

**РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМ У ЗОНАХ
ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ СМІТТЄЗВАЛИЩ
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

**RADIATION AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEMS IN
TECHNOGENICALLY IMPACTED AREAS: A CASE STUDY OF MUNICIPAL
SOLID WASTE LANDFILLS**

Тетяна Скиба, ад'юнкт, e-mail: tatyana.plyazko@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0874-017X>

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.25>

Анотація

У роботі представлено результати радіоекологічної оцінки складових екосистем (ґрунтів, рослин, повітря) в зоні впливу полігонів побутових відходів у межах Західного Лісостепу України. Дослідження охоплювали аналіз ґрунтів та повітря на чотирьох об'єктах — полігонах ТПВ у с. Малашівці, м. Кременець, м. Хмельницький та м. Дунаївці. Встановлено просторові коливання вмісту природних та техногенних радіонуклідів (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) залежно від орієнтації території щодо полігонів, глибини горизонту відбору та антропогенного навантаження. Показники ефективної питомої активності природних радіонуклідів не перевищували нормативних значень (370 Бк/кг), однак на окремих ділянках перевищували фоновий рівень у кілька разів. Спостерігається акумуляція Cs-137 у верхніх шарах ґрунту, що вказує на нещодавнє його надходження або пилове перенесення. Виявлено неоднорідність показників питомої активності радіонуклідів з різних сторін горизонту та вертикальних шарів ґрунту, що свідчить про потенційне радіаційне навантаження об'єктів захоронення відходів на прилеглі екосистеми. Це підкреслює важливість та необхідність регулярного радіометричного контролю сміттєзвалищ.

Ключові слова: сміттєзвалище, відходи, тверді побутові відходи, сміттєзвалище, радіонукліди, радіаційний фон, ефективна питома активність радіонуклідів, джерело іонізуючого випромінювання, екологічна безпека, екологічна небезпека.

Abstract

The paper presents the results of a radioecological assessment of ecosystem components (soils, plants, air) in the area affected by municipal waste landfills within the Western Forest-Steppe of Ukraine. The study covered the analysis of soils and air at four sites — municipal waste landfills in the village of Malashivtsi, the city of Kremenets, Khmelnytskyi, and Dunayivtsi. Spatial variations in the content of natural and technogenic radionuclides (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) were established depending on the orientation of the territory relative to the landfills, the depth of the sampling horizon, and anthropogenic load. The effective specific activity of natural radionuclides did not exceed the regulatory values (370 Bq/kg), but in some areas it exceeded the background level several times. Accumulation of Cs-137 in the upper soil layers was observed, indicating its recent arrival or dust transport. There's been some unevenness in the specific activity of radionuclides from different sides of the horizon and vertical soil layers, which shows the potential radiation load of waste disposal sites on nearby ecosystems. This highlights the importance and need for regular radiometric monitoring of landfills.

1. ВСТУП

Враховуючи швидкі темпи розвитку промисловості, кожна галузь супроводжується утворенням значної кількості відходів, які не мають подальшого використання. Особливо небезпечними є радіоактивні відходи, відходи електричного та електронного обладнання, батарейки, акумулятори та інші. Поширеним методом поводження з відходами, особливо в країнах, що розвиваються, в тому числі і в Україні, є захоронення спеціально на відведених територіях. Їх площа яких щороку зростає. Полігони відходів та сміттєзвалища є екологічно небезпечними об'єктами не лише для довкілля, але і для здоров'я населення⁷⁴³. Особливо ситуація загострюється внаслідок виникнення пожеж на сміттєзвалищах, що пришвидшує міграцію небезпечних компонентів як у повітря, так у ґрунтові та водні горизонти^{744,745}. Тому важливо вчасно проводити детальний моніторинг та оцінку впливу полігонів відходів на екосистеми.

Значна кількість досліджень присвячена оцінці впливу сміттєзвалищ та моделюванню і прогнозуванню їх впливу. Проте, дослідження можливого радіаційного ризику від полігонів побутових відходів в Україні не проводилися, тоді як закордоном вибірково оцінка полігонів побутових відходів здійснюється^{746,747}.

З метою радіоекологічної оцінки впливу сміттєзвалищ на прилеглі екосистеми проведено дослідження ґрунтів, повітря та рослин. Результати замірів радіаційного фону демонструють коливання показників відносно сторін горизонту на обраних сміттєзвалищах, але знаходяться в межах норми. Результати детально висвітлено у публікації⁷⁴⁸.

Запобігання радіоактивному забрудненню є одним з головних завдань природоохоронного законодавства при експлуатації полігонів твердих побутових відходів, обов'язковим заходом є радіологічний контроль відходів⁷⁴⁹. Адже радіонукліди, що містяться у складі відходів, акумулюються в ґрунті, залучаються в біогеохімічні цикли міграції й стають новими компонентами ґрунту. Залежно від стабільності сорбції радіонуклідів ґрунтом і швидкості міграції визначається їх поширення в харчовому ланцюзі.

Пріоритет та важливість саме таких досліджень пояснюється тим, що аварія на Чорнобильській АЕС призвела до радіоактивного забруднення величезних площ території країни довгоживучими радіонуклідами цезію, стронцію, плутонію та америцію, які є біологічно активними і здатні до інтенсивної міграції по трофічних ланцюгах в напрямку до людини. Також використання джерел іонізуючого випромінювання, різних за активністю та впливом, як у промисловому так і у побутовому секторах, підвищує імовірність потрапляння небезпечних відходів у побутові, які в подальшому розміщують на спеціально відведених територіях. Це обумовлює необхідність проведення регулярного і ретельного радіометричного контролю різноманітних об'єктів, в тому числі сміттєзвалищ.

⁷⁴³ Василь Попович, "Еколого-техногенна безпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації" (автореф дис д-ра техн наук, М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т 2017) URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/3841>.

⁷⁴⁴ Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту" (2012) 20 Пожежна безпека 60, <<https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/689/689>>.

⁷⁴⁵ Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля" (2012) (1) Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету 162, URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2012_1_39

⁷⁴⁶ F Ambrosino, L Stellato та C Sabbarese, "A case study on possible radiological contamination in the Lo Uttaro landfill site (Caserta, Italy)" (2020) 1548 Journal of Physics: Conference Series 012001, XXXX <<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1548/1/012001>> .

⁷⁴⁷ MR Usikalu та інші, "Background radiation dose of dumpsites in Ota and Environs" (2017) 852 Journal of Physics: Conference Series 012045, <<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/852/1/012045>>.

⁷⁴⁸ Tetiana Skyba та інші, "DOSE RATE OF THE LANDFILLS OF NORTH-WEST PODILLYA (UKRAINE)", 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Proceedings SGEM 2020 (STEF92 Technology 2020) URL: <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2020/5.1/s20.033> .

⁷⁴⁹ Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів: Наказ Мінжитлокомунгоспу У-ни від 01.12.2010 № 435, <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1307-10#Text>>.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Метою роботи є оцінка радіаційно-екологічна небезпеки складових екосистем сміттєзвалищ в умовах високого техногенного навантаження шляхом проведення радіоекологічного дослідження ґрунтів, рослинних зразків та повітря.

Для оцінки обрано чотири об'єкти на території Західного Лісостепу. Зокрема, це два полігони ТПВ у Хмельницькій області – Хмельницький та Дунаєвський полігони ТПВ та два у Тернопільській області – Малашівський та Кременецький полігони ТПВ (рис. 1).

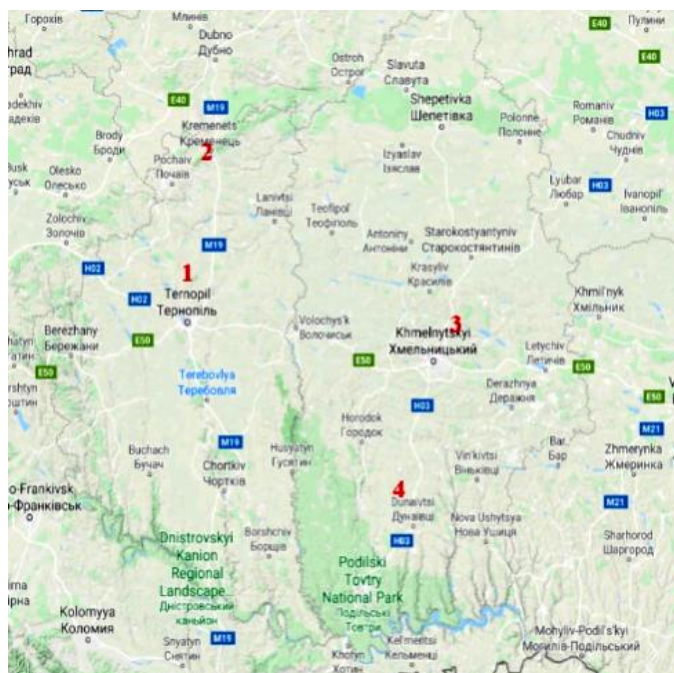


Рисунок 1. Схема розташування об'єктів дослідження – сміттєзвалищ:

1 – с. Малашівці, 2 – м. Кременець, 3 – м. Хмельницький, 4 – м. Дунаївці

В межах обраного регіону досліджень обрано полігони відходів, які оточені родючими сільськогосподарськими угіддями з типом ґрунтів – чорноземи опідзолені. Даний тип ґрунту володіє великою сорбційною ємністю, внаслідок чого просування в них радіоактивних речовин відбувається повільно. Сорбційні властивості чорноземних ґрунтів визначаються присутністю в них гумусу, який містить високомолекулярні речовини в колоїдному стані, які відрізняються доброю обмінною поглинальною ємністю. На інтенсивність і повноту поглинання радіоактивних ізотопів і надійність їх закріплення в твердій фракції ґрунту суттєво впливає реакція середовища і її кислотність. Кислотність ґрунтів неоднозначно впливає на біологічну рухливість у них радіонуклідів. Для ^{90}Sr , ^{137}Cs і великої групи нуклідів з наведеною активністю при збільшенні кислотності зростає інтенсивність надходження радіонуклідів у рослини.

Для оцінки вмісту питомої активності радіонуклідів в ґрунтах проведено відбір зразків з чотирьох сторін кожного сміттєзвалища (північна, південна, західна, східна), а також для порівняння на ділянці за 100 м (з чотирьох сторін горизонту) від об'єкту та у контрольній фоновій ділянці, що віддалена від автомобільних доріг і вважається максимально чистою. Горизонти відбору: 5-10 см, 10-20 см. Для відбору зразків ґрунту використано метод конверта. Зразки ґрунтів відібрано по 5 з кожного горизонту на визначених ділянках та зроблено змішані проби.

Згідно методики експресного визначення активності обстежуваних ділянок обраних об'єктів було проведено відбір та підготовку проб досліджуваного матеріалу (маркування та запечатування у вакуумні поліетиленові пакети); вимірювання радіаційного фону; дослідження замірів радіоактивності проб. В спеціалізованій лабораторії для вимірювання активності радіонуклідів в зразках ґрунту та рослин було використано ваги лабораторні, спектрометри бета- та гама-випромінювань. Останнім етапом була статистична обробка результатів та формування гіпотез та висновків.

Дослідження проведено у зимовий період 2020 року. Даний період обрано для повторювання досліджень в майбутньому та порівняння результатів в динаміці.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

Згідно результатів спектрометрії ґрунтів було отримано наступні результати питомої активності радіонуклідів у ґрунтах, що відображені на рисунках 2-5.

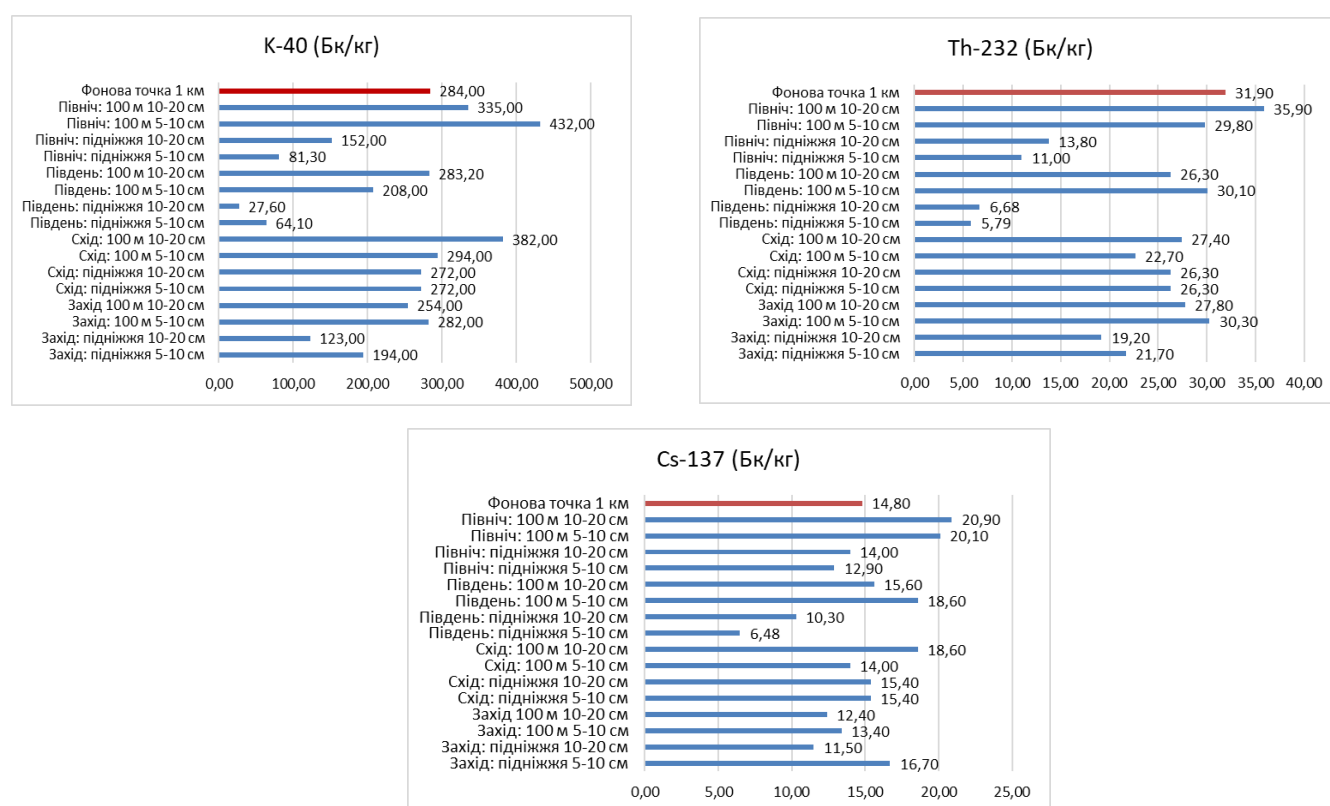


Рисунок 2. Питома активність радіонуклідів у зразках ґрунтів полігону ТПВ поблизу с. Малашівці (Тернопільська область)

Аналіз рисунку 2 демонструє наступне. Північ та схід демонструють найбільшу варіацію вмісту радіонуклідів, що може свідчити про переважаючий напрямок міграції чи вплив вітрових факторів. Варто врахувати, що з північної сторони полігону найвища висота накопичення відходів. У південній частині полігону, де найбільше рослинності, — зниження активності, що може вказувати на взаємозв'язок показника фітомеліорації та вмісту радіонуклідів у ґрунтах. Більшість значень Cs-137 є вищими за фоновий рівень, але спостерігається його поверхнева акумуляція в шарах 5-10 см, порівняно з шаром 10-20 см типово для зон із нещодавнім надходженням радіонукліду.

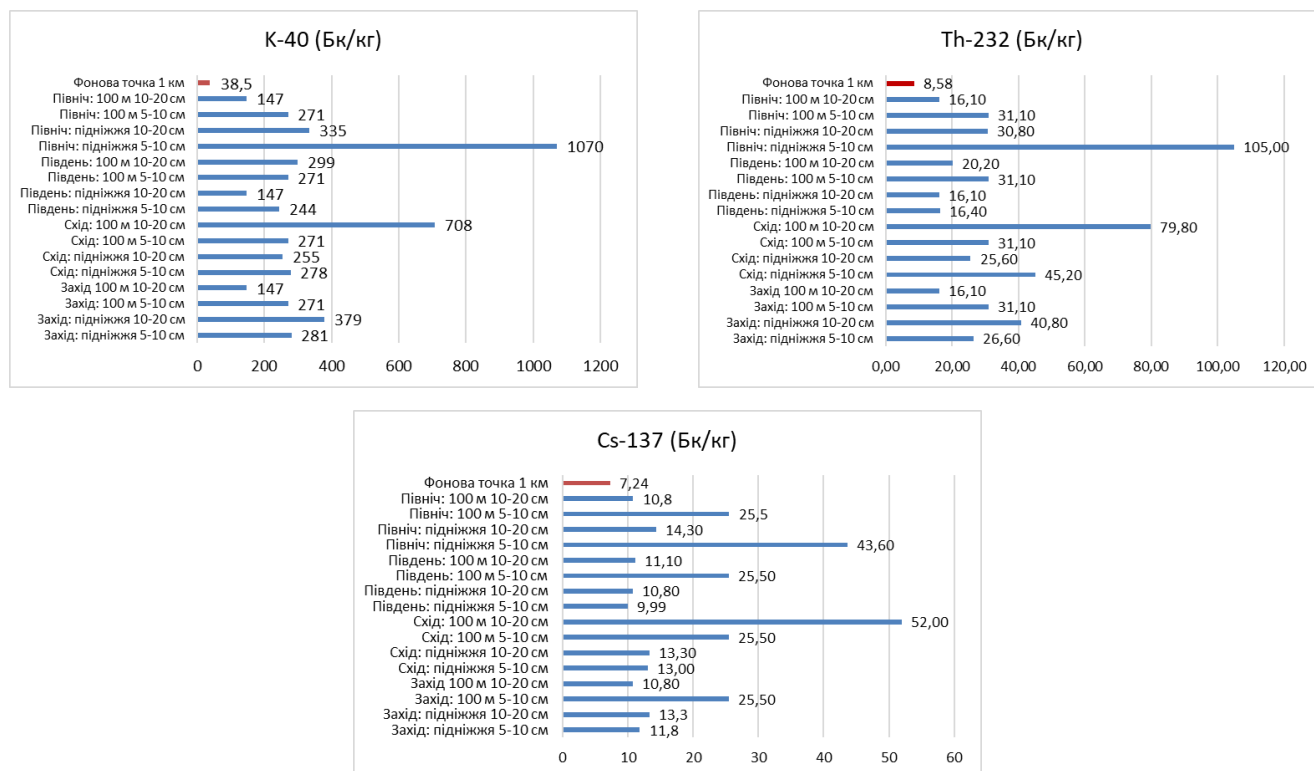


Рисунок 3. Питова активність радіонуклідів у зразках ґрунтів полігону ТПВ у м. Хмельницький

Показники масової питомої активності радіонуклідів у ґрунтах з Хмельницького полігону ТПВ показують перевищення порівняно з фоновією ділянкою. Особлива з північної та східної сторони показники калію-40: у 27 разів та у 18 разів відповідно, торію-232: у 12 та у 9 разів відповідно, цезію-137: у 6 та у 7 разів відповідно. Також накопичення радіонуклідів спостерігається здебільшого у поверхневому шарі, що може свідчити про поверхнєве забруднення внаслідок впливу сміттєзвалища.

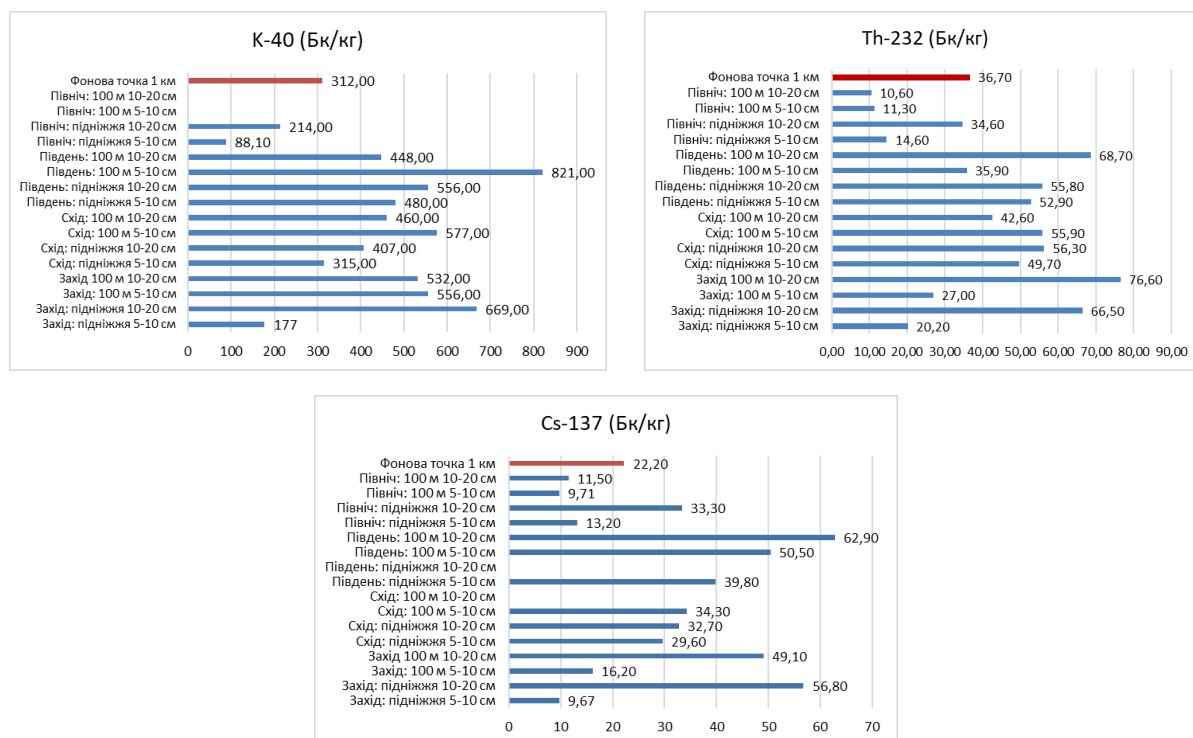


Рисунок 4. Питова активність радіонуклідів у зразках ґрунтів полігону ТПВ поблизу м. Дунаївці

На Дунаєвецькому сміттєзвалищі вищі показники масової питомої активності радіонуклідів, як природних, так і штучних спостерігаються з південної та західної сторін. Зокрема калій-40: у 2,6 та у 2,14 разів відповідно, торій-232: 1,87 та 2,09 разів відповідно, цезій-137: у 2,83 та у 2,56 разі відповідно. Але, у даному випадку, переважно вміст радіонуклідів у горизонті 10-20 см є вищим порівняно з 5-10 см. Це може свідчити про інтенсивнішу міграцію радіонуклідів у нижчі горизонти ґрунту, а також варто врахувати що рівень накопичення відходів з даних сторін горизонту є вищим, що також може безпосередньо впливати на біохімічні показники ґрунтів.

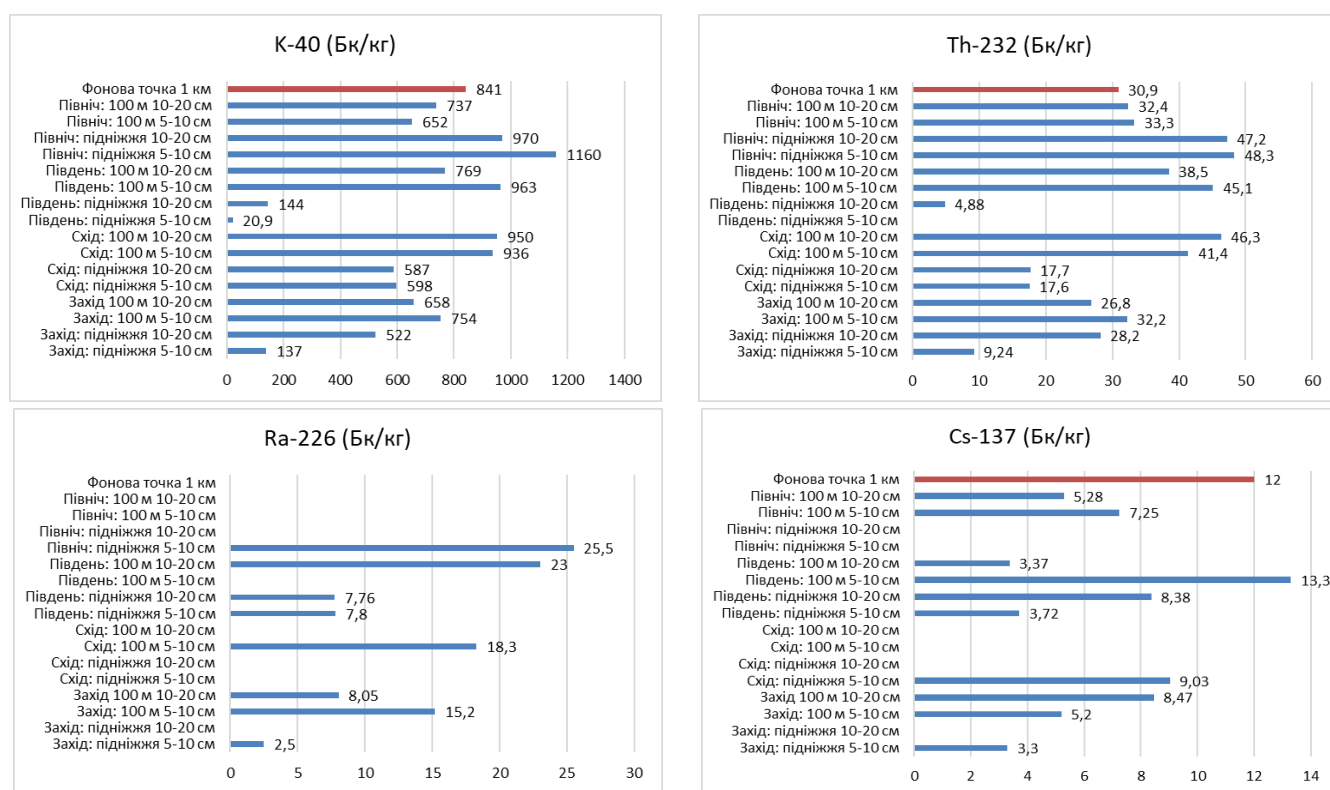


Рисунок 5. Питома активність радіонуклідів у зразках ґрунтів полігону ТПВ поблизу м. Кременець (Тернопільська область)

На відміну від попередніх полігонів ТПВ, на території Кременецького сміттєзвалища зафіксовано вміст радію-226, причому показники є вищими у горизонті 5-10 см. Високий вміст Ra-226 у ґрунтах може призводити до накопичення в рослинах (особливо в коренеплодах), забруднення харчового ланцюга. Враховуючи активне використання сільськогосподарських угідь, які щільно прилягають до сміттєзвалища, коливання та перевищення будь яких показників, особливо радіонуклідів, варте особливої уваги та подальшого спостереження. Проте показники цезію-137 переважно є нижчими за фонове значення, що свідчить про відсутність джерел іонізуючого випромінювання, що містять даний радіонуклід.

Питома активність природних радіонуклідів коливається відносно фонового значення. Найвищі показники калію-40 з північної та східної сторін, які перевищують фонове значення у 1,38 та 1,13 разів відповідно; торію-232: у 1,56 та 1,5 разів відповідно.

3.1. Математична та статистична обробка

Ефективна питома активність природних радіонуклідів (A_{ef}) показує сумарний потенційний радіаційний вплив на людину (у вигляді зовнішнього гамма-опромінення), який походить від

основних природних радіонуклідів (радій-226, торій-232, калій-40), що містяться у досліджуваному матеріалі (в даному випадку – у ґрунті).

Величину ефективної питомої активності природних радіонуклідів визначали за формулою 1⁷⁵⁰:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}} \quad (1)$$

де, 1,31 і 0,085 – зважуючі коефіцієнти для торію-232 і калію-40 відповідно у відношенні до радію-226.

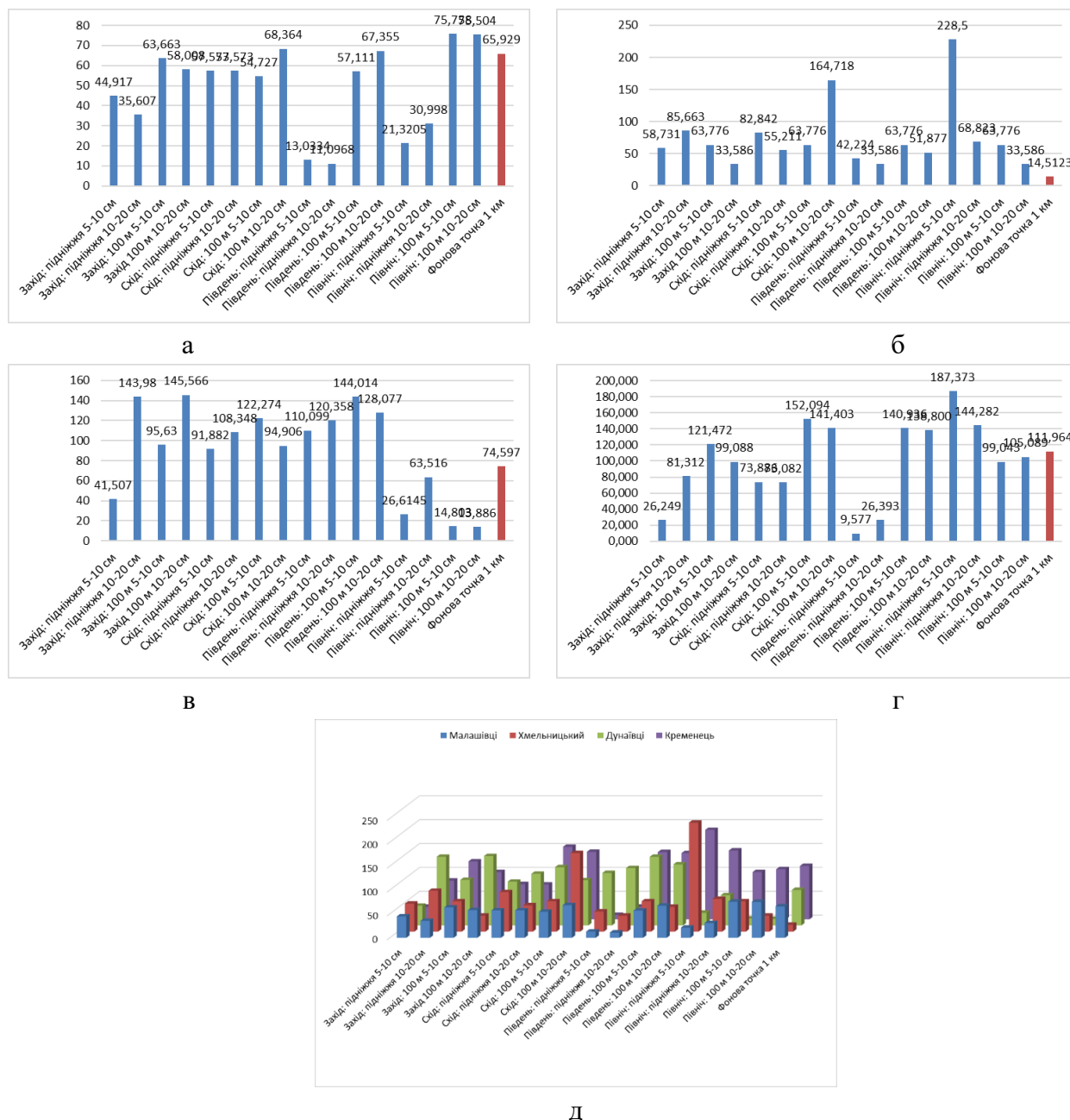


Рисунок 6. Ефективна питома активність природних радіонуклідів у зразках ґрунтів полігонів ТПВ:

а – с. Малашівці, б – м. Хмельницький, в – м. Дунаївці, г – м. Кременець, д – збірна по усіх полігонах

⁷⁵⁰ Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)": Постанова Голов. держ. санітар. лікаря України від 01.12.1997 № 62, <<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>>.

Аналізуючи отримані показники з рисунку 6, бачимо що найвищі значення спостерігаються на Хмельницькому полігоні ТПВ: з північної сторони (228,5 Бк/кг) та за 100 м від східної сторони (164,718 Бк/кг); на сміттєзвалищі поблизу м. Кременець: біля підніжжя з північної сторони (187,373 Бк/кг). Здебільшого усі отримані значення переважають показник у фоновій ділянці. Проте перевищень нормативного значення 370 Бк/кг немає. Усі ґрунти можна віднести до першого класу радіаційної небезпеки.

Це свідчить про радіаційне навантаження на ґрунти внаслідок впливу сміттєзвалищ, адже, як показують польові дослідження, санітарно-захисна зона навколо полігонів ТПВ не дотримується. Зазвичай навколо знаходяться сільськогосподарські угіддя, тому небезпека поширення радіонуклідів у харчові ланцюги є досить високою.

Що стосується аналізу штучних радіонуклідів, то стронцію-90 не виявлено у зразках у ґрунтів, проте показники цезію-137 є вищими біля сміттєзвалищ у порівнянні з фоновими ділянками. Найвищі показники вмісту ¹³⁷Cs спостерігаються в зразках ґрунтів з Хмельницького (52 Бк/кг) та Дунаєвського полігонів ТПВ (62,90 Бк/кг), найнижчі на Кременецькому сміттєзвалищі. Коливання показників цезію-137 може свідчити як про можливість потрапляння на полігон потенційних джерел радіаційного забруднення, так і про особливості міграції радіонуклідів у ґрунтах, так і про повітряне перенесення радіонуклідів з часточками пилу.

Для оцінки взаємозв'язку розподілу радіонуклідів у зразках ґрунтів зі сміттєзвалищ проведено кореляційний аналіз (таблиця 1).

Таблиця 1.

Кореляційна матриця питомої пасової активності радіонуклідів у ґрунтах сміттєзвалищ (червоний – значущі коефіцієнти кореляції, синій- перевірка значущості коефіцієнта кореляції, жовтий – співпадіння, зелений – незначущі або сеоредньозначущі коефіцієнти кореляції)

	с. Малашівці		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	4,662	4,685
Th-232	0,769	1,000	6,459
K-40	0,771	0,858	1,000
	м. Хмельницький		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	6,367	5,396
Th-232	0,854	1,000	14,970
K-40	0,812	0,968	1,000
	м. Дунаївці		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	6,540	3,361
Th-232	0,860	1,000	2,296
K-40	0,655	0,510	1,000
	м. Кременець		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	0,923	2,280
Th-232	0,232	1,000	10,527
K-40	0,507	0,938	1,000

Кореляційна матриця масової питомої активності радіонуклідів у зразках ґрунтів з сміттєзвалищ показує тісний взаємозв'язок як між природними радіонуклідами, так і між цезієм та торієм і калієм відповідно. Взаємозв'язок вмісту торію-232 та калію-40 є очевидним явищем, адже обидва є природними радіонуклідами і часто зустрічаються разом у мінералах та ґрунтах, що утворюються з одних і тих же материнських порід. Їх концентрації, як правило, змінюються разом.

В той час як, цезій-137 є штучним радіонуклідом і його кореляція з природним свідчить про схожі принципи міграції та накопичення у ґрунтах.

На полігонах ТПВ у Малашівцях та Хмельницькому Cs-137 демонструє сильні та значущі кореляції як з Th-232, так і з K-40. Це може свідчити про те, що Cs-137, який осідає на поверхні ґрунту, міг бути пов'язаний з певними типами ґрунту, які також природно багаті на Th-232 та K-40. Або ж існують певні механізми міграції, що сприяють їх спільному накопиченню.

У Дунаївцях зв'язок Cs-137 з Th-232 є дуже сильним, тоді як з K-40 – слабшим. Це може вказувати на певні локальні геохімічні умови або склад ґрунту, де саме Th-232 та його асоційовані мінерали є більш значущими для утримання Cs-137.

На Кременецькому сміттєзвалищі зв'язок Cs-137 з Th-232 є дуже слабким і статистично незначущим, тоді як з K-40 – помірним. Це є найважливішою відмінністю. Це може свідчити як про незалежні джерела або механізми поширення (у м. Кременець Cs-137, можливо, поширюється іншими шляхами або має інший розподіл, не пов'язаний з природним фоном Th-232. Це може бути пов'язано, наприклад, з локальним перерозподілом Cs-137 після випадання опадів, специфікою ґрунтового покриву, що не сприяє адсорбції Cs-137 на тих же мінералах, що і Th-232, або іншими чинниками), так і про неоднорідність ґрунту. Взагалі, слабка кореляція може вказувати на те, що ці елементи походять з різних джерел або мають різні механізми міграції та зв'язування в ґрунті.

3.2. Рослини

В процесах горизонтальної міграції велику роль відіграють особливості рельєфу місцевості, наявність на ній рослинності. Специфічні нерівності поверхні, лісові насадження та буяння трав'янистих рослин при певних поєднаннях можуть практично повністю затримувати поверхневий стік радіонуклідів. В той же час круті схили, відсутність рослин посилюють його.

Подальше переміщення радіонуклідів в екосистемі пов'язане з процесами водної ерозії, пожежами⁷⁵¹, вторинним переносом за рахунок вітру, а також старінням і руйнуванням радіоактивних частинок, яке відбувається дуже повільно. Штучні радіонукліди, наприклад ¹³⁷Cs, здатні до нерівномірного розподілу по території внаслідок вимивання⁷⁵². Радіонукліди здатні до активної міграції та акумуляції в системах «ґрунт — мікробіоценоз», «ґрунт — рослина», в подальшому потрапляючи до живих організмів через харчові ланцюг, а також через поверхневий контакт та дихання.

Фітомеліоративна ефективність рослинності на полігонах твердих побутових відходів показує, що на поверхні полігонів у Західному Лісостепу переважають низькорослі рослини, а коефіцієнт фітомеліоративності є низьким⁷⁵³. У процесі росту та розвитку рослини не тільки поглинають необхідні елементи живлення, але також поглинають радіоактивні та несуттєві елементи з навколишнього середовища, і їх розподіл нерівномірний у різних частинах рослини⁷⁵⁴. Тому для

⁷⁵¹ Mykola Talerko та інші, "Simulation study of radionuclide atmospheric transport after wildland fires in the Chernobyl Exclusion Zone in April 2020" (2021) 12(3) Atmospheric Pollution Research 193, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2021.01.010>>.

⁷⁵² Jelena Marković, "Influence of Radioactive Isotopes from Soil on the Growth and Development of Different Plant Cultures" (2021) 5(3) Journal of Ecology & Natural Resources XXXX <<http://dx.doi.org/10.23880/jenr-16000252>>.

⁷⁵³ Vasyl Popovych та інші, "Ecological Successions of Urban Landfills of the Western Forest Steppe of Ukraine" (2024) 25(7) Ecological Engineering & Environmental Technology 225, <<http://dx.doi.org/10.12912/27197050/188601>>.

⁷⁵⁴ Huynh Truc Phuong та інші, "Accumulation and distribution of nutrients, radionuclides and metals by roots, stems and leaves of plants" [2023] Nuclear Engineering and Technology <<http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2023.03.039>>.

дослідження було сформовано об'єднані зразки з трав'янистих рослин, відібраних в чотирьох точках кожного полігону (для визначення ступеню забруднення їх радіоактивними речовинами). Серед них: Полин звичайний (*Artemisiavulgaris L.*), Копитняк європейський (*Asarum europaeum L.*), Золотушник пізній (*Solidago gigantea*), Борщівник Сосновського (*Heracleum sosnowskyi*), Шипшина чагарникова (*Rosa dumalis*), Підбіл звичайний (*T. Farfara*) та інші. За допомогою гамма-спектрометрії проведено дослідження питомої масової активності радіонуклідів (таблиця 2).

Таблиця 2.

Результати гамма-спектрометрії рослинних зразків зі сміттєзвалищ (Бк/кг)

Назва/місце відбору	Cs-137	Ra-226	Th-232	K-40
Проба №1 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №2 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №3 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №2 Дунаївці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №3 Дунаївці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №4 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №5 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба № 6 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №7 Кременець	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №8 Кременець	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20

За результатами дослідження рослин бачимо низькі показники вмісту радіонуклідів.

Вміст штучного радіонукліду Cs-137 у всіх зразках рослин є дуже низьким — менше 8,56 Бк/кг, що значно нижче гранично допустимих концентрацій. Це вказує на відсутність або мінімальний рівень техногенного радіоактивного забруднення. Природні радіонукліди (Ra-226, Th-232, K-40) також виявлені на низьких рівнях, що характерно для природного фону.

4. ВИСНОВКИ

На основі проведених радіоекологічних досліджень на територіях чотирьох полігонів ТПВ — Малашівецького, Хмельницького, Дунаєвцького та Кременецького — встановлено, що усі досліджувані об'єкти демонструють ознаки впливу сміттєзвалищ на прилеглі екосистеми, передусім через підвищення питомої активності радіонуклідів у ґрунтах. Основні джерела радіаційного навантаження — природні радіонукліди калій-40, торій-232 та радій-226, а також штучний — цезій-137, що вказує на можливе потрапляння техногенних радіоактивних компонентів до сміттєвих мас.

У зразках із Малашівецького сміттєзвалища спостерігається поверхнева акумуляція цезію-137, переважно у верхніх шарах ґрунту, що свідчить про його недавнє надходження. Північний та східний напрямки забруднення можуть бути обумовлені морфологією полігону та напрямками вітру.

На Хмельницькому полігоні зафіксовано найвищі значення ефективної питомої активності, особливо на північній та східній частинах, де перевищення по окремих радіонуклідах сягають у 6–27 разів вище фону. Це вказує на інтенсивне поверхнєве забруднення та відсутність природного бар'єрного захисту.

На Дунаєвцькому полігоні, на відміну від інших, спостерігається вертикальна міграція радіонуклідів, оскільки вміст у глибших горизонтах вищий, що свідчить про слабку здатність ґрунту до утримання радіоактивних компонентів.

Кременецький полігон відзначається присутністю радію-226 у верхньому горизонті, що становить підвищений ризик для сільськогосподарських культур та біотичного ланцюга.

Водночас, цезій-137 тут виявлений на мінімальних рівнях, що свідчить про відсутність потенційних штучних джерел.

Результати дослідження рослин не демонструють перевищень норм радіонуклідів: як природних, так штучних.

Регулярний моніторинг за зміною показників у динаміці сезонів, років дозволить вчасно виявити потенційні загрози та запобігти негативним наслідкам як для довкілля, так і для здоров'я населення. Особливу увагу варто приділяти механізмам міграції радіонуклідів у ґрунтовому середовищі, з можливим переходом та накопиченням у рослинах та потраплянням у харчовий ланцюг. Адже ґрунт в даному випадку виступає як бар'єром для перенесення у водні ресурси, так і середовищем з якого поглинають та акумулюють різноманітні речовини рослини, в тому числі сільськогосподарські культури. Тому варто приділяти увагу як дотриманню санітарно-захисної зони сміттєзвалищ, ретельному вхідному контролю відходів, які захоронюють, а також якісним дослідженням рослинного покриву сміттєзвалищ та фітотимеоративних заходів з метою запобігання поширенню небезпечних компонентів на прилеглі угіддя ^{755,756}.

⁷⁵⁵ VM Skrobala, TK Skyba та VV Popovych, "Ecological features of formation of landfill vegetation in Lviv Region (Ukraine)" (2024) (6) *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 86, <<https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/086>>.

⁷⁵⁶ VV Popovych та інші, "Floristic and ecological structure of the landfill vegetation in the Western Forest Steppe of Ukraine" (2024) (4) *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 99, <<http://dx.doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/099>> .