УДК 502.521(477.44):546.3-022.17]:504.5-047.44](045)
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.6

Олена Василівна Кочубей,
доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-5047-6694, e-mail: sncelena@gmail.com

Світлана Василівна Совгіра,
доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-8742-7773, e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com

Наталія Юріївна Душечкіна,
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-4203-7122, e-mail: nataxeta74@gmail.com

НОРМУВАННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ: ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОБУЖЖЯ)

Анотація. У статті висвітлюється проблема техногенного забруднення ґрунтів важкими металами в межах Центрального Побужжя, що є регіоном зі значним антропогенним навантаженням. У контексті активного розвитку промисловості, транспорту, сільськогосподарської діяльності та урбанізації, відбувається накопичення в ґрунтовому середовищі токсичних елементів, зокрема кадмію, свинцю, міді, цинку, нікелю, хрому, що створює потенційну загрозу для стану агроекосистем, якості продукції рослинництва та здоров'я населення. Метою дослідження є аналіз сучасних хімічних методів виявлення важких металів у ґрунтах і наукове обґрунтування принципів їх екологічного нормування. У роботі подано коротку характеристику основних інструментів аналітичної хімії, зокрема спектрофотометричних, атомно-абсорбційних, рентгенофлуоресцентних методів, що дозволяють здійснювати високоточне кількісне визначення концентрацій токсичних елементів.

Також проаналізовано наявні нормативно-правові документи щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) для ґрунтів різного типу, а також методики розрахунку узагальнених індексів забруднення, таких як індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), геохімічний коефіцієнт накопичення, ступінь техногенного навантаження. Результати хімічного аналізу, проведеного на території Центрального Побужжя, свідчать про локальне перевищення нормативних показників, що обумовлює необхідність посилення регіонального екологічного моніторингу, оптимізації системи землеустрою та запровадження інтегрованого підходу до охорони ґрунтів. Обґрунтовано перспективність використання геоінформаційних технологій у поєднанні з аналітикою для створення карт техногенного навантаження, що сприятиме ефективному прийняттю управлінських рішень у сфері охорони довкілля. Матеріали статті можуть бути корисними для екологів, ґрунтознавців, хіміків-аналітиків, фахівців з природоохоронного менеджменту.

Ключові слова: важкі метали, ґрунт, техногенне навантаження, хімічний аналіз, гранично допустима концентрація, Центральне Побужжя, нормування.

ВСТУП

Ґрунт є одним із найважливіших компонентів біосфери, що забезпечує життєдіяльність наземних екосистем, продуктивність агроландшафтів і сталий розвиток природного середовища. Водночас, ґрунт є й одним з основних акумуляторів техногенного забруднення, зокрема унаслідок надходження важких металів із промислових викидів, стічних вод, транспортних викидів, мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Особливої актуальності це питання набуває у регіонах зі значною індустріалізацією, розвинутим агросектором і високою щільністю населення. Центральне Побужжя належить саме до таких територій, де інтенсивне використання природних ресурсів зумовлює значне антропогенне навантаження на ґрунтове середовище. Згідно з даними сучасних досліджень [1], [4], [3], основними джерелами важких металів є промисловість, транспорт та аграрний сектор.

Важкі метали, на відміну від органічних забруднювачів, є стійкими, не розкладаються у природних умовах і мають здатність до біоакумуляції та тривалого збереження в ґрунтовому профілі. Їх надлишок не лише порушує фізико-хімічні властивості ґрунтів, а й становить загрозу для трофічних ланцюгів, рослинної і тваринної продукції, а отже, й здоров'я людини. З огляду на це, важливою науковою та практичною проблемою є виявлення, оцінка та нормування вмісту важких металів у ґрунтах [4].

У науковій літературі наявні різні підходи до класифікації забруднення ґрунтів, проте ефективність природоохоронних заходів значною мірою залежить від достовірності хімічного аналізу та обґрунтованості екологічних нормативів. Саме тому хімічні дослідження, що застосовуються для виявлення токсичних елементів у ґрунтах, має важливе значення у контексті розроблення систем моніторингу та регіональних програм охорони довкілля [10].

Метою цієї статті є комплексне висвітлення хімічних методів визначення важких металів у ґрунтах, аналіз чинної нормативної бази щодо їх вмісту, а також оцінка рівня техногенного навантаження на територію Центрального Побужжя з урахуванням сучасних підходів до екологічного нормування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження було проведено на території Центрального Побужжя – природно-географічного регіону, що охоплює частину Вінницької, Кіровоградської та Черкаської областей [9]. Об'єктом дослідження виступають ґрунти, розташовані в зонах з різним рівнем антропогенного навантаження: поблизу промислових підприємств, автомагістралей, сільськогосподарських угідь інтенсивного використання, а також на умовно чистих (контрольних) ділянках. Особливу увагу приділено ділянкам, що зазнають впливу техногенних чинників, зокрема в межах промислових зон та транспортних розв'язок. Методика ґрунтується на підходах, викладених у роботах [6], що підтверджує її наукову валідацію.

Відбір зразків ґрунту здійснювався у весняно-літній період 2024 року за стандартною методикою, що передбачає пробовідбір з глибини 0–20 см – шару, найбільш схильного до накопичення токсикантів. Було відібрано понад 30 зразків із різних типів ґрунтів, зокрема чорноземів типових, лучно-чорноземних і сіроземів. Зразки транспортувалися до лабораторії в герметичних контейнерах із дотриманням температурного режиму.

Для хімічного аналізу вмісту важких металів використовувалися атомно-абсорбційна

спектрофотометрія (ААС) – для визначення концентрацій свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю та хрому, спектрофотометрія – як допоміжний метод для виявлення валентних форм металів (наприклад, Cr(III) та Cr(VI)) та уточнення результатів ААС, а також рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF) – для оперативного скринінгового визначення загального вмісту елементів у твердих зразках без попередньої підготовки. Перед проведенням вимірювань зразки висушували, просіювали через сито з розміром отворів 1 мм, а потім піддавали кислотному розчиненню у відповідності до методичних рекомендацій ISO 11466:1995 та EPA 3050B. Для контролю точності використовували сертифіковані референтні матеріали та дублювання проб [8].

Інтерпретація результатів здійснювалась за допомогою таких аналітичних показників, як коефіцієнт варіації (Cv) – для оцінки просторової мінливості концентрацій металів, коефіцієнт накопичення (Кн) – співвідношення між концентрацією металу в забрудненому ґрунті та його фоновим рівнем, індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) – як узагальнена оцінка ступеня техногенного навантаження, а також порівняння фактичного вмісту елементів із встановленими нормативами згідно з вимогами ДСП 11-11-2001 щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) [3].

Результати оброблялися із застосуванням статистичного програмного забезпечення Statistica 13.0, а також використовувалися можливості платформи QGIS для просторової візуалізації отриманих даних [7].

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати хімічного аналізу ґрунтів Центрального Побужжя свідчать про наявність техногенно зумовленого забруднення важкими металами різного ступеня інтенсивності залежно від просторового розташування досліджуваних ділянок. Території, наближені до джерел техногенного навантаження – промислових об’єктів, автомагістралей, зон накопичення відходів – демонструють вищі концентрації кадмію, свинцю, цинку, міді, нікелю порівняно з контрольними зразками, відібраними в умовно чистих або слабо порушених ландшафтах [3].

Весняно-літній період 2024 року було обрано для польового етапу дослідження, що дозволило оцінити стан ґрунтів у період найменшої біологічної активності, коли мінеральні компоненти у більшій мірі стабілізовані й менш піддаються сезонним флуктуаціям. Загалом було відібрано понад 30 ґрунтових зразків, кожен з яких піддавався комплексному аналізу за вмістом цинку (Zn), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd), нікелю (Ni) та хрому (Cr). Для аналітичних вимірювань застосовували атомно-абсорбційний спектрометр, спектрофотометр та XRF-аналізатор, що забезпечили достовірність результатів та можливість зіставлення даних між ділянками з різним рівнем навантаження.

Середній вміст цинку у зразках коливався в межах 75–135 мг/кг, при нормативі 100 мг/кг. Найвищі значення були зафіксовані на ділянках інтенсивного сільськогосподарського використання, що свідчить про внесення мінеральних добрив, багатих на Zn [5]. Концентрація свинцю сягала 85 мг/кг, що перевищує ГДК (32 мг/кг) більш ніж у 2,5 раза, особливо поблизу автомагістралей. Кадмій, як один із найбільш токсичних елементів, виявлено у концентраціях до 1,7 мг/кг при нормативі 0,7 мг/кг, що вказує на наявність локальних джерел забруднення, імовірно, пов’язаних із згорянням пального, промисловими викидами та непрямим надходженням з полів (рис. 1).

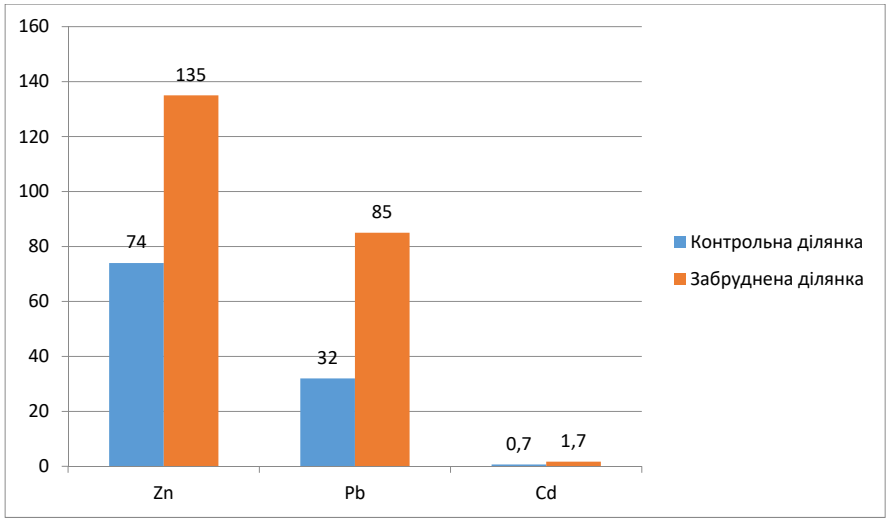


Рис. 1. Порівняння концентрацій Zn, Pb, Cd між контрольними та забрудненими ділянками

Для оцінки рівня техногенного навантаження було розраховано індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), який охоплює сумарне відношення концентрацій металів до їх нормативних значень. За цим показником, у 27% зразків виявлено низький рівень забруднення (ІЗЗ < 16), у 41% – середній (16–32), а в 32% – високий рівень (ІЗЗ > 32). Високі значення ІЗЗ домінують у районах, де наявні старі промислові підприємства або об’єкти незадовільного екологічного стану (рис. 2).

Просторове представлення результатів у вигляді картографічної візуалізації у QGIS дозволило виділити кластери забруднення (рис. 3), що розташовані переважно вздовж основних транспортних шляхів і на периферії населених пунктів із розвиненою промисловою інфраструктурою [3].



Рис. 2. Просторовий розподіл рівнів ІЗЗ у %, категорії: низький, середній, високий

Окрім ІЗЗ, використовувався коефіцієнт накопичення (Кн), який показав значне перевищення фонових рівнів, особливо для Cd (Кн > 4) та Pb (Кн > 2,5), що підтверджує наявність техногенного навантаження. Статистична обробка результатів із використанням коефіцієнта варіації (Cv) виявила високу просторову мінливість концентрацій металів: Cv для Cd і Pb сягав 60–70%, що свідчить про локалізований характер джерел забруднення, пов'язаний із особливостями техногенного впливу в межах досліджуваного регіону.

Порівняння з міжнародними стандартами, зокрема Європейського Союзу (EU Soil Strategy), показало, що українські ГДК для Cd і Pb є значно вищими за рекомендовані європейські порогові значення, що може знижувати ефективність екологічного контролю. Наприклад, ГДК кадмію в ґрунтах ЄС становить 0,3 мг/кг, тоді як в Україні -0,7 мг/кг, що свідчить про потребу у перегляді нормативів з урахуванням сучасних уявлень про токсичність елементів та їхню поведінку в ґрунтовому середовищі [4]. Більше того, вітчизняна система нормування здебільшого ґрунтується на середніх показниках, не враховуючи специфіку ґрунтів конкретного регіону, їхню буферну здатність, кислотність, гранулометричний склад, які суттєво впливають на мобільність металів і біодоступність.

Дослідження також засвідчило доцільність розширення методології моніторингу за рахунок біоіндикаційних підходів, зокрема використання накопичення металів у рослинних індикаторах (наприклад, кульбаба, кропива), а також інтеграції аналітичної хімії з геоінформаційними технологіями для створення інструментів оперативного реагування. Такі інструменти можуть слугувати основою для регіонального управління

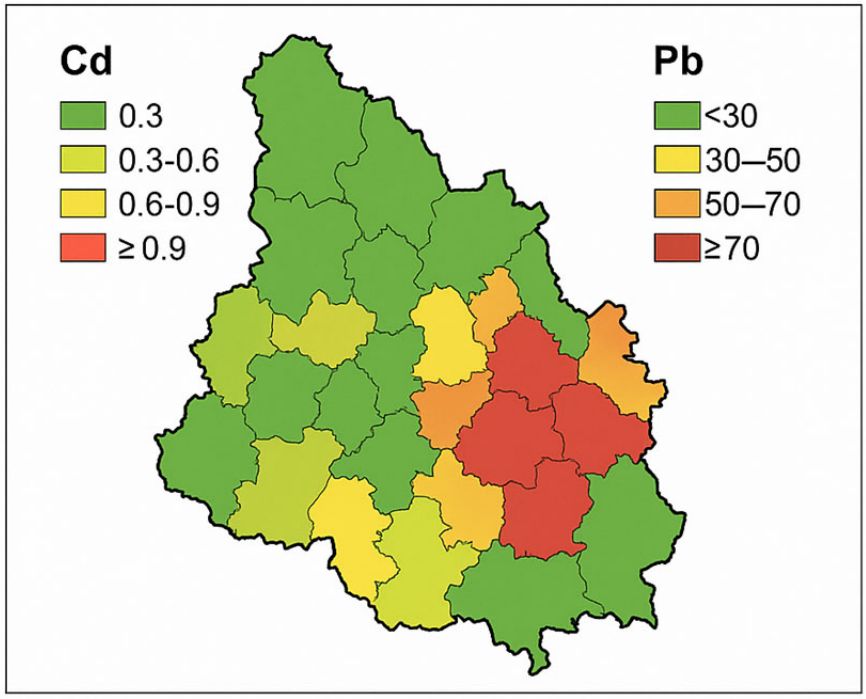


Рис. 3. Карта просторового розподілу ІЗЗ, побудована в QGIS

земельними ресурсами, визначення пріоритетних зон рекультивації, агроекологічного планування та запобігання деградації ґрунтів [2].

Одним із ключових аспектів у інтерпретації отриманих даних стало зіставлення рівнів забруднення ґрунтів із типами землекористування, оскільки функціональне призначення території безпосередньо впливає на джерела і шляхи надходження важких металів у ґрунтове середовище. Так, на територіях інтенсивного сільськогосподарського використання відмічено стійке перевищення нормативних значень для міді та цинку, що пояснюється широким застосуванням мінеральних добрив, мікроелементних добавок і препаратів на основі міді для обробки рослин. Це узгоджується з літературними джерелами, в яких вказується на сільське господарство як друге за значимістю джерело важких металів у ґрунтах після промисловості.

У зразках, відібраних із територій, прилеглих до автомагістралей, домінували підвищені концентрації свинцю та кадмію. Незважаючи на обмеження або заборону використання тетраетилсвинцю в сучасному пальному, залишкові наслідки багаторічної експлуатації автомобільного транспорту все ще виявляються в структурі забруднення ґрунтів [8]. Крім того, сучасний автотранспорт, особливо дизельний, продовжує бути джерелом кадмію та інших важких металів, які викидаються з вихлопними газами, зносу шин і гальмівних колодок. У такий спосіб формуються так звані «лінійні джерела» забруднення, які особливо небезпечні через довжину впливу та накопичувальний ефект [9].

На територіях із ознаками промислового впливу було виявлено комплексне забруднення ґрунтів кількома важкими металами одночасно. Саме там спостерігались найвищі значення індексу ґрунтового забруднення (ІЗЗ > 40), що відповідає високому ступеню небезпеки для навколишнього середовища. У низці точок зафіксовано зміни кольору та структури ґрунтового профілю, зокрема ущільнення, зміщення кислотності в бік підкислення, що додатково впливає на мобільність металів та їх проникнення у глибші горизонти [7].

Дослідження показали, що гранулометричний склад ґрунтів також відіграє суттєву роль у накопиченні важких металів. Найвищі концентрації виявлено у дрібнозернистих та суглинкових ґрунтах, які мають більшу питому поверхню, а отже, вищу здатність до сорбції металів. У піщаних ґрунтах, навпаки, вміст важких металів був нижчим, що пояснюється їх меншою сорбційною здатністю та вищою фільтраційною активністю. Такий висновок підтверджує необхідність у регіональному нормуванні забруднення ґрунтів із урахуванням не лише типу землекористування, але й фізико-хімічних властивостей самих ґрунтів.

Інтеграція результатів хімічного аналізу в геоінформаційне середовище дозволила не лише просторово візуалізувати зони забруднення, але й змоделювати потенційне поширення токсичних елементів за сценаріями розвитку територій. Побудовані тематичні карти техногенного навантаження дозволяють планувати заходи з локалізації та мінімізації екологічного ризику, а також оцінити ефективність застосування природоохоронних технологій на конкретних ділянках. Це особливо важливо в умовах зміни клімату, коли ерозійні процеси, змиви та коливання ґрунтових вод можуть істотно посилити розповсюдження забруднювачів.

У рамках дослідження також запропоновано формування локальних нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кожного району Центрального Побужжя з урахуванням фонового стану ґрунтів, типу господарської діяльності, кліматичних та гідрогеологічних особливостей. Такий підхід дозволить зробити систему екологічного

нормування більш гнучкою та адаптивною, що відповідає принципам європейської стратегії щодо сталого управління ґрунтами.

Загалом, результати дослідження підтвердили складний, мультифакторний характер техногенного навантаження на ґрунтове середовище Центрального Побужжя. Комплексний аналіз, що включає хімічні, статистичні, картографічні та біоіндикаційні підходи, дає змогу не лише ідентифікувати проблемні ділянки, а й сформувати науково обґрунтовану базу для прийняття управлінських рішень у сфері охорони земель.

ВИСНОВКИ

Комплексне дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Центрального Побужжя засвідчило наявність значного техногенного навантаження на ґрунтове середовище, що зумовлено поєднанням промислової діяльності, інтенсивного землеробства та транспортного навантаження. Найбільші концентрації кадмію, свинцю, цинку та міді були зафіксовані на територіях, наближених до джерел забруднення, зокрема промислових об'єктів і автомобільних доріг, а також на сільськогосподарських угіддях, де активно застосовуються добрива та агрохімікати.

Розраховані індекси забруднення, зокрема індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) і коефіцієнти накопичення, підтвердили локальні та регіональні перевищення встановлених нормативних рівнів, що свідчить про потребу в удосконаленні системи екологічного моніторингу. Отримані дані демонструють високу просторову варіативність рівнів забруднення, зумовлену як природними факторами (гранулометричний склад, кислотність ґрунтів), так і антропогенними джерелами впливу.

Порівняння результатів із національними та міжнародними нормативами показало необхідність перегляду вітчизняної нормативної бази з урахуванням регіональної специфіки та європейських екологічних вимог. Особливо це стосується гранично допустимих концентрацій кадмію та свинцю, які в Україні вищі, ніж у країнах ЄС, що знижує рівень ефективності екологічного контролю.

Доцільним вбачається впровадження інтегрованої системи оцінювання стану ґрунтів, яка поєднує аналітичні хімічні методи, біоіндикаційні підходи та геоінформаційні технології. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє не лише виявляти джерела та рівні забруднення, але й створювати картографічні моделі ризику, які можуть бути використані в управлінні територіями, плануванні рекультиваційних заходів і формуванні регіональної політики сталого землекористування.

Таким чином, результати дослідження можуть стати підґрунтям для розроблення науково обґрунтованих заходів щодо охорони ґрунтів, адаптації системи екологічного нормування до сучасних викликів, а також створення ефективного механізму моніторингу та управління станом ґрунтових ресурсів Центрального Побужжя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Datsko O., Butenko E., Kovalenko S. Ecological Assessment of Heavy Metal Content in Ukrainian Soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2024, Т. 25, № 11. С. 100–108. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk A., Balanda O., Bzowska-Bakalarz M. Assessment of Soil Contamination of Ukraine with Heavy Metals. *Management Systems in Production Engineering*. 2024, Т. 32, № 2. С. 670–678. DOI: https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039

3. Gololobova O.O. Assessment of Ecological Risk of Soil Contamination by Heavy Metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 2024, № 31. С. 12–20. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar O., Taran N. Effect of Heavy Metals on Soil and Crop Pollution in Ukraine – A Review. *Journal of Central European Agriculture*. 2023, Т. 23, № 4. С. 879–892. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo P., Kharlamova O., Chornobay O., Kovalenko S. Heavy Metal Pollution of Soils in the Donetsk Region as a Result of War. *Environmental Research*. 2019, Т. 179. С. 108744. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk Y., Parpan V. Heavy Metal Pollution and Forest Health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*. 2020, Т. 267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets V., Skorobogatov L., Danylenko I., Kovtun O., Chorniy M. Soil Pollution in Areas Affected by Military Actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021, Т. 193, № 3. С. 123. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova O., Steshenko V., Zadorozhna S. Environmental Consequences of War: Changes in Heavy Metal Concentrations in Soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*. 2022, Т. 812. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456
9. Babicheva I., Kalita O., Romanyuk Y. Influence of Military Activities on Heavy Metal Levels in Soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2018, Т. 19, № 3. С. 1239–1247.
10. Kovalenko S., Butenko E., Datsko O. Environmental Assessment of Soil Contamination by Trace Metals. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024, Т. 196, № 5. С. 345. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

REFERENCES

1. Datsko, O., Butenko, E., & Kovalenko, S. (2024). Ecological assessment of heavy metal content in Ukrainian soils. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11), 100–108. https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk, A., Balanda, O., & Bzowska-Bakalarz, M. (2024). Assessment of soil contamination of Ukraine with heavy metals. *Management Systems in Production Engineering*, 32(2), 670–678. https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039
3. Gololobova, O.O. (2024). Assessment of ecological risk of soil contamination by heavy metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*, (31), 12–20. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar, O., & Taran, N. (2023). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – A review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 879–892. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo, P., Kharlamova, O., Chornobay, O., & Kovalenko, S. (2019). Heavy metal pollution of soils in the Donetsk region as a result of war. *Environmental Research*, 179, 108744. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk, Y., & Parpan, V. (2020). Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, 267, 115634. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets, V., Skorobogatov, L., Danylenko, I., Kovtun, O., & Chorniy, M. (2021). Soil pollution in areas affected by military actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3), 123. https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova, O., Steshenko, V., & Zadorozhna, S. (2022). Environmental consequences of war: Changes in heavy metal concentrations in soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*, 812, 152456. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456

9. Babicheva, I., Kalita, O., & Romanyuk, Y. (2019). Influence of military activities on heavy metal levels in soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(3), 1239–1247.
10. Kovalenko, S., Butenko, E., & Datsko, O. (2024). Environmental assessment of soil contamination by trace metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 345. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

ABSTRACT

REGULATION OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS: CHEMICAL METHODS FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL LOAD (USING THE EXAMPLE OF THE CENTRAL *POBUZHZHIA*)

The article highlights the problem of technogenic soil contamination with heavy metals in the Central Pobuzhzhia region, which is characterized by significant anthropogenic pressure. Due to the intensive development of industry, transportation, agriculture, and urbanization, toxic elements such as cadmium, lead, copper, zinc, nickel, and chromium are increasingly accumulating in the soil environment. This poses a serious threat to the sustainability of agroecosystems, the safety of crop production, and public health. The main goal of this study is to analyze current chemical methods for detecting heavy metals in soils and to scientifically substantiate the principles of their environmental regulation. The article briefly characterizes the main tools of analytical chemistry, including spectrophotometric, atomic absorption, and X-ray fluorescence methods, which enable accurate quantitative determination of pollutant concentrations.

The study also examines the regulatory and legal documents that define the maximum allowable concentrations (MACs) for different types of soils and outlines the methodologies for calculating integral pollution indices such as the Soil Pollution Index (SPI), geochemical accumulation coefficient, and the degree of technogenic pressure. The results of chemical analyses conducted in the Central Pobuzhzhia territory indicate local exceedances of normative values, underscoring the need to strengthen regional environmental monitoring systems, optimize land use planning, and implement an integrated approach to soil protection. The article emphasizes the prospects of using geographic information systems (GIS) in combination with analytical data to develop technogenic load mapping, which would facilitate more effective decision-making in environmental management. The presented materials are of practical value for environmental scientists, soil experts, analytical chemists, and professionals in environmental protection and land management.

Key words: heavy metals, soil, technogenic load, chemical analysis, maximum allowable concentration, Central Pobuzhzhia, regulation.