

УДК 502/504

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).46](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).46)

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF HEAVY METALS ON THE ENVIRONMENT FROM THE OPERATION OF THE ENTERPRISE “BETON FACTORY” LLC IN ZHYTOMYR

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ВІД РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» М. ЖИТОМИРА

Liudmyla I. Demchuk

ke_dlm@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5698-7113

Oksana M. Alpatova

ke_aom@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-0803-9850

Tatiana V. Kurbet

kpn_ktv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7820-4263

Halyna V. Skyba

kpn_sgv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4981-4975

Л. І. Демчук,

канд. пед. наук, доцент

О. М. Алпатова,

канд. біол. наук, доцент

Т. В. Курбет,

канд. с-г. наук, доцент

Г. В. Скиба,

канд. техн. наук, доцент

*Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr**Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир*

Abstract. The article presents an environmental assessment of the impact of heavy metals that may enter the environment as a result of the activities of the enterprise “BETON FACTORY” LLC in Zhytomyr. The potential sources of heavy metal pollution on the territory of the enterprise and adjacent areas are analyzed. Possible ways of migration of pollutants into the soil, water bodies and atmospheric air are estimated. Based on the analysis, recommendations were formulated to minimize the negative impact of heavy metals on the ecosystem and public health.

The *aim* is to determine the level of heavy metal pollution at the enterprise “BETON FEKTORI” LLC in Zhytomyr.

Methods. Identification of specific production processes or activities of BETON FACTORY LLC that may be sources of heavy metal emissions into the environment (e.g., storage of raw materials, production of concrete mixtures, equipment cleaning, waste generation). The choice of locations for soil, water, air, and biota sampling is justified, taking into account potential pathways for the spread of pollutants and sensitive ecosystems. The sampling procedure and laboratory analysis methods for determining the concentration of heavy metals in the selected samples (e.g., atomic absorption spectrometry, inductively coupled plasma mass spectrometry) are described. Geographic information systems (GIS) and modeling methods were used to visualize and predict the distribution of heavy metals in the environment.

Results. The study aimed to assess the potential impact of BETON FACTORY LLC's activities on environmental pollution with heavy metals. For this purpose, soil, water (surface and groundwater) and air samples were analyzed in the area of the enterprise's influence and at control sites. Soil samples collected directly on the territory of the enterprise and in the immediate vicinity of production sites revealed elevated concentrations of some heavy metals, in particular lead (Pb) and zinc (Zn), compared to background values. The concentrations of other heavy metals (cadmium (Cd), copper (Cu), chromium (Cr), nickel (Ni), mercury (Hg)) in most samples did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) for soils of industrial areas, but there was a tendency for their slight increase near sources of potential pollution. In surface water samples taken from the nearest water bodies, a slight exceedance of the MAC for zinc (Zn) was detected at some points downstream of the enterprise. The concentrations of other heavy metals were within the permissible limits. The analysis of groundwater samples showed that the concentrations of heavy metals in most cases did not exceed the established standards for drinking water and water for household use. However, a slight increase in iron (Fe) and manganese (Mn) content was recorded in some wells located on the territory of the enterprise, which may be related to both the enterprise's activities and natural geochemical features of the soil. The

results of the analysis of atmospheric air samples in the area of the enterprise's influence showed that the average daily concentrations of heavy metals in suspended particles did not exceed the established MPCs for the atmospheric air of populated areas. However, during some measurements in the immediate vicinity of the enterprise's process equipment, short-term localized increases in zinc (Zn) and lead (Pb) concentrations were recorded.

Scientific novelty. It allows to obtain new knowledge about the processes of heavy metal pollution in specific conditions, which is important for the development of effective environmental protection measures.

Practical significance. The study of the impact of heavy metals on the environment from the activities of BETON FACTORY LLC is an important tool for ensuring environmental safety and sustainable development. The results can be used to make informed management decisions, develop and implement environmental protection measures, and ensure transparent communication with the public.

Key words: pollution; environment; pollutants; BETON FACTORY LLC; heavy metals; cement industry; environmental risks; dust; smoke; particulate matter.

Анотація. У статті проведено екологічну оцінку впливу важких металів, що можуть потрапляти в навколишнє середовище внаслідок діяльності підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» м. Житомира. Проаналізовано потенційні джерела забруднення важкими металами на території підприємства та прилеглих ділянках. Оцінено можливі шляхи міграції забруднюючих речовин у ґрунт, водні об'єкти та атмосферне повітря. На основі проведеного аналізу сформульовано рекомендації щодо мінімізації негативного впливу важких металів на екосистему та здоров'я населення.

Мета є визначення рівня забруднення важкими металами діяльності підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» м. Житомира.

Методика. Ідентифікація конкретних виробничих процесів або видів діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ», які можуть бути джерелами викидів важких металів у навколишнє середовище (наприклад, зберігання сировини, виробництво бетонних сумішей, очищення обладнання, утворення відходів). Обґрунтовано вибір місць для відбору проб ґрунту, води, повітря та біоти з урахуванням потенційних шляхів розповсюдження забруднюючих речовин та чутливих екосистем. Опис процедури відбору проб та методів лабораторного аналізу для визначення концентрації важких металів у відібраних зразках (наприклад, атомно-абсорбційна спекторметрія, мас-спекторметрія з індуктивно зв'язаною плазмою). Використано геоінформаційних систем (ГІС) та методів моделювання для візуалізації та прогнозування поширення важких металів у навколишньому середовищі.

Результати. Проведене дослідження мало на меті оцінити потенційний вплив діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» на забруднення навколишнього середовища важкими металами. Для цього було здійснено аналіз проб ґрунту, води (поверхневих та підземних) та атмосферного повітря в зоні впливу підприємства та на контрольних ділянках. У пробах ґрунту, відібраних безпосередньо на території підприємства та в безпосередній близькості до виробничих майданчиків, виявлено підвищені концентрації деяких важких металів, зокрема свинцю (Pb) та цинку (Zn), порівняно з фоновими значеннями. Концентрації інших досліджуваних важких металів (кадмію (Cd), міді (Cu), хрому (Cr), нікелю (Ni), ртуті (Hg)) у більшості проб не перевищували гранично допустимих концентрацій (ГДК) для ґрунтів промислових територій, проте спостерігалася тенденція до їх незначного зростання поблизу джерел потенційного забруднення. В пробах поверхневих вод, відібраних з найближчих водних об'єктів, виявлено незначне перевищення ГДК для цинку (Zn) в окремих точках, розташованих нижче за течією від підприємства. Концентрації інших важких металів знаходилися в межах допустимих значень. Аналіз проб підземних вод показав, що концентрації важких металів у більшості випадків не перевищували встановлених нормативів для питної води та вод господарсько-побутового призначення. Проте, в окремих свердловинах, розташованих на території підприємства, зафіксовано незначне підвищення вмісту заліза (Fe) та марганцю (Mn), що може бути пов'язано як з діяльністю підприємства, так і з природними геохімічними особливостями ґрунтів. Результати аналізу проб атмосферного повітря в зоні впливу підприємства показали, що середні добові концентрації важких металів у зважених частинках не перевищували встановлених ГДК для атмосферного повітря населених місць. Проте, під час проведення окремих замірів у безпосередній близькості до технологічного обладнання підприємства фіксувалися короточасні локальні підвищення концентрацій цинку (Zn) та свинцю (Pb).

Наукова новизна. Полягає в тому, що дозволяє отримати нові знання про процеси забруднення важкими металами в конкретних умовах, що є важливим для розробки ефективних заходів щодо захисту довкілля. *Практична значимість.* Дослідження впливу важких металів на довкілля від діяльності підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» є важливим інструментом для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, розробки та впровадження природоохоронних заходів, а також для забезпечення прозорої комунікації з громадськістю.

Ключові слова: забруднення; навколишнє середовище; забруднюючі речовини; ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ»; важкі метали; цементна промисловість; екологічні ризики; пил; дим; тверді частки.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Обґрунтування важливості дослідження впливу важких металів на довкілля, особливо в контексті діяльності промислових підприємств, таких як ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ». Дає можливість підкреслити екологічні проблеми, пов'язані з викидами важких металів, та їхній вплив на екосистеми та здоров'я людини. Проблема забруднення навколишнього середовища викидами виробничих підприємств на сьогоднішній день є актуальною та складною, вимагає комплексного підходу, який включає інноваційні технології, жорстке дотримання екологічних стандартів, а також підтримку суспільства і держави для зменшення екологічного впливу [4]. Зокрема, будівельна галузь України та світу розвивається динамічними темпами, збільшуючи свої потужності і тим самим завдаючи більшої шкоди навколишньому середовищу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проведення такого аналізу літературних джерел є важливим етапом для розуміння загальних закономірностей впливу важких металів, специфіки впливу бетонних виробництв та визначення ключових питань, які необхідно врахувати при екологічній оцінці впливу діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ». Зокрема, нормативно-правова база України у сфері ОВОС:

1. Закони України «Про оцінку впливу на довкілля», «Про охорону навколишнього природного середовища», відповідні постанови Кабінету Міністрів України, накази Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Ці документи визначають процедуру проведення ОВОС, вимоги до звітності та критерії оцінки впливу.

2. Директиви Європейського Союзу, конвенції ООН, настанови міжнародних організацій (наприклад, Світового банку, Європейського банку реконструкції та розвитку) щодо проведення екологічної оцінки. Ці джерела можуть містити передові практики та методології.

3. Наукові публікації з методології ОВОС: статті у наукових журналах, монографії, підручники, які розкривають теоретичні та практичні аспекти проведення оцінки впливу на довкілля, включаючи ідентифікацію, прогнозування та оцінку ризиків.

Забруднення навколишнього середовища поблизу цементного виробництва досліджено останнім часом у працях (Radomska, 2020; Sheikina & Mysliuk, 2018). У зазначених роботах особливу увагу приділено визначенню концентрації важких металів (Pb, Mn, Cd, Cu, Zn) у ґрунтовому покриві вздовж транспортних магістралей індустріально-урбанізованих територій (Hryshko et al., 2022; Swinomatka.wordpress, 2018; Franchuk & Radomska, 2019; Bilyk et al., 2019) [2].

Різні хімічні елементи, особливо метали, що нагромаджуються у ґрунтах, засвоюють рослини і через них по харчовому ланцюгу переходять в організм тварин і людини. Частина з них розчиняється і виноситься ґрунтовими водами, потім потрапляє в річки, водойми і вже через питну воду може потрапити у людський організм (Bilyk et al., 2019).

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Більшість досліджень зосереджуються на впливі окремих важких металів. Однак у реальному середовищі часто присутня суміш різних металів. Їхня комбінована дія впливає на ґрунти, води, рослинність та живі організми в районі діяльності «БЕТОН ФЕКТОРІ». Існують синергетичні ефекти, коли спільна дія кількох металів є значно сильнішою за суму їхніх індивідуальних впливів. Навіть низькі концентрації важких металів можуть накопичуватися в екосистемах з часом, призводячи до непередбачуваних довгострокових наслідків. Більшість екологічних оцінок зосереджуються на макроорганізмах. Адже саме мікроорганізми відіграють ключову роль у підтримці екосистемних функцій, таких як кругообіг поживних речовин та детоксикація забруднювачів. Виділення цих невіршених аспектів може стати основою для подальших досліджень та розробки більш комплексної та ефективної стратегії екологічної оцінки впливу важких металів від діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ».

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення рівня забруднення важкими металами діяльності підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» м. Житомира.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Існують багато методів оцінки стану забруднення довкілля та його компонентів, поки що неможливо визначити які саме частини екосистеми зазнають найбільшого впливу. Для поступового визначення впливу конкретних забруднювачів на окремі компоненти можна використовувати низку прийомів і методів. Тому все більшого значення набувають комплексні методи оцінки впливу підприємства на навколишнє середовище. Для досягнення мети дослідження нами було застосовано комплекс наукових методів, що включає:

1. Аналітичний метод (використано для опрацювання наукової літератури, нормативно-правових актів у сфері екологічної безпеки та даних моніторингу стану навколишнього середовища).

2. Статистичний метод (застосовувався для обробки та аналізу кількісних даних щодо концентрації важких металів у різних компонентах навколишнього середовища (ґрунті, воді, атмосферному повітрі) в зоні впливу ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ»).

3. Інструментальні методи (включали відбір проб ґрунту, води та атмосферного повітря відповідно до чинних стандартів та їх подальший аналіз із застосуванням сучасного лабораторного обладнання для визначення вмісту важких металів (зокрема, атомно-абсорбційна спектроскопія, мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою тощо)).

4. Картографічний метод (застосовувався для візуалізації просторового розподілу забруднення важкими металами та визначення зон максимального впливу підприємства).

5. Метод екологічного моделювання (використовувався для прогнозування можливих сценаріїв поширення забруднення та оцінки потенційних екологічних ризиків).

6. Порівняльний метод (застосовувався для порівняння отриманих результатів з гранично допустимими концентраціями (ГДК) та іншими нормативними показниками, а також з даними попередніх досліджень або фоновими значеннями).

Об'єкт дослідження є навколишнє середовище в зоні впливу виробничої діяльності підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ», розташованого у місті Житомирі.

Предмет дослідження є екологічний вплив важких металів, що надходять у навколишнє середовище внаслідок діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ», на стан ґрунтів, поверхневих та підземних вод, атмосферного повітря та біоти.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Сталий розвиток країни передбачає регулювання усіх сфер діяльності, що сприятимуть соціальному добробуту населення, але при цьому не завдавалася шкода довкіллю у таких масштабах, які б створювали загрозу існуванню майбутніх поколінь та обмежували їх доступ до природних ресурсів. Атмосферне повітря є одним із тих компонентів довкілля, від стану якого залежить стан здоров'я людини. Як відомо, цементна промисловість є однією із галузей, які спричиняють шкідливі викиди в атмосферне повітря.

Цементне виробництво є одним з найбільших джерел антропогенних викидів в атмосферу. Виробництво цементу пов'язане з виділенням великої кількості шкідливих речовин, які негативно впливають на довкілля та здоров'я людини. Воно супроводжується надходженням в навколишнє середовище твердих і газоподібних забруднюючих речовин (цементного пилу, ртуті, саж, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, різних вуглеводів, марганцю, ванадію, та ін.) [3]. Сьогодні важко уявити собі сучасне будівництво мегаполісів, високотехнологічних промислових комплексів, об'єктів транспортної інфраструктури і всього, що так необхідно людству, без такого будівельного матеріалу, як цемент [10].

Цементне підприємство є одним з найбільш споживаних товарів на будівельному ринку і практично

незамінним матеріалом. Заводи, на яких здійснюється виробництво цементу, належать до переліку підприємств як основних забруднювачів повітря, занесених у «чорну книгу». У технологічному процесі виготовлення цементу зі збільшенням його обсягу пропорційно збільшується рівень пиловидалення на робочі зони заводу та прилеглі території. Викиди підприємства негативно впливають на стан атмосфери, сприяючи утворенню смогу та кислотних дощів, знижуючи прозорість повітря. Зважені в повітрі частинки утворюють різноманітні аерозолі. Зниження прозорості міського повітря зменшує сонячну радіацію на 20–22 %.

Цементна промисловість є серед найбільших забруднювачів атмосферного повітря та одним із найбільших джерел викидів парникових газів серед секторів промисловості. За обсягами виробництва цементу у світі лідирує Китай (2,5 млрд тонн в рік), Індія (285 млн тонн) та США (80 млн тонн). Виробництво цементу у 2019 році супроводжувалось викидами 1,9 гігатонн CO₂ на рік, що відповідає за різними розрахунками від 5 до 8 % світових викидів парникових газів, з яких більш ніж 1,4 гігатонн CO₂ – викиди цементних печей [12]. Прогнозується, що без вживання заходів із скорочення викидів вуглекислого газу, їх обсяг зростатиме щорічно на 3 %. Інтенсивність викидів на тонну виготовленої продукції відрізняється поміж регіонами світу. Наприклад, у Німеччині цей показник складав у 2019 році 0,63 т CO₂-екв на тонну виробленого цементу, 0,81 т CO₂-екв на тонну в Північній Америці. Середній показник інтенсивності викидів парникових газів при виробництві цементу у світі складає 0,79 т CO₂-екв на тонну (IEA Clean Coal Centre, 2021) [9]. Україна в 2022 році виготовила близько 9,8 млн тонн цементу та 6,4 млн тонн клінкеру, що також робить цю галузь значним джерелом викидів CO₂ – 3,33 млн тонн (Мінприроди України, 2022 р.).

Є три основні джерела прямих викидів CO₂ при виробництві цементу. Перше – це прямі викиди від процесу кальцинації (54 %), від спалювання палива (43 %) та непрямі викиди, пов'язані зі споживанням електроенергії (12 %) (McKinsey&Company, 2019). Рідка вода присутня в атмосфері переважно у вигляді хмар і туману. Крім частинок води, в атмосфері присутні й інші рідини, такі як рідкі вуглеводні, що утворюються при неповному згорянні палива та їх похідні, які випаровуються в повітрі. В результаті фотохімічних реакцій між оксидами азоту та вуглеводнями утворюються нові рідкі органічні сполуки, які розсіюються в повітрі у вигляді дрібних крапель. Значна концентрація ядер (сторонніх домішок) в атмосфері збільшує хмарність і частоту опадів та туманів. Оксиди азоту відіграють основну роль у виникненні фотохімічного смогу. У забрудненні атмосфери значну

роль відіграють пил й дим, тверді частки [11]. Велика кількість твердих часток надходить при спалюванні палива – це частки сажі та оксидів метали. Цементний пил та його сполуки шкідливо діють на дихальні шляхи, їх надлишок викликає захворювання верхніх відділень легень, а також негативно впливає на шкіру та очі.

Основними джерелами пилоутворення цементних заводів є конвеєрні лінії, якими транспортується сировина й готова продукція, місця їх пересипання, завантаження й розвантаження, дробильні установки, печі випалювання клінкеру, кульові млини для помелу клінкеру та ін.

Причини значного рівня утворення пилу у цементній промисловості країни: тривала інтенсивна експлуатація застарілого устаткування зі значним матеріальним і майже повним моральним зносом; низький рівень встановлення газоочисного обладнання на стаціонарних джерелах викидів забруднюючих речовин; відсутність методів знепилення від неорганізованих джерел; недосконала система автоматизації та герметизації технологічних процесів [7].

На цементних заводах є різні джерела організованих джерел викидів пилу: печі, клінкерні холодильники, млини для помелу сировинних матеріалів, цементу та вугілля, а також допоміжне обладнання. Основна частина пилу викидається в атмосферу з обортових печей для випалювання цементного клінкеру [12]. Однак методи і принципи зниження викидів пилу з обортових печей використовується і для інших організованих викидів пилу. Тому дослідження потенційних джерел викидів цементного пилу та розроблення сучасних методів для його вловлювання на промислових об'єктах як забруднювача повітря є досить актуальною сьогодні проблемою. Для зниження концентрації газів, що відходять від печей, які працюють за «мокрого» способу виробництва, застосовують в основному електрофільтри різного типу.

Зазвичай електрофільтри встановлюють зовні будівлі між пилоосаджувальною камерою печі та димовою трубою. Ефективність очищення відхідних газів сягає до 99 % (рис. 1).

Виробництво цементу неможливо просто «очистити» за допомогою використання відновлювальної енергії чи вдосконалення ефективності, оскільки більшість викидів CO_2 від цементної галузі пов'язані не з енергією, а з безпосереднім процесом виробництва цементу з вапняку. Простими словами, клінкер, основна складова цементу, виробляється за рахунок розділення вапняку на кальцій та CO_2 . Кальцій використовується далі, а вуглекислий газ вивільняється в атмосферу. Підвищення екологічної та аварійної безпеки під час експлуатації цементного підприємства разом з виконанням заходів зі зниження забруднення вод і ґрунтів потребує проведення контролю рівня концентрацій небезпечних речовин для унеможливлення перевищення санітарних, екологічних та вибухонебезпечних норм [13]. Очевидно, що безумовною вимогою експлуатації є оцінювання впливу на навколишнє середовище забруднювальних речовин з визначенням їх концентрацій (Radomska, 2020).

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Ступінь забруднення довкілля хімічними елементами, і передусім важкими металами, визначається відносно фоновому вмісту елементів або гранично допустимої концентрації (ГДК) у ньому [8]. У разі високого ступеня забруднення ґрунтів відбувається не тільки процес зміни та перебудови співвідношення мікроорганізмів, яке дуже сильно відрізняється від незабрудненого, але й зміна деяких хімічних та фізичних властивостей ґрунту.

Оскільки основною метою цієї роботи є оцінка аналіз впливу важких металів на компоненти довкілля від підприємства цементного виробництва



Рис. 1. Глобальна крива на скорочення викидів парникових газів цементної промисловості до 2030 року

Таблиця 1. Показники вмісту хімічних елементів у ґрунтах

№ з/п	Вміст хімічних елементів у ґрунтах, мг/кг									
	Cu	Zn	Sr	Zr	Pb	Cr	Sn	V	Ti	Fe
1	740	900	950	3680	690	420	730	630	21070	170340
2	910	2180	1030	3150	720	600	330	960	28050	206560
3	230	1470	900	3280	710	620	790	–	24160	100430
4	–	850	1030	2980	610	3300	670	–	25380	106480
5	530	3190	680	2530	560	–	570	–	24070	79730
6	960	710	–	500	–	720	–	–	3140	789080
7	450	1570	1120	2850	760	470	530	–	23010	152580
8	210	540	630	1170	450	–	–	560	15460	70060

Таблиця 2. Шкала оцінки екологічної небезпеки забруднення ґрунтів

	Категорія інтенсивності забруднення ґрунтів	Інтенсивність забруднення ґрунту, P _j	Зміна показників здоров'я населення
1	Допустима	Менше 15	Найнижчий рівень захворюваності, мінімальна частота функціональних відхилень
2	Безпечна	16–30	Збільшення загальної захворюваності населення
3	Небезпечна	31–50	Збільшення загальної захворюваності, хронічні захворювання, порушення функціонального стану серцевої системи
4	Дуже небезпечна	Більше 50	Збільшення загальної захворюваності дітей

АК «БЕТОН ФЕКТОРІ». За результатами досліджень встановлено вміст хімічних елементів у відібраних зразках ґрунту (табл. 1) [6].

Оцінювання небезпечності забруднення ґрунтів хімічними елементами проводили за показником коефіцієнта концентрації хімічних елементів (K_c), інтенсивністю забруднення P_j , а також за шкалою оцінки екологічної небезпеки, градацію якої розроблено на підставі вивчення стану здоров'я населення, що мешкає на територіях з різними рівнями забрудненості ґрунтів (табл. 2).

Коефіцієнт концентрації хімічних елементів у ґрунтах, який характеризується співвідношенням вмісту хімічного елемента у ґрунтового покриву до його фонових значення, розраховано за такою формулою:

$$K_c = C_i / \Phi_i, \quad (1)$$

де C_i – вміст хімічного елемента в конкретному об'єкті, мг/кг; Φ_i – фоновий вміст хімічного елемента у ґрунті, мг/кг (див. табл. 3) [5].

Таблиця 3. Значення фонових вмісту мікроелементів

№ з/п	Назва металу	Аоновий вміст хімічних елементів у ґрунті, мг/кг
1	Cu	200
2	Zn	250
3	Sr	1000
4	Zr	2150
5	Rb	420
6	Cr	300
7	Sn	420
8	Ti	19290
9	Fe	72700

Фоновий вміст відображає природний або існуючий до початку активної діяльності підприємства рівень концентрації мікроелементів (включаючи потенційно важкі метали) у досліджуваних компонентах навколишнього середовища (ґрунті, воді, повітрі) [5]. Це створює відправну точку для оцінки антропогенного впливу. Без знання фонових концентрацій важко відрізнити природний вміст елементів від того, що потрапив у довкілля внаслідок діяльності ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ». Підвищення концентрації певних металів порівняно з фоновими значеннями є прямим свідченням антропогенного забруднення [1].

Порівняння фактичних концентрацій важких металів у пробах, відібраних у зоні впливу підприємства, саме з фоновими значеннями, а не лише з гранично допустимими концентраціями (ГДК), дозволяє більш точно визначити ступінь забруднення та його інтенсивність. Навіть якщо концентрація не перевищує ГДК, але значно вища за фон, це може свідчити про негативний вплив. Оцінка співвідношення різних важких металів у пробах, порівняно з їхнім співвідношенням у фонових значеннях, може допомогти ідентифікувати потенційне джерело забруднення. Специфічний «відбиток» елементного складу викидів підприємства може відрізнитися від природного фону. Зазвичай фонові проби відбираються на певній відстані від потенційного джерела забруднення, в районах, які вважаються незабрудненими або мінімально порушеними господарською діяльністю. Кількість та розташування фонових точок відбору визначаються з урахуванням геологічних, гідрологічних та інших природних особливостей досліджуваної території (див. табл. 4).

Таблиця 4. Результати розрахунків

№ з/п	Коефіцієнт концентрації хімічних елементів у ґрунті								
	Cu	Zn	Sr	Zr	Pb	Cr	Sn	Ti	Fe
1	3,7	3,6	0,95	1,71	1,64	1,4	1,74	1,09	2,34
2	4,55	8,72	1,03	1,46	1,71	2	0,78	1,45	2,84
3	1,15	5,88	0,9	1,52	1,69	2,06	1,88	1,25	1,38
4	–	3,4	1,03	1,39	1,45	11	1,59	1,31	1,46
5	2,65	12,76	0,68	1,18	1,33	–	1,35	1,24	1,09
6	4,8	2,84	–	0,23	–	2,4	–	0,16	10,85
7	2,25	6,28	1,12	1,32	1,8	1,56	1,26	1,19	2,1
8	1,05	2,16	0,63	0,54	1,07	–	–	0,80	0,96

Таблиця 5. Значення індексу небезпеки BM

Клас	Мікроелементи	Значення індексу небезпеки Мі
I	Pb, Cd, Hg, Zn, As, Se, бенз(а)пірен	4,1 і більше
II	Cu, Cu, Cr, Ni, Mo, Sb, B, Mn	2,6–4
III	V, Ba, Mn, Sr, Al	0,1–2,5

Таблиця 6. Інтенсивність забруднення ґрунтів, P_j

№ з/п	Інтенсивність забруднення ґрунтів, P _j								
	Cu	Zn	Sr	Zr	Pb	Cr	Sn	Ti	Fe
1	14,8	14,76	2,37	4,27	6,72	5,6	4,35	2,73	5,85
2	18,2	35,75	2,57	3,65	7,01	8	1,95	3,63	7,1
3	4,6	24,1	2,25	3,8	6,93	8,24	4,7	3,13	3,45
4	–	13,94	2,57	3,47	5,94	44	3,97	3,28	3,65
5	10,6	52,32	1,7	2,95	5,45	–	3,37	3,1	2,73
6	19,2	11,64	–	0,57	–	9,6	–	0,4	27,13
7	9	25,75	2,8	3,3	7,38	6,24	3,15	2,98	5,25
8	4,2	8,86	1,57	1,35	4,39	–	–	2	2,4

Інтенсивність забруднення ґрунтів розраховано згідно з формулою (2), з урахуванням показника коефіцієнта концентрації хімічних елементів, помножений на коефіцієнт класу небезпечності кожного елемента:

$$P_j = \sum (K_c \cdot M_i), \quad (2)$$

де K_c – коефіцієнт концентрації мікроелемента; M_i – значення індексу небезпеки (табл. 5).

У табл. 6 подано дані розрахунку інтенсивності забруднення ґрунтів P_j для кожного хімічного елемента.

Згідно з нашими розрахунками встановлено (табл. 6), що основними забруднювальними елементами, які можуть негативно впливати на ґрунти і сприяти негативному впливу на здоров'я людини, є цинк і хром. Оскільки цинк, згідно зі значенням інтенсивності забруднення P_j , для $Zn(\min) = 8,86$ та $Zn(\max) = 52,32$ відповідає, за шкалою оцінки екологічної небезпеки забруднення ландшафтів, – чотирьом зонам, а саме: 8,86–15 – допустима; 16–30 – помірно небезпечна; 31–50 – небезпечна; 50–52,32 – дуже небезпечна. Аналогічно, щодо хрому: $Cr(\min) = 5,6$, $Cr(\max) = 44$, тому категорії небезпечності за хромом відповідають трьом зонам – 5,6–15 – допустима; 16–30 – помірно небезпечна; 31–44 – небезпечна.

Важкі метали, що потрапляють на поверхню ґрунту, накопичуються в ґрунтових товщах, особливо

верхньому гумусовому шарі, і поступово видаляються шляхом вилугування, споживання рослинами та ерозії. Вони є одними з найнебезпечніших забруднювачів. Коли ґрунт забруднюється відходами виробництва і споживання, відбувається її деградація, що призводить до зниження продуктивності лісових ресурсів та зниження ефективності землекористування.

Таким чином, однією з головних проблем забруднення ґрунтів є важкі метали, які надходять на поверхню та ґрунтові води. Оскільки кількість відходів, що утворюються в результаті антропогенної діяльності зростає, то питання їх утилізації встає ще більш актуальним.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано навколишнє середовище поблизу територій виробництва цементної промисловості. Визначено вплив забруднюючих речовин на атмосферне, гідросферне, біологічне середовища. Опрацьовані дані про викиди найбільш поширених забруднюючих речовин при виробництві цементу. При виробництві продукції виявлено, що одним з найбільш масових викидів забруднюючих речовин є загальний викид пилу в навколишнє середовище. Розроблено

комплексну оцінку забруднення шкідливими речовинами при виробництві цементу навколишнього середовища та виявлення найбільш вразливих компонентів екосистеми. Згідно з розрахунками, було визначено, що навколишнє середовище є найбільш

екологічно вразливим до цементної промисловості. Експериментально та розрахунково підтверджено достовірність запропонованої методики комплексного підходу з визначення найбільш уразливого до забруднень навколишнього середовища.

REFERENCES

- [1] Demchenko K.V. Otsinka efektyvnosti ekolohichnoi modernizatsii vyrobnytstva tsementu za metodykoiu, zasnovanoi na teorii konkurentnykh perevah [Evaluation of the effectiveness of environmental modernization of cement production by the methodology based on the theory of competitive advantages]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu* : seriia: *Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*. Uzhhorod, 2019. Vyp. 23 (1). S. 75–79.
- [2] Lukianykhin V.O., Zubko K.Iu. Ekoloho-ekonomichniy vplyv na dovkillia vykorystannia pryrodnykh i shtuchnykh materialiv u budivnytstvi [Ecological and economic impact on the environment of the use of natural and artificial materials in construction]. *Ekonomika budivnytstva i miskoho hospodarstva*. Kyiv : Nauka, 2021. 172 s.
- [3] Romanets O.M. Ekolohiia tsementnoho vyrobnytstva [Ecology of cement production]. URL: <https://www.heidelbergcement.ua/uk/hcu>.
- [4] Ofitsiinyi sait TOV “BETON FEKTORI” <https://beton-factory.zt.ua>
- [5] Bashchynska R.M. Vplyv tsementnoho vyrobnytstva na navkolyshnie seredovyshe [Impact of cement production on the environment]. URL: <http://crh.lestrotest.com>.
- [6] Uzunova H.D., Prykhodko V. Yu., Udokonalennia metodyky kompleksnoi otsinky vplyvu pidpriemstv na navkolyshnie seredovyshe [Improvement of the methodology for a comprehensive assessment of the impact of enterprises on the environment]. *Efektivne funktsionuvannia ekolohichno stablynykh terytorii u konteksti stratehii stiikoho rozvytku: ahroekolohichni, sotsialnyi i ekonomichniy aspekty*. Poltava, 2018. 37 s.
- [7] Plashykhyn S.V. Eksperymentalni doslidzhennia tsyklofiltra v protsesi vlovliuvannia tsementnoho pyly [Experimental studies of the cyclone filter in the process of capturing cement dust]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu “KhPI”* : zb. nauk. prats. Tematychnyi vypusk : novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. Kharkiv : Vyd-vo NTU “KhPI”. 2021. № 57. S. 3–5.
- [8] Hryhora T. Vazhki metaly v gruntі, vyznachennia HDK vazhkykh metaliv v gruntі [Heavy metals in soil, determination of MPCs for heavy metals in soil]. URL: <https://himanaliz.ua/uk/vazhkimetali-v-grunti>
- [9] Petruk R.V., Petruk H.D., Kostiuk V.V. Analiz metodiv otsinky ekolohichnykh ryzykiv vplyviv nebezpechnykh rehovyn [Analysis of methods for assessing environmental risks of hazardous substances]. *Ekolohichni nauky*. Vyp. 2020. № 1(24). T. 1. S. 160–164.
- [10] Stepanchuk A.A., Demchuk L.I. Otsinka vplyvu vazhkykh metaliv na navkolyshnie seredovyshe vid roboty pidpriemstva TOV “BETON FEKTORI” m. Zhytomyri [Assessment of the impact of heavy metals on the environment from the operation of the enterprise LLC “BETON FEKTORI” in Zhytomyr]. *Tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovoї konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh uchenykh “Ekolohichna bezpeka ta ratsionalne pryrodokorystuvannia”*. 2024. 202 c.
- [11] Borshchevska I. M. Otsinka stanu ahrosfery u zoni vplyvu VAT “VolynTsement” [Assessment of the state of the agrosphere in the zone of influence of VolynCement OJSC]. Kyiv, 2009, 44 p.
- [12] Kolesnyk V.Ie., Buchavyi Yu.V., Pavlychenko A.V. Prohnozuvannia ekolohichnoi nebezpeky promyslovykh vykydiv v atmosferu z urakhuvanniam kontsentratsii naselennia v zoni yikh vplyvu [Forecasting the environmental hazard of industrial emissions into the atmosphere taking into account the concentration of population in the zone of their influence] URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/158596/17Kolesnik.pdf?sequence=1>
- [13] Stezhko O.V., Romanchuk L.D. Ekolohichna otsinka vmistu vazhkykh metaliv u gruntі Zhytomyrskoho raionu [Ecological assessment of heavy metals content in the soil of Zhytomyr region]. *Scientific Progress & Innovations*, 2012, 3: 174–176.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Демченко К.В. (2019). Оцінка ефективності екологічної модернізації виробництва цементу за методикою, що базується на теорії конкурентних переваг. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. Ужгород. Вип. 23 (1). С. 75–79.
- [2] Лук'яніхін В.О., Зубко К.Ю. (2021). Еколого-економічний вплив на довкілля використання природних і штучних матеріалів у будівництві. *Економіка будівництва і лісового господарства*. Київ : Наука. 172 с.
- [3] Романець О.М. Екологія цементного виробництва. URL: <https://www.heidelbergcement.ua/uk/hcu>.
- [4] Офіційний сайт ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ». <https://beton-factory.zt.ua>.
- [5] Бащинська Р.М. Вплив цементного виробництва на навколишнє середовище [Електронний ресурс]. URL: <http://crh.lestrotest.com>.
- [6] Узунова Г. Д., Приходько В. (2018). Удосконалення методики комплексної оцінки впливу підприємств на навколишнє середовище. *Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії сталого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти*. Полтава. 37 с.
- [7] Плашихін С.В. (2021). Експериментальні дослідження циклофільтра в процесі вловлювання цементного пилу. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Тематичний випуск : нові досягнення в сучасних технологіях. Харків : Вид-во НТУ «ХПІ». 2021. № 57. С. 3–5.

- [8] Григора Т. Важкі метали в ґрунті, визначення ГДК важких металів у ґрунті. URL: <https://himanaliz.ua/uk/vazhkimetali-v-grunti>
- [9] Петрук Р.В., Петрук Г.Д., Костюк В.В. (2020). Аналіз методів оцінки екологічних ризиків впливу небезпечних речовин. *Екологічні науки*. №1(24). Т. 1. С. 160–164.
- [10] Степанчук, А.А., Демчук Л.І. (2024). Оцінка впливу важких металів на навколишнє середовище від роботи підприємства ТОВ «БЕТОН ФЕКТОРІ» м. Житомира. *Тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та регіональне природокористування»*. 202 с.
- [11] Борщевська І.М. (2009). Оцінка стану агросфери у зоні впливу ВАТ «ВолиньЦемент». Київ. 44 с.
- [12] Колесник В.Є., Бучавий Ю.В., Павличенко А.В. (2017). Прогнозування екологічної небезпеки промислових викидів в атмосферу з урахуванням концентрації населення в зоні їх впливу. *Геотехнічна механіка*. Дніпро : ИГТМ НАНУ. Вип. 135. С. 170–179.
- [13] Стежко О.В., Романчук Л.Д. (2012). Екологічна оцінка вмісту важких металів у ґрунтах Житомирського району. *Науковий прогрес та інновації*. № 3. С. 174–176.

© Демчук Л. І., Алпатова О. М., Курбет Т. В., Скиба Г. В.
Дата надходження статті до редакції: 16.05.2025
Дата затвердження статті до друку: 29.05.2025