

У *Віснику* розглянуто питання взаємодії суспільства і природи, раціонального використання та охорони природного середовища. Відображено результати досліджень у галузі геології, геохімії, гідрогеології, географії, екології та соціально-економічної географії.

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 10 від 27.05.2024 р.).

Редакційна колегія: д. геол.-мін. н., проф. **В. Г. Суярко** (голова редколегії); **О. В. Чуєнко** (відповідальний секретар); д. геол. н., проф. **О. В. Барташук**; д. геол.-мін. н., проф. **І. В. Височанський**; д. геогр. н., проф. **О. М. Крайнюков**; д. геол.-мін. н., проф. **А. І. Лур'є**; д. геогр. н., проф. **Н. В. Максименко**; д. геогр. н., проф. **А. Н. Некос**; д. геогр. н., проф. **Л. М. Нємець**; д. геогр. н., проф. **В. А. Пересадыко**; д. геогр. н., проф. **К. Ю. Сєгіда** (заступник голови); д. техн. н., проф. **І. Г. Черваньов** (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна); д. техн. н., проф. **В. С. Білецький** (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол.-мін. н., проф., член-кор. НАНУ **Е. Я. Жовинський** (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України); д. геол.-мін. н., проф. **В. М. Загнітко** (Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка); д. фіз.-мат. н., проф. **Г. Д. Коваленко** (Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України); д. техн. н., проф. **І. М. Фик** (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол. н. **Ю. В. Хоха** (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України).

Іноземні члени редколегії: д. габілітований **Здислав Адамчик** (Інститут прикладної геології, м. Глівіце, Польща); д. географії, проф. **Олександр Володченко** (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геол. н. **Георгій Мелікадзе** (Інститут геофізики Тбіліського державного університету імені Івана Джавахішвілі, Грузія); д. філософії (геологічна інженерія) **Нуреддін Сааді** (Університет Тріполі, Лівія); д. геології, проф., декан факультету геології **Ахмет Сасмаз** (Фіратський університет, Туреччина); д. габіл., проф., **Анджей Томаш Солецкі** (Інституту геологічних наук Вроцлавського університету, Польща); д. географії, проф., завідувач кафедри географії і туризму **Сауліус Станайтіс** (Литовський університет освітніх наук, Литва); декан факультету гірничої справи, екології, керування процесами та геотехнології, проф. **Мичал Челар** (Кошицький Технічний університет, Словаччина); д. філософії (географія), ст. наук. співробітник **Антон Шкаруба** (Естонський університет наук про життя, Тарту, Естонія).

“Вісник” є фаховим виданням категорії А за спеціальностями 103 (науки про Землю) та 106 (географія) (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.) та входить до наступних міжнародних баз даних: *WorldCat*, *BASE* (Bielefeld Academic Search Engine), *ResearchBible*, *SBB* (Staatsbibliothek zu Berlin), *Ulrich's Periodicals Directory*, *EBSCO*, *Index Copernicus*, *Google Scholar*, *DOAJ*, *Web of Science* (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

Адреса редакційної колегії: Україна, 61022, Харків, майдан Свободи, 4, ХНУ імені В. Н. Каразіна, факультет геології, географії, рекреації і туризму, тел. +38(057)707-53-56; e-mail: geoeco-series@karazin.ua; сайт: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>

Тексти статей представлені у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст статей, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04463 (Рішення № 1538 від 09.05.2024 р. Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення. Протокол № 15).

Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology" is devoted to the modern studies in the field of geology, geochemistry, hydrogeology, ecology and social and economic geography.

"Visnyk" is intended for scientists, specialists and university lecturers.

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V. N. Karazin Kharkiv National University (protocol No. 10 dated 05/27/2024).

Editorial Board: **Suyarko, Vasyl** – Chairman of the Editorial Board, DSc (Geology and Mineralogy), Professor; **Chuienko, Oleksandr** – Executive Secretary; **Bartashchuk, Oleksii** – DSc (Geology), Professor; **Vysochansky, Illarion** – DSc (Geology and Mineralogy), Professor; **Kraynyukov, Oleksiy** – DSc (Geography), Professor; **Lurye, Anatolii** – DSc (Geology and Mineralogy), Professor; **Maksymenko, Nadija** – DSc (Geography), Professor; **Nekos, Alla** – DSc (Geography), Professor; **Niemets, Liudmyla** – DSc (Geography), Professor; **Peresadko, Vilina** – DSc (Geography), Professor; **Sehida, Kateryna** – Deputy Chairman, DSc (Geography), Professor; **Chervanyov, Igor** – Deputy Chairman, DSc (Technical), Professor (V. N. Karazin Kharkiv National University); **Biletsky, Volodymyr** – DSc (Technical), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; **Zhovinsky, Edward** – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine; **Zagnitko, Vasyl** – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Kovalenko, Grygoriy** – DSc (Physics and Mathematics), Professor, Director Institute of high-energy physics and nuclear physics NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology" National Academy of Science Ukraine; **Fyk, Ilyia** – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Oil, Gas and Condensate Production, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; **Khokha, Yurii** – DSc (Geology), Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine.

International Council: **Adamczyk, Zdzisław** – Dr. habil., Silesian University of Technology, Gliwice (Poland); **Wolodtschenko, Alexander** – DSc (Geography), Professor, Institute of Cartography, Dresden University of Technology (Germany); **Melikadze, George** – DSc (Geology), Institute of Geophysics, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University (Georgia); **Saadi, Nureddin** – PhD, University of Tripoli, Department of Geological Engineering (Libya); **Sasmaz, Ahmet** – DSc (Geology), Professor, Head of Geology Department, Firat University (Turkey); **Solecki, Andrzej Tomasz**, Dr. habil., Professor, Institute of Geological Science University of Wrocław, Wrocław University (Poland); **Stanaitis, Saulius** – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and Tourism, Lithuanian University of Educational Science (Lithuania); **Cehlár, Michal** – PhD, Professor, Dean of Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnolgy, Technical University of Košice (Slovakia); **Shkaruba, Anton** – PhD, Senior Researcher, Estonian University of Life Sciences (Estonia).

Visnyk is a specialized edition on geological and geographical sciences. Indexed in: *WorldCat*, *BASE* (Bielefeld Academic Search Engine), *ResearchBible*, *SBB* (Staatsbibliothek zu Berlin), *Ulrich's Periodicals Directory*, *EBSCO*, *Index Copernicus*, *Google Scholar*, *DOAJ*, *Web of Science* (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

Address of the Editorial Board: Ukraine, Kharkiv, 61022, 4 Svobody Sq., V. N. Karazin Kharkiv National University, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism, tel. +38(057)707-53-56; e-mail: geoeco-series@karazin.ua; website: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>

The texts of the articles are presented in the original edition. The authors are fully responsible for the content of the articles, as well as the selection and accuracy of the given facts, quotations, proper names and other information.

Articles have undergone internal and external peer review.

Media identifier in the Register of the field of Media Entities: R30-04463 (Decision № 1538 dated May 9, 2024 of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine, Protocol № 15).

Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів

*Ольга Рибалова*¹

к. техн. н., доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,

¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна,

e-mail: olgarybalova@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0002-8798-4780>;

*Сергій Артем'єв*¹

к. техн. н., доцент, завідувач кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,

e-mail: artemev.1967@nuczu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4535-1990>;

*Олена Бригада*¹

к. техн. н., доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,

e-mail: ebrigada@nuczu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0001-5777-8516>;

*Олексій Ільїнський*¹

к. біол. н., доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,

e-mail: illinsky@nuczu.edu.ua,  <http://orcid.org/0000-0002-1737-9462>;

*Антон Мацак*¹

к. техн. н., викладач кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,

e-mail: antonmatsak1984@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-2856-9437>

Поводження з побутовими відходами є надзвичайно важливою проблемою, тому визначення рівня екологічної небезпеки вмісту важких металів в ґрунті внаслідок впливу полігонів і звалищ твердих побутових відходів (ТПВ) є дуже актуальним для всіх країн світу, особливо для країн колишнього радянського союзу, бо сучасний стан захоронення твердих побутових відходів в Україні є вкрай незадовільним. З метою визначення рівня екологічної небезпеки складування побутових відходів на полігонах і звалищах в роботі дана оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів в районі розташування Грибовицького полігону ТПВ (Львівська область), Роганського полігону ТПВ (Харківська область) та Нововодолазького сміттєзвалища (Харківська область). Ризик для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів оцінено за традиційним методом EPA US і новим методом визначення потенційного ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів важкими металами. В роботі удосконалено метод оцінки потенційного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів, що представляє наукову новизну дослідження. В статті порівняно ці два принципово різні методичні підходи до визначення рівня екологічної небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами. Ризик для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів методом EPA US за всіма розрахунками відповідає 5 класу небезпеки (надзвичайно високий рівень небезпеки). Результати оцінки потенційного ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів за новим методом на території полігонів твердих побутових відходів відповідають 2–4 класам небезпеки. Порівняння методичних принципів оцінювання ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів показало переваги застосування нового методу оцінювання потенційного ризику. Використання нового методу оцінки потенційного ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів дасть змогу удосконалити науково обгрунтоване управління поведженням з побутовими відходами і спрямувати фінансові ресурси на зменшення екологічної небезпеки забруднення ґрунтів і земельних ресурсів України.

Ключові слова: полігон, побутові відходи, важкі метали, ґрунти, ризик, здоров'я населення, Україна.

Як цитувати: Рибалова Ольга. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів / Ольга Рибалова, Сергій Артем'єв, Олена Бригада, Олексій Ільїнський, Антон Мацак // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 60. – С. 399-413. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-30>

In cites: Rybalova Olha, Serhii Artemiev, Olena Brihada, Oleksii Ilinskiy, Anton Matsak (2024). Assessment of the risk to public health from soil contamination on the territory of solid waste landfills. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (60), 399-413. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-30> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Поводження з побутовими відходами є однією з найбільш актуальних проблем сучасного світу. У світі щорічно утворюється 2 мільярди тонн побутових відходів, і з кожним роком ця цифра збільшується. За оцінками Світового банку, до 2030 року кількість відходів може зрости до 2,58 мільярдів тонн, а до 2050 року – до 3,77 мільярдів тонн. Муніципальні звалища щорічно накопичують тисячі тонн відходів навіть у містах середнього розміру. Ре-

зультати звіту Waste Atlas про 50 найбільших сміттєзвалищ світу показують, що 64 мільйони людей щодня страждають від 50 найбільших сміттєзвалищ. Полігони, зокрема звалища твердих побутових відходів, є основними забруднювачами атмосфери, гідросфери та ґрунту [1].

Станом на 01.01.2021 року в Україні знаходиться загалом 6045 полігонів та звалищ ТПВ. Під звалищами та полігонами знаходиться біля 8,8 тис. га території країни. Загальною тенденці-

єю для України, на відміну від європейських держав, є низький рівень перероблення й утилізації ТПВ та високий показник їх захоронення на полігонах [2]. Переважна кількість звалищ (від 80 до 90 %) працює у режимі перевантаження, з порушеними проєктними показниками щодо обсягів надходження відходів, за відсутності охоронних заходів, спрямованих на попередження засмічення ґрунтів, атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод [2].

Тверді побутові відходи (ТПВ) у країнах з низьким та середнім рівнем доходу збираються, транспортуються та утилізуються неорганізовано та невпорядковано. Неправильне захоронення відходів на полігонах може мати серйозні екологічні наслідки, що призводить до численних ризиків для здоров'я людей. Автори роботи [3] стверджують, що в Індії звалища вимагають 1240 га землі на рік, і лише 21 % ТПВ обробляється належним чином. Решта ТПВ не переробляється і не відновлюється за допомогою очисних технологій і, як правило, захоронюється на негігієнічних звалищах. Сміттєзвалища сприяють утворенню CH_4 і становлять близько 29 % усіх викидів парникових газів, що перевищує 15 % середньосвітового внеску. Також зазначається, що до 2030 та 2050 років глобальні викиди парникових газів зростуть до 64 % та 76 % через неконтрольовані системи утилізації відходів [3].

Зберігання твердих побутових відходів на необлаштованих звалищах становить серйозну загрозу для функцій ґрунту та здоров'я людей, особливо через важкі метали [4]. Концентрації металів у ґрунті ростуть загрозливими темпами та впливають на ріст рослин, розвиток ґрунтової мікрофлори, безпеку харчових продуктів та здоров'я населення.

Низка досліджень показала, що існує вищий ризик розвитку раку серед людей, що мешкають поблизу сміттєзвалищ, а підвищений ризик спостерігався для раку шлунку, печінки та жовчних шляхів і трахеї, бронхів, легенів, шийки матки та передміхурової залози [5].

Проблема накопичення, переробки та утилізації відходів є складною й багатофакторною екологічною, технологічною, економічною та соціальною проблемами.

Однією з головних задач в створенні цілісної системи управління відходами є зниження ризику для населення і навколишнього природного середовища при поводженні з ними. Оцінка ризику для здоров'я населення внаслідок впливу полігонів і сміттєзвалищ на забруднення ґрунту важкими металами є дуже актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вміст шкідливих речовин в побутових відходах є важкою проблемою. Шкідливими для організму

людини є летучі органічні шкідливі речовини, які потрапляють у відходи з предметами споживання і знаходяться в газах звалищ, а при термічному використанні забруднюють атмосферне повітря. Небезпечним для здоров'я населення є вміст у побутових відходах збудників туберкульозу, кишкових інфекцій, патогенного стафілококу та стрептококу [6].

Найбільш шкідливими металами є свинець, мідь, цинк, хром, нікель, кадмій, ртуть. Несортований папір містить такі важкі метали, як свинець, мідь, хром, кадмій. Основним джерелом паперу в побутових відходах є газети. Свинець містить фольга, пляшки, паяльне олово, автомобільні акумулятори. Мідь міститься у мідних проводах, побутових речах, тощо. Цинк міститься в оцинкованих листах, акумуляторах (батарейки), тощо. Ртуть містить акумулятори (батарейки), термометри. Кадмій містить нікель-кадмієві малі акумулятори, кадмійовані металічні частини. Хром міститься у хромованих металічних частинах, хром-нікелевих сталевих предметах [6].

Рівні забруднення важкими металами води та ґрунту навколо сміттєзвалищ зростають через невивіркове захоронення побутових і промислових відходів на цих сміттєзвалищах. Дослідження [7] було проведено для вивчення характеристики та стабілізації важких металів у ґрунтах та фільтраті на полігоні Domproase, Кумасі, Гана. Результати показали, що середні концентрації всіх важких металів у вивченому ґрунті перевищували рекомендації Агентства з охорони навколишнього середовища Гани (EPA) і ВООЗ, за винятком Ni [7].

Робота [8] представляє огляд екологічних досліджень, проведених у районах, де найбільше знаходиться сміттєзвалища та антисанітарні звалища в Бразилії, зосереджуючись на фізико-хімічному аналізі поверхневих, підземних вод і ґрунтів, а також на геофізичних дослідженнях. У цьому огляді оцінено 162 публікації, в яких описано 104 різних місць захоронення твердих побутових відходів (ТПВ). Фізико-хімічні параметри проаналізованих зразків поверхневих вод, підземних вод і ґрунту перевищували рівні бразильського законодавства в 74 %, 70 % і 24 % досліджень відповідно. Параметрами, які частіше перевищували допустимі рівні, були коліформи, біохімічна потреба в кисні, розчинений кисень і фосфор для поверхневих вод; свинець, коліформи та залізо для підземних вод; мідь, кадмій, свинець і цинк для ґрунту [8].

Важкі метали є одним із важливих забруднювачів фільтрату звалищ, рослин та ґрунту поблизу полігону. У дослідженні [9] шляхом оцінки вмісту важких металів у фільтраті двох сміттєз-

валищ, а також у ґрунті та рослинах поблизу них було досліджено рівень забруднення, спричиненого фільтратом у навколишньому середовищі навколо полігонів у Тегерані. Для інтерпретації результатів використовували три індекси, включаючи PI, PINemerow і BF. Результати показали, що концентрація важких металів у ґрунті старого полігону була на 24,6 % меншою, ніж концентрація металів у ґрунті нового полігону. Це дослідження показало, що ґрунт і рослини полігону були забруднені важкими металами під впливом фільтрату, і здатність рослин поглинати та накопичувати метали може бути використана для управління забрудненням ґрунту поблизу полігону [9].

Рівні та потенційні небезпеки забруднення важкими металами (ВМ) на звалищах повинні бути оцінені, перш ніж їх можна буде повторно використовувати для будь-яких цілей [10]. Для повторного використання історичного сміттєзвалища на півночі Китаю у 2019 році було відібрано 376 місць відбору проб із застосуванням методу шахового розташування, а також рівні миш'яку (As), ртуті (Hg), сурми (Sb), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd), нікелю (Ni), цинку (Zn) і талію (Tl) у ґрунті. Ґрунтові ВМ на досліджуваній території становили підвищений канцерогенний ризик як для дорослих, так і для дітей. Середній канцерогенний ризик, пов'язаний з As, становив $6,12 \times 10^{-4}$, що було основним фактором канцерогенного ризику на всіх забруднених ВМ ділянках. Результати роботи [10] емпірично продемонстрували, що забруднення ґрунту ВМ є серйозним і терміново потрібно впровадження природоохоронних заходів.

У роботі [11] представлено характеристики забруднення та екологічні ризики восьми важких металів (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn та As) у ґрунтах неофіційного полігону будівельних відходів у Пекіні (Китай). Відповідно до комплексного індексу забруднення Nemerow та оцінки потенційного екологічного ризику, забруднення важкими металами зменшується в такому порядку: внутрішній ґрунт > нижній ґрунт > граничний ґрунт. Оцінки ризику вказують на те, що Cd і Mn становлять найбільший екологічний ризик (31,9 % і 17,8 % відповідно), оскільки вони мають найвищий ефективний вміст, біодоступність і мобільність [11].

Дослідження [12] було спрямоване на визначення концентрації важких металів у воді, ґрунті та рослинах навколо відкритого сміттєзвалища в Могла Базарі, Силхет, Бангладеш. Концентрації різних металів, таких як залізо (Fe), цинк (Zn), мідь (Cu), марганець (Mn), свинець (Pb) і кадмій (Cd), аналізували за допомогою полум'яного атомно-абсорбційного спектрофотометра (AAS) з належним методом травлення. Вміст

усіх металів порівнювався із встановленим допустимим лімітом, наданим ВООЗ/ФАО, ЄС, IS, USEPA. Було отримано середні значення індексу забруднення важкими металами (HPI) 311,61, що перевищує критичне значення 100. Це означає, що стан навколишнього середовища забруднений.

Найбільш перспективним методом ідентифікації зон підвищеної екологічної небезпеки є оцінка екологічного ризику, оскільки вона дозволяє визначити допустимий антропогенний тиск з метою збереження рівноваги природного середовища з забезпеченням відтворення основних її компонентів, а також приймати необхідні управлінські рішення з мінімізації антропогенного навантаження та пріоритетності реалізації природоохоронних заходів [13].

В роботах [14-16] представлені результати досліджень оцінювання екологічного ризику і ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря і поверхневих вод.

Найбільш розповсюдженим методом оцінювання ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення довкілля є методологія американського Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US) [17]. В багатьох країнах світу застосовують саме цей метод оцінювання ризику для здоров'я населення.

Так в роботі [18] досліджено забруднення ґрунту важкими металами та їх накопичення у вирощуваних овочах, а також оцінювався ризик для здоров'я місцевого населення від споживання овочів, вирощених на забруднених металами територіях на півночі Індії. Значення HQ для всіх важких металів, окрім Zn, вказували ризику для здоров'я місцевих жителів [18].

Автори статті [19] стверджують, що ризик для здоров'я, пов'язаний із забрудненням ґрунту важкими металами, викликає все більше занепокоєння громадськості. Однак багато країн не створили власної системи оцінки ризику для здоров'я (ОРЗ), а більшість існуючих досліджень безпосередньо посилаються на модель і параметри оцінки ризику EPA US. Для тих країн, які не пропонують оригінальної системи ОРЗ, досвід розвинених країн має вирішальне значення для розвитку власної системи ОРЗ. У дослідженні [19] систематично розглянуто розвиток системи ОРЗ у деяких розвинених країнах. Було узагальнено теоретичну основу, концептуальну модель, прогрес та виклики досліджень з ОРЗ щодо забруднення ґрунтів важкими металами. На основі порівняння законів і керівництв, що пов'язані з ризиком для здоров'я в США, Великобританії і Японії, результати дослідження [19] показали, що побудова системи ОРЗ в цих країнах відрізнялася, але основним методом для отримання екологічних критеріїв стану ґрунтів стала мето-

дологія американського Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US) [17].

Взаємозв'язок між джерелами, експозицією та впливом на здоров'я забруднення ґрунтів важкими металами є складним. Автори роботи [19] узагальнили шкали оцінювання, типи землекористування, шляхи впливу та чутливі рецептори досліджень, а також виділили ключові параметри, що впливають на результати оцінки ризиків для здоров'я. Відбувся зсув у бік включення імовірнісного моделювання, біодоступності металів та характеристик викидів джерел у нещодавні дослідження з ОРЗ. Тим не менш, залишаються проблеми щодо того, як мінімізувати невизначеність при створенні розподілу ймовірностей і визначенні біодоступності металів. Для сприяння розвитку системи оцінки впливу на довкілля (ОВД) країнам, що розвиваються, було рекомендовано посилити теоретичні дослідження ризиків для здоров'я та дослідження локалізації факторів впливу.

Необхідно відзначити, що в Україні відсутня власна методологія оцінювання ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів важкими металами. Тому дослідження цієї статті присвячені удосконаленню методу оцінки потенційного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів важкими металами і порівнянню цього методу з методологією американського Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US).

Мета та задачі дослідження. Метою статті є удосконалення методу оцінювання потенційного ризику для здоров'я населення і застосування його для визначення впливу полігонів твердих побутових відходів на здоров'я внаслідок забруднення ґрунту важкими металами.

Для досягнення поставленої мети вирішено наступні завдання:

- оцінити ризик для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів методом EPA US;

- визначити потенційний ризик для здоров'я населення від забруднення ґрунтів за новим методом на території полігонів твердих побутових відходів.

В статті представлено удосконалений метод оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів, що представляє наукову новизну роботи.

Визначення екологічної небезпеки забруднення ґрунтів внаслідок впливу полігонів і звалищ ТПВ дає змогу визначити пріоритетність реалізації природоохоронних заходів та сприятиме впровадженню екологічно безпечного природокористування, тому дослідження роботи мають практичну значимість.

Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів методом EPA US. Ступінь дії на людину шкідливих хімічних речовин, присутніх в ґрунті залежить від використання землі, концентрацій забруднюючих речовин в ґрунті і ступеня ризику забруднення інших компонентів середовища (ґрунтові води і повітря).

Ризик здоров'ю населення в залежності від якості ґрунту обчислюється за методом EPA US [17]:

$$R = 1 - \exp(-UR \times LADD), \quad (1)$$

де UR - одиниця ризику, визначається як чинник пропорції росту ризику в залежності від значення діючої концентрації (дозы) речовини; LADD (Lifetime Average Daily Dose) - середня щоденна доза речовини (мг/кг-добу) обчислюється за формулою [17]:

$$LADD = CS \cdot IR \cdot CF \cdot FI \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT, \quad (2)$$

де CS - концентрація речовини в ґрунті (мг/кг); IR - рівень споживання (мг ґрунту/доба); CF - коефіцієнт (6 - 10 кг/мг); FI - частка речовини, що проникає через шкіру; EF - частота експозиції (днів/рік); ED - тривалість експозиції (років); BW - вага тіла (кг); AT - час усереднення (експозиція).

Ризик для здоров'я населення при забрудненні ґрунтів канцерогенними речовинами розраховується за формулою [17]:

$$I = Cs \cdot FI \cdot EF \cdot ET \cdot CF^2 \cdot ((EDc \cdot IRc / BWc) + (EDa \cdot IRa / BWa)) / (AT \cdot 365) \quad (3)$$

Ризик для здоров'я населення при забрудненні ґрунтів неканцерогенними речовинами розраховується за формулою [17]:

$$I = Cs \cdot FI \cdot ET \cdot CF^2 \cdot IRn \cdot EDn / (BWn \cdot ATn \cdot 365) \quad (4)$$

Середня добова доза при інгаляційному впливі хімічних речовин, що попадають у повітря із ґрунту, розраховується за формулою [17]:

$$I = (Ca \cdot IR \cdot ED \cdot EF) / (BW \cdot AT \cdot 365) \quad (5)$$

Розрахунок фактору емісії пилових часток проводять за формулою [17]:

$$PEF = Q / C \cdot 36667 / (0,036 \cdot (1 - V) \cdot (U_m / U_t)^3 \cdot F(x)) \quad (6)$$

Розрахунок фактору випару речовини із ґрунту проводять за формулою [17]:

$$VF = Q / C \cdot (3,14 \cdot D_a \cdot T)^{1/2} \cdot 10^{-4} (2 \cdot rho_b \cdot D_a) \quad (7)$$

Розрахунок середньої добової дози при наскірній експозиції ґрунту проводять за формулою [17]:

$$DAD = (DAe \cdot EF \cdot ED \cdot EV \cdot SA) / (BW \cdot AT \cdot 365) \quad (8)$$

За формулами (1-8) розраховано індекс небезпеки для Грибовицького і Роганського полігонів та Нововодолазького сміттєзвалища. Вміст хімічних речовин в ґрунті на території Грибовицького полігону досліджено в дисертаційній роботі Коваль І.І. «Підвищення рівня екологічної безпеки регіону інтегрованою системою управління побутовими відходами» [20], а розташун-

ня проб ґрунту представлено в таблиці 1.

Зразки ґрунту Роганського полігону досліджували фахівці науково-дослідної установи “Український науково-дослідний інститут екологічних проблем” [21].

Дослідження вмісту важких металів в пробах ґрунту на території Нововодолазького сміттєзвалища здійснювався авторами статті. Дослідження проводилося в санітарно-гігієнічній лабораторії КП “Санепідсервіс” за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометру С-115-М1. Місце відбору проби № 1 знаходиться без-

посередньо на самому звалищі, а проба № 2 в 300 метрах від проби № 1, що представлено на рисунку 1.

Значення канцерогенного ризику наведено на рисунках 2–4.

Аналіз розрахунків, що представлено на рис. 2, показав, що найбільше значення канцерогенного ризику має проба № 4, за рахунок того, що концентрація хрому і купруму має найбільше значення серед п'яти проб. Значення канцерогенного ризику проб ґрунту 1–5 відповідають 1 класу небезпеки (мінімальний ризик).

Таблиця 1 / Table 1

Розташування проб ґрунту на території Грибовицького полігону [20] /
Location of soil samples on the territory of Gribovytske landfill [20]

Проба №1	100 м на Пн-Сх від полігону
Проба №2	200 м на Пд-Зх від полігону
Проба №3	150 м на Пн-Зх від полігону
Проба №4	150 м на Пв-Сх від полігону
Проба №5	1500 м на Пд-Сх від полігону

Таблиця 2 / Table 2

Розташування проб ґрунту на території Роганського полігону [21] /
Location of soil samples on the territory of the Rohan landfill

Проба №1	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (південь)
Проба №2	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (північ)
Проба №3	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (схід)
Проба №4	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (захід)
Проба №5	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (південь)
Проба №6	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (північ)
Проба №7	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (схід)
Проба №8	Місце зберігання відходів в межах санітарно-захисної зони (захід)

Значення канцерогенного ризику проб ґрунту Роганського відповідають 1 класу небезпеки (мінімальний ризик). Найбільше значення має ґрунт проби № 2, так як має найбільшу концентрацію плумбуму, який має кумулятивну токсичну дію на основні органи і системи людини (нервову систему, систему крові, шлунково-кишкову та серцево-судинну систему, нирки тощо).

На рисунку 4 представлено значення канцерогенного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Нововодолазького звалища, який за пробами № 1 та № 2 відноситься до 1 класу небезпеки (мінімальний ризик). Проба № 1 має значення більше внаслідок більших концентрацій канцерогенних речовин.

Для проб ґрунтів 1–5 Грибовицького полігону індекс небезпеки надзвичайно високий (≥ 10) і відповідає 5 класу небезпеки, що характеризується масовими скаргами та виникненням хронічних захворювань. Найбільший ризик в пробі № 5, що перевищує порогове значення 5 класу в 20 разів. Такий великий індекс небезпеки забру-

днення ґрунтів на території Грибовицького полігону зумовлений великими значеннями концентрацій забруднюючих речовин.

За пробами ґрунтів 1–8 значення індексу небезпеки перевищує 10, що відносить дані показники до 5 класу небезпеки (надзвичайно високий ризик). Такий стан забруднення ґрунтів може спричинити виникнення хронічних захворювань.

Індекс небезпеки за значеннями проб ґрунтів № 1 і № 2 є надзвичайно високий (5 клас), що призводить до масових скарг та хронічних захворювань. За пробою № 1 значення небезпеки є одне з найбільших серед досліджуваних проб, що зумовлено великою концентрацією забруднюючих речовин.

Визначення потенційного ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів за новим методом на території полігонів твердих побутових відходів. Проблема встановлення причинно-наслідкових зв'язків між станом навколишнього середовища і здоров'ям населення є однією з ведучих серед соціальних задач, а дос-

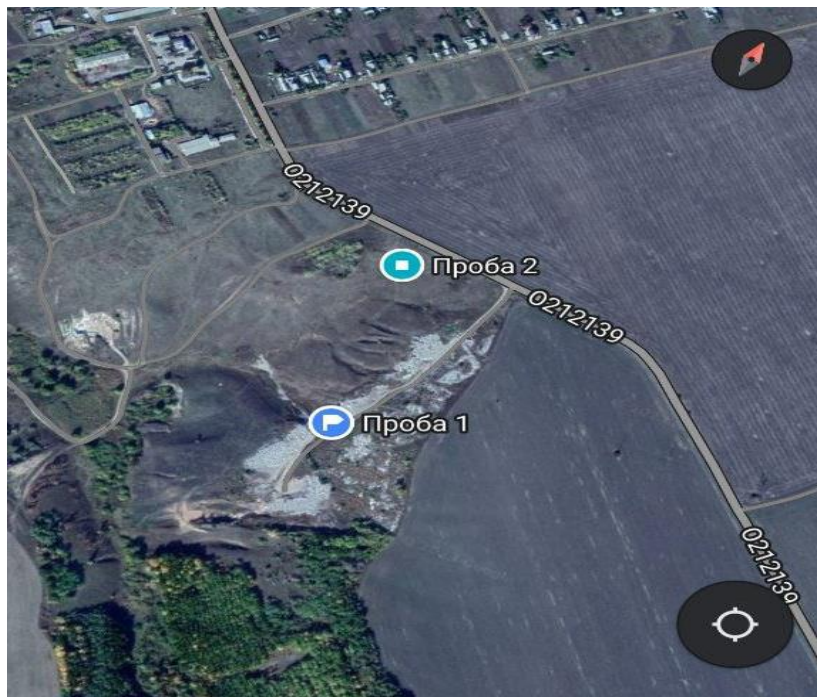


Рис. 1. Місця відбору проб на території Нововодолазького звалища /
Fig. 1. Sampling sites at the Novovodolazhske landfill

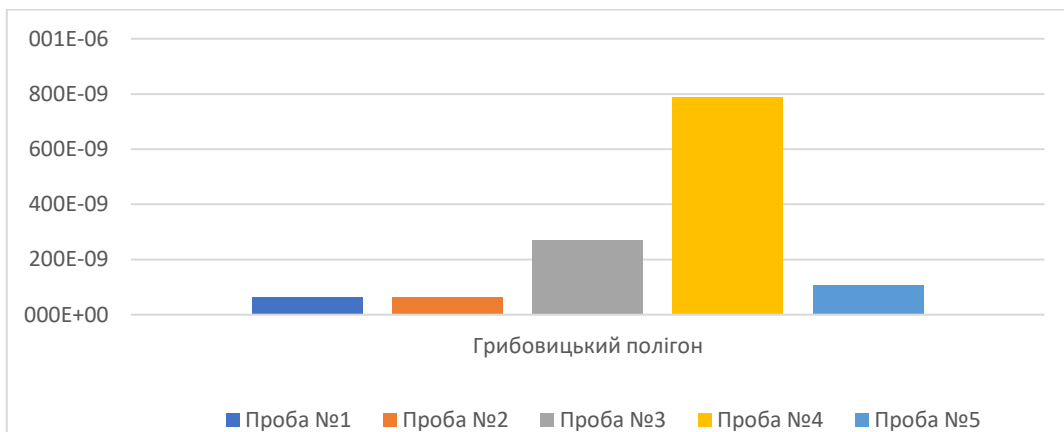


Рис. 2. Канцерогенний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Грибовицького полігону /
Fig. 2. Carcinogenic risk to public health due to soil contamination at the Gribovytske landfill

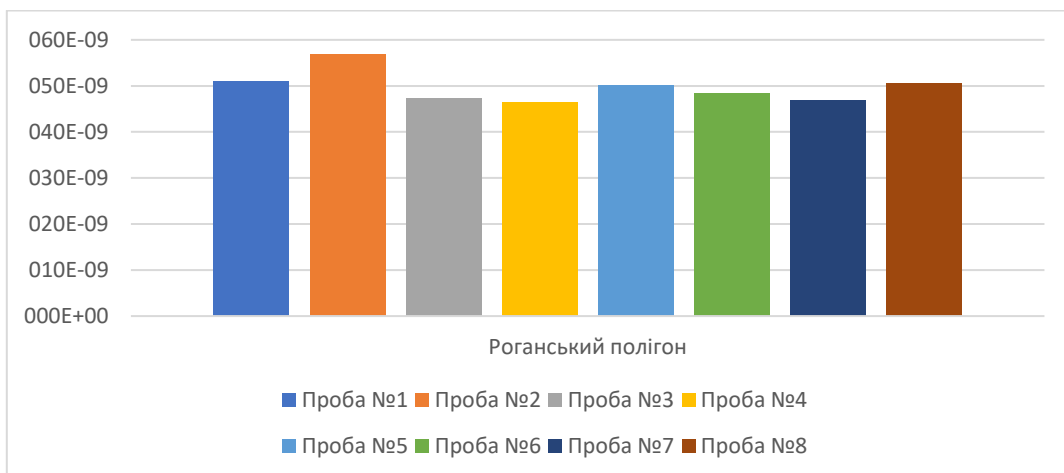


Рис. 3. Канцерогенний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Роганського полігону /
Fig. 3. Carcinogenic risk to public health due to soil contamination at the Rohan landfill

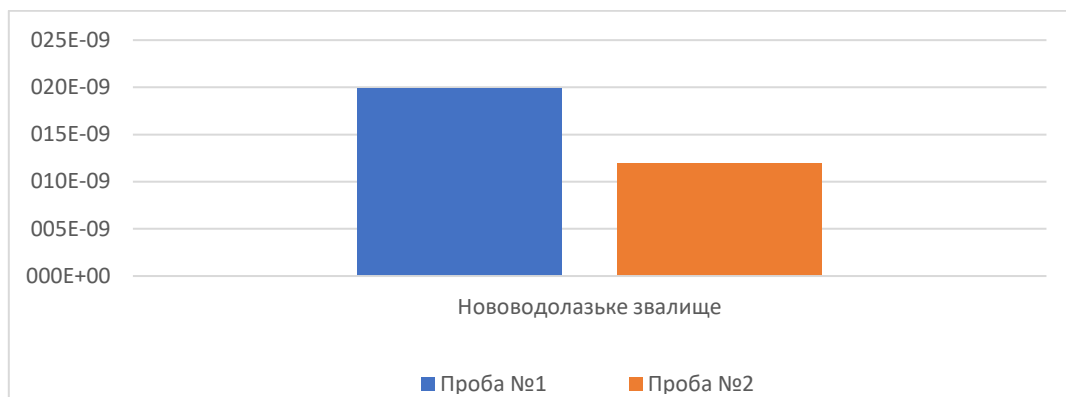


Рис. 4. Канцерогенний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Нововодолазького сміттєзвалища /
 Fig. 4. Carcinogenic risk to public health due to soil contamination at the Novovodolazhsk landfill

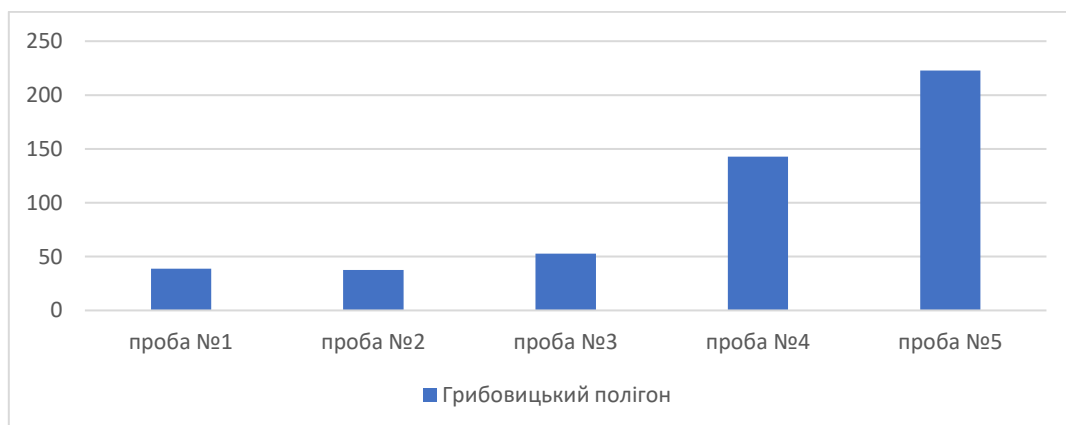


Рис. 5. Індекс небезпеки забруднення ґрунтів на території Грибовицького полігону /
 Fig. 5. Soil contamination hazard index at the Gribovytske landfill

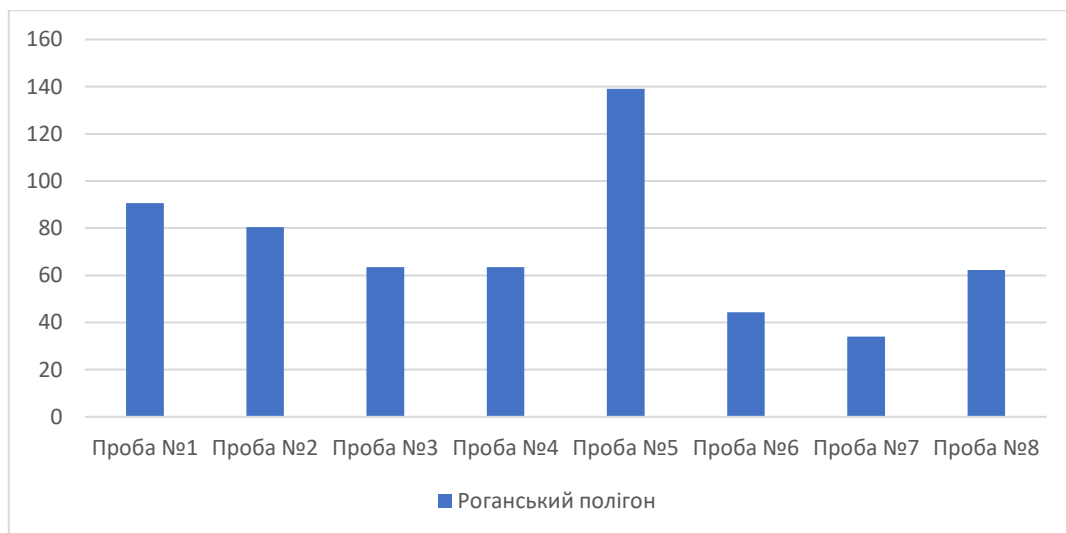


Рис. 6. Індекс небезпеки забруднення ґрунтів на території Роганського полігону /
 Fig. 6. Soil contamination hazard index at the Rohan landfill

від її вирішення в розвинених країнах світу протягом більш шости десятиліть доводить її актуальність і гостру необхідність включення в систему державного управління природоохоронною діяльністю.

Необхідно відзначити, що визначити взаємозв'язок між станом довкілля та виникненням

захворюваності неможливо, тому що на здоров'я населення впливають не тільки незадовільний якісний стан навколишнього середовища, але і професійні чинники, засіб життя, соціальні чинники, тощо. Відомо, що протягом життя людина піддається впливу цілого набору речовин, що надходять в організм із повітрям, водою, їжею,

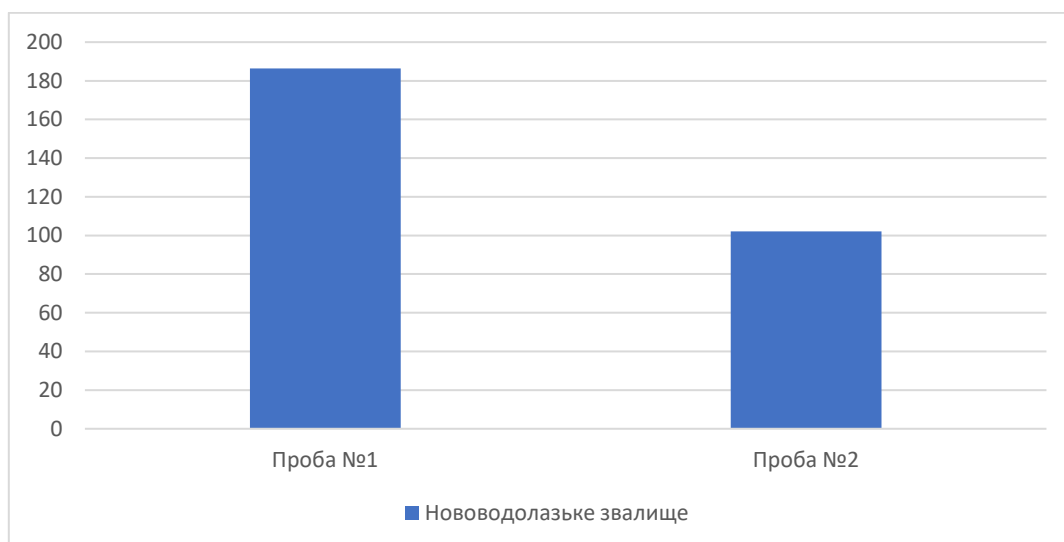


Рис. 7. Індекс небезпеки забруднення ґрунтів на території Нововодолазького сміттєзвалища /
Fig. 7. Soil contamination hazard index at the Novovodolazhske landfill

сигаретним димом тощо. Оцінити їх комбінований і сполучений вплив на здоров'я людини надзвичайно важко, тому що між речовинами існують взаємодії, що підсилюють чи послабляють їхній спільний вплив [13].

Метод оцінки потенційного ризику здоров'я населення дозволяє адекватно інтегрувати забруднюючі речовини, тому що представляє ймовірнісну характеристику появи рефлекторних реакцій організму й інших шкідливих ефектів.

Під оцінку потенційного ризику розуміється процес аналізу даних моніторингу про стан довкілля для визначення кількісної ймовірності

несприятливого впливу на здоров'я населення шкідливих факторів навколишнього середовища [13].

Потенційний ризик здоров'ю населення при комбінованому і комплексному впливі забруднення навколишнього середовища оцінюється за правилом множення ймовірностей, де як множник виступають не величини ризику здоров'ю, а значення, що характеризують ймовірність його відсутності [13].

Під час трактування отриманих величин потенційного ризику здоров'ю населення користуються наступною ранговою шкалою (табл. 3) [13].

Методичний підхід EPA US до оцінки ризи-

Таблиця 3 / Table 3

Залежність ваги ефектів від величини потенційного ризику здоров'ю населення [13] /
Dependence of the weight of effects on the magnitude of the potential risk to public health [13]

Risk	Клас	Характеристика ризику
<0,1	1	незначний вплив на здоров'я населення
0,1 – 0,19	2	слабкий вплив, граничні хронічні ефекти
0,2 – 0,59	3	значний вплив, важкі хронічні ефекти
0,6 – 0,89	4	великий вплив, важкі гострі ефекти
0,9 – 1,0	5	дуже великий вплив на здоров'я населення

ку для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів передбачає визначення канцерогенного ризику та індексу небезпеки шляхом інтегрування перорального, інгаляційного і наскірного надходження в організм людини [17].

Вважаємо, що необхідно визначати ризик для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами окремо для канцерогенного ризику за методом EPA US [17] і для неканцерогенних речовин за моделлю пробіт-регресії. Аналіз сучасних методичних підходів до визначення рівня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами показує необхідність

удосконалення методу оцінки ризику для здоров'я населення.

Вплив забруднення ґрунту на здоров'я людини може здійснюватися шляхом вживання у їжу продуктів харчування, які вирощені на забрудненій сільськогосподарській території. Тому необхідно визначати потенційний ризик для здоров'я населення окремо для територій сільськогосподарського використання із застосуванням транслокаційного ГДК, який показує небезпеку потрапляння важких металів із ґрунту в рослинність. В роботі [22] запропоновано визначати потенційний ризик для здоров'я населення вна-

слідок забруднення ґрунтів за моделлю пробіт-регресії для речовин, які не мають канцерогенного ефекту. З метою оцінки ймовірності негативних наслідків моделі пробіт-регресії часто використовують для визначення залежності «доза – ефект». Нормально-ймовірнісний розподіл при взаємозв'язку пробітів і ризику наведено в роботі [13].

Практичний досвід розрахунків ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів дозволив удосконалити метод, який представлено в роботі [22] шляхом заміни коефіцієнтів при визначенні пробітів.

Потенційний ризик для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів шляхом використання пробіт-регресії на територіях сільськогосподарського використання пропонуємо визначати за формулою:

$$Probit = -1,24 + 1,15 \lg \frac{C_i}{C_{ГДКі}}, \quad (9)$$

де C_i – концентрація i -ої забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг; $C_{ГДКі}$ – транслокаційна гранично-допустима концентрація (ГДК_{тр}) i -ої забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг.

Потенційний ризик для здоров'я населення

від впливу забруднення ґрунтів шляхом використання пробіт-регресії на територіях, які не використовують для вирощування сільськогосподарської продукції, пропонуємо визначати за формулою:

$$Probit = -1,24 + 1,15 \lg \frac{C_i}{C_{фоні}}, \quad (10)$$

де $C_{фон}$ – фонові концентрації i -ої забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг.

Потенційний ризик для здоров'я населення визначається для кожної забруднюючої речовини, що дозволяє їх рангувати з метою визначення причин забруднення. Для території, що досліджується, визначається сумарний ризик за правилом множення ймовірностей, де як множник виступають не величини ризику здоров'ю, а значення, що характеризують ймовірність його відсутності.

Рівень небезпеки за оцінкою потенційного ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів пропонуємо визначати за табл. 3.

На рисунках 8 та 9 представлено результати розрахунку потенційного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Грибовицького і Роганського полігонів.

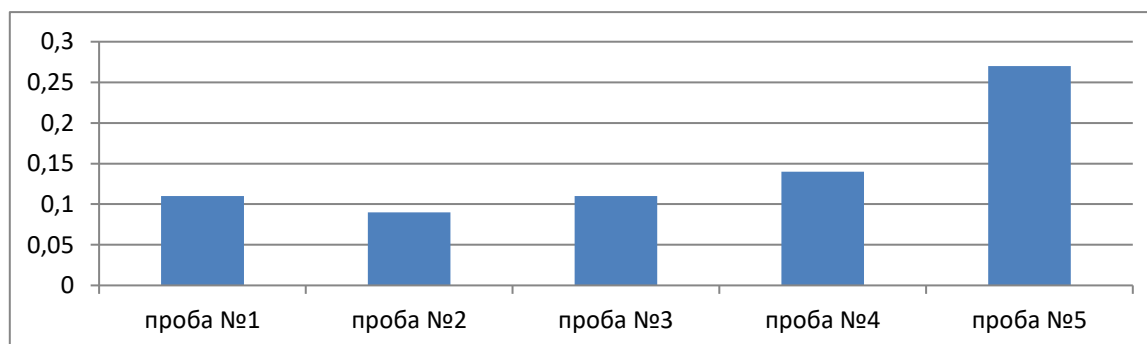


Рис. 8. Потенційний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Грибовицького полігону /

Fig. 8. Potential risk to public health due to soil contamination at the Hrybovychi landfill

Згідно табл. 3 значення ризику проби ґрунтів № 2 відповідає 1 класу небезпеки та характеризується незначним впливом на здоров'я населення. Значення потенційного ризику проб ґрунтів № 1, № 3 та № 4 знаходяться в межах другого класу, при якому спостерігається слабкий вплив та граничні хронічні ефекти. Значення потенційного ризику проби ґрунтів № 5 відповідає 3 класу небезпеки, що має значний вплив і призводить до важких хронічних ефектів. Найбільше значення порівняно з ГДК має свинець: в пробах ґрунтів № 3–5 концентрація перевищує значення ГДК. Найбільше значення потенційного ризику в пробі ґрунту № 5 в більшій мірі зумовлене перевищенням майже в 5 разів концентрації ГДК свинцю (концентрація 9,72).

Характеристика проб ґрунтів на території Роганського полігону:

– для проб ґрунтів № 3, № 4 і № 6 характерний 1 клас небезпеки, при якому здійснюється незначний вплив на здоров'я населення;

– проби ґрунтів № 1, № 2, № 7 відносяться до 2 класу небезпеки, що характеризується слабким впливом та граничними хронічними ефектами;

– проба ґрунту № 8 відповідає 3 класу небезпеки, що має значний вплив на здоров'я населення, існує ймовірність важких хронічних ефектів.

Значення потенційного ризику проб ґрунтів № 1 і № 2 Нововодолазького звалища відповідають 4 класу, що спричиняє великий вплив на

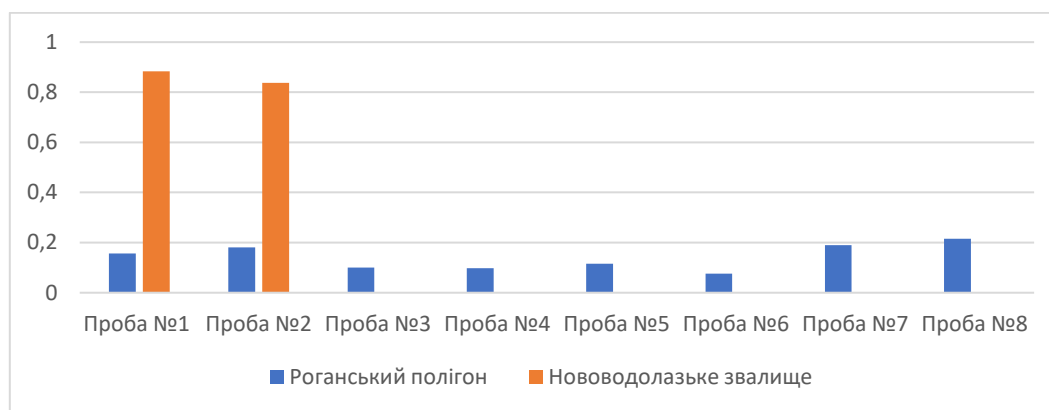


Рис. 9. Потенційний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Роганського полігону та звалища Нововодолазької селищної ради /
Fig. 9. Potential risk to public health due to soil contamination at the Rohan landfill and Novovodolazhske village council landfill

здоров'я населення і може викликати важкі гострі ефекти.

Розрахунок проводився для Роганського полігону за концентраціями чотирьох речовин (Cd, Pb, Zn, Cu), а для Нововодолазького звалища для трьох речовин (Pb, Zn, Cu), втім потенційний

ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів на території Нововодолазького звалища значно перевищує значення ризику для Роганського полігону. Така різниця зумовлена більшими концентраціями забруднюючих речовин.

Таблиця 4 / Table 4

Порівняння методів визначення ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів /
Comparison of methods for determining the risk to public health from soil contamination

№ проби	Індекс небезпеки		Потенційний ризик	
	значення	клас	значення	клас
Грибовицький полігон				
1	38,89	5	0,11	2
2	37,66	5	0,09	1
3	52,61	5	0,11	2
4	142,78	5	0,14	2
5	222,62	5	0,27	2
Роганський полігон				
1	90,65	5	0,16	2
2	80,42	5	0,18	2
3	63,52	5	0,1	2
4	63,41	5	0,09	1
5	139,07	5	0,12	2
6	44,33	5	0,08	1
7	34,02	5	0,19	2
8	62,19	5	0,22	3
Нововодолазьке звалище				
1	186,44	5	0,88	4
2	102,18	5	0,84	4

Аналіз таблиці 4 показав недосконалість американського підходу до визначення ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів, відбувається завищення результатів, бо методичні принципи EPA US оцінювання ризику базуються на безпороговій моделі.

Порівняння методичних підходів до оцінювання ризику для здоров'я населення показало

декілька недоліків методичного підходу EPA US:

1) не збігаються показники забруднення компонентів довкілля української та американської систем моніторингу;

2) розрахунок індексу небезпеки заснований на простому підсумовуванні кратності перевищення референтних доз без урахування ефекту сумарності (синергізму) речовин і без урахування

класу небезпеки;

3) концепція безпорогового ризику (тобто будь-яка речовина в будь-якій концентрації впливає на здоров'я людини) призводить до завищення значень ризиків;

4) для кожної забруднюючої речовини вказують конкретні захворювання, які можуть бути збільшені в порівнянні з фоною захворюваністю, але іноді це вельми сумнівні висновки про захворювання, особливо при визначенні ризику для здоров'я населення при рекреаційному водокористуванні;

5) метод оцінки потенційного ризику для здоров'я населення засновано на тому, що якщо забруднюючі речовини перевищують відповідні ГДК, то є ймовірність виникнення несприятливих ефектів або збільшення захворюваності і при цьому не вказують конкретні захворювання;

6) оцінка потенційного ризику для здоров'я населення заснована на вітчизняній системі гранично допустимих концентрацій (ГДК) і враховує клас небезпеки речовини;

7) потенційний ризик для здоров'я населення визначається логарифмічною залежністю, що є прийнятним для визначення ймовірності.

Американський метод EPA US оцінювання ризику для здоров'я населення потребує адаптації для застосування її при сучасній системі державного моніторингу навколишнього природного середовища.

Висновки. Аналіз сучасного стану поводження з відходами в різних країнах світу і в Україні показав, що ця проблема є надзвичайно гострою і її потрібно негайно вирішувати. Захоронення твердих побутових відходів на полігонах і звалищах призводить до забруднення навколишнього природного середовища і впливає на збільшення захворюваності населення.

Дослідження впливу полігонів твердих побутових відходів на забруднення довкілля в різних країнах світу показало високий рівень екологічної небезпеки, особливо внаслідок забруднення ґрунтів важкими металами. Токсичність важких металів призводить до зниження продуктивності і врожайності, порушує нормальне функціонування екосистем і негативно впливає на здоров'я населення. Тому дослідження рівня екологічної небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами є дуже актуальними.

В роботі представлено методичний підхід EPA US та метод оцінки потенційного ризику, за якими було проведено розрахунки. Дослідження показало суттєву різницю між даними методами.

Загальний індекс небезпеки (метод EPA US) показав надзвичайно високий рівень небезпеки за всіма досліджуваними об'єктами. Метод оцінювання ризику для здоров'я населення EPA US

значно завищує класи небезпек через просту сумарну перевищення референтних концентрацій, що до теорії ймовірності не має ніякого відношення. Значення у всіх досліджуваних пробах ґрунту перевищує 10, що відносить їх до 5 класу небезпек (надзвичайно високий ризик), а самі значення відрізняються в декілька разів. Наприклад індекс небезпеки забруднення ґрунтів на території Грибовицького полігону за пробою ґрунту № 2 дорівнює 37,66, а за пробою ґрунту № 5 – 222,62. А в результаті всі проби віднесені до 5 класу з такою суттєвою різницею в результатах. Дана ситуація відбувається внаслідок дотримання концепції безпорогового ризику, а також не враховується клас небезпеки забруднюючих речовин.

Потенційний ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів визначався для Грибовицького та Роганського полігонів в межах 1-3 класу небезпеки (незначний вплив, слабкий вплив, значний вплив), для Нововодолазького звалища значення ризику відповідає 4 класу (великий вплив), варто зауважити, що в методиці потенційного ризику є ще 5 клас небезпеки (дуже великий вплив на здоров'я населення).

Аналіз отриманих результатів розрахунку потенційного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів показав, що найбільший ризик спостерігається на території Нововодолазького сміттєзвалища (4 клас небезпеки), при найменшій кількості забруднюючих речовин. Дана ситуація виникла через не дотримання природоохоронних заходів на сміттєзвалищі, які на полігонах ТПВ виконуються в більшій мірі. На жаль, дана ситуація для звалищ не є поодиноким і потребує невідкладних заходів.

Новий метод оцінки потенційного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення ґрунтів врахував вище перелічені недоліки. Якщо забруднюючі речовини перевищують відповідні ГДК, то є ймовірність виникнення несприятливих ефектів або збільшення захворюваності.

Оцінка рівня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами дозволить прийняти науково-обґрунтоване рішення щодо пріоритетності впровадження природоохоронних заходів, тому дослідження статті мають практичне значення.

На сьогодні в Україні збільшуються обсяги накопичення відходів, кількість полігонів і звалищ для їх захоронення, погіршується санітарний стан населених пунктів. За офіційними даними, в Україні накопичено близько 36 млрд. тонн відходів, або більш як 50 тис. тонн на 1 км² території, з яких утилізується лише 30 % промислових відходів та 4 % побутових відходів.

Директивою 1999/31/ЄС встановлюється, що у місця захоронення можуть спрямовуватися

лише відходи, які були оброблені з метою зменшення їх обсягів та безпеки для довкілля.

Директива 2008/98/ЄС встановлює перелік відходів, класифікацію операцій поводження з відходами, вимоги до поводження з небезпечними відходами, заборону змішування небезпечних відходів (ст. 17), маркування небезпечних відходів (ст. 19), стаття 11 встановлює обов'язковим забезпечення роздільного збирання скла, паперу та картону, металу, полімерів, до 2025 року – текстилю, а також підготовку до повторного використання та перероблення. Стаття 22 встановлює необхідність роздільного збирання біовідходів та забезпечення їх подальшого оброблення і перероблення [23].

У зв'язку з євроінтеграцією Україна зобов'язалася виконати певні умови, деякі з них стосуються екологічної безпеки, в тому числі сфери поводження з відходами. З січня 2018 року у Закон «Про відходи» було внесено зміни, які суворо зобов'язують сортувати сміття та забороняють захоронення на полігонах неперероблених твердих відходів.

Нашій країні потрібно імплементувати законодавство європейського союзу і знайти способи реалізації міжнародних правових норм.

Важливо аналізувати і впроваджувати закордонний досвід з метою забезпечення сталого розвитку держави і збереження навколишнього природного середовища для майбутніх поколінь.

Список використаної літератури

1. Mariia Korbut, Myroslav Malovanyu, Ruslan Boyko, Andrew Masikevych. *Determination of the sanitary protection zone of municipal waste landfill based on evaluation of the environmental hazards: Case study of the Zhytomyr territorial community, Ukraine*. Heliyon. 2023. Vol. 9, № 12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22347> (дата звернення 02.11.2023)
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html> (дата звернення 29.11.2023)
3. Suman Mor, & Khaiwal Ravindra (2023). *Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. Process Safety and Environmental Protection, Volume 174*, 510-530. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014>
4. Yahya Kooch, Azam Nouraei, Katayoun Haghverdi, Steffen Kolb, & Rosa Francaviglia (2023). *Landfill leachate has multiple negative impacts on soil health indicators in Hyrcanian forest, northern Iran. Science of The Total Environment, Volume 896*, 166341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166341>
5. Maheshi Danthurebandara, Steven Van Passel, Dirk Nelen, Yves Tielemans. *Environmental and socio-economic impacts of landfills*. Linnaeus ECOTECH. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/278738702_Environmental_and_socioeconomic_impacts_of_landfills (дата звернення: 22.01.2024)
6. Рибалова О.В., Бригада О.В., Лійнський А.В. Бондаренко О.О. Чорнс К.С. Вплив твердих побутових відходів на здоров'я населення / *The 2nd International scientific and practical conference "Science and technology: problems, prospects and innovations"* (November 17-19, 2022) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2022. p. 249-256 URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-technology-problems-prospects-and-innovations-17-19-11-2022-osakayaponiya-arhiv>
7. Felix Odom, Emmanuel Gikunoo, Emmanuel Kwesi Arthur, Frank Ofori Agyemang, Kwadwo Mensah-Darkwa (2021). *Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompooase landfill site in Ghana. Environmental Challenges, Volume 5*, December 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100308>
8. Alice K.M. Morita, Carolina Ibelli-Bianco, Jamil A.A. Anache, Jaqueline V. Coutinho, Natalia S. Pelinson, Juliana Nobrega, Livia M.P. Rosalem, Camila M.C. Leite, Leonardo M. Niviadonski, Caroline Manastella, Edson Wendland (2021). *Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. Waste Management, Volume 131*, 15 July 2021, Pages 163-176. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.004>
9. Seyyed Mahdi Hosseini Beinabaj, Hossein Heydariyan, Hamed Mohammad Aleii, Ali Hosseinzadeh (2023). *Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. Heliyon, Volume 9, Issue 1, January 2023*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13017>
10. Chuan Du, Zhanping Li. *Contamination and health risks of heavy metals in the soil of a historical landfill in northern China. Chemosphere, Volume 313*, February 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137349>
11. Gaofeng Wu, Lili Wang, Ran Yang, Wenxing Hou, Shanwen Zhang, Xiaoyu Guo, Wenji Zhao (2022). *Pollution characteristics and risk assessment of heavy metals in the soil of a construction waste landfill site. Ecological Informatics, Volume 70*, September 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101700>
12. Rafiul Alam, Zia Ahmed, M. Farhad Howladar (2020). *Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh. Groundwater for Sustainable Development, Volume 10*, April 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100311>
13. *Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О.Г. Васенко, О.В. Рибалова, С.Р. Артем'єв і др. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.*
14. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Kameneva I., Taraduda D., Sobynta V., Sokolov D., Dement M., Iatsyshyn, T. *Risk assessment for the population of Kyiv, Ukraine as a result of atmospheric air pollution. Journal of Health and Pollution, 10(25)*, 200303, 2020. <https://meridian.allenpress.com/jhp/article/10/25/200303/445357>

15. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Y., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. *Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2020. Vol. 4/10 (106). P. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>.
16. Rybalova O., Artemiev S. *Development of a procedure for assessing the environmental risk of the surface water status deterioration. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 5/10 (89). P. 67–76. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112211>
17. *Integrated Risk Information System (IRIS) / U.S. Environmental Protection Agency (EPA).* URL: <http://www.epa.gov/iris> (дата звернення 29.01.2024)
18. Rashmi, S., Prince, K. S., Parvati, M., Alok, K. K., & Supriya, T. (2024). Heavy metal contamination in the wastewater irrigated soil and bioaccumulation in cultivated vegetables: Assessment of human health risk. *Journal of Food Composition and Analysis* Volume 128, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106054>
19. Shiyang Yang, Lijuan Sun, Yafei Sun, Ke Song, Qin Qin, Zhengyi Zhu, & Yong Xue (2023). Towards an integrated health risk assessment framework of soil heavy metals pollution: Theoretical basis, conceptual model, and perspectives. *Environmental Pollution. Volume 316, Part 2, 120596.* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120596>
20. Коваль І.І. Підвищення рівня екологічної безпеки регіону інтегрованою системою управління побутовими відходами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 “Екологічна безпека”. – Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України, Львів, 2019. с.198.
21. Гончаренко І.О. Підвищення екологічної безпеки об’єктів поводження з твердими побутовими відходами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Науководослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», 2020. С. 229.
22. Рыбалова О.В., Бригада О.В., Бондаренко О.О., Макаров Є.О. *Новий метод оцінки ризику для здоров’я населення від забруднення ґрунтів важкими металами. Проблеми надзвичайних ситуацій.* 2019. № 1(29) с. 79-99.
23. Рамкова Директива 2008/98/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 19 листопада 2008 р. про відходи та скасування окремих Директив. *Офіційний вісник ЄС.* 2008. № 312. С. 3-30.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Assessment of the risk to public health from soil contamination on the territory of solid waste landfills

Olha Rybalova¹

PhD (Technical), Associate Professor, Department of Labour Protection and Technogenic and Environmental Safety,

¹ National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;

Artemiev Serhii¹

PhD (Technical), Associate Professor, Head of the Department of Labour Protection and Technogenic and Environmental Safety;

Brihada Olena¹

PhD (Technical), Associate Professor, Department of Labour Protection and Technogenic and Environmental Safety;

Ilinskyi Oleksii¹

PhD (Biology), Associate Professor, Department of Labour Protection and Technogenic and Environmental Safety;

Anton Matsak¹

PhD (Technical), Lecturer of Department of Labour Protection and Technogenic and Environmental Safety

ABSTRACT

Introduction. Domestic waste management is an extremely important issue for all countries of the world, especially for the countries of the former Soviet Union, as the current state of solid waste disposal in Ukraine is extremely unsatisfactory. According to the European Commission, the amount of waste in the European Union has increased in recent years to more than 2.5 billion tons per year. The results of the Waste Atlas report on the world's 50 largest landfills show that 64 million people are affected by the 50 largest landfills every day. Ukraine has a total of 6045 landfills and dumpsites. The general trend in Ukraine, in contrast to European countries, is a low level of recycling and utilization of solid waste and a high rate of landfill disposal. The vast majority of landfills (80 to 90%) operate in overload

mode. Landfills, in particular solid waste landfills, are the main pollutants of the atmosphere, hydrosphere and soil. Therefore, determining the level of environmental hazard of heavy metals in the soil as a result of the impact of landfills and solid waste dumps is very important.

Objective. The purpose of the article is to determine the impact of solid waste landfills on public health due to soil contamination with heavy metals.

Methodology. In order to determine the level of environmental hazard of household waste storage at landfills and dumps, the paper assesses the risk to public health from soil contamination in the area of the Hrybovychi landfill (Lviv oblast), Rohan landfill (Kharkiv oblast), and Novovodolazhske landfill (Kharkiv oblast). The risk to public health from soil contamination at solid waste landfills was assessed using the traditional US EPA method and a new method for determining the potential risk to public health from soil contamination with heavy metals.

Results. The article compares two fundamentally different methodological approaches to determining the level of environmental hazard of soil contamination with heavy metals. The risk to public health from soil contamination on the territory of solid waste landfills according to the US EPA method corresponds to hazard class 5 (extremely high hazard level) according to all calculations. The results of the assessment of the potential risk to public health from soil contamination using the new method at solid waste landfills correspond to hazard classes 2-4. Comparison of methodological principles for assessing the risk to public health from soil pollution has shown the advantages of using the new method of potential risk assessment. The use of the new method of assessing the potential risk to public health from soil pollution will help improve science-based management of household waste and direct financial resources to reduce the environmental hazard of soil and land pollution in Ukraine.

Scientific novelty. The article presents an improved method for assessing the risk to public health from soil pollution, which represents the scientific novelty of the work

Practical significance. Determining the environmental hazard of soil pollution due to the impact of landfills and solid waste dumps makes it possible to prioritize the implementation of environmental protection measures and will contribute to the implementation of environmentally sound environmental management, so the research is of practical importance.

Keywords: landfill, household waste, heavy metals, soil, risk, public health, Ukraine

References

1. Mariia Korbut, Myroslav Malovanyy, Ruslan Boyko, Andrew Masikevych (2023). Determination of the sanitary protection zone of municipal waste landfill based on evaluation of the environmental hazards: Case study of the Zhytomyr territorial community, Ukraine. *Heliyon*. 9, № 12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22347> (date of application 02.11.2023)
2. National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2020. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html> (date of application 29.11.2023) [in Ukrainian]
3. Suman Mor, &Khairwal Ravindra (2023). Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. *Process Safety and Environmental Protection*. Volume 174, 510-530. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014>
4. Yahya Kooch, Azam Nouraei, Katayoun Haghverdi, Steffen Kolb, & Rosa Francaviglia (2023). Landfill leachate has multiple negative impacts on soil health indicators in Hyrcanian forest, northern Iran. *Science of The Total Environment*. Volume 896, 166341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166341>
5. Maheshi Danthurebandara, Steven Van Passel, Dirk Nelen, Yves Tielemans (2012). Environmental and socio-economic impacts of landfills. *Linnaeus ECOTECH*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/278738702> *Environmental and socioeconomic impacts of landfills* (date of application: 22.01.2024)
6. Rybalova O.V., Bryhada O.V., Ilinskyi A.V. Bondarenko O.O. Chornis K.I.e. (2022). The influence of solid household waste on the health of the population. The 2nd International scientific and practical conference "Science and technology: problems, prospects and innovations" (November 17-19) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 249-256 [in Ukrainian]
7. Felix Odom, Emmanuel Gikunoo, Emmanuel Kwesi Arthur, Frank Ofori Agyemang, Kwadwo Mensah-Darkwa (2021). Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompooase landfill site in Ghana. *Environmental Challenges*, 5, December 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100308>
8. Alice K.M. Morita, Carolina Ibelle-Bianco, Jamil A.A. Anache, Jaqueline V. Coutinho, Natalia S. Pelinson, Juliana Nobrega, Livia M.P. Rosalem, Camila M.C. Leite, Leonardo M. Niviadonski, Caroline Manastella, Edson Wendland (2021). Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. *Waste Management*, 131, 15 July 2021, 163-176. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.004>
9. Seyyed Mahdi Hosseini Beinabaj, Hossein Heydariyan, Hamed Mohammad Aleii, Ali Hosseinzadeh (2023). Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. *Heliyon*, 9, 1, January 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13017>
10. Chuan Du, Zhanping Li (2023). Contamination and health risks of heavy metals in the soil of a historical landfill in northern China. *Chemosphere*, 313, February 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137349>
11. Gaofeng Wu, Lili Wang, Ran Yang, Wenxing Hou, Shanwen Zhang, Xiaoyu Guo, Wenji Zhao (2022). Pollution characteristics and risk assessment of heavy metals in the soil of a construction waste landfill site. *Ecological Informatics*, 70, September 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101700>

12. Rafiul Alam, Zia Ahmed, M. Farhad Howladar (2020). Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, April 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100311>
13. *Integral and complex assessments of the state of the surrounding natural environment: monograph* (2015). O.H. Vasenko, O.V. Rybalova, S.R. Artemiev et al. Kharkiv: NUHZU, 419. [in Ukrainian]
14. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Kameneva I., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn, T. Risk assessment for the population of Kyiv, Ukraine as a result of atmospheric air pollution. *Journal of Health and Pollution*, 10(25), 200303, 2020. <https://meridian.allenpress.com/jhp/article/10/25/200303/445357>
15. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Y., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4/10 (106). 37–43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
16. Rybalova O., Artemiev S. (2017). Development of a procedure for assessing the environmental risk of the surface water status deterioration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/10 (89). 67–76. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112211>
17. *Integrated Risk Information System (IRIS)*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). URL: <http://www.epa.gov/iris> (date of application 29.01.2023)
18. Rashmi, S., Prince, K. S., Parvati, M., Alok, K. K., & Supriya, T. (2024). Heavy metal contamination in the wastewater irrigated soil and bioaccumulation in cultivated vegetables: Assessment of human health risk. *Journal of Food Composition and Analysis*. 128, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106054>
19. Shiyang Yang, Lijuan Sun, Yafei Sun, Ke Song, Qin Qin, Zhengyi Zhu, & Yong Xue (2023). Towards an integrated health risk assessment framework of soil heavy metals pollution: Theoretical basis, conceptual model, and perspectives. *Environmental Pollution*. 316, 2, 120596. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120596>
20. Koval I.I. (2019). Increasing the level of environmental safety of the region through an integrated household waste management system. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) on the specialty 21.06.01 "Environmental safety". – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 198. [in Ukrainian]
21. Honcharenko I.O. (2020). Increasing the environmental safety of solid waste management facilities. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in the specialty 21.06.01 - environmental safety. - Research institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", 229. [in Ukrainian]
22. Rybalova O.V., Bryhada O.V., Bondarenko O.O., Makarov Ye.O. (2019). A new method of assessing the risk to public health from soil contamination with heavy metals. *Problems of emergency situations*. 1(29). 79-99 [in Ukrainian]
23. Framework Directive 2008/98/EC of the European Parliament and the Council of November 19, 2008 on waste and the repeal of certain Directives. *Official Gazette of the EU*. 312, 3-30.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work
Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 18 April 2024
Accepted 23 May 2024