ліміт забруднення агроєкосистеми поллютантами, за якого ще не спостерігаються зміни, загрозливі для її існування та функціонування [1; 2]. Це фундаментальна властивість, яка визначає ту граничну кількість поллютантів, що може стабільно утримувати біота екосистеми без зміни (за рахунок надійності) своїх основних функцій (приросту біомаси, зміни складу тощо). Місткість агроєкосистеми може слугувати мірою надійності кожного компонента агроєкосистеми, а також цієї системи загалом. При збільшенні надійності необхідно зменшити можливість накопичувальних процесів для поллютантів як окремими компонентами, так і всією агроєкосистемою, для забезпечення мінімально можливого потрапляння поллютантів до продуктів харчування людей і корму свійських тварин.

Слід пам'ятати, що агроландшафти – не тільки місце виробництва сільськогосподарської продукції, а й місце мешкання величезної кількості диких тварин, рослин, грибів та інших живих організмів. Багато з них пристосовані до існування в агробіогеоценозах і залежать від них. Дощові черв'яки, різноманітні комахи та їхні личинки, створюючи ходи під землею, забезпечують доступ повітря до коренів рослин, поліпшуючи врожайність.

Жуков О. В. [5] зауважує, що угруповання ґрунтових безхребетних характерне високими адаптивними можливостями для існування в умовах хімічного забруднення середовища існування. Стійкість комплексів мезофауни зумовлює підтримання низки синекологічних показників на постійному рівні, близькому до рівня природних угруповань. Це дозволяє угрупованням ґрунтових безхребетних виконувати свої функції в біогеоценозі навіть за досить високого ступеня забруднення навколишнього середовища.

Негативні впливи пестицидів на мікробне різноманіття та життєдіяльність мікроорганізмів ґрунту описали чимало дослідників [5; 10; 13; 14]. Так, у ґрунтах, забруднених пестицидами, спостерігали інактивізацію мікроорганізмів, що фіксують азот, і бактерій, що розчиняють важкодоступні сполуки фосфору. Аналогічно, як показали численні дослідження науковців, деякі пестициди впливали на ферментативну активність ґрунту, яка є біологічним індикатором родючості ґрунтів та біологічних процесів у ґрунтовому середовищі.

Науковці зауважують, що виняткове значення у забрудненні агробіогеоценозів належить

екотоксикантам. Необхідно враховувати, що агроєкосистеми можуть бути забруднені поллютантами, які потрапляють як із природних, так і з антропогенних джерел [1; 3; 11]. Сьогодні в літературі виокремлюють три групи факторів, які впливають на рухомість забруднювачів у ґрунтах: пов'язані з властивостями ґрунтів, залежні від характеристик забруднювачів та ті, що визначаються кліматичними умовами. Інтенсивність шкідливого впливу пестициду, а отже, й ризики для навколишнього середовища і для людини, залежать від поєднання низки чинників: на цей процес, зокрема, впливають фізико-хімічна форма поллютантів (аерозолі, пара, частинки, сорбовані на різних матеріалах тощо), їх стійкість у довкіллі (що залежить від реакції середовища, гранулометричного складу ґрунту, умісту в ньому гумусу тощо) чи погодньо-кліматичні умови (вітер, температура, атмосферні опади тощо). Отож, можна стверджувати, що міграція забруднювачів, які потрапляють у ґрунт, призводить до їх перерозподілу й за глибиною ґрунту, і в горизонтальному напрямі. Отже, ґрунт є середовищем загального накопичення і початковою точкою переміщення пестицидів. Крім того, надходження токсикантів до рослин агроєкосистеми залежить від видових і сортових особливостей рослин, внесення пестицидів чи агрохімікатів тощо.

Аналіз наукових праць багатьох українських та зарубіжних науковців свідчить, що в угрупованні організмів (біоценозі) зазвичай буває декілька паралельних ланцюгів живлення, між якими можливий взаємозв'язок, що забезпечує цілісність та динамічність біоценозу.

Деякі фахівці вважають, що ці джерела створюють відповідні поля (ореоли) забруднення земель. Так, розташування та конфігурація вказують на ступінь небезпечності цих джерел. Зокрема В. С. Мошинський, Т. В. Бухальська, А. Г. Ліщинський, Ж. В. Наконечна [12] зауважують, що первинне поле забруднення формується на поверхні ґрунту внаслідок прямого надходження забруднювальних речовин від джерела забруднення, що залежить від: 1) розташування джерела забруднення; 2) технологічних характеристик джерела забруднення; 3) агрегатного стану, хімічної форми, фізико-хімічних властивостей забруднювачів; 4) шляхів надходження; 5) метеорологічного режиму; 6) ландшафтно-морфологічної структури земель; 7) просторових особливостей та видового складу рослинного покриву; 8) структури природокористування й шляхів надходження забруднювальних речовин. Вторинне поле забруднення формується внаслідок процесів між-

територіального та міжкомпонентного перерозподілу забруднювальних речовин (механічної, фізико-хімічної, біогенної міграції) та їхньої акумуляції у природних компонентах, насамперед у біоті та у ґрунтах [12].

Отже, можливі обсяги чи інтенсивність надходження екотоксикантів від джерел підлягають науково обґрунтованому нормуванню.

Постановка завдання. Наше завдання – оцінити сучасний стан забруднення рослинного покриву агроєкосистем залишковими кількостями пестицидів, додатково проаналізувавши фітоценоз та пристосування рослин до забруднених територій навколо складів.

Пестициди застосовують у межах агроєкосистем, що в умовах регіонів аграрного спрямування займають великі площі. Тому проблема поширення високотоксичних речовин на значних територіях спричинює істотні екологічні ризики (пов'язані з порушенням стану довкілля); ризики для здоров'я (пов'язані з впливом на здоров'я людей); ризики для якості продуктів (пов'язані з імовірним потраплянням токсичних речовин у харчові продукти); інші види ризиків.

Виклад основного матеріалу. Аналіз екологічних аспектів у процесі здійснення агроєкологічного моніторингу на території розміщення сховища для тимчасового зберігання непридатних до застосування пестицидів на досліджуваній території свідчить про досить високу оцінку потенційного екологічного ризику (за рахунок загрози забруднення довкілля, зокрема ґрунту та рослинності).

У попередніх працях [6–8] ми описали серйозність проблеми забруднення ґрунтів хлорорганічними пестицидами та дослідили видовий склад фітоценозу територій, прилеглих до складів агрохімікатів.

Стосовно наземних екосистем, зокрема лучних екосистем і агроценозів, пестициди у рослини надходять унаслідок поверхневої адсорбції листям і стеблами, а також поглинання кореневою системою. Тож є два основні типи надходження речовин до рослин: позакореневий і кореневий.

Рослинні зразки аналізували у Львівському обласному державному проектно-технологічному центрі охорони родючості ґрунтів і якості продукції «Облдержродючість» (тепер Львівська філія ДУ «Держґрунтохорона»).

За нашими спостереженнями у структурі рослинних угруповань територій, прилеглих до складів агрохімікатів, наявні як токсикото-

лерантні, так і чутливі до токсичного впливу види рослин. Зазвичай комплекс різних токсикантів на цих територіях має нерівномірний розподіл у ґрунті. Відокремити вплив певного препарату в польових умовах полікомпонентного забруднення ґрунту зазвичай не вдається. Можна лише оцінити синергічну реакцію рослин на цілісний комплекс забруднювальних речовин, наявних у ґрунті, на різних стадіях функціонування рудерального чи культурного агробіоценозу.

Для виявлення змін у рослинному угрупованні з віддаленням від епіцентру забруднення ми поділили територію навколо складського приміщення радіусом 50 м умовно на 12 секторів (дослідних ділянок), розміщених у південному, північному, східному та західному напрямках на відстанях 1-50 м від приміщення складу. У межах кожного сектору закладали по 3–4 облікові рамки.

Рослинне угруповання досліджуваної території представлено 21 видом дикорослих рослин. Виявлено, що з віддаленням від джерела забруднення у всіх напрямках збільшуються густина рослинного покриву та видова насиченість рослинного угруповання. Порівняння облікових ділянок за кількістю видів та густиною рослинного покриву на різній відстані від джерела забруднення протягом дослідних років показало, що забруднена територія поступово зростає.

Для виявлення у структурі фітоценозу, сформованого в умовах високого пестицидного навантаження ґрунту в межах зони складу отрутохімікатів у минулому Жовківського району Львівської області, дикорослих видів рослин з високою здатністю до фітоекстракції та фітодеградації токсикантів, визначали залишкові кількості стійких органічних забруднювачів у тканинах рослин та ризосферному ґрунті. На основі отриманих даних про ступінь хімічної деградації ґрунтового покриву навколо складського приміщення для дослідження відібрали рослини з ділянок із максимальними рівнями забруднення ДДТ.

Одним із основних показників здатності рослин до фітоекстракції забруднювачів із забруднених ґрунтів є коефіцієнт транслокації (K_T), який характеризує інтенсивність процесу переходу токсикантів з підземної у надземну частину рослин. Це безрозмірна величина, що визначається як співвідношення вмісту пестицидів у надземних органах рослин до їх вмісту у кореневій системі. Американський учений Дж. Ввайт вважає, що при значеннях цього коефіцієнта ≥ 1 рослини мають високу здатність переміщувати

токсиканти із кореневої у надземну частину та є перспективними для використання у технологіях фітоекстракції [18].

Для рослин кожного виду визначали залишкові кількості хлорорганічних пестицидів окремо у надземних органах рослин і їх кореневій системі та розраховували коефіцієнт біонакопичення K_6 (співвідношення вмісту

пестицидів у рослин до їх вмісту у ризосферному ґрунті) та коефіцієнт транслокації токсикантів K_T (співвідношення вмісту пестицидів у надземній частині до вмісту у кореневій системі рослин). Серед наведених показників обирали критерії фітореMediaційної спроможності для дикорослих видів рослин. Дані розрахунків представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**Біонакопичення та транслокація ДДТ дикорослими видами рослин
(у перерахунку на абсолютно суху масу рослин)**

Вид рослини	Вміст суми ізомерів та метаболітів ДДТ, мкг/кг			K_6 , коефіцієнт біонакопичення	K_T , коефіцієнт транслокації
	ґрунт ризосфери	надземні органи	коренева система		
Полин звичайний	1642,8±4,9	1898,4±2,4	1846,2±2,7	1,14	1,03
Кульбаба лікарська	2174,4±9,7	1661,6±1,9	2600,2±4,6	0,98	0,64
Тонконогі вузьколистий	1576,4±2,7	620,2±0,8	1365,6±1,7	0,63	0,45
Лопух великий	1627,3±3,2	195,3±0,7	1204,2±2,4	0,43	0,16
Різак звичайний	1864,2±4,2	225,4±0,9	930,1±1,3	0,31	0,24
Пирій повзучий	1637,5±2,7	51,0±0,3	538,5±2,0	0,18	0,09
Деревій звичайний	1921,6±3,1	18,1±0,2	404,6±1,8	0,11	0,04
ГДК	100			-	-

Результати досліджень показали, що дикорослі види рослин, толерантні до токсичного впливу пестицидів, здатні активно накопичувати ДДТ у тканинах своїх надземних і підземних органів. Переважно досліджувані багаторічні дикорослі рослини здатні до накопичення ДДТ та його метаболітів у значно більших кількостях у тканинах коренів порівняно з надземними органами. Виняток становив полин звичайний, який за вмісту ДДТ у ґрунті ризосфери у кількості 1642,8 мкг/кг (16,4 ГДК) накопичував пестицид у надземних органах рослин у концентрації 1898,4 мкг/кг у перерахунку на суху масу рослин, а його коренева система – 1846,2 мкг/кг. Найнижчі показники вмісту пестицидів отримано для деревію звичайного, де мінімальні концентрації ДДТ знайдено в надземних органах – 18,1 мкг/кг, а у кореневій системі – 404,6 мкг/кг.

Розрахунки показали тісний корелятивний зв'язок між вмістом ДДТ у ризосферному ґрунті й органах рослини. Найвищі показники коефіцієнтів транслокації та біонакопичення виявлено для

рослин полину звичайного, кульбаби лікарської і тонконога вузьколистого. Так, коефіцієнт біонакопичення був максимальним для полину звичайного і становив 1,14, при цьому коефіцієнт транслокації для цього виду становив 1,03. Такі показники свідчать про високу інтенсивність поглинання ДДТ цим видом рослин.

Високі значення коефіцієнтів біонакопичення і транслокації виявлено для кульбаби лікарської (0,98 і 0,64) і для тонконога вузьколистого (0,63 і 0,45). Це підтверджує припущення, що коефіцієнти біонакопичення дикорослих рослин перебувають у тісному корелятивному зв'язку з коефіцієнтами транслокації, хоча останній не повною мірою залежить від ступеня забруднення ґрунту ДДТ. Наприклад, винятком була рослина лопуха великого, де при вмісті в ризосферному ґрунті ДДТ на рівні 1627,3 мкг/кг коефіцієнт транслокації для цієї рослини становив 0,16. Так, для рослин лопуха великого, різак звичайного, пирію повзучого і деревію звичайного були невисокими показники коефіцієнтів біона-

копичення (0,43, 0,31, 0,18 і 0,11) і транслокації (0,16, 0,24, 0,09 і 0,04). Отримані результати підтверджують наявність певного фізіологічного бар'єру, а саме активізації комплексу захисних механізмів рослинного організму, спрямованих на призупинення процесу міграції токсикантів з ґрунту.

Основною фітопродукційною функцією ґрунту є створення необхідних умов, які б забезпечували належне проходження процесу онтогенезу культурних рослин, а як наслідок – одержання якісної продукції.

Тому з метою дослідження можливостей екстракції, транслокації і трансформації хлороорганічних пестицидів та встановлення закономірностей розподілу хлороорганічних пестицидів у вегетативних органах ячменю ярого проаналізовано кореневу систему, надземну частину та зерно культури на вміст залишкових кількостей хлороорганічних пестицидів.

Уміст хлороорганічних пестицидів у вегетативних органах ячменю ярого (коренях, надземній вегетативній масі, зерні) представлено в табл. 2.

Таблиця 2

**Накопичення та транслокація ДДТ у біомасі ячменю ярого
мкг/кг (у перерахунку на абсолютно суху речовину)**

Рік дослідження	Сумарний вміст ДДТ та його метаболітів, мкг/кг				K ₆ , коефіцієнт біонакопичення	K _т , коефіцієнт транслокації
	ґрунт ризосфери	коренева система	надземна частина	зерно		
Перший	215,8±3,7	147,4±2,9	126,2±2,3	101,4±1,6	0,63	0,85
Другий	201,7±4,1	122,1±2,0	98,6±1,8	61,25±1,3	0,54	0,80
Третій	193,4±1,8	106,5±1,7	68,1±1,85	25,5±0,9	0,45	0,63

Результати досліджень показали (див. табл. 2), що біологічне накопичення залишків ДДТ у вегетативній масі рослин ячменю ярого залежить не тільки від біологічних особливостей культури, а й від вихідної концентрації у ризосферному ґрунті. Найбільша частка хлороорганічних пестицидів зосереджена в коренях (у всіх варіантах досліду), найменша – в зерні. При вмісті в ризосферному ґрунті ДДТ на рівні 215,8 мкг/кг (2,2 ГДК) накопичувався пестицид у кореневій системі – 147,4 мкг/кг у перерахунку на суху масу рослин, а в надземних органах рослин у концентрації 126,2 мкг/кг. Найнижчі показники вмісту пестицидів отримано на третій рік дослідження, при вмісті ДДТ у ґрунті ризосфери у кількості 193,4 мкг/кг (1,9 ГДК), де мінімальні концентрації ДДТ знайдено в зерні – 25,5 мкг/кг, у надземних органах – 68,1 мкг/кг, а у кореневій системі – 106,5 мкг/кг. Отримані результати підтверджують наявність певного фізіологічного бар'єру в кореневій системі рослин щодо накопичення та міграції токсикантів з ґрунту до рослин.

Результати наведених даних свідчать про те, що вміст хлороорганічних пестицидів зменшується у ряді: підземна фракція > генеративна фракція > вегетативна фракція фітомаси. Якість насіння – найважливіший фактор урожайності, тому що насіння є носієм біологічних і господарських властивостей рослини [16]. Розвиток зерна завер-

шується з набуттям фізіологічної зрілості, коли настає повна стиглість і зерно здатне виконувати функції насіння, при цьому набуває високих технологічних якостей.

Так, із поступовим зменшенням сумарного вмісту ДДТ та його метаболітів, коефіцієнт біонакопичення знижується (у межах 0,63–0,45), що свідчить про пряму корелятивну залежність між вмістом токсиканта у ґрунті та його надходженням до рослин. Коефіцієнт транслокації знижується за мінімального вмісту ДДТ (193,4 мкг/кг) у ризосферному ґрунті, як видно з таблиці, у межах 0,85–0,63. У такому разі при зменшенні токсичної дії пестициду активніше спрацьовує захисна функція кореневої системи, що сприяє зменшенню надходження залишків ДДТ у надземну частину ячменю.

Це підтверджує припущення, що коефіцієнти біонакопичення перебувають у тісному корелятивному зв'язку з коефіцієнтами транслокації, хоча останній не повною мірою залежить від ступеня забруднення ґрунту ДДТ.

Висновки. Дикорослі види рослин, толерантні до токсичного впливу пестицидів, здатні активно накопичувати ДДТ у тканинах своїх надземних і підземних органів. Причому переважно досліджувані багаторічні дикорослі рослини здатні до накопичення ДДТ та його

метаболітів у значно більших кількостях у тканинах коренів порівняно з надземними органами. Отримані результати підтверджують наявність певного фізіологічного бар'єру в кореневій системі рослин щодо накопичення та міграції токсикантів з ґрунту до рослин.

Розрахунки показали тісний кореляційний зв'язок між вмістом ДДТ у ризосферному ґрунті та органах рослини. Найвищі показники коефіцієнтів транслокації та біонакопичення виявлено для рослин полину звичайного, кульбаби лікарської і тонконога вузьколистого. Так, коефіцієнт біонакопичення був максимальним для полину звичайного і становив 1,14, при цьому коефіцієнт транслокації для цього виду утворив 1,03. Такі показники свідчать про високу інтенсивність поглинання ДДТ цим видом рослин.

Слід врахувати, що більшість досліджуваних видів належить до багаторічних рослин, здатних накопичувати значні кількості ДДТ та його метаболітів у тканинах коренів. Це свідчить про можливість застосування таких видів як фітостабілізаторів стійких органічних забруднювачів у ґрунті для запобігання міграційним процесам.

Надходження ДДТ та його метаболітів з ґрунту у рослини ячменю ярого досліджуваної території, процеси їх накопичення та трансформації у тканинах залежать від вихідної концентрації у ризосферному ґрунті, наявності фітотоксичних речовин, а також від біологічних особливостей культури.

Бібліографічний список

1. Войціцький В. М., Хижняк С. В., Конопольський О. П. Прогнозування процесів міграції та накопичення полютантів агроєкосистемами. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 115. С. 270–277.
2. Войціцький В. М., Хижняк С. В., Данчук В. В., Ушкалов В. О. Надійність агроєкосистем: підходи щодо її оцінки та підвищення. *Таврійський науковий вісник: сільськогосподарські науки*. Херсон: «Гельветика», 2021. Вип. 118. С. 327–333.
3. Екологічні ризики забруднення сільськогосподарської продукції непридатними пестицидами / І. М. Городиська, В. В. Монарх, Т. О. Моклячук та ін. *Збалансоване природокористування*. 2013. № 4. С. 17–22.
4. Екотоксикологія: навч. посіб. / В. В. Снітинський, П. Р. Хірівський, П. С. Гнатів, Ю. Я. Корінець, Н. Є. Панас / 2-ге вид., доп. і перероб. Херсон: Олді-плюс, 2019. 396 с.
5. Жуков О. В. Екоморфічний аналіз консорцій ґрунтових тварин: монографія. Дніпропетровськ: Видво «Свідлер А. Л.», 2009. 239 с.
6. Іванків М. Я., Вовк С. О., Бальковський В. В., Кружель Б. Б., Павкович С. Я. Особливості міграції та акумуляції хлорорганічних забруднень у ґрунті. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2016. № 20. С. 18–22.
7. Іванків М. Я., Вовк С. О., Бальковський В. В., Павкович С. Я. Особливості трансформації стійких органічних забруднювачів у ґрунті. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2017. № 27. С. 24–30.
8. Іванків М. Я., Огородник Н. З., Бальковський В. В., Павкович С. Я., Вовк С. О., Городиська І. М. Дослідження видового складу фітоценозу територій, прилеглих до складів агрохімікатів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2018. № 22 (2). С. 20–24.
9. Моделювання міграції екоотоксикантів у компонентах агроєкосистеми / В. М. Войціцький, С. В. Хижняк, В. В. Данчук та ін. *Агроєкологічний журнал*. 2019. № 1. С. 36–42. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/163246>. (дата звернення: 20.04.2022).
10. Моклячук Т. О. Методи оцінки екологічного ризику від забруднення стійкими пестицидами. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 2. С. 135–142.
11. Монарх В. В. Оцінка екологічних ризиків забруднення пестицидами компонентів агроєкосистеми. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 1. С. 206–212.
12. Моніторинг та охорона земель. Практикум: навч. посіб. / В. С. Мошинський, Т. В. Бухальська, А. Г. Ліщинський, Ж. В. Наконечна. Вид. 2-ге, перероб. та допов. Рівне: НУВГП, 2019. 202 с.
13. Оцінка екологічних ризиків у зонах впливу складів отрутохімікатів / Л. І. Моклячук, І. М. Городиська, В. В. Монарх, О. М. Моклячук, Т. О. Моклячук. *Збалансоване природокористування: наук.-метод. журн.* 2017. № 3. С. 145–150.
14. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Видавництво Олді-плюс, 2011. 568 с.
15. Рудаков Д. В. Математичні моделі в охороні навколишнього середовища: навч. посіб. Дніпро: Видво Дніпропетр. ун-ту, 2004. 160 с.
16. Фролов М. О. Правові аспекти екологічного ризику: дис ... к.ю.н.: 12.00.06. Київ, 2000. С. 21–22.
17. Ячмінь / В. Лихочвор, Р. Проць, Я. Долежал. Львів: Укр. технології, 2003. 88 с.
18. Interdisciplinary Influence of nutrient amendments on the phytoextraction of weathered 2,2-bis(p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene by cucurbits / J. C. White, Z. D. Parrish, M. Isleyen, M. P. Gent, W. Iannucci-Berger, B. D. Eitzer, M. I. Mattina. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2005. Vol. 24, No 4. P. 987–994.

Стаття надійшла 22.04.2022