

## Техногенно-екологічна небезпека застосування хімічних засобів захисту рослин (на прикладі купрумвмісних препаратів)

**Олена Крайнюк**<sup>1</sup>

к. техн. н., доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності

<sup>1</sup> Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, Україна,

e-mail: [alenuvarova@ukr.net](mailto:alenuvarova@ukr.net), [id https://orcid.org/0000-0001-9524-040X](https://orcid.org/0000-0001-9524-040X);

**Юрій Буц**<sup>2</sup>

д. техн. н., професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища

<sup>2</sup> Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна,

e-mail: [butsyura@ukr.net](mailto:butsyura@ukr.net), [id https://orcid.org/0000-0003-0450-2617](https://orcid.org/0000-0003-0450-2617);

**Віталій Барбашин**<sup>3</sup>

к. техн. н., доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності

<sup>3</sup> Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна,

e-mail: [barbachyn@ukr.net](mailto:barbachyn@ukr.net), [id https://orcid.org/0000-0003-3262-8305](https://orcid.org/0000-0003-3262-8305);

**Ольга Нікітченко**<sup>3</sup>

к. техн. н., доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності,

e-mail: [olganikitchenko369@gmail.com](mailto:olganikitchenko369@gmail.com), [id https://orcid.org/0009-0007-1313-2191](https://orcid.org/0009-0007-1313-2191);

**Мар'яна Паккі**<sup>4</sup>

к. пед. н., доцент кафедри фундаментальної та прикладної геології

<sup>4</sup> Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,

e-mail: [pakki@karazin.ua](mailto:pakki@karazin.ua), [id http://orcid.org/0000-0002-1343-572X](http://orcid.org/0000-0002-1343-572X)

Метою наукової праці є визначення техногенно-екологічної небезпеки застосування хімічних засобів захисту рослин (на прикладі купрумвмісних препаратів). У роботі розкрито сутність техногенно-екологічної небезпеки засобів захисту рослин для людини та довкілля, проаналізовано масштаби використання і зберігання засобів захисту рослин в Україні, зокрема у Харківській області; окреслено шляхи підвищення техногенно-екологічної безпеки засобів захисту рослин; на прикладі купрумвмісних препаратів показано небезпеку застосування хімічних засобів захисту рослин для овочевої продукції. Розглянуто обсяги накопичення та використання пестицидів в Україні, у тому числі на складах Харківського регіону. Збільшилася кількість централізованих складів. Заборонені та непридатні до використання хімічні засоби захисту рослин відсутні з 2012 року. Дослідження проводились із використанням овочів (томати, огірки) та зеленої цибулі. У зеленій масі цибулі, що контактувала безпосередньо з препаратом на основі сульфату купруму ( $\text{CuSO}_4$ ) виявлено вміст Cu, що перевищує ГДК для овочів. При дослідженні томатів та огірків вивчено вміст купруму у плодах. Встановлено, що обробка препаратом, що містить купрум, не впливає на вміст Cu у плодах протягом усього експерименту, включно з днем обробки. Максимальний вміст Cu у плодах томатів у день обробки не перевищує ГДК у дослідній і контрольній пробі. Підвищення концентрації Cu у дослідних зразках порівняно з контрольними статистично не значуще, оскільки всі значення виявилися нижчими за ГДК для овочів, що становить 5,0 мг/кг. Дослідження виявило періодичне збільшення вмісту цього важкого металу у пробах огірків і томатів, узятих у день обробки, порівняно з контрольними зразками. Це може бути пов'язано з наявністю ще не змитого препарату на поверхні оброблюваної культури. Виходячи з даних, отриманих під час вивчення накопичення купруму в рослинах протягом вегетаційного сезону, можна припустити, що активне накопичення цього хімічного елемента у плодах відбувається тільки на стадії їх формування. У міру дозрівання рівень поглинання купруму плодами знижується.

**Ключові слова:** техногенно-екологічна небезпека; купрум; хімічні засоби захисту рослин; купрумвмісні пестициди; овочева продукція; природоохоронні технології.

**Як цитувати:** Крайнюк Олена. Техногенно-екологічна небезпека застосування хімічних засобів захисту рослин (на прикладі купрумвмісних препаратів) / Олена Крайнюк, Юрій Буц, Віталій Барбашин, Ольга Нікітченко, Мар'яна Паккі // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 60. – С. 354-365. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-26>

**In cites:** Krainiuk Olena, Buts Yuriy, Barbashyn Vitalii, Nikitchenko Olga, Pakki Marianna (2024). Technogenic and ecological hazards of using chemical plant protection products (on the example of copper-containing preparations). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (60), 354-365. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-26> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Однією з глобальних техногенно-екологічних проблем та чинників виникнення надзвичайних ситуацій, які утворюються в процесі сільськогосподарського виробництва, є негативний вплив на довкілля та здоров'я людини пестицидів – хімічних речовин, що застосовуються для боротьби зі шкід-

ливими організмами як у сільському, так і лісовому господарстві.

Завдяки високій ефективності, простоті та доступності хімічні методи виявлення пестицидів є головними у захисті рослин і передбачають використання пестицидів для запобігання розвитку і знищення шкідників, хвороб рослин і бур'

янів при масовому їх розмноженні та поширенні. Створення та широке використання пестицидів надало суттєвий економічний ефект і призвело до значного росту світового виробництва продовольства та сировини для промисловості. За рахунок використання пестицидів помітно підвищується продуктивність сільського господарства, при цьому суттєво скорочуються енергетичні витрати на отримання продукції рослинництва. Використання гербіцидів у посівах цукрового буряка, наприклад, дає економію енерговитрат, еквівалентну 36-66 кг дизельного пального на 1 га, у посівах рису – 9-26 кг [1].

У сільському господарстві України щорічні втрати врожаю від шкідливих організмів становлять 25-30 %, тому використання хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) є необхідною складовою сучасних методів вирощування. Перевага застосування пестицидів перед іншими методами полягає у їх високій ефективності, яка підтримується науковими дослідженнями і забезпечує як високу продуктивність, так і економічну вигоду у тривалій перспективі.

Поряд з очевидним позитивним ефектом, з часом почали виявлятися і негативні наслідки впровадження у виробництво інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур та широкого використання ХЗЗР, а саме: зростання пестицидного навантаження на сільгоспугіддя, накопичення пестицидів у ґрунтах, водоймах, виникнення стійких до них популяцій шкідливих організмів (емерджентність), поява нових економічно вагомих видів шкідників, згубна дія на представників корисної флори і фауни, потенційна загроза здоров'ю людини, порушення рівноваги у природних біоценозах, збільшення небезпеки забруднення навколишнього природного середовища та врожаю і т. ін. За розрахунками авторів [2] понад 60 % сільськогосподарської території оброблюється фунгіцидами, що є серйозним викликом для політиків у ряді країн, що розвиваються, особливо якщо вони прагнуть досягти балансу між продовольчою безпекою та безпекою навколишнього середовища [4]. Пестициди і близькі до них сполуки, які в більшості своїй є ксенобіотиками, складають від 3 до 5 % загальної кількості різних хімічних сполук, які є продуктами господарської діяльності людини та виявлені в навколишньому природному середовищі [5].

Умови інтенсивного застосування засобів захисту рослин, а також серйозна проблема забруднення пестицидами об'єктів агроєкосистем через місцеві джерела забруднення, створюють загрозу для здоров'я людей через використання забрудненої пестицидами сільськогосподарської продукції. Близько 92 типів пестицидів фіксують

у складі товарного меду [3]. Споживання такої продукції веде до ризику безпліддя у жінок та навіть раку простати у чоловіків [3]. Пестициди належать до хімічних екзогенних чинників антропогенного походження, що можуть негативно впливати на щитоподібну залозу [5].

Пестициди мають широкий негативний вплив на біосферу, який порівнюють з глобальними екологічними проблемами, і можуть призвести до надзвичайних техногенно-екологічних ситуацій. Їх потрапляння у навколишнє природне середовище забруднює ґрунти, водні ресурси та атмосферне повітря, що призводить до погіршення родючості ґрунтів і загрози здоров'ю людини через хімічні залишки в продуктах харчування. Вивчення впливу пестицидів на довкілля, особливо актуальне, оскільки це спонукає до виникнення надзвичайних ситуацій.

**Мета дослідження.** Метою наукової праці є визначення техногенно-екологічної небезпеки застосування хімічних засобів захисту рослин (на прикладі купрумвмісних препаратів).

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

- розкрити сутність техногенно-екологічної небезпеки засобів захисту рослин для людини та довкілля;

- проаналізувати масштаби використання і зберігання засобів захисту рослин в Україні, зокрема у Харківській області;

- окреслити шляхи підвищення техногенно-екологічної безпеки ХЗЗР;

- на прикладі купрумвмісних препаратів вказати на небезпеку застосування хімічних засобів захисту рослин для овочевої продукції.

*Об'єктом дослідження* є техногенно-екологічна загроза використання засобів захисту рослин та шляхи її зниження.

*Предметом досліджень* є небезпека застосування купрумвмісних засобів захисту рослин та їх вплив на овочеву продукцію

Матеріали і методи досліджень. Для вивчення масштабів використання та зберігання засобів захисту рослин в Україні та виявлення їх техногенно-екологічної загрози використано аналіз статистичних даних про обсяги закупівель та використання пестицидів, зокрема у Харківському регіоні, опитування крупних аграріїв та виробників засобів захисту рослин. Проведено літературний огляд з метою вивчення наукових публікацій та звітів про техногенно-екологічну небезпеку застосування ХЗЗР. Експериментальні дослідження і хімічний аналіз деяких видів сільськогосподарської продукції після обробки пестицидами здійснено за допомогою атомно-абсорбційного аналізу в лабораторіях Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У світлі поточного екологічного стану в Україні виникла серйозна проблема, що походить від людської діяльності – загроза виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з використанням пестицидів. Дослідження впливу хімічних засобів захисту рослин на екосистеми та здоров'я людей є актуальними. Щорічно в аграрній сфері світу використовується величезна кількість мінеральних добрив та ХЗЗР – 400 млн. тон і 2 млн. тон відповідно. Міграція небезпечних речовин, які надходять з хімічними засобами у ґрунтове середовище, водні об'єкти і атмосферу, викликає забруднення екосистеми та зниження якості довкілля. Застосування хімічних препаратів паралельно із промисловим забрудненням, а у даний час ще і з екологічними наслідками військових дій, негативно впливає на екологічний стан та стійкість агроландшафтів [6, 7]. Сільськогосподарські угіддя в Україні займають 42 млн. гектарів, що становить 72 % загального земельного фонду країни [8]. Сільським господарством використовується гербіцидів – 893 препарати, фунгіцидів – 382 препарати, інсектицидів – 234 препарати [8].

Під вплив пестицидів потрапляють основні компоненти агрофітоценозів: ґрунти сільськогосподарських угідь, рослини, надземна та ґрунтова біота, ґрунтові води, поверхневі водні об'єкти [9]. Купрумвмісні пестициди впливають на корисних комах, а негативний вплив фунгіцидів, що використовуються для боротьби з захворюваннями рослин, недооцінений. Хімічний фон фунгіцидів негативно впливає на ряд показників життєдіяльності ентомофагів таких як: пошукова здатність, агресивність, плодючість, тривалість життя. А це в свою чергу знижує ефективність біологічного захисту рослин від шкідників та знижує врожайність томатів [10].

Проблема залишкових решток пестицидів у навколишньому природному середовищі має багатоаспектний характер, який пояснюється наступним:

- відмінністю фізико-хімічних і токсикологічних властивостей пестицидів;
- особливостями їх поведінки, яка залежить як від властивостей самого препарату, так і від природних чинників;
- можливістю складного внесення різних функціональних пестицидів (сумішей) та їх одночасне використання з іншими хімічними засобами;
- технічною складністю заходів щодо захисту рослин тощо.

Поміж загально-екологічних проблем, пов'язаних із застосуванням ХЗЗР, слід відмітити глобальну міграцію пестицидів, що включає їх пе-

реміщення з використанням трофічних ланцюгів, надходженням у продукти харчування і вплив на здоров'я людини, зростання стійкості шкідливих організмів та інші наслідки.

Внаслідок застосування пестицидів, хімічні речовини, які утворюють їх склад, потрапляють у довкілля, а потім, через харчові ланцюги, до організмів тварин та інших живих істот, включаючи людину. Це може призвести до накопичення шкідливих хімічних елементів, зокрема важких металів у тілі людини. Протягом тривалого періоду токсичного впливу можуть виникнути негативні наслідки, такі як алергічні реакції, утворення пухлин (онкогенність), злоякісні пухлини (канцерогенність), зміни у генах і хромосомах (мутагенез), вплив на репродуктивні функції, що може призвести до безпліддя, імпотенції у чоловіків, ускладнень під час вагітності (тератогенез) та навіть летальних наслідків [11-13]. Використання пестицидів збільшує ризик раку через різні механізми, такі як сприяння розвитку пухлин, генотоксичність, гормональна дія, епігенетичні ефекти та імунотоксичність, необхідні подальші експериментальні дослідження для виявлення зв'язку між впливом пестицидів і раком на молекулярному рівні. Існує потреба в детальному дослідженні та моніторингу рівня пестицидів у харчових (їжа та вода) та нехарчових (повітря) джерелах [14]. Подальші дослідження також необхідні для того, щоб краще охарактеризувати несприятливий вплив цих агрохімікатів на людину.

Викиди різних хімічних сполук від інтенсивного використання агрохімікатів наносять не виправну шкоду довкіллю. Вони забруднюють ґрунти, водойми, підземні води, природні угіддя та повітря через опади, що випадають із атмосфери. Негативний вплив усіх хімічних сполук відчутний на всіх екологічних рівнях біосфери, при цьому природні екосистеми перетворюються на техногенні, змінюються ландшафти і створюється вплив на неживу природу. Дослідження процесів міграції пестицидів показує залежність вмісту пестицидів у ґрунтах та ґрунтових водах від температури, пористості ґрунтової системи, вологості ґрунтів та сорбційно-десорбційних процесів, які відбуваються в системі «ґрунт-вода» [15].

Пестициди не лише забруднюють навколишнє природне середовище під час їхнього використання для боротьби з шкідливими організмами, але також створюють негативну дію під час їхнього виробництва, зберігання, транспортування та утилізації. На сьогоднішній день проводяться численні дослідження у галузі екоотоксикології хлорорганічних пестицидів, які вивчають їхню міграцію у екосистемах. Встановлено, що

під впливом світла, вітру, кисню, температури, вологості, типу та стану ґрунтів, пестициди можуть бути перенесеними на суттєві відстані і накопичуватися в організмі людини або тварин. Розкладаючись у довкіллі, пестициди утворюють нові хімічні сполуки з іншими хімічними та біологічними властивостями. За останні кілька років використовується близько 600 активних пестицидів, але достовірні токсикологічні дані є лише для 100 з них. Екологічний вплив пестицидів на людину є дуже поширеним і може призвести до гострих і хронічних наслідків для здоров'я [16].

Пестициди, не тільки знищують та регулюють розвиток шкідливих організмів, а й мають токсичну та мутагенну дію на тих, хто вживає оброблені рослини. Дихлордифенілтрихлорметилметан (ДДТ), гексахлородиметанона-фталін (ГХДН), похідні альдрину, гексахлорциклогексан (ГХЦГ) знайдено у ґрунті навіть через 8-12 років після їх застосування [14]. Хлорвмісні пестициди знайдено у овочах та фруктах навіть через декілька місяців після оброблення рослин.

Частина пестицидів зберігається у непридатних приміщеннях агрогосподарств, загрожуючи довкіллю, тваринам та здоров'ю людей через токсичність і можливе проникнення у ґрунтові води й повітря. Втрата документів ускладнює ідентифікацію хімікатів, а довгострокове зберігання може спричинити утворення небезпечних реакцій. Причини забруднення довкілля пестицидами – порушення правил застосування та використання стійких препаратів. Джерелами забруднення є:

- передозування: використання надмірних мас, як локально, так і загалом;
- застосування соломи після обробки гербіцидами;
- постійне застосування стійких пестицидів без уваги до здатності ґрунту до очищення;
- використання забруднених обприскувачів та тари;
- використання гербіцидів при формуванні плодів;
- використання сумішей пестицидів;
- помилки при виборі пестицидів, включаючи відсутність етикетки та порушення у їх зберіганні.

Характеристикою пестицидів є їх негативний вплив на різні організми. Вони шкідливо впливають на рибу та водних безхребетних через обприскування водойм і малих річок. Пестициди можуть накопичуватися у екосистемі та потрапляти у її колообіг. Їх вплив на здоров'я людини також серйозний через залишкові кількості у продуктах харчування та воді. Використання пестицидів може призводити до різних негативних

наслідків, таких як зниження біорізноманіття, руйнування функцій мікроорганізмів ґрунту, а також накопичення залишків у поверхневих водах і ґрунті, що може завадити відновленню родючості і знизити харчову цінність сільськогосподарської продукції.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Згідно з інформацією Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів обсяги застосування пестицидів у 2019-2021 році збільшувались, у зв'язку із російською агресією у 2022 році всі питання сільського господарства відійшли на другий план і використання пестицидів зменшено на 30%. У 2021 році було використано 26,9 тис. тон пестицидів, це більше ніж у 2018-2020, але у 2022 році обсяги застосованих пестицидів в Україні склали 19,4 тис. т. Дуже схожа ситуація була і у 2021 році. До 2022 року використання пестицидів зменшилось у 2,85 рази за результатними аналізу інформації Держслужби статистики України [17].

На Харківщині протягом 2020 року пестициди були застосовані на площі 2193,1 тис. га у кількості 2174 тон, у 2021 році – 2402,9 тис. га, у 2022 – 863,9 тис. га.

У 2020 році пестицидне навантаження складало 1,0 кг/га. Для обмеження розвитку хвороб фунгіциди були застосовані на площі 564,2 тис. га (603,9 в 2019 р.), десикантами було оброблено 22,2 тис. га. З метою знищення бур'янів гербіциди використали на площі 1036 тис. га у кількості 1418,5 тон. Проти шкідників обробили 570,7 тис. га (табл. 1).

У 2019 році площа застосування пестицидів склала 2378 тис. га, використання ХЗЗР склало 2332 тони, пестицидне навантаження становить 0,98 кг/га.

Площі обробітку земель пестицидами на території Харківської області, починаючи з 2000 року суттєво зросли. Якщо у 2000 році пестицидами було оброблено лише 350 тис. га, то у 2021 році ця цифра сягає 2193 тис. га.

Обсяги використання пестицидів теж зросли з 563,9 тон у 2000 році, до 2173,9 тон у 2020 році.

Окремо зазначимо використання найбільш чисельної групи пестицидів і в плані асортименту і в масштабах застосування – гербіцидів. Об'єми їх застосування вражають. З 311 тон у 2000 році, до 1824 тон у 2021 році.

Залишки пестицидів зберігаються на складах. На території Харківської області станом на кінець 2020 року у наявності 125 складів для зберігання пестицидів, 79 з яких у доброму стані, 46 у задовільному. У господарствах розташовано 91 склад, централізованого зберігання 34 склади, паспортизовано з них відповідно 30 і 26

Використання пестицидів у 2020 році у Харківській області /  
Pesticide use in 2020 in the Kharkiv region

Найменування група та назва засобів захисту рослин	Залишок в господарствах, тон на 01.01.2020	Надійшло в область протягом року, тон	Використано протягом року за призначенням, тон	Залишок, тон на 31.12.2020
Інсектициди та акарициди	8,84	400,7	403,22	6,32
Гербіциди	19,36	1421,05	1418,52	21,89
Препарати для протруєння насіння	0	0,766	0,766	0
Родентициди	0,024	4,485	4,499	0,01
Десиканти	9,93	49,25	49,25	9,93
Всього використано ХЗЗР	52,58	2166,56	2173,87	45,27
Біопрепарати	0,2	1,47	1,58	0,09

складів, або 45% від загальної кількості. У порівнянні з 2019 роком кількість складів збільшилася на три, а саме зросла кількість складів централізованого зберігання. У 2021 році ситуація не змінювалась.

Заборонені і непридатні до використання у сільському господарстві ХЗЗР на території Харківської області відсутні з 2012 року.

Техногенно-екологічна безпека характеризує стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Забезпечення техногенної безпеки є особливою (специфічною) функцією захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Найбільше пестицидів для захисту посівів сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб і бур'янів використали аграрії Вінницької, Тернопільської, Хмельницької областей. Деяко менше використовувалось у Полтавській, Черкаській, Сумській області. Найменше пестицидів використали у Закарпатті (рис. 1).

Отже, джерелами техногенно-екологічної загрози можуть бути: склади для зберігання пестицидів та мінеральних добрив, а саме при складанні ситуації коли суб'єкти господарювання не дотримуються санітарних вимог щодо зберігання пестицидів; неконтрольоване ввезення, зберігання та використання на території України небезпечних речовин, а саме фальсифікованих пестицидів; технічні засоби застосування пестицидів, які знаходяться у критичному стані; місця зберігання непридатних та заборонених засобів захисту рослин; а також екологічно не обґрунтований захист рослин від шкідливих організмів.

Інтенсифікація виробництва шляхом застосування мінеральних добрив та ХЗЗР, має передбачати жорстке дотримання правил безпеки поводження із ними на всіх етапах робіт. Щоб не бути загрозою екологічній безпеці та не виклика-

ти надзвичайних ситуацій, застосування ХЗЗР повинно бути раціональним, екологічно безпечним й економічно обґрунтованим.

З метою підвищення техногенно-екологічної безпеки засобів захисту рослин на території України, у тому числі Харківської області виконуються наступні роботи по зменшенню пестицидного навантаження, а саме: проводяться вибіркові хімообробки, фізичні та механічні способи боротьби з шкідливими організмами, безпестицидне вирощування сільськогосподарських культур (рис. 2).

У науковій роботі ми досліджували купрумвмісні пестициди, які широко використовують для боротьби з грибовими захворюваннями рослин [17, 18] (табл. 2). Важливо пам'ятати, що застосування пестицидів, включно з купрумвмісними, повинно відповідати рекомендаціям виробника і нормативам, щоб уникнути негативного впливу на навколишнє природне середовище і здоров'я людини. Інформацію про вміст купрумвмісних пестицидів (виміряних за вмістом купруму) у пробах овочевої продукції представлено на рисунку 3. Раніше нами вже досліджувалась можливість міграції сполук Cu у ґрунті [19-22]. У цьому дослідженні вивчалась здатність сільськогосподарських рослин до концентрації Cu.

На графіках показано дати обробок, дати відбору зразків для аналізу та концентрацію Cu у зразках, як в експериментальних, так і у контрольних групах. Для оцінки впливу застосування препаратів, що містять купрум, на рівень Cu в їстівній частині овочів було проведено аналіз отриманих залежностей (рис. 3).

Обробку зеленої цибулі проведено бордоською сумішшю. Збільшення рівня Cu спостерігається у зразках, зібраних у день обробки, особливо у тих випадках, коли в нульовий день експерименту як досліджувані органи використовув-

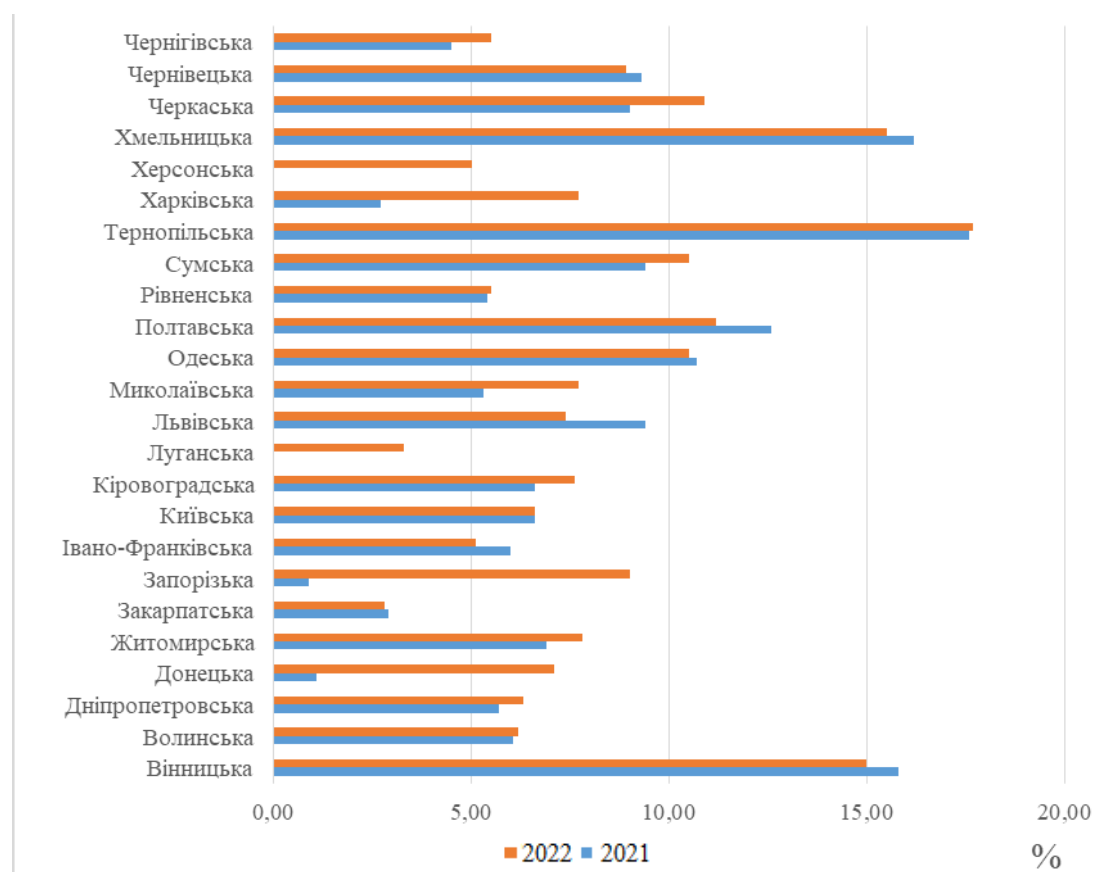


Рис. 1. Обсяги оброблених територій хімічним способом для боротьби з шкідниками, хворобами та бур'янами у 2021 та 2022 роках, % від загальної території регіону (складено авторами за даними аналізу інформації державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів) /

Fig. 1. Amounts of areas treated with chemicals to control pests, diseases and weeds in 2021 and 2022, % of the total territory of the region (compiled by the authors based on research and analysis of information from the State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection)

вали зелену масу, яка безпосередньо контактує з препаратом. Таку тенденцію було виявлено під час дослідження зеленої цибулі після обробки препаратом на основі  $\text{CuSO}_4$ , де у день обробки досліджували надземну частину рослини. У зеленій цибулі виявлено вміст  $\text{CuSO}_4$  на рівні 34,7 мг/кг у дослідній пробі та 2,2 мг/кг у контрольній.

Обробку томатів та огірків проведено тричі: 1) бордоською сумішшю; 2) оксихлоридом міді; 3) цитратом міді. Дослідження щодо томатів та огірків відрізнялися тим, що в процесі випробувань відповідно до встановленої програми не проводили оцінювання ефективності у день оброблення препаратом зеленої маси, а одразу проводили відбір зразків плодів цих культур. Графічні дані свідчать, що обробка препаратом, що містить купрум, не впливає на вміст  $\text{Cu}$  у культурах упродовж усього експерименту, включно з днем обробки. Максимальний вміст  $\text{Cu}$  у плодах томатів у день обробки становив 3,8 мг/кг і 1,38 мг/кг у дослідній та контрольній пробі відповідно.

Для виявлення закономірностей проведено

дослідження щодо динаміки накопичення та розкладання  $\text{Cu}$  у плодах томатів та огірків. Проби для цього аналізу відбирали й аналізували після кожної з трьох обробок, а не лише після останньої. На графіках, окрім дат обробок і відбору проб, також представлені лінії трендів лінійної апроксимації.

Залежність, виявлена під час аналізу вмісту  $\text{Cu}$  у зразках огірків і томатів, свідчить про підвищення вмісту цього важкого металу у пробах, узятих у день обробки, порівняно з контрольними зразками. Це може бути пов'язано з наявністю ще не змитого препарату на поверхні оброблюваної культури.

Отримані результати вказують на наявність купрумвмісних препаратів в пробах зеленої маси, зібраних у день обробки, що може пояснюватися наявністю препарату, який не змився, на поверхні зовнішніх органів. Спостереження у наступні терміни після обробки вказують, що у плодах досліджених культур при обробці купрумвмісними пестицидами суттєвого накопичення цього важкого металу понад ГДК не відбувається.

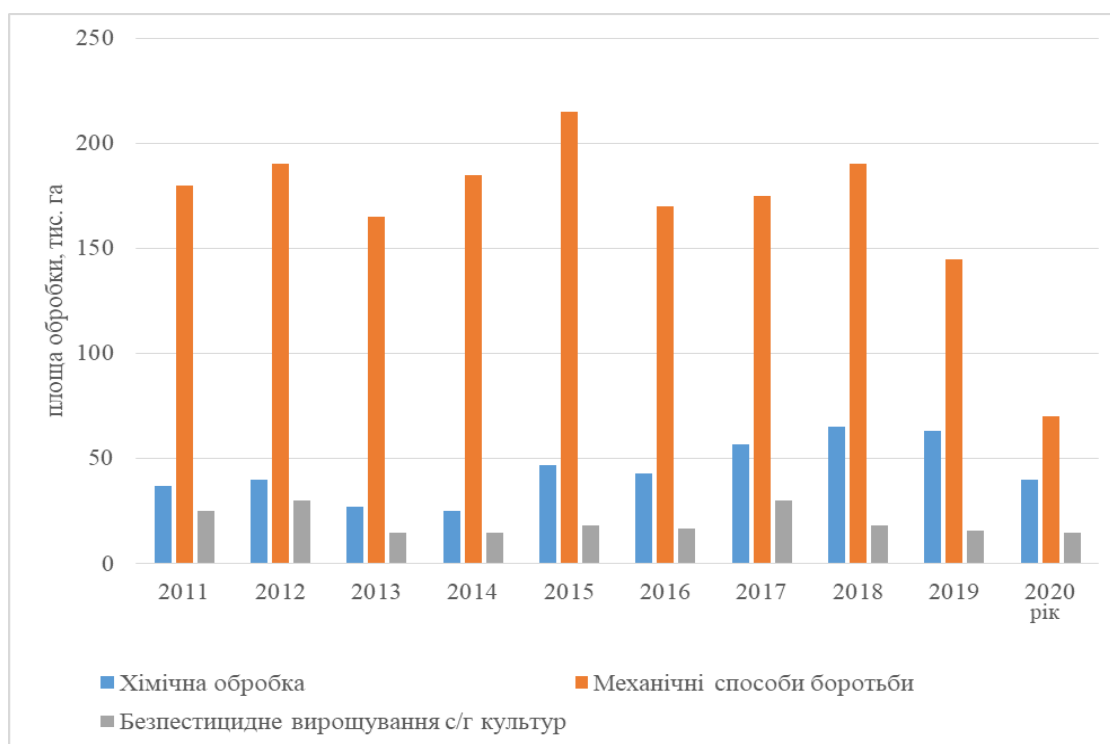


Рис. 2 Впровадження природоохоронних технологій з метою підвищення техногенно-екологічної безпеки / Fig. 2 Implementation of environmental technologies

Таблиця 2/ Table 2

Порівняння купрумвмісних пестицидів (фунгіцидів, бактерицидів) / Comparison of copper-containing pesticides

Назва	Хімічна сполука	Мікоміцети	Примітки
Бордоська суміш (гідроксид міді + карбонат міді)	$\text{Cu}(\text{OH})_2, \text{CuCO}_3$	Різні грибові захворювання	Один із найдавніших фунгіцидів, який широко використовується
Оксихлорид міді (Copper oxychloride)	$[\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$	Різні грибові захворювання	Має високу ефективність і широкий спектр дії
Цитран міді (Copper citrate)	$\left[ \begin{array}{c} \text{Cu}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \\ \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})=\text{O} \\ \text{O}=\text{C}-\text{O} \end{array} \right]_2 \text{Cu}_3^{+2}$	Різні грибові захворювання	Має гарну адгезію до рослин
Хлорид міді (Copper chloride)	$\text{CuCl}_2$	Різні грибові захворювання	Використовується у формі суміші з червоною рідиною
Сульфат міді, Купорос (Copper sulfate)	$\text{CuSO}_4$	Грибки та бактерії в тому числі	Також може використовуватися у водних розчинах

Отримані дані повністю узгоджуються з літературними джерелами [23], підтверджуючи інформацію про те, що основне надходження важкого металу у рослину відбувається через кореневу систему, яка також запобігає накопиченню надлишкових концентрацій у надземних органах.

Виходячи з даних, отриманих під час вивчення гомеостазу Cu у рослинах [23] можна дійти висновку, що активне накопичення цього хімічного елемента у плодах відбувається на

стадії їх формування. У міру дозрівання рівень поглинання Cu плодами знижується, а відмінності у її вмісті між плодами однієї рослини обумовлені механізмами перерозподілу від плодів, що повільно розвиваються, до плодів, що активніше ростуть. Ця закономірність зберігається незалежно від хімічної форми діючої речовини.

**Висновки.** 1. Найбільше пестицидів для захисту посівів сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб і бур'янів використали аграрії Вінницької, Тернопільської, Хмельницької обла-

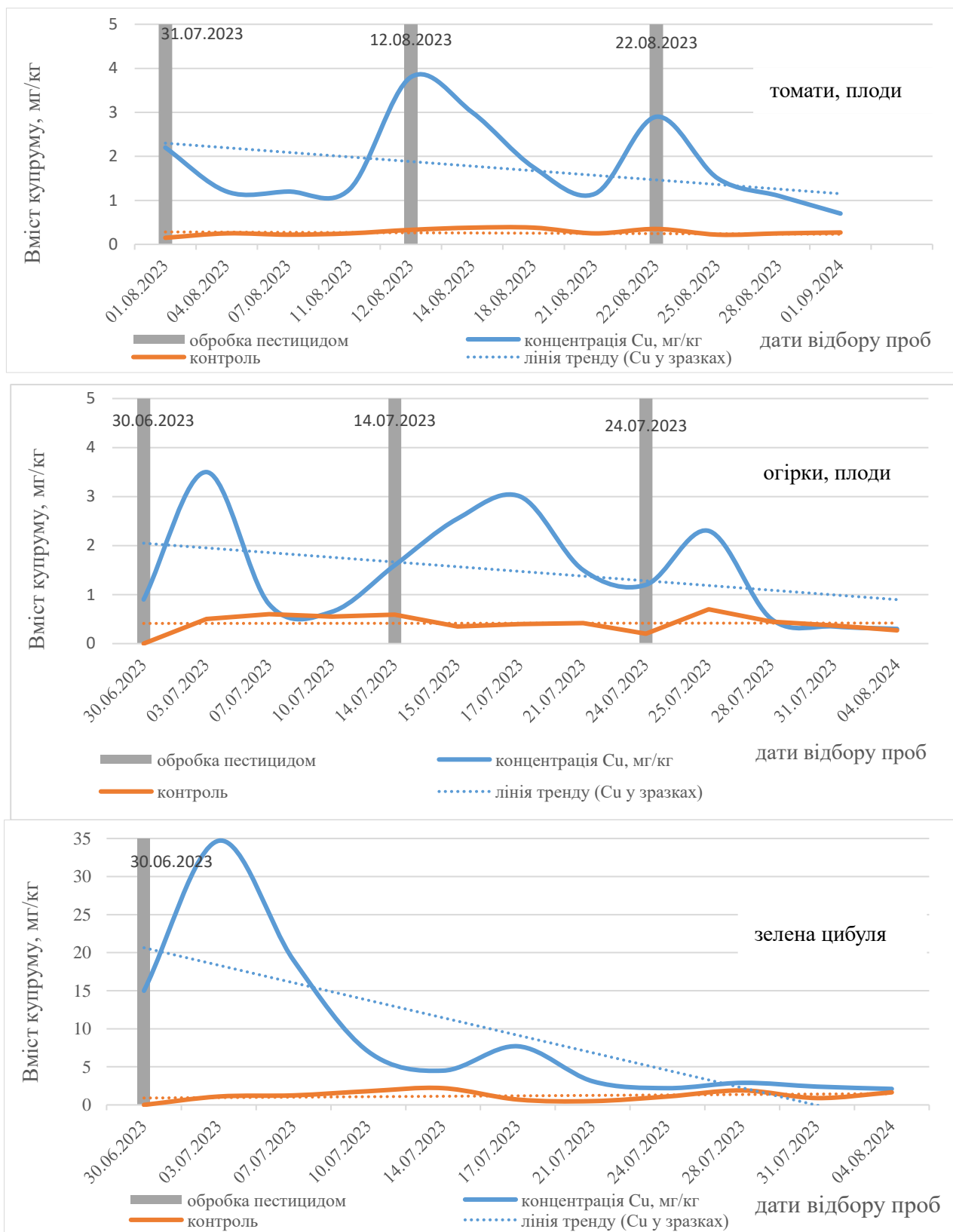


Рис. 3. Динаміка концентрацій Cu в овочевій продукції при використанні купрумвмісних пестицидів / Fig. 3. Dynamics of copper concentrations in vegetable products when using copper-containing pesticides

стей. Деяко менше використовувалось у Полтавській, Черкаській, Сумській області. На території Харківської області станом на кінець 2020 року в наявності 125 складів для зберігання пестицидів, 79 з яких з доброму стані, 46 у задовільному. У

господарствах розташовано 91 склад, централізованого зберігання 34 склади, паспортизовано з них, відповідно 30 і 26 складів, або 45% від загальної кількості.

Інтенсифікація виробництва шляхом засто-



сування мінеральних добрив та ХЗЗР, має передбачати жорстке дотримання правил безпеки поводження із ними на всіх етапах робіт. Щоб не бути загрозою екологічній безпеці та не викликати надзвичайних ситуацій, застосування ХЗЗР повинно бути раціональним, екологічно безпечним й економічно обґрунтованим.

2. Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень, можна зробити висновки, що застосування купрумвмісних пестицидів на досліджених тепличних овочевих культурах призводить до підвищення концентрації купруму протягом періоду росту. Однак, для плодів не спостерігається суттєвого збільшення вмісту Cu у товарній продукції, за винятком тимчасових піків у день обробки. Для зеленої продукції, вирощеної в тепличних умовах, є перевищення ГДК купруму у 6,9 разів. Перевищення встановлених нормативів спостерігалось ще 21 день після проведення обробки. Підвищення концентрації купрумвмісних пестицидів спостерігається, насамперед, у зразках, зібраних у день обробки.

Обробку томатів та огірків препаратами, що містять купрум (бордоською сумішшю, оксихлоридом міді, цитратом міді) проведено тричі. З'ясовано, що обробка, катастрофічно не впливає на вміст Cu у культурах упродовж усього експерименту, включно з днем обробки. Однак макси-

мальний вміст Cu у плодах томатів у день обробки становив 3,8 мг/кг і 1,38 мг/кг у дослідній та контрольній пробі відповідно. Залежність, виявлена під час аналізу вмісту Cu у тепличних зразках огірків і томатів, свідчить про підвищення концентрації цього важкого металу у пробах, узятих у день обробки, порівняно з контрольними зразками.

3. Оскільки технологія вирощування ранньої овочевої продукції (включаючи експериментальні види) в тепличних умовах є стандартною, можемо констатувати, що отримані результати можна екстраполювати на більшість фермерських та приватних сільськогосподарських виробництв території України. Для подальших наукових досліджень також важливо вивчити динаміку концентрацій інших важких металів, подібних до купруму що є її антагоністами чи викликати синергетичний ефект. Це також може слугувати індикатором надлишку або нестачі хімічних елементів у різних органах рослин. Таким чином, вивчення подібних закономірностей на інших сільськогосподарських культурах, особливо тих, де використовується листова частина рослина, стає вкрай актуальним. У майбутніх дослідженнях планується також вивчати вміст купруму у сільськогосподарських ґрунтах після використання пестицидів.

#### Список використаної літератури

1. Yingxuan Pan Factors influencing Chinese farmers' proper pesticide application in agricultural products – A review / Yingxuan Pan, Yingxue Ren, Pieter A. Luning // *Food Control*, – 2021. Vol. 122.– 107788, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107788>
2. Gong Y. Farmers' risk preferences and pesticide use decisions: evidence from field experiments in China / Y. Gong, K. Baylis, R. Kozak, G. Bull // *Agricultural Economics*, 2016.– Vol. 47(4). – PP. 411–421. <https://doi.org/10.1111/agec.12240>
3. Цехмістренко О. С. Пестицидне забруднення меду / О. С. Цехмістренко, О. П. Шулько, Л. С. Онищенко // *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту: матеріали міжнар. науково-практ. конф.*, 2023.– С. 77-78.
4. Sharma A. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem / A. Sharma, V. Kumar, B. Shahzad, M. Tanveer, G. P. S. Sidhu, N. Handa, A. K. Thukral // *SN Applied Sciences*, 2019.– Vol. 1(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
5. Антоненко А. М., 2019. Пестициди як чинники ризику розвитку хвороб цитоподібної залози: гігієнічна регламентація та обґрунтування критеріїв гігієнічного моніторингу. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д. мед. наук. 14.02.01 – гігієна та професійна патологія, Київ, 2019 138 с.
6. Буц Ю.В. Аналіз наслідків пожеж на складах пестицидів та отрутохімікатів / Ю.В. Буц, О.В. Крайнюк // *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: Матеріали дев'ятої міжнародної науково-методичної конференції*. – Львів : ЛНУ, 2010. – С. 263-264.
7. Буц Ю.В. Небезпека виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних з хімічними засобами захисту рослин / Ю.В. Буц, М.В. Катков, Ю.В. Малкович // *Науковий журнал «Екологія та промисловість»*, 2012.– №1.– С. 23-28.
8. Tkachenko I.V. Comparative hygienic assessment and analysis of the ranges and scope off pesticides in different countries / I.V. Tkachenko, A.M. Antonenko, V.G. Bardov, S.T. Omelchuk // *Medical Science of Ukraine (MSU)*, 2021.– Vol. 17(4). 95-101. <https://doi.org/10.32345/2664-4738.4.2021.14>.
9. Костенко С. О. Пестициди та агрохімікати як інновації в аграрній сфері: до питання правового регулювання «розумних меж» використання. На сторожі земельного ладу: до 20-річчя Земельного кодексу, 2021.– С. 92-98.
10. Гонтар А. Г. Огляд фунгіцидів та комах ентомофагів, що використовуються для інтегрованого методу захисту рослин томату в Україні // *In The 12 th International scientific and practical conference “Scientific research in the modern world” (September 21-23, 2023) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2023. P. 57-63.*
11. Zago A. M. Pesticide exposure and risk of cardiovascular disease: A systematic review / A. M. Zago, N. M. X. Faria, J. L. Fávero, R. D. Meucci, S. Woskie, A. G. Fassa // *Global Public Health*, 2020.– 1–23. <https://doi.org/>

[10.1080/17441692.2020.1808693](https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1808693)

12. Panis C. Evidence on human exposure to pesticides and the occurrence of health hazards in the Brazilian population: a systematic review / C. Panis, A. C. B. Kawassaki, A. P. J. Crestani, C. R. Pascotto, D. S. Bortoloti, G. E. Vicentini, L. Z. P. Candioto // *Frontiers in public health*, 2022.– Vol. 9, 787438. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.787438>
13. Michael O.-K. Environmental risk assessment of pesticides currently applied in Ghana / O.-K. Michael, J. N. Hogarh, P. J. Van den Brink // *Chemosphere*, 2020.– 126845. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126845>
14. Zago A. M. Pesticide exposure and risk of cardiovascular disease: A systematic review / A. M. Zago, N. M. Faria, J. L. Favero, R. D. Meucci, S. Woskie, A. G. Fassa // *Global Public Health*, 2022.– Vol. 7(12), 3944-3966. <https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1808693>
15. Потапенко Г. Є. Міграція хлорорганічних пестицидів у ґрунтових водах півдня Бахмутської улоговини. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 2016. Вип. 45.– С. 172-176. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8215>
16. Upadhayay J. Impact of pesticide exposure and associated health effects / J. Upadhayay, M. Rana, V. Juyal, S. S. Bisht, R. Joshi // *Pesticides in crop production: physiological and biochemical action*, 2020.– 69-88. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch5>
17. Alengebawy A. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications / A. Alengebawy, S. T Abdelkhalek., S. R. Qureshi, M. Q. Wang // *Toxics*, 2021.– Vol. 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
18. Використання добрив і пестицидів під урожай сільськогосподарських культур. Державна служба статистики України. - <https://ukrstat.gov.ua/>
19. Krainiuk O. The geoecological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant / O. Krainiuk, Y. Buts, R. Ponomarenko, V. Asotskyi, P. Kovalev // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2021.– Vol. 30(2), 298-305. <https://doi.org/10.15421/112126>
20. Buts Y. Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction / Y. Buts, O. Krainyuk, V. Asotskyi, R. Ponomarenko, A. Kalynovskiy // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2020.– Vol. 29(1), 40-48. <https://doi.org/10.15421/112004>
21. Buts Y. Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor / Y. Buts, V. Asotskyi, O. Krainyuk, R. Ponomarenko, P. Kovalev // *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 2019.– Vol. 28(3), 409-416. <https://doi.org/10.15421/111938>
22. Buts Y. Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metal / Y. Buts, V. Asotskyi, O. Krainyuk, R. Ponomarenko // *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 2018.– Vol. 27(1), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
23. Yruela I., 2009. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 2009.– 36(5).– 409-430. <https://doi.org/10.1071/FP08288>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

**Конфлікт інтересів:** автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

## Technogenic and ecological hazards of using chemical plant protection products (on the example of copper-containing preparations)

**Olena Krainiuk**<sup>1</sup>

PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Metrology and Life Safety,  
<sup>1</sup> Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine;

**Yuriy Buts**<sup>2</sup>

DSc (Technical), Professor of the Department of Labor and environmental protection,  
<sup>2</sup> Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

**Vitalii Barbashyn**<sup>3</sup>

PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Occupational Health and Safety  
<sup>3</sup> O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Kharkiv, Ukraine;

**Olga Nikitchenko**<sup>3</sup>

PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Occupational Health and Safety;  
**Marianna Pakki**<sup>4</sup>

PhD (Pedagogy), Associate Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology,  
<sup>4</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

### ABSTRACT

**Problems Statement and Purpose.** The widespread use of pesticides in agriculture has led to significant environmental pollution and health risks, and it is important to consider the negative effects and explore potential solutions to reduce pesticide pollution and its impact on human health and ecosystems.

**The purpose** of the research is to determine the technogenic and environmental hazards of the use of chemical plant protection products (on the example of copper-containing preparations).

**Materials and methods of research.** To study the scale of use and storage of plant protection products in Ukraine and to identify their anthropogenic and environmental threat, the analysis of statistical data on the volume of purchases and use of pesticides, in particular in the Kharkiv region, was used, Experimental studies and chemical analysis of some types of agricultural products after pesticide treatment were carried out using atomic absorption.

**Results.** The paper reveals the essence of the technogenic and environmental hazard of plant protection products for humans and the environment, analyses the scale of use and storage of plant protection products in Ukraine, in particular in the Kharkiv region; outlines ways to improve the technogenic and environmental safety of plant protection products; shows the hazard of using chemical plant protection products for vegetable products on the example of copper-containing preparations.

The volume of accumulation and use of pesticides in Ukraine, including in warehouses in the Kharkiv region, is considered. The number of centralised warehouses has increased. There have been no banned or unusable plant protection chemicals since 2012.

The research was conducted using vegetables, in particular green onions. In the green mass that came into direct contact with the preparation based on copper sulphate (CuSO<sub>4</sub>), the Cu content was found to exceed the MAC for vegetables. In the study of tomatoes and cucumbers, the content of copper in fruits was investigated. It was found that treatment with a preparation containing copper does not affect the Cu content in fruits throughout the experiment, including the day of treatment. The maximum Cu content in tomato fruits on the day of treatment does not exceed the MPC in the experimental and control samples. The increase in the concentration of Cu in the experimental samples compared to the control samples is not statistically significant, since all values were below the MAC for vegetables, which is 5.0 mg/kg. The study revealed a periodic increase in the content of this heavy metal in cucumber and tomato samples taken on the day of treatment compared to control samples. This may be due to the presence of the product on the surface of the treated crop that has not yet been washed off.

**Conclusions.** 1) Vinnytsia, Ternopil, and Khmelnytskyi regions used the most pesticides, while Poltava, Cherkasy, and Sumy regions used less. Kharkiv region had 125 pesticide storage facilities, with 79 in good and 46 in satisfactory condition. 2) Copper-containing pesticides increase copper levels in greenhouse vegetables during growth, with significant peaks on the day of treatment. Green produce exceeded permissible copper levels by up to 6.9 times. 3) The results for early vegetable production in greenhouses can be applied to most agricultural practices in Ukraine.

**Keywords:** anthropogenic and ecological hazard; copper; chemical plant protection products; copper-containing pesticides; vegetable products; environmental technologies.

#### References

1. Yingxuan Pan, Yingxue Ren, Pieter A. Luning (2021). Factors influencing Chinese farmers' proper pesticide application in agricultural products – A review, *Food Control*, 122, 107788, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107788>
2. Gong Y., Baylis K., Kozak R., Bull G. (2016). Farmers' risk preferences and pesticide use decisions: evidence from field experiments in China. *Agricultural Economics*, 47(4), 411–421. <https://doi.org/10.1111/agec.12240>
3. Tsekhmistrenko O.S., Shulko O.P., Onishchenko L.S. (2023). Pesticide contamination of honey. *Agrarian education and science: achievements, role, growth factors: materials of the international scientific and practical conference*, 77-78. [in Ukrainian]
4. Sharma A., Kumar V., Shahzad B., Tanveer M., Sidhu G. P. S., Handa N., Thukral A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
5. Antonenko A.M. (2019). Pesticides as risk factors for the development of thyroid diseases: hygienic regulation and substantiation of hygienic monitoring criteria. PhD thesis for the degree of Doctor of Medicine. 14.02.01 - hygiene and occupational pathology, Kyiv, 138. [in Ukrainian]
6. Buts Y.V., Krainiuk O.V. (2010). Analysis of the consequences of fires at pesticide and pesticide warehouses. *Safety of life and human activity - education, science, practice: Materials of the Ninth International Scientific and Methodological Conference*, 263-264. [in Ukrainian]
7. Buts Y.V., Katkov M.V., Malkovich Y.V. (2012) Danger of emergencies associated with chemical plant protection products. *Scientific Journal "Ecology and Industry"*, (1), 23-28 [in Ukrainian]
8. Tkachenko, I. V., Antonenko, A. M., Bardov, V. H., Omelchuk, S. T. (2021). Comparative hygienic assessment and analysis of the range and volume of pesticide use in different countries of the world. *Medical science of Ukraine*, 17(4). 95-101. <https://doi.org/10.32345/2664-4738.4.2021.14> [in Ukrainian]
9. Kostenko, S. O. (2021). Pesticides and Agrochemicals as Innovations in the Agricultural Sector: Towards the Issue of Legal Regulation of "Reasonable Limits" of Use. *Guarding the land system: on the 20th anniversary of the Land Code of Ukraine*, 92-98. [in Ukrainian]
10. Gontar AG (2023). Review of fungicides and insect entomophages used for integrated tomato plant protection in Ukraine. *The 12th International scientific and practical conference "Scientific research in the modern world" (September 21-23, 2023) Perfect Publishing, Toronto, Canada*, 57-63. [in Ukrainian].
11. Zago, A. M., Faria, N. M. X., Fávero, J. L., Meucci, R. D., Woskie, S., & Fassa, A. G. (2020). Pesticide exposure and risk of cardiovascular disease: A systematic review. *Global Public Health*, 1–23. <https://doi.org/>

[10.1080/17441692.2020.1808693](https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1808693)

12. Panis, C., Kawassaki, A. C. B., Crestani, A. P. J., Pascotto, C. R., Bortoloti, D. S., Vicentini, G. E., Candioto, L. Z. P. (2022). Evidence on human exposure to pesticides and the occurrence of health hazards in the Brazilian population: a systematic review. *Frontiers in public health*, (9), 787438. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.787438>
13. Michael, O.-K., Hogarh, J. N., Van den Brink, P. J. (2020). Environmental risk assessment of pesticides currently applied in Ghana. *Chemosphere*, 126845. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126845>
14. Zago, A. M., Faria, N. M., Favero, J. L., Meucci, R. D., Woskie, S., Fassa, A. G. (2022). Pesticide exposure and risk of cardiovascular disease: A systematic review. *Global Public Health*, 17(12), 3944-3966. <https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1808693>
15. Potapenko GE (2016). Migration of organochlorine pesticides in the groundwater of the southern Bakhmut Basin. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (45), 172-176. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8215>. [in Ukrainian]
16. Upadhayay, J., Rana, M., Juyal, V., Bisht, S. S., Joshi, R. (2020). Impact of pesticide exposure and associated health effects. *Pesticides in crop production: physiological and biochemical action*, 69-88. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch5>
17. Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
18. Vykorystannia dobryv i pestytsydiv pid urozhai silskohospodarskykh kultur [Use of fertilisers and pesticides for agricultural crops]. *State Statistics Service of Ukraine*. <https://ukrstat.gov.ua/>
19. Krainiuk, O., Buts, Y., Ponomarenko, R., Asotskyi, V., Kovalev, P. (2021). The geoecological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30(2), 298-305. <https://doi.org/10.15421/112126> [in Ukrainian]
20. Buts, Y., Kraynyuk, O., Asotskyi, V., Ponomarenko, R., Kalynovskyi, A. (2020). Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(1), 40-48. <https://doi.org/10.15421/112004>
21. Buts Y., Asotskyi V., Kraynyuk O., Ponomarenko R., Kovalev P. (2019). Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3), 409-416. <https://doi.org/10.15421/111938>
22. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metal. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(1), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
23. Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5), 409-430. <https://doi.org/10.1071/FP08288>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest

Received 8 February 2024

Accepted 12 March 2024