

УДК 631.445.4:(550.4:669.018:67):(504.064.3:550.814.012:528.88):628.472.37](477)

**О.Т. АЗИМОВ<sup>1</sup>, О.М. ТРОФИМЧУК<sup>2</sup>, К.С. ЗЛОБИНА<sup>3</sup>,  
І.В. КУРАЄВА<sup>3</sup>, С.П. КАРМАЗИНЕНКО<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», вул. О. Гончара, 55-б, Київ, Україна, 01054, e-mail: azimov@casre.kiev.ua

<sup>2</sup> Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Чоколівський б-р, 13, Київ, Україна, 03186, e-mail: itelua@kv.ukrtel.net

<sup>3</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, просп. Академіка Палладіна, 34, Київ, Україна, 03680, e-mail: ecaterinka@ukr.net, ki4412674@gmail.com

<sup>4</sup> Інститут географії НАН України, вул. Володимирська, 44, Київ, Україна, 01030, e-mail: karmazinenko78@gmail.com

### Геохімія важких металів у ґрунтах сміттєзвалищ за результатами екологічних досліджень з використанням даних дистанційних зніманих

*Викладено результати аналітичного узагальнення матеріалів новітніх і попередніх етапів досліджень геохімічних особливостей проб ґрунтових відкладів у межах території Київського полігона № 5 захоронення твердих побутових відходів та у прилеглих до неї з північного сходу та північного заходу районів. Використано такі основні методи: атомно-емісійний спектральний аналіз, мас-спектрометрія з індукційно зв'язаною плазмою. Встановлено істотне забруднення ґрунтового шару важкими металами, передусім у межах полігона № 5. Виявлено також негативний його вплив на вміст цих полутантів у ґрунтах буферної зони. Це стало наслідком 34-річного функціонування об'єкта захоронення твердих побутових відходів, протягом якого відбувалися порушення в його експлуатації. Зокрема, для ґрунтових утворень полігона визначено максимальне перевищення фонових вмісту міді, свинцю, цинку, нікелю та олова у десятки разів, поза його контуром – у 2–3 рази. Зафіксовано негативні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів гумусового горизонту за порівняння відповідних показників зразків, відібраних у прилеглих до полігона районах і безпосередньо на його території. Коефіцієнт буферності ґрунтів цього горизонту майже вдвічі менший на техногенно забруднених землях об'єкта захоронення твердих побутових відходів, ніж на відносно фонових ділянках. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтових утвореннях полігона № 5 порівняно з фоновими значеннями зростає у 2 рази для міді та цинку, у 8 разів – для свинцю.*

**Ключові слова:** полігон, побутові відходи, важкі метали, ґрунт, геохімічний аналіз, дані дистанційних зніманих.

**Вступ і постановка завдання.** У наш час у переважній більшості країн світу, зокрема, й в Україні, проблема забруднення<sup>1</sup> навколишнього середовища від сміттєзвалищ стоїть дуже гостро, а отже є **актуальною**. За даними Державної служби статистики України [13], в останні роки в нашій державі щорічно

утворюється 300–360 млн т відходів. Проте у 2019 р. (без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки (АР) Крим, м. Севастополь та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях) утворено понад 441 млн т відходів, з яких до I–III класів небезпеки належать

<sup>1</sup> «Забруднення» (pollution) означає безпосереднє чи опосередковане внесення у результаті людської діяльності речовин, вібрацій, тепла чи шуму в повітря, води або ґрунт, що можуть бути шкідливими для здоров'я людини або для якості довкілля, призводити до пошкоджень матеріальних цінностей, шкодити чи заважати об'єктам інфраструктури та іншим законним використанням довкілля [16].

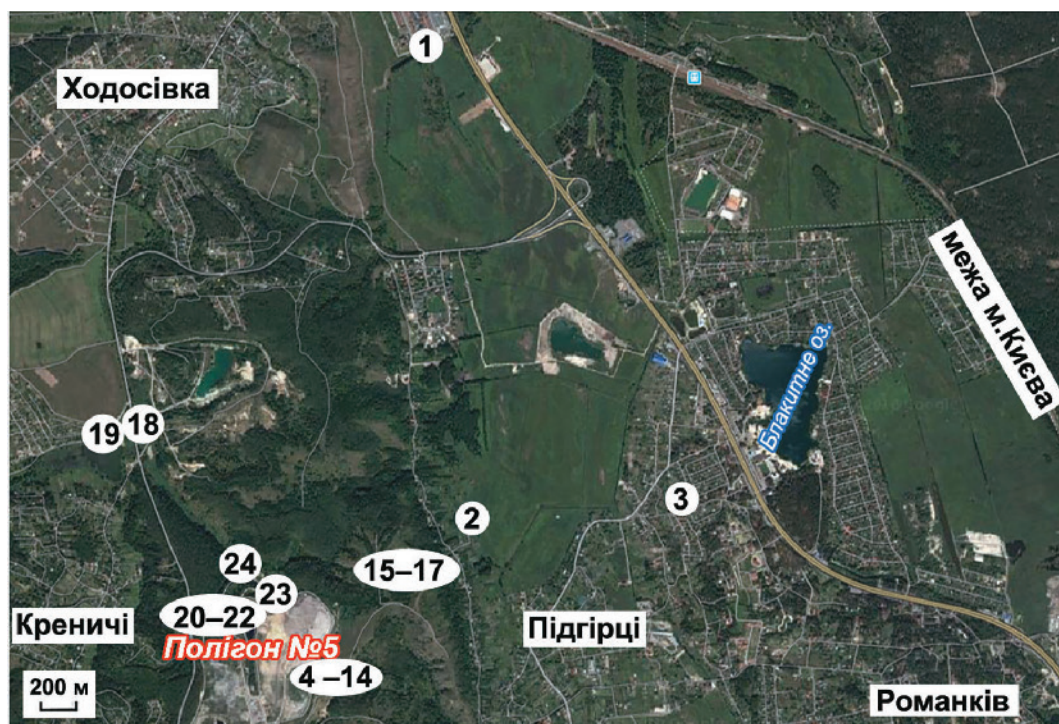


Рис. 1. Картохема розташування площадок спостережень (1–24) у північному секторі впливу Київського полігона № 5. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий з Інтернет-джерела [46]

Fig. 1. Schematic map of the observation sites location (1–24) in the northern sector of the Kyiv's Landfill No 5 impact. Satellite image is received from the Internet [46] and used as an underlayer

553 тис. т. Загальний обсяг відходів, накопичених у спеціально відведених місцях чи об'єктах (місцях видалення відходів) протягом їх експлуатації, станом на початок 2020 р. становить в Україні майже 15,4 млрд т (з них понад 12,3 млн т – це відходи I–III класів небезпеки). Інакше кажучи, якщо за статистичними даними [31] на 1 січня 2020 р. кількість наявного населення країни становила 41 902 416 осіб (без урахування тимчасово окупованої території АР Крим і м. Севастополь), то в перерахунку на одного мешканця України накопичено близько 367,5 т відходів.

Загальна маса світового потоку побутових відходів становить щорічно близько 2 млрд. т [44], з них 70 % знищують шляхом складування на полігонах [48]. У нашій державі обсяги збору побутових та подібних до них відходів<sup>2</sup> (ППВ) [13] неухильно зростають. Так, в останній період щороку в Україні збирали від 11,3 до майже 12 млн т цього типу відходів (без урахування даних з тимчасово окупованої території АР Крим, м. Севастополь та частини тимчасово окупованих територій у східних областях країни). З них від 4,2 до 5 млн т видалляли на спеціально обладнані звалища.

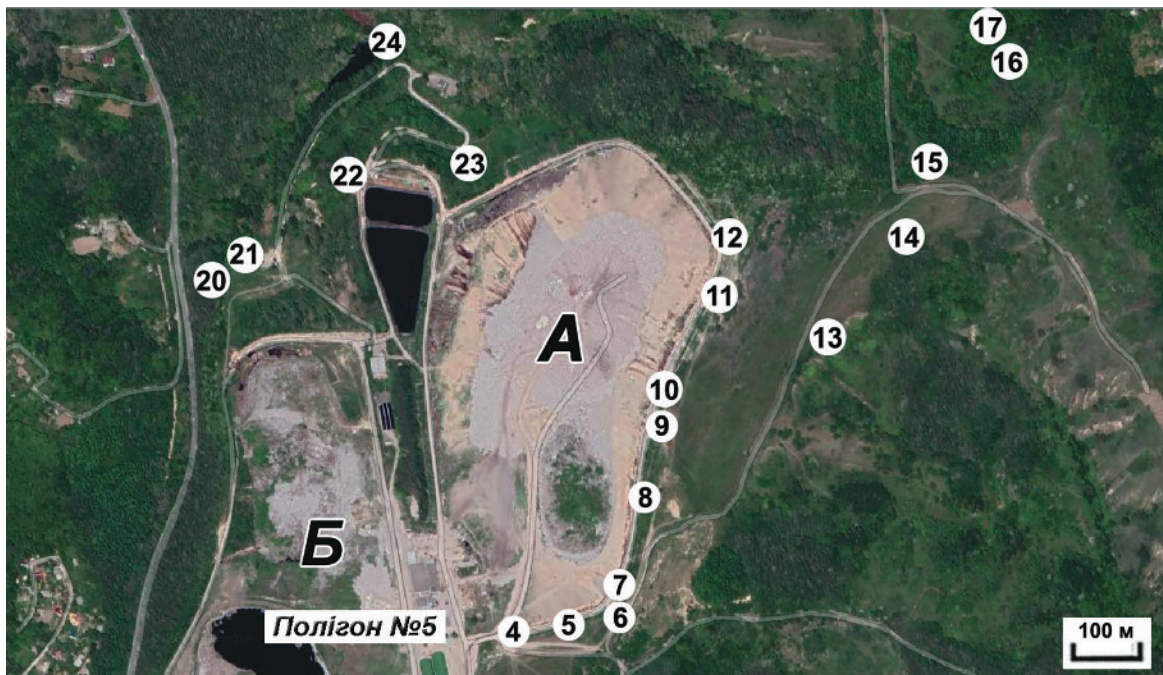
Питомі показники збору ППВ на початок 2020 р. у середньому для України становлять 280 кг/рік на од-

ного наявного мешканця, а у великих містах сягають істотно вищих значень і характеризуються тенденцією до зростання [13].

Більшість спеціально обладнаних звалищ (полігонів) в Україні не мають інженерно-геологічних обґрунтувань. Це призводить до того, що у межах як власне полігонів, так і прилеглих до них районів значних техногенних змін зазнають ґрунтові відклади, поверхневі води, ґрунтові води неглибокого залягання, а також часто докорінно змінюються рослинні угруповання [1–10, 12, 23, 24, 29, 30, 32–43, 47, 49–52 та ін.]. Як наслідок, все це може впливати на здоров'я населення, що живе поблизу сміттєзвалищ і полігонів відходів [15, 45], а тому викликає серйозні побоювання.

В еколого-геохімічні дослідження компонентів навколишнього природного середовища загалом зробили значний внесок українські вчені: Е.В. Соботович, В.М. Шестопалов, В.І. Лялько, Л.Г. Руденко, Е.Я. Жовинський, О.Ю. Митропольський, Г.М. Бондаренко, Г.В. Лисиченко, В.О. Ємельянов, Б.Ф. Міцкевич, А.І. Самчук, В.В. Долін, Н.О. Крюченко, І.В. Кураєва та ін. Утім фізико-хімічні процеси забруднення життєво важливих для людини об'єктів довкілля на територіях захоронення твердих побутових відходів (ТПВ)

<sup>2</sup> Побутові та подібні до них відходи – це відходи, що утворюються у процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках і не використовуються за місцем їх накопичення.



**Рис. 2.** Картохема розташування площадок спостережень у межах північно-західної частини Київського полігона № 5 (20–24) та у буферній зоні стосовно карти «А» (4–17). А, Б – карти полігона. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий з Інтернет-джерела [46]

**Fig. 2.** Schematic map of the observation sites position within the north-western part of the Kyiv's Landfill No 5 (20–24) in the buffer zone relative to the Section «A» (4–17). А, Б – the Landfill Sections. Satellite image is received from the Internet [46] and used as an underlayer

вивчені неповною мірою. При цьому ґрунтові утворення, як частина геологічного середовища<sup>3</sup>, є найважливішим біокосним збірним середовищем [18]. Вагому роль у біо- та геохімічних процесах, що відбуваються у ґрунтах, відіграють важкі метали (ВМ). Вони визначають оптимальні умови існування живих організмів у ґрунті та його біологічну продуктивність. Таким чином, дослідження особливостей геохімії ВМ у ґрунтах районів, у межах яких провадиться пов'язана з ТПВ діяльність, є *частиною загальної екологічної проблеми*, яка все ще *потребує* свого подальшого *вирішення*.

Отже, у цій статті на підставі результатів опрацювання відібраних проб розглянуто узагальнені дані щодо геохімічних характеристик ґрунтових відкладів, які є *об'єктом досліджень*, у районі одного з найбільших в Україні полігонів захоронення ТПВ. *Предметом досліджень* при цьому є геохімічні особливості ВМ у ґрунтових утвореннях. Це – основна *мета* публікації. Фактичний матеріал для аналізу ми отримали у червні 2019 р. [29, 38, 40], а також протягом робіт попереднього року [3–9, 30, 37, 39, 40 та ін.] по декількох площадках спостережень безпосередньо поблизу

карти (майданчика, черги) складування № 1 *Київського полігона № 5* захоронення ТПВ та у прилеглих до неї з північного сходу та північного заходу буферних районів (рис. 1). Імовірно, ландшафтні компоненти буферних (суміжних) районів (або зон) зазнають довготривалого впливу існування і діяльності полігона, ТПВ на якому захоронюють починаючи ще з 1986 р.

При цьому головне *завдання досліджень* насамперед полягає у визначенні максимальних значень різних геохімічних параметрів ґрунту поміж усіх узагальнених даних щодо території карти № 1 полігона та буферної до неї зони. Наступним етапом було аналітичне порівняння вказаних параметрів з такими параметрами фонових ґрунтів, що властиві для регіону, в межах якого розміщений полігон № 5.

Як базовий матеріал для порівняння використано викладені у праці [20] результати оцінювання особливостей регіональних геохімічних фонів токсичних хімічних елементів у ґрунтах і донних відкладах досліджуваної території. Першим кроком на цьому шляху було встановлення типів ґрунтів та їхніх основних характеристик у розрізах відслонень (розчистках) під час виконання польових робіт та за допомогою ви-

<sup>3</sup> Геологічне середовище, відповідно до визначення С.М. Сергєєва [27] – гірські породи і ґрунти, що складають верхню частину літосфери. Їх розглядають як багатокомпонентні системи, які перебувають під дією інженерно-господарської діяльності людини, у результаті чого змінюють природні геологічні процеси й утворюють нові, антропогенні процеси, що, у свою чергу, призводить до зміни інженерно-геологічних умов певної території



**Рис. 3.** Дистанційне зображення північно-західної частини майданчика «А» полігона № 5, зроблене з безпілотного літального апарата 31.05.2019 р. Простежуються місця височування фільтрату (чорно-коричневий колір) з «тіла» сміттєзвалища, стікання його по схилу і накопичення у підніжжі

**Fig. 3.** The unmanned aerial vehicle image of the north-western part of the Landfill No 5 Section «A» acquired on 31.05.2019, where the percolation places of leachate (black brown color) from the dump «body», its flowing down the slope and the accumulation at the bottom are observed

готовлених на підставі відібраних проб спеціальних шліфів.

**Характеристика району досліджень.** Полігон № 5 розташований приблизно в 11 км на південь від житлово-промислової забудови південної частини м. Києва. Власне місцеположення полігона приурочене до краю вододільного пасма (підняття), яке за геоморфологічним районуванням [21] належить до Київського акумулятивно-денудаційно-хвилястого, середньо- та сильно розчленованого плато на палеогенових (Р) і неогенових (N) відкладах. ТПВ на об'єкті складають у межах колишніх двох лівих приток (ярів субмеридіонального спрямування) Ходосівської балки урочища Марусин Яр (див. рис. 1 та рис. 1 у [7, 37–39]). Балка, в якій тече р. Марусин Яр, у цьому місці простяглася між селами Підгірці (на відстані 750 м від окраїни) та Креничі (на відстані 500 м від окраїни).

Загальна площа полігона № 5 становить 63,7 га. Він складається з двох майданчиків (або черг, карт) складування: карти № 1 (або «А») площею 18 га та карти № 2 (або «Б») площею 17 га (рис. 2). Полігон щодня приймає від 4000 до 5000 м<sup>3</sup> ТПВ. Послуги із захоронення ТПВ на полігоні надає підприємство «Приватне акціонерне товариство (ПрАТ) «Київспецтранс», що утилізує понад половину цього типу відходів м. Києва. Отже, на полігон № 5 припадає «левова» частка сміття, що утворюється внаслідок життєдіяльності населення міста.

Полігон № 5 введений в експлуатацію у 1986 р. Свого часу це був «передовий» полігон, побудований у відповідності до західних норм. Це котлован на місці зазначених приток Ходосівської балки, товщі сміття в якому перекриваються шарами плівки та інших

матеріалів, що мали запобігти просочуванню у ґрунт фільтратів та насиченої хімікатами води.

За 34 роки експлуатації потужностей полігона № 5 для захоронення ТПВ уже недостатньо, в його «тілі» під дією опадів накопичився фільтрат. Саме з витіканням фільтрату в ґрунт та забруднення ним доквілля (рис. 3), передусім підземних вод, пов'язаний критичний екологічний стан полігона. Адже утворені водні розчини насичені токсичними речовинами, вони є хімічно й біологічно активними. Поруч із полігоном тече р. Сіверка, яка нижче впадає у р. Віта і, зрештою, у р. Дніпро.

Через зазначені проблеми вже з 2006 р. йде мова про повне закриття полігона № 5. У різні роки його кілька разів було вирішено тимчасово закрити. Однак керівництву ПрАТ «Київспецтранс» щоразу вдавалося відновити роботу полігона. Отож, на сьогодні експлуатація його продовжується, незважаючи на те що з 2006 р. на об'єкті офіційно фіксували і неповністю усували такі порушення:

- 1) недотримання технології захоронення відходів (лише частково пересипали складовані відходи ізоляційним шаром інертного ґрунту або не виконували цього взагалі), внаслідок чого поширювався неприємний запах;
- 2) нерегулярна робота установки з переробки фільтрату;
- 3) перевищення потужностей полігона (перша його черга могла безпечно прийняти 9,1 млн м<sup>3</sup> відходів, а друга черга – 10 млн м<sup>3</sup>), хоча загальний об'єм накопичених відходів уже перевищує 35 млн м<sup>3</sup>.

Проблеми полігона № 5 стосовно екологічної безпеки гідросфери, як підземної, так і поверхневих об'єктів, поділяють на два види:

- прориви плівок і потрапляння фільтратів до підземних вод;
- перетікання фільтратів через захисну греблю відповідного ставка-накопичувача (або озера) внаслідок його переповнення.

**Матеріали.** Вихідними матеріалами для досліджень на етапі планування польових робіт (вибір репрезентативних площадок спостережень) слугували дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), результати їх комп'ютеризованого оброблення з використанням спеціалізованих програм та проблемно орієнтованої інтерпретації. Найперше застосовували матеріали різноманітних багатозональних сканерних космічних зніманих з відкритих джерел (Google Earth та USGS – The United States Geological Survey, Геологічна служба США), починаючи з отриманих з Інтернет-джерела [46] оглядових зображень (див. рис. 1, 2), що дає змогу розпізнавати компоненти ландшафту території загалом.

Використані ASTER\_GDEM-дані супутника Terra відображають сучасний стан рельєфу земної поверхні району досліджень. За допомогою залучених наявних

великомасштабних топографічних карт попередніх років випусків вдається встановити морфологію місцевості до введення полігона № 5 в експлуатацію у 1986 р., починаючи з якого відбувається планомірне поступове техногенне спотворення земного рельєфу території. На основі цих карт із застосуванням географічної інформаційної системи (ГІС) ArcINFO/ArcGIS з модулями Spatial Analyst та ArcScene/3DAnalyst створені також морфометричні картосхеми та цифрова модель рельєфу району робіт [14]; вони продемонстровані у доповіді співробітниками ПрАТ «Візіком» [28]. Як і в попередніх роботах [1, 8 та ін.], ми використовували ці схеми і модель з метою визначення основних можливих напрямків переміщення потенційно небезпечних речовин від місць їх початкового утворення і концентрації на полігоні до зон і районів подальшого накопичення у ландшафті.

Застосування наданих керівництвом Підгірцівської сільської ради даних надвисокого просторового розрізнення з безпілотного літального апарата (БПЛА) по площах полігона № 5, представлених у вигляді матеріалів фотографічного знімання та відеознімання, крім отримання інформації про власне площадки відбору проб ґрунту мало на меті встановлення стану поверхонь майданчиків і ставків-фільтратонакопичувачів об'єкта захоронення ТПВ. Передусім це стосувалося виявлення місць незадовільного стану схилів сміттєзвалищ (насамперед карти «А»), з чим пов'язані процеси витікання (височування) фільтрату з їхніх «тіл» (рис. 3).

Таким чином, за результатами опрацьованих матеріалів ДЗЗ з урахуванням даних досліджень 2018 р. було намічено місцеположення основних площадок спостережень для роботи у польових умовах у 2019 р. Більшість площадок 2019 р. просторово збігаються з площадками відбору зразків ґрунтового покриву попереднього року (у цьому є елемент геомоніторингу) або внаслідок їх розташування мережа опробування є детальнішою. Проте до узагальнення матеріалів залучені додаткові новітні дані за пробами, відібраними у буферній зоні на північний схід від контуру полігона та на території с. Підгірці, що розташоване на схід від полігона.

Загалом спостереження з відбором проб відкладів ґрунту в натурних умовах за два роки виконані на 24 основних площадках, приурочених до відмінних ландшафтно-геологічних умов (див. рис. 1). При цьому в межах кожної з площадок спостережень відібрано по кільканадцять зразків ґрунтових утворень. Це є статистичною основою, щоб вважати результати аналізу по площадках адекватними. Географічну прив'язку площадок спостережень здійснено за допомогою приладу GPS MAP 60 CSX, точність прив'язки 5 м у системі координат UTM/WGS 84.

По кожній з площадок спостережень та по ходу маршрутів між ними проведено аналіз ландшафтної обстановки місцевості з відповідною фіксацією у по-



Рис. 4. Дистанційне зображення перегородженого дамбою ставка в районі площадки спостережень № 24, зроблене з безпілотного літального апарата 31.05.2019 р.

Fig. 4. The unmanned aerial vehicle image of the pond blocked by a dam near the observation site No 24 acquired on 31.05.2019

льовий щоденник і фотографуванням. Загальний обсяг надбаних наземних фотознімків становить декілька сотень.

Нагромаджений масив зразків ґрунту з 24 площадок спостережень став фактологічною базою для виконання подальшого лабораторно-камерального їх опрацювання, літогеохімічного і літогеофізичного аналізів та еколого-геохімічної інтерпретації.

Нижче схарактеризовано результати наземних польових обстежень площадок спостережень з наведенням відповідних фотографій. Останні наочно відображають основні риси досліджених ділянок у межах території робіт загалом.

**Польові дослідження.** З метою оцінювання впливу фільтрату, що надходить до геологічного середовища з полігона № 5, на стан ґрунтів як у межах об'єкта захоронення ТПВ, так і на прилеглий до нього території були проведені польові дослідження. Вони включали такі види робіт:

- візуальний аналіз гідролого-геоморфологічних та загалом ландшафтних особливостей території досліджень;
- відбір у натурних умовах проб для подальшого геохімічного їх аналізу:
  - ґрунту з інтервалу глибин 0–5 і 5–10 см;
  - відкладів із ґрунтових профілів завглибшки до 1,0 м у розрізах відслонень (розчистках).

Загалом було вивчено 24 площадки спостережень. Природні умови площадок № 20–24 у межах території полігона № 5 (рис. 1, 2, 4) описані нами в попередніх публікаціях [7, 9], в яких вони відповідають площадкам № 1–5.

Нижче детальніше схарактеризовано місцевість площадок спостережень *поза контуром полігона № 5*, але або безпосередньо біля нього, або у зоні

ймовірного його впливу. Так, якщо врахувати ландшафтно-геоморфологічні умови території, передовсім гіпсометрію рельєфу сучасної земної поверхні (абсолютні відмітки, напрямок загального нахилу), що позначається на гідрологічних і гідрогеологічних її умовах, то можна передбачити розташування площадок № 1–3 у межах фонові ділянки стосовно полігона. Ці площадки розташовані на прилеглий до р. Віта низовинній, порізаний меліоративними каналами, порослій лучною рослинністю рівнині східніше від вододільного пасма (див. рис. 1).

Проби ґрунту на площадках № 1 і 2 відібрані поряд з наявними тут невеликими водоймами штучного походження. Зокрема, на *площадці спостережень № 1* водойма є штучним ставком, утвореним унаслідок прокладки ґрунтової дороги (рис. 1, 5). Береги його переважно порослі очеретом, рогазою. Площадка віддалена на 357 м на схід від підніжжя схилу вододільного пасма. Її абсолютна відмітка – 91 м над рівнем моря.

*Площадка спостережень № 2* з абсолютною відміткою 99 м над рівнем моря закладена у межах задернованої рівнини приблизно у 210 м східніше від підніжжя вододільного пасма (рис. 1, 6). Паралельно останньому в цьому місці простягається заповнений водою невеликий (завширшки близько 1,5 м) і неглибокий меліоративний канал. Отже, ландшафтні умови місцеположення площадки № 1 і розташованої південніше від неї площадки № 2 є подібними.

*Площадка спостережень № 3* розташована в 1 км східніше від площадки № 2. Її закладено в садку в межах приватної забудови с. Підгірці, що розкинулося на тій самій рівнині (див. рис. 1). Абсолютна відмітка площадки – 95 м над рівнем моря.

*Площадки спостережень № 4–14* локалізовані вже у межах вододільної поверхні безпосередньо уздовж південного, східного і північно-східного контурів карти «А» полігона № 5, переважно у 20–100 м від нього (рис. 1, 2, 7–17), тобто вони вочевидь приурочені до буферної щодо полігона зони. Абсолютні відмітки земного рельєфу від площадки № 4 до площадки № 12 поступово змінюються від 172 до 167 м над рівнем моря, на площадках № 13 і 14 вони відповідно становили 170 і 177 м над рівнем моря. При цьому площадки спостережень № 7 і 12 опробували у 2018 та у 2019 р. (зокрема, у статті [8] вони відповідають площадкам № 5 і 7).

Зразки ґрунту в буферній зоні відбирали: 1) в межах слабоврізаного рову, що тягнеться уздовж загорожі черги «А» полігона і здебільшого заріс буйною вологолюбною рослинністю (площадки № 5 і 8, див. рис. 8, 11); 2) з бетонного захисного жолобу (площадка № 11, див. рис. 14) у дні цього рову, що з півночі й північного сходу огинає контур полігона і призначений для збору і відведення змивної з карти «А» рідини (втім він значною мірою засмічений різноманітними ТПВ, а станом на початок червня 2019 р. місцями був



**Рис. 5.** Фотографічне зображення штучного ставка, утвореного внаслідок прокладки ґрунтової дороги (район площадки спостережень № 1)

**Fig. 5.** Photographic image of the artificial pond formed as a result of soil road laying (observation site No 1 area)



**Рис. 6.** Фотографічне зображення порослої лучною рослинністю рівнини неподалік від підніжжя вододільного пасма (район площадки спостережень № 2)

**Fig. 6.** Photographic image of the plain overgrown with the meadow vegetation near the foot of the watershed ridge (observation site No 2 area)

заповнений водою чорно-коричневого кольору, див. рис. 15); 3) між цим ровом і власне загорожею (площадки № 7, 9 і 10, див. рис. 10, 12, 13); 4) поза ровом і жолобом, проте зовсім поряд з ними (площадки № 4 і 12, див. рис. 7, 15).

На площадках спостережень № 6, 13 і 14 зразки також отримано із ґрунтових профілів завглибшки до 1,0 м із розрізів розчисток на місці наявних тут відслонень природного або техногенного походження. На площадці № 6 відслонення було в покинутому невеликому кар'єрі суглинку лесоподібного (див. рис. 9). Відслонення на площадці № 13, що приблизно



**Рис. 7.** Фотографічне зображення карти «А» полігона № 5, зроблене з відстані близько 100 м на південь від площадки спостережень № 4

**Fig. 7.** Photographic image of the Landfill No 5 Section «A» obtained from a distance of 100 m to the south of the observation site No 4



**Рис. 9.** Фотографічне зображення відслонення на місці покинутого невеликого кар'єру суглинку лесоподібного (площадка спостережень № 6)

**Fig. 9.** Photographic image of the loess loam outcrop in the place of abandoned quarry (observation site No 6)



**Рис. 11.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 8, на якому простежується слабоврізаний рів, що заріс буйною вологолюбною рослинністю

**Fig. 11.** Photographic image, where the slightly entrenched moat overgrown with the heavy water-loving vegetation might be traced (observation site No 8 area)



**Рис. 8.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 5, на якому зліва проглядається слабоврізаний рів

**Fig. 8.** Photographic image of the observation site No 5 position, where to the left the slightly entrenched moat can be seen



**Рис. 10.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 7

**Fig. 10.** Photographic image of the observation site No 7 position



**Рис. 12.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 9, що розташована неподалік загорожі карти «А» полігона № 5

**Fig. 12.** Photographic image of the observation site No 9 area, which is located near the Section «A» fencing of the Landfill No 5



**Рис. 13.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 10, на якому спостерігають місця височування і стікання фільтрату (темно-коричневий колір) на «тілі» черги «А» полігона № 5

**Fig. 13.** Photographic image of the observation site No 10 area, where the dark brown color marks the places of leachate percolation and its flowing down at the «body» of the Landfill No 5 Section «A»



**Рис. 14.** Фотографічне зображення району площадки спостережень № 11 (відбір проб глини з бетонованого захисного жолобу для збору і відведення рідини, що змивається з майданчика «А» полігона)

**Fig. 14.** Photographic image of the observation site No 11 area (clay sampling from the concrete protective trough for the collection and removal of liquid, which is washing from the Landfill No 5 Section «A»)



**Рис. 15.** Фотографічне зображення бетонного захисного жолобу, що поблизу площадки спостережень № 12 значною мірою засмічений різноманітними побутовими відходами і заповнений водою чорно-коричневого кольору

**Fig. 15.** Photographic image of the concrete protective trough located near the observation site No 12. This trough is littered with the different household rubbish and full of black-brown water



**Рис. 16.** Фотографічне зображення відслонення у верхів'ї схилу циркоподібного урочища (район площадки спостережень № 13)

**Fig. 16.** Photographic image of the outcrop on the slope upper of the circus-like terrain (observation site No 13 area)





Рис. 17. Фотографічне зображення відслонення на краю вододільного плато (район площадки спостережень № 14)

Fig. 17. Photographic image of the outcrop at the edge of watershed plateau (observation site No 14 area)



Рис. 18. Фотографічне зображення району площадки спостережень № 15 на схилі від плато до долини

Fig. 18. Photographic image of the observation site No 15 area on the slope from the plateau to the plain

у 200 м на схід від контуру майданчика «А» полігона, знаходилось у верхів'ї схилу циркоподібного урочища (див. рис. 16). Загалом верхів'я з кутами падіння схилів до  $70^\circ$  місцями порізане невеликими ярами з V-подібними поперечними профілями. Схили урочища переважно порослі деревами. На площадці № 14 відслонення приурочене до краю вододільного плато (рис. 17).

Площадку спостережень № 15 закладено на схилі від плато до долини невеликої річки чи струмка. У цьому місці з абсолютною відміткою 150 м над рівнем

моря спостерігається перегин схилу, вниз по якому кути його падіння різко зростають, а сам схил заростає густою деревною рослинністю (див. рис. 2, 18).

Нижче за рельєфом, ближче до підніжжя крутого схилу, зроблена копанка піску. Вона стала основою *площадки спостережень № 16* і джерелом відбору з розчистки піщаного розрізу відповідних проб (рис. 2, 19). Абсолютна відмітка – 130 м над рівнем моря.

Нарешті, у північно-східному секторі впливу полігона № 5, власне у вологій задернованій долині невеликої річки (струмка) з непостійним водотоком, безпосередньо біля підніжжя схилу закладено *площадку спостережень № 17* (рис. 2, 20). Тут зафіксовано абсолютну відмітку 110 м над рівнем моря.

Площадки спостережень № 18 і 19 розташовані у північно-західній зоні впливу полігона, фактично вже в межах фонові ділянки (див. рис. 1). Так, *площадка спостережень № 18* знаходиться в 1 км від північно-західного контуру полігона № 5. У межі площадки потрапила нижня частина долини р. Марусин Яр, що тече на півдні однойменного урочища. У цьому місці річка має північ-північно-західне простягання і з'єднується з іншою, майже поперечною до неї основною долиною, що тягнеться північніше с. Креничі. Тут долина р. Марусин Яр за шириною є розлогою, пласкою, заболоченою, порослою очеретом [7, рис. 7]. У районі з'єднання цих долин через тунель під автодорогою с. Креничі – с. Ходосівка взято зразки поверхневих відкладів [38, рис. 2].

*Площадку спостережень № 19* закладено неподалік від площадки спостережень № 18 на північному березі штучного ставка, що утворився внаслідок підпору насипом автодороги с. Креничі – с. Ходосівка. Ставок тяжіє до основної долини території, яка у східно-північно-східному напрямку простягається північніше с. Креничі. Площадка розташована поблизу зазначеної автодороги (рис. 1, 21).

**Методологічна частина.** На підставі *аналізу* ландшафтно-геоморфологічних та гідрологічних особливостей створеної за топографічними матеріалами і даними ДЗЗ *3D моделі рельєфу* досліджуваної території встановлено [1], що головними ймовірними **напрямами масоперенесення** в ландшафті (зокрема й полювантів) із району полігона № 5 за його межі є напрямки північного сектора (переважно північної та північно-західної орієнтації). З поверхні вододільного плато, на якому розміщені карти полігона, насамперед унаслідок морфології земного рельєфу й дії гравітації різноманітна речовина разом з поверхневими стоками атмосферних опадів переміщується у гіпсометрично понижені зони і ділянки, тобто у напрямку р. Марусин Яр, що у цьому місці оконтурює однойменне урочище. Нижче за течією ця річка впадає у р. Сіверка.

Немає підстав сумніватися, що й розвантаження ґрунтових вод з району полігона теж відбувається у напрямку вказаних водойм і в їхніх долинах. На ко-

ристь такого висновку свідчать результати попередніх наших робіт [3–5, 8, 29, 37] з оцінювання еколого-гідрогеохімічних показників проб поверхневої води, що відібрані в межах низовинної, порізаної меліоративними каналами рівнини східніше і північно-східніше від контуру полігона. Тут вміст переважної більшості досліджених мікро- та макроелементів в усіх пробах не перевищує гранично допустимих концентрацій<sup>4</sup> (ГДК) (згідно з [22]). Таким чином, у східному напрямку від об'єкта захоронення ТПВ відбувається обмежене масоперенесення токсикантів.

Отже, саме на північний сектор впливу полігона № 5 було звернуто особливу увагу й зосереджено основний обсяг польових робіт з відбором необхідних зразків для подальшого визначення особливостей латерального розподілу ВМ у ґрунтах території досліджень.

**Проби** з поверхневих ґрунтових горизонтів (0–5 та 5–10 см) відібрано *методом конверта* відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02–84 [25]. Для вивчення проникнення забруднення на глибину в натурних умовах досліджено ґрунтові профілі завглибшки до 1,0 м. Відповідні розчистки опробували по горизонтах з інтервалом відбору 0,1 м. З метою встановлення типів сучасних ґрунтів у цих розрізах виконано детальний *аналіз морфологічних особливостей* (забарвлення, структура, гранулометричний склад, вологість, складення, новоутворення, включення, перехід між горизонтами, межа).

Для визначення концентрацій **хімічних елементів** у зразках ґрунтів застосовано *атомно-емісійний спектральний аналіз*, а також високочутливий *метод ICP-MS* (Inductively coupled plasma mass spectrometry, *мас-спектрометрія з індукційно зв'язаною плазмою*) для визначення форм знаходження ВМ у ґрунтах. Фізико-хімічні властивості ґрунтових відкладів визначено за методикою С.В. Арінюшкіної [11]. Мінеральний склад фракцій встановлено за допомогою *рентгенофазового аналізу* на дифрактометрі Дрон-2 (CuK $\alpha$ -випромінювання).

У разі потрапляння хімічних речовин у ґрунти у надлишкових кількостях найбільшою небезпекою є збільшення вмісту саме рухомих форм. Останні можуть переходити в суміжні з ґрунтами середовища: поверхневі й підземні води, рослинні угруповання. Тому такий ґрунт є реальною загрозою природному функціонуванню біогеоценозу.

За високими значеннями рухомості мікроелементів констатують хімічне забруднення ґрунтів. Існують різні способи класифікації ґрунтів за їх властивістю



**Рис. 19.** Фотографічне зображення відслонення піщаного розрізу в копанці на схилі від плато до долини (район площадки спостережень № 16)

**Fig. 19.** Photographic image of the outcrop of sandy section in the pit on the slope from the plateau to the plain (observation site No 16 area)



**Рис. 20.** Фотографічне зображення фрагмента долини невеликої річки з непостійним водотоком у районі площадки спостережень № 17

**Fig. 20.** Photographic image of the part of small river valley with the intermittent stream within the observation site No 17

інактивувати ВМ. Як критерій для кількісної **еколого-геохімічної оцінки стійкості системи** «ґрунт–розчин» та її впливу на утворення мобільних форм ВМ використано, відповідно до розробленої групою авторів методики [26], *коефіцієнт буферності* ( $K_b$ ) ґрунтів гумусового горизонту. Цей показник пропорційний сорбційній ємності ґрунтово-поглинального комплексу ( $CE$ ) і обернено пропорційний зміні водневого показника ( $\Delta pH$ ) у системі ґрунт–розчин:

<sup>4</sup> Критеріїв забрудненості поверхневих вод та інших компонентів ландшафту, найперше ґрунтів, вибрано у відповідності до нормативів, що діяли в державі до підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом. Згідно з Угодою, відбувається процес імплементації в Україні «Директиви про промислові викиди та розроблення національного законодавства у сфері запобігання та контролю промислового забруднення» [16]. У цьому документі вжито термін «значення гранично допустимих викидів», що означає масу, виражену через деякі конкретні параметри, концентрацію та/або рівень викидів, які не можна перевищувати протягом одного або декількох періодів часу. Зазначимо, що й деякі інші науковці у своїх публікаціях [17 та ін.] використовували показниками ГДК, вибрані нами.



**Рис. 21.** Фотографічне зображення площадки спостережень № 19, північний берег штучного ставка поблизу автодороги с. Креничі – с. Ходосівка

**Fig. 21.** Photographic image of the observation site No 19 at the north margin of artificial pond located near the Krenychi – Khodosivka road

$$K_6 = CC/\Delta pH. \quad (1)$$

Форми знаходження ВМ у ґрунтах вивчено за **методом послідовного розчинення**, який розробив В.О. Кузнецов [19], доповнив та модернізував А.І. Самчук [26]. Метод базується на одночасному виділенні з ґрунту декількох елементів за допомогою «селективних» екстрагентів. Виділено такі форми знаходження ВМ у ґрунтах.

1. *Водорозчинна* – містить ВМ, які переходять у водну витяжку.
2. *Обмінна* – представлена неміцно адсорбованими формами ВМ, зв'язаними з гідроксидами заліза, мангану, кремнію, органічною речовиною, глинистими мінералами. Обмінними називають іони, що утримуються ґрунтом за рахунок електростатичних сил і можуть бути заміщені еквівалентною кількістю іонів із нейтральних розчинів нейтральних солей.
3. *Зв'язана з карбонатами* – об'єднує сорбовані карбонатами ВМ та ізоморфні домішки.
4. *Сорбована на аморфних гідроксидах заліза, мангану* – представлена іонами ВМ, що поглинуті гідроксидами заліза, мангану, тобто сукупністю форм металів, що утворюють поверхневі комплекси, які переходять у розчин при руйнуванні гідроксидів заліза і мангану.
5. *Зв'язана з органічною речовиною* – представлена міцними металоорганічними комплексами (комплексні сполуки іонів ВМ з гуміновими кислотами).
6. *Важкорозчинна* – об'єднує метали, що входять до кристалічної ґратки породоутворювальних і акцесорних мінералів.

Отримані за результатами лабораторних досліджень дані стосовно геохімічних особливостей зразків ґрунту району робіт аналітично порівнювали з подібними параметрами фонових ґрунтів, які характерні для регіону загалом – відповідної зони Лісостепу. При цьому за основу взято дані, наведені у статті [20], стосовно регіональних геохімічних фонів токсичних хімічних елементів у чорноземах типових середньогумусних лісостепової зони та в донних відкладах поверхневих водотоків (малих річок) конкретної ландшафтно-біокліматичної підзони – Лісостепу правобережного високого північного.

Донні утворення інтегрують геохімічні особливості водозбірних площ. Утім потрібно пам'ятати, як зазначає Н.Г. Люта [20, с. 164], що «запропоновані фони необхідно розглядати як певний базовий порівняльний рівень, маючи на увазі необхідність виконання досліджень, спрямованих на визначення місцевих геохімічних фонів».

Виміри значень питомої магнітної сприйнятливості ( $k$ ) проб ґрунту (*капаметрія*) складають блок літогеофізичних досліджень. Їх виконували з огляду на те, що величини  $k$  можуть індициувати наявність феро- або парамагнітних сполук у ґрунтових різновидах. З цією метою фахівці Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України використали чеський прилад МФК-1В з чутливістю 2 од. СІ,  $10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг [4]. При цьому для кожного з відібраних зразків цикл вимірювань тривав протягом трьох місяців з метою виявлення можливого впливу зміни їх вологості на значення  $k$ , а також для врахування ймовірних похибок у вимірюваннях.

**Результати та їх обговорення.** З метою оцінювання екологічного стану **сучасних ґрунтів** під час спільних польових досліджень на території полігона № 5 та у районі його впливу було досліджено три розрізи ґрунтів у трьох різних розчистках. Детальний аналіз морфологічних особливостей сучасних ґрунтів у розрізах (забарвлення, структура, гранулометричний склад, вологість, складення, новоутворення, включення, перехід між горизонтами, межа) дав змогу встановити їхні типи.

Ґрунти насамперед характеризуються темно-сірим забарвленням їх профілю, грудкуватою структурою, легким суглинковим гранулометричним складом, із включеннями черворийн і кротовин, новоутвореннями карбонатів у вигляді міцелію, а також поступовими переходами між генетичними горизонтами (Н, Нк, РНк, Рhk, Рк). За цими ознаками ґрунти близькі до *чорноземів типових*, які сформувалися на лесових відкладах бузького часу. Саме ці лесові відклади використовують для засипання і подальшого захоронення побутових відходів на території полігона № 5.

Для детальнішого уточнення генезису ґрунтів і оцінювання ступеня їх забруднення були також відібрані зразки на мікоморфологічний аналіз (15 зразків). За результатами мікоморфологічного аналізу

Таблиця 1. Порівняння максимального вмісту важких металів (мг/кг) у техногенно забруднених ґрунтах району карти «А» полігона № 5 з фоновими ґрунтами території досліджень (за [20])

Table 1. Comparison of the maximum heavy metals contents (mg/kg) in the technogenic polluted soils for the area of the Landfill No 5 Section «A» with the background soils from the studied area (according to [20])

Важкі метали	Ґрунт		Перевищення максимального вмісту важких металів у техногенно забруднених ґрунтах над фоновими, разів
	техногенно забруднений	фоновий	
Cu	600	30	20
Zn	500	71	7
Pb	500	25	20
Ni	100	32	3,1
Cr	200	70	2,9
Sn	40	2,0 *	20

\* Вміст важкого металу в донних відкладах [20].

сучасних чорноземних ґрунтів у подальшому можна не лише оцінити ступінь забрудненості (виявлення часточок під мікроскопом), а й уточнити їхній генезис (для правильного застосування заходів щодо вилучення поллютантів і поліпшення екологічного стану як власне відкладів, так і навколишнього середовища загалом).

Дослідження *гранулометричного складу* ґрунтів зони аерації району полігона № 5 показали, що вміст піщаної фракції в них змінюється в межах 1–6 %, алевритової – 3–10 %, глинистої фракції становить 84–90 %. Отже, глиниста фракція є переважною для ґрунтових відкладів досліджуваної території та основним сорбентом для поллютантів. Основні глинисті мінерали цієї фракції – монтморилоніт, гідрослюда (типу іліту), каолініт.

Установлено такий *хімічний склад* досліджуваних зразків ґрунтів, %: SiO<sub>2</sub> 49–82; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4–8. У пробах ґрунтів, відібраних під час досліджень безпосередньо на території полігона, максимальне перевищення фонового вмісту мікроелементів, згідно з прийнятими за основу даними з праці [20], зафіксовано для таких ВМ: міді, свинцю, цинку, нікелю, хрому та олова. Зокрема, вміст цинку у ґрунтах власне полігона № 5 досягає 500 г/т (або мг/кг) за фонового вмісту в чорноземах типових середньогумусних лісостепової зони 71 г/т (мг/кг). Максимальна концентрація міді сягає 600 г/т (мг/кг) за регіонального геохімічного фонового вмісту 30 г/т (мг/кг), тобто зареєстровано 20-кратне перевищення фонових показників (див. таблицю, рис. 22).

Найбільший вміст свинцю в ґрунтах у межах полігона становить 500 г/т (мг/кг), що у 20 разів більше за фоновий показник – 25 г/т (мг/кг). Зафіксовано високу концентрацію нікелю – 100 г/т (мг/кг) за його фонового вмісту 32 г/т (мг/кг), хрому – 200 г/т (мг/кг) за фо-

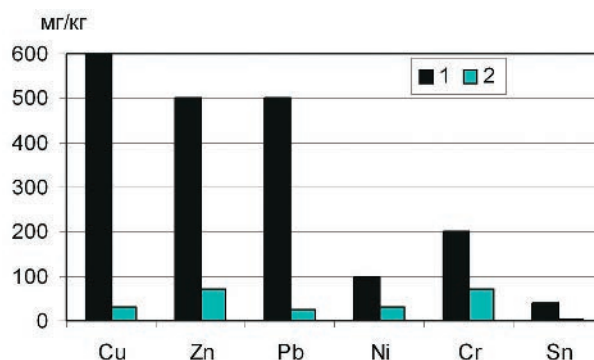


Рис. 22. Гістограма порівняння максимального перевищення вмісту важких металів у техногенно забруднених ґрунтах району карти «А» полігона № 5 щодо фонового у ґрунтах території досліджень (згідно з [20]): 1 – максимальний вміст важких металів у досліджених ґрунтах; 2 – вміст важких металів у фонових ґрунтах

Fig. 22. Histograms of comparison of the maximum exceed for the heavy metals contents in the technogenic polluted soils for the area of the Landfill No 5 Section «A» and in the background soils from the studied area (after [20]): 1 – heavy metals maximum contents in the studied soils for the area of the Landfill Section «A»; 2 – heavy metals contents in the background soils

нових значень 70 г/т (мг/кг), олова – 40 г/т (мг/кг), що у 20 разів перевищує фонове його значення (2 мг/кг) у донних відкладах відповідної ландшафтно-біокліматичної підзони – Лісостепу правобережного високого північного (див таблицю, рис. 22).

У буферній зоні полігона № 5, тобто в районі поза його межами, але такому, що зазнає його впливу, концентрації мікроелементів у ґрунтах у 2–3 рази перевищують фонові значення. Це характерно для міді, свинцю, цинку, нікелю, хрому, олова.

На підставі досліджень визначено *фізико-хімічні властивості* ґрунтів гумусового горизонту, на тери-

торії полігона та за його контуром. За межами полігона показники ґрунтів такі:  $C_{\text{орг}}$  – 6,2 %, рН – 6,5; вміст обмінних катіонів, мг-екв/100 г:  $H^+$  – 8,2;  $Ca^{2+}$  – 39,0;  $Mg^{2+}$  – 12,8;  $K^+$  – 0,7;  $Na^+$  – 0,65; сума обмінних катіонів – 61,35. У межах полігона фізико-хімічні властивості ґрунтів значно відрізняються від наведених вище, що вказує на їхні зміни:  $C_{\text{орг}}$  – 3,6 %, рН – 6,3; вміст обмінних катіонів, мг-екв/100 г:  $H^+$  – 3,2;  $Ca^{2+}$  – 12,0;  $Mg^{2+}$  – 4,9;  $K^+$  – 0,3;  $Na^+$  – 0,4; сума обмінних катіонів – 20,8. Не викликає сумнівів, що зазначені зміни відбулися під дією різноманітних токсикантів, пов'язаних з діяльністю об'єкта захоронення ТПВ.

За отриманими даними розраховано за формулою (1) **коефіцієнт буферності** ґрунтів гумусового горизонту. Так, для ґрунтів поза контуром полігона № 5, що ймовірно зазнають впливу північно-східної, північної та північно-західної його частин,  $K_6 = 55$ . Для техногенно забруднених ґрунтових утворень району карти «А» полігона  $K_6$  зменшується майже удвічі.

Виконано еколого-геохімічне оцінювання впливу полігона ТВП № 5 на стан ґрунтів у його межах. Для цього встановлено **форми знаходження ВМ** у ґрунтовому покриві полігона, які найбільше перевищують відповідні фонові значення: свинцю, цинку, міді. У результаті аналітичних робіт визначено, що у ґрунтових утвореннях об'єкта захоронення відходів вміст рухомих форм (водорозчинної та іонообмінної), що найбільше впливають на екологічну оцінку території, зростає: для міді та цинку – у 2 рази, для свинцю – у 8 разів. Саме вміст рухомих форм впливає на міграцію ВМ у трофічному ланцюгу ґрунт–розчин–біота.

Дослідженнями **питомої магнітної сприйнятливості** зразків ґрунту встановлено високі її значення у пробах, що відібрані на території полігона, порівняно з фоновими. Зокрема, з площадки спостережень № 24 (див. рис. 2) вони характеризуються найвищими показниками:  $\kappa_{\text{сеп}} = 679,77$  од.,  $CI \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  при  $\kappa_{\text{max}} = 526,54$  од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  та  $\kappa_{\text{сеп}} = 536,76$  од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  при  $\kappa_{\text{max}} = 572,1$  од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Остання з цих площадок розташована гіпсометрично нижче за рельєфом від місць витоків фільтрату зі звалища сміття карти «А» полігона та ймовірного потрапляння його у ґрунт (див. рис. 13).

Для проб **фонових ділянок** (див. рис. 1) характерні найнижчі значення  $\kappa$ , од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ : 10,7–11,71 на площадці спостережень № 1; 13,1–13,2 на площадці № 3; 20,4–20,6 на площадці № 17 та 23,6–23,7 на площадці спостережень № 19. Таким чином, максимальні значення питомої магнітної сприйнятливості зразків ґрунтових утворень із території полігона у 60 разів перевищують подібні значення для проб, відібраних на відносно фонових ділянках.

Наведені дані додатково можуть засвідчувати істотне забруднення геологічного середовища на об'єкті захоронення ТПВ і в безпосередньо прилеглої до нього буферній зоні різноманітними феро- або пара-

магнітними сполуками, що потрапляють насамперед у ґрунт унаслідок функціонування полігона.

Отже, порівняння геохімічних особливостей зразків техногенно забруднених ґрунтів полігона і прилеглих до нього районів з пробами фонових ґрунтів дає змогу констатувати таке. Від часу введення в дію у 1986 р. полігона № 5 захоронення ТВП через порушення в його експлуатації, що зумовлені недотриманням технології пересипки складованих відходів ізоляційним шаром ґрунту, нерегулярною роботою установки з переробки фільтрату, перевищенням потужностей карт тощо, ґрунти в його межах і навіть у буферній до нього зоні зазнали забруднення різноманітними токсичними речовинами, зокрема ВМ.

Справедливості заради потрібно зазначити, що в останні роки зусиллями підприємства ПрАТ «Київ-спецтранс» інтенсивно провадяться роботи щодо підвищення безпеки полігона № 5 та підготовки його до рекультивації. Вони полягають у ліквідації аварійних схилів карти «А» полігона, розширенні потужностей переробки фільтрату, укріпленні та оновленні захисних дамб (особливо дамби західніше карти «Б»). Як наслідок, рівень винесення забруднювачів з території полігона за його межі й негативна їх дія на компоненти довкілля поступово зменшуються. Зокрема, це зафіксовано нашими дослідженнями [1, 2, 29, 38].

**Висновки і перспективи подальших робіт.** У результаті аналітичних робіт та узагальненні матеріалів попередніх етапів робіт на досліджуваній території встановлено істотне забруднення ґрунтового шару важкими металами, передусім у межах полігона № 5. Виявлено також негативний його вплив на вміст цих поллютантів у ґрунтах буферної зони. Це стало наслідком 34-річного функціонування об'єкта захоронення ТВП, протягом якого порушувалась його експлуатація.

Так, для ґрунтових відкладів полігона визначено максимальне перевищення фонових вмісту міді, свинцю, цинку, нікелю та олова від декількох до десятків разів, а поза його контуром – у 2–3 рази. Зафіксовано негативні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів гумусового горизонту в разі порівняння відповідних показників за зразками, відібраними у прилеглих до полігона районах і безпосередньо на його території. Коефіцієнт буферності ґрунтів цього горизонту майже удвічі менший на техногенно забруднених землях об'єкта захоронення ТВП, ніж на відносно фонових ділянках.

За максимальними значеннями питомої магнітної сприйнятливості ( $\kappa_{\text{max}}$ ) проби ґрунтових різновидів, що відібрані в межах полігона і на відносно фонових ділянках, відрізняються між собою більш ніж у 60 разів і становлять 707,3 од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  і 11,71 од.,  $CI, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  відповідно. Це характеризує ґрунти полігона, як забруднені різноманітними феро- або парамагнітними сполуками.

Вміст рухомих форм ВМ у ґрунтових утвореннях полігона № 5 порівняно з фоновими значення зростає у 2 рази для міді та цинку, у 8 разів – для свинцю.

Для **подальшого з'ясування** механізму міграції забруднювачів у компонентах довкілля району робіт (ґрунти–природні води–рослинність) необхідне їх еколого-геохімічне опробування по регулярній мережі наземних площадок спостережень та моніторингові дослідження за даними дистанційного знімання з подальшим використанням ГІС-технологій для аналізу просторово розподіленої інформації.

Доцільно продовжувати мікроморфологічний аналіз сучасних чорноземних ґрунтів у районі полігона. Це дасть змогу не лише оцінити ступінь їхньої забрудненості шляхом виявлення відповідних часточок під мікроскопом, а й точніше встановити походження. Останнє вбачається важливим з огляду на заплановані заходи щодо рекультивациі розглянутого об'єкта захоронення ТПВ. Наприклад, це впровадження ефективного процесу з вилучення забруднень із ґрунтових утворень і поліпшення їхніх геоecологічних характеристик зокрема та довкілля загалом.

Для повнішого охоплення за площею території потрібно підібрати й отримати зроблені субсинхронно із наземними дослідженнями інформативні (просторове, спектральне, радіометричне розрізнення) матеріали багатозональних космічних зніманих, виконати гіперспектральне знімання з борту БПЛА за достатньою кількістю профілів і точок спостережень. Отримані таким чином гетерогенні дані у перспективі є сенс інтегрально обробити, застосовуючи відповідне програмне забезпечення.

Потрібне спрямування зусиль фахівців стосовно оцінювання сезонного впливу полігона на стан навко-

лишнього середовища загалом. Для цього насамперед необхідно поповнити довідкові відомості про особливості полігона № 5.

**Подяки.** Автори висловлюють щирю подяку керівництву ПрАТ «Київспецтранс» за дозвіл на в'їзд на територію полігона № 5 і фотографування відповідної місцевості протягом 2019 р., а також за дозвіл на відбір проб ґрунту, які були використані для лабораторно-камерального аналізу на вміст важких металів, для визначення їх питомої магнітної сприйнятливості, а в кінцевому рахунку – для оцінювання можливого впливу об'єкта захоронення ТПВ на довкілля.

Автори вдячні керівництву Підгірцівської сільської ради Обухівського району Київської області в особі сільського голови С.С. Кравченка за люб'язно надані матеріали аерознімання надвисокого просторового розрізнення з БПЛА на території полігона № 5. Їх застосування уможливило коректний вибір репрезентативних площадок спостережень щодо ймовірного просочування у ґрунт в їхніх межах фільтратів та насиченої хімікатами води з «тіла» черги «А» полігона.

За активну участь у польових роботах 05.06.2019 р. на території полігона № 5 та на прилеглих до нього ділянках особлива подяка від авторів науковому співробітнику Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, кандидату геологічних наук Є.С. Луньову.

Автори щиро вдячні завідувачу відділу Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, доктору геологічних наук В.Г. Бахмутову та його колегам за творчу співпрацю і виконання досліджень з визначення питомої магнітної сприйнятливості відібраних на полігоні та у буферній до нього зоні зразків ґрунту.

#### СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Азімов О.Т. Геоecологічний моніторинг водойм полігонів захоронення твердих побутових відходів як оцінка їх стабільного функціонування. Science for Sustainable Development: матеріали Міжнародного конгресу (м. Київ, 10–11 листоп. 2019 р.); за заг. ред. проф. О.В. Кендюхова. Київ: Асоціація сприяння глобалізації освіти та науки «СПЕИСТАЙМ», 2019. С. 30–35. <https://drive.google.com/file/d/1ICrH3vPSAWAy6ibcpMtvmlN1wt5721ku/view>
2. Азімов А.Т., Злобіна Е.С., Кармазиненко С.П., Кураєва І.В. Моніторинг якості поверхневих вод районів захоронення твердих побутових відходів. Междунар. науч. екол. конф. «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития» (Краснодар, 24–26 марта 2020 г.): материалы; сост. Л.С. Новополицева, под ред. И.С. Белюченко. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 340–343. <http://ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2020.pdf>
3. Азімов А.Т., Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Войтюк Ю.Ю. Анализ результатов комплексных геохимических исследований образцов компонентов ландшафта из зоны влияния мест захоронения твердых бытовых отходов. Междунар. науч. екол. конф. «Отходы, причины их образования и перспективы использования» (Краснодар, 26–27 марта 2019 г.): материалы; сост. Л.С. Новополицева, под ред. И.С. Белюченко. Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 198–200. <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf>
4. Азімов О.Т., Кураєва І.В., Бахмутов В.Г. та ін. Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів. Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія. 2019. Вип. 4 (87). С. 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>
5. Азімов О.Т., Кураєва І.В., Войтюк Ю.Ю. та ін. Еколого-геохімічна оцінка об'єктів довкілля територій поховання твердих побутових відходів. Пошукова та екологічна геохімія. 2018. № 1 (19). С. 22–26.
6. Азімов О.Т., Кураєва І.В., Кармазиненко С.П., Злобіна К.С. Рациональный комплекс геохимических методов при исследовании докілья районів поховання твердих побутових відходів. VI Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (Одеса, 17–22 черв. 2019 р.): матеріали. Київ: УкрДГРІ, 2019. С. 13–16. [http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material\\_geoforum\\_2019\\_1.pdf](http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material_geoforum_2019_1.pdf)

7. Азімов О.Т., Кураєва І.В., Трофимчук О.М. та ін. Забруднення ґрунтів та інших об'єктів довкілля важкими металами в районах полігонів захоронення твердих побутових відходів. *Геоінформатика*. 2020. № 1 (73). С. 82–98. <http://www.geology.com.ua/>
8. Азімов О.Т., Томченко О.В., Кармазиненко С.П. та ін. Моніторинг територій полігонів твердих побутових відходів з використанням дистанційних технологій. Формування програм щодо поводження з відходами для об'єднаних територіальних громад: проблемні питання та кращі практики: Нац. форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Київ, 22–23 листоп. 2018 р.): матеріали. Київ: Центр екол. освіти та інформації, 2018. С. 84–87.
9. Азімов О.Т., Трофимчук О.М., Кураєва І.В., Кармазиненко С.П. Оцінка вмісту важких металів у ґрунтах та інших компонентах ландшафту в районах захоронення твердих побутових відходів. *Екологічна безпека та природокористування*. 2019. Вип. 2 (30). С. 5–17. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.5-17>
10. Азімов О.Т., Шевчук О.В., Азімова К.О. Геоінформаційні системи в дослідженнях чинників забруднення довкілля територій сміттєзвалищ: стан та перспективи. *Геоінформатика*. 2020б. № 2 (74). С. 69–88. <http://www.geology.com.ua/>
11. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв.: [2-е изд., перераб. и доп.]. Москва: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
12. Бондар О.І., Клімчук Б.П., Колядинський М.І., Мольчак Я.О. Довкілля в умовах впливу сміттєзвалищ: [монографія]. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. 246 с.
13. Відходи /Статистична інформація. Економічна статистика/. Навколишнє природне середовище. Київ: Державна служба статистики України, 2020. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
14. Готинян В.С., Арістов М.В., Томченко О.В., Миколенко Л.І. Використання космічних знімків для геодинамічного районування території Київської області (для аналізу розміщення полігонів захоронення твердих побутових відходів): звіт. Київ: ДНВЦ «Природа», 2007. 30 с.
15. Делеган-Кокайко С.В., Слабкий Г.О., Лук'янова В.В., Анпілова С.С. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. Вип. 2 (34). С. 43–52. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52>
16. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю) (Нова редакція) (текст стосується СЄП). ОВ L 334, 17.12.2010. С. 17–119.
17. Долин В.В., Смирнов В.Н., Ишук А.А., Орлов А.А. Техногенно-экологическая безопасность биосистемы Бутского лимана в условиях загрязнения тяжелыми металлами; под. ред. Э.В. Собоновича. Киев; Николаев: РАЛ-полиграфия, 2011. 200 с.
18. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І. та ін. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ: Інтерсервіс, 2014. 168 с. <https://igu.org.ua/sites/default/files/pdf-text/heavy-metals-m.pdf>
19. Кузнецов В.А., Шимко Г.А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях. Минск: Наука и техника, 1990. 88 с.
20. Люта Н.Г. Про використання геохімічних критеріїв (фонів та сумарного показника забруднення) для оцінки геохімічного стану ландшафтів. Збірник наукових праць УкрДГРІ. Київ, 2004. № 2. С. 162–169.
21. Національний атлас України; гол. ред. Л.Г. Руденко. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.
22. Никитин Д.П., Новиков Ю.В., Рощин А.В. и др. Справочник помощника санитарного врача и помощника эпидемиолога; под ред. Д.П. Никитина, А.И. Заиченко: [2-е изд., перераб. и доп.]. Москва: Медицина, 1990. 512 с.
23. Новохацька Н.А., Крета Д.Л. Моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ на підземні води. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2015. Вип. 1 (7). С. 71–79. <http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2015/7/8.pdf>
24. Новохацька Н.А., Трофимчук О.М. Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та природокористування*. 2014. Вип. 14. С. 31–40.
25. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02–84. [Действующий от 1986–01–01]. Москва: Стандартинформ, 2008. 8 с.
26. Самчук А.И., Бондаренко Г.Н., Долин В.В. и др. Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах. *Минералогический журнал*. 1998. Т. 20, № 2. С. 48–59.
27. Сергеев Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде. *Инженерная геология*. 1979. № 1. С. 3–19.
28. Тішаєва А.М., Томченко О.В. Локалізація та виявлення закономірностей просторового розміщення сміттєзвалищ на території Київської області за даними ДЗЗ. XV Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 03–06 жовт. 2016 р.): матеріали. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2016. С. 54–56. <http://itgip.org/wp-content/uploads/2013/11/Zbirka.pdf>
29. Трофимчук О.М., Азімов О.Т., Кураєва І.В. та ін. Особливості моніторингу гідросферних процесів у межах техноекосистем територій захоронення твердих побутових відходів з застосуванням дистанційних технологій. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання» (Київ, 01–02 жовт. 2019 р.): матеріали; за заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2019. С. 72–76. [https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1\\_Книга\\_сайт.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_Книга_сайт.pdf)
30. Трофимчук О.М., Кураєва І.В., Азімов О.Т. та ін. Геохімічні характеристики ґрунтових утворень районів захоронення побутових відходів за результатами екологічних досліджень. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. Вип. 3 (35). С. 5–21. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.3.%p>
31. Чисельність населення / Статистична інформація. Демографічна та соціальна статистика/. Населення та міграція: Київ: Державна служба статистики України, 2020. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
32. Шевченко М., Медведєва О.В. Екологічна оцінка впливу полігонів твердих побутових відходів Кіровоградської області на стан навколишнього середовища. *Наукові записки КДПУ ім. В. Винниченка*. Кіровоград, 2010. Вип. 10, ч. II. С. 313–315. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf>

33. Шевякіна Н.А., Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Клименко В.І. Методи і моделі космічного моніторингу зон впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25, № 1 (116). С. 62–72. <https://doi.org/10.15407/knit2019.01>
34. Abu-Zeid N., Bianchini G., Santarato G., Vaccaro C. Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy). *Environmental Geology*. 2004. Vol. 45. P. 439–447. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0895-x>
35. Adeolu O.A., Ada V.O., Gbenga A.A., Adebayo A.O. Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal Environmental Science and Technology*. 2011. Vol. 5, iss. 11. P. 933–940. doi: 10.5897/AJEST11.27
36. Aluko O.O., Sridhar M.K.C., Oluwande P.A. Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria. *Journal Environmental Health Research (JEHR)*. 2003. Vol. 2, iss. 1. P. 32–37. [https://www.researchgate.net/profile/Olufemi-Aluko2/publication/274243919\\_Characterization\\_of\\_leachates\\_from\\_a\\_municipal\\_solid\\_waste\\_landfill\\_site\\_in\\_Ibadan\\_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Olufemi-Aluko2/publication/274243919_Characterization_of_leachates_from_a_municipal_solid_waste_landfill_site_in_Ibadan_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf)
37. Azimov O.T., Bakhmutov V.G., Voytyuk Yu. Yu. et al. Reconnaissance integrated geocological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. 12th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine): Extended Abstracts. 2018. P. 1–5. doi: 10.3997/2214-4609.201803142
38. Azimov O.T., Dorofey Ye.M., Trofymchuk O.M. et al. Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. 13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine): Conference Proceedings. Vol. 2019. P. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>
39. Azimov O.T., Kuraeva I.V., Trofymchuk O.M. et al. Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. 18th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine): Conference Proceedings. Vol. 2019. P. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902129>
40. Azimov O.T., Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V. et al. Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine): Conference Proceedings. Vol. 2020. P. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>
41. Azimov O.T., Shevchuk O.V. Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine): Conference Proceedings. Vol. 2020. P. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>
42. Bauer M.J., Herrmann R., Martin A., Zellmann H. Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates. *Water Science and Technology*. 1998. Vol. 38, No 2. P. 185–192. <https://search.proquest.com/openview/ff40061ef856211c1411206e7c834ffa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>
43. Bhalla B., Saini M.S., Jha M.K. Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *International Journal Research Engineering and Technology (IJRET)*. 2013. Vol. 02, iss. 08. P. 223–232. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.681.5957&rep=rep1&type=pdf>
44. Chen D.M.C., Bodirsky B.L., Krueger T. et al. The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*. Accepted Manuscript online 3 April 2020. 20 p. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>
45. Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C. et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal Occupational Medicine and Toxicology*. 2006. Vol. 1:22. P. 1–6. doi: 10.1186/1745-6673-1-22
46. Гугл карти. <https://www.google.com/maps>
47. Kaliaskarova Z.K., Aliyeva Zh.N., Ikanova A.S., Negim E.S.M. Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *News Academy Sciences Republic Kazakhstan. Series Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 6, No 438. P. 256–267. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>
48. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban development Series. Washington, DC: World Bank, 2018. 295 p. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0
49. Mor S., Ravindra K., Dahiya R.P., Chandra A. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. Vol. 118. P. 435–456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>
50. Øygard J.K., Gjengedal E. Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *International Journal Environmental Research (IJER)*. 2009. Vol. 3, iss. 1. P. 61–68. [https://ijer.ut.ac.ir/article\\_33.html](https://ijer.ut.ac.ir/article_33.html)
51. Słomczyńska B., Słomczyński T. Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Polish Journal Environmental Studies*. 2004. Vol. 13, No 6. P. 627–637. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>
52. Trofymchuk O., Rogozhin O., Klymenko V. et al. Development the information-analytical system for assessing the impact of landfills on the environment and electronic management. 19th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConf.: SGEM 2019 (9-12 December, 2019, Vienna, Austria): Conference Proceedings. Iss. 4.2. P. 65–72. doi: 10.5593/sgem2019V4.2/S05.009

Надійшла до редакції 07.08.2020



REFERENCES

1. Azimov O.T. Geoecological monitoring of the ponds within the municipal solid waste landfills as an assessment of their sustainable operation. Int. Congr. «Science for Sustainable Development» (10-11 November 2019, Kyiv): Proc.; Ed. Prof. O.V. Kendyuhov. Kyiv: Assoc. for Promotion of education and science globalization SPACETIME, 2019. P. 30-35. <https://drive.google.com/file/d/1ICrH3vPSAWAy6i6cpMtvmlN1wt5721ku/view> (in Ukrainian).
2. Azimov O.T., Zlobina K.S., Karmazinenko S.P., Kuraeva I.V. Monitoring surface water quality in the regions of municipal solid waste disposal. Int. Sci. Ecol. Conf. «Agricultural Landscapes, Their Stability, and the Development Features» (24-26 March 2020, Krasnodar city): Proc. [Compiler L.S. Novopoltseva, Ed. I.S. Beliuchenko]. Krasnodar: Kuban State Agrarian Univ., 2020. P. 340-343. <http://ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2020.pdf> (in Russian).
3. Azimov O.T., Karmazynenko S.P., Kuraeva I.V., Voytyuk Yu.Yu. Analysis of the results of the complex geochemical investigations of samples for the landscape components within the affected zone of municipal solid waste disposal areas. Int. Sci. Ecol. Conf. «Waste, the Reasons of Their Formation and Prospects of Utilization» (26-27 March 2019, Krasnodar city): Proc. [Compiler L.S. Novopoltseva, Ed. I.S. Beliuchenko]. Krasnodar: Kuban State Agrarian Univ., 2019. P. 198-200. <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf> (in Russian).
4. Azimov O., Kuraeva I., Bakhmutov V., Voytyuk Yu., Karmazynenko S. Assessment of the heavy metal distribution in soils within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia – Visnyk (Bull.) Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv: Geol. (Ukraine)*. 2019. Iss. 4 (87). P. 76-80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11> (in Ukrainian with English abstract).
5. Azimov O.T., Kuraeva I.V., Voytyuk Yu.Yu., Samchyk A.I., Karmazynenko S.P., Bakhmutov V.G. Ecological-geochemical assessment of the territories for the municipal solid waste disposal. *Poshukova ta ekolohichna geokhimiia – Explor. Environ. Geochem. (Ukraine)*. 2018. No 1 (19). P. 22-26 (in Ukrainian with English summary).
6. Azimov O.T., Kuraeva I.V., Karmazynenko S.P., Zlobina K.S. Rational complex for the geochemical methods in the environment study of the municipal solid waste disposal areas. 6th Int. Geol. Forum «Actual problems and prospects of the development of geology: science and production» (17-22 June 2019, Odesa, Ukraine): Proc. Kyiv: UkrSGRI, 2019. P. 13-16. [http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material\\_geoforum\\_2019\\_1.pdf](http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material_geoforum_2019_1.pdf) (in Ukrainian with English summary).
7. Azimov O.T., Kuraeva I.V., Trofymchuk O.M., Karmazinenko S.P., Zlobina K.S. The heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the areas of municipal solid waste landfills. *Geoinformatyka – Geoinformatics (Ukraine)*. 2020. No 1 (73). P. 82-98. <http://www.geology.com.ua/> (in Ukrainian with English abstract).
8. Azimov O.T., Tomchenko O.V., Karmazynenko S.P., Kuraeva I.V., Voytyuk Yu.Yu. Monitoring the municipal solid waste landfill areas using the remote sensing technologies. In: Program development on the waste management for the united territorial communities: key problematic issues and the best practices: Proc. Nat. Forum «Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technologies» (22-23 November 2018, Kyiv). Kyiv: Centre for the ecol. education and information, 2018. P. 84-87 (in Ukrainian).
9. Azimov O.T., Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Karmazinenko S.P. Estimations of heavy metals in soils and different landscape components within the municipal solid waste disposal areas. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environ. Safety Nat. Resources (Ukraine)*. 2019. Iss. 2 (30). P. 5-17. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.5-17> (in Ukrainian with English abstract).
10. Azimov O.T., Shevchuk O.V., Azimova K.O. Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatyka – Geoinformatics (Ukraine)*. 2020. No 2 (74). P. 69-88. <http://www.geology.com.ua/> (in Ukrainian with English abstract).
11. Arinushkina E.V. Manual on soil chemical analysis; 2nd Eds, revised and enlarged. Moscow: Moscow Univ. Press, 1970. 488 p. (in Russian).
12. Bondar O.I., Klimchuk B.P., Kolyadinsky M.I., Molchak Ya.O. Environment in the conditions of influence of garbage dumps. Lutsk: RVV LNTU, 2013. 246 p. (in Ukrainian).
13. Waste. Statistical information. Economic statistics / Environment. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2020. <http://www.ukrstat.gov.ua/> (in Ukrainian).
14. Gotynian V.S., Aristov M.V., Tomchenko O.V., Mykolenko L.I. Application of the satellite images for the geodynamic zoning of Kyiv Oblast area (to analyze of the disposal for municipal solid waste landfills): Report. Kyiv: State Sci. Prod. Center «Pryroda», 2007. 30 p. (in Ukrainian).
15. Delehan-Kokaiko S., Slabkiy G., Lukianova V., Anpilova Y. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environ. Safety Nat. Resources (Ukraine)*. 2020. Iss. 2 (34). P. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52> (in Ukrainian with English abstract).
16. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast) (Text with EEA relevance). OJ L 334, 17.12.2010. P. 17-119.
17. Dolin V., Smyrnov V., Ischuk O., Orlov O. Technogenic & Environmental safety of Bug biogeosystem affected with heavy metal contamination; Ed. E. Sobotovich. Kyiv; Mykolayiv: RAL-polygraph, 2011. 200 p. (in Russian with English summary).
18. Karmazynenko S.P., Kuraeva I.V., Samchuk A.I., Voitiuk Iu.Iu., Manichev V.I. Heavy metals in the components of the environment Mariupol City: Ecological and geochemical aspects. Kyiv: Interservis, 2014. 168 p. <https://igu.org.ua/sites/default/files/pdf-text/heavy-metals-m.pdf> (in Ukrainian with English abstract).
19. Kuznetsov V.O., Shimko G.A. The method of stage-by-stage extracts for the geochemical studies. Minsk: Nauka i tekhnika, 1990. 88 p. (in Russian).
20. Lyuta N.G. On application of geochemical criteria (backgrounds and total pollution index) for the assessment of landscapes geochemical conditions. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI – Sci. Proc. UkrSGRI (Ukraine)*. 2004. No 2. P. 162-169 (in Ukrainian with English summary).
21. National atlas of Ukraine; Ed. L.G. Rudenko. Kyiv: SSPE «Kartographia», 2007. 435 p. (in Ukrainian).

22. Nikitin D.P., Novikov Yu.V., Roschin A.V., Zhilov Yu.D., Marchenko D.G., Yasinskiy A.A. Manual of health assistant and epidemiologist assistant; Eds D.P. Nikitin, A.I. Zaichenko; 2nd Eds, revised and enlarged. Moscow: Meditsina, 1990. 512 p. (in Russian).
23. Novokhatska N.A., Kreta D.L. Modelling and forecasting the impact of landfills on groundwat. *Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal – Ecol. Sci.: Sci. and practical J. (Ukraine)*. 2015. Iss. 1 (7). P. 71-79. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/8.pdf> (in Ukrainian with English summary).
24. Novokhatska N.A., Trofymchuk O.M. Technology inventory waste deposits methods of remote sensing. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya – Environ. Safety Nat. Resources (Ukraine)*. 2014. Iss. 14. P. 31-40 (in Ukrainian with English summary).
25. Environmental protection. Soils. Methods of sampling and preparing of samples for the chemical, bacteriological, and helminthological analyses: GOST 17.4.4.02–84. [Acting after 1986–01–01]. Moscow: Standardinform, 2008. 8 p. (in Russian).
26. Samchuk A.I., Bondarenko G.N., Dolin V.V., Sushchik Yu.Ya., Shramenko I.F., Mitskevich B.F., Egorov O.S. Physical and chemical conditions promoting formation of mobile forms of toxic metals in soils. *Mineralogicheskii zhurnal – Mineral. J. (Ukraine)*. 1998. Vol. 20, No 2. P. 48-59 (in Russian with English summary).
27. Sergeev E.M. Engineering geology – a science on geological environment. *Inzhnernaia geologia – Engineering Geol. (USSR)*. 1979. No 1. P. 3-19 (in Russian).
28. Tishaeva A.M., Tomchenko O.V. Localization and identification of patterns for the spatial distribution of landfill sites at the terrain of the Kyiv Oblast using RSE data. 15th Int. Sci. & Practical Conf. «Modern Information Technologies of the Ecological Management, Natural Resource Use and Emergency Measures» (03-06 October 2016, Kyiv, Pushcha-Vodytsia): Proc. Kyiv: LLC Yuston Press, 2016. P. 54-56. <https://itgip.org/wp-content/uploads/2013/11/Zbirka.pdf> (in Ukrainian).
29. Trofymchuk O.M., Azimov O.T., Kuraeva I.V., Zlobina K.S., Karmazynenko S.P. Features of the monitoring hydrosphere processes within the techno-ecosystems of the solid municipal waste disposal areas using remote sensing technologies. In: Dovhyi S.O. (Ed.) Multi-authored monograph based on the 18th Int. Sci. & Practical Conf. Proc. – Modern Information Technologies of the Ecological Management, Natural Resource Use and Emergency Measures: Topical Issues (01-02 October 2019, Kyiv). Kyiv: LLC Yuston Press, 2019. P. 72-76. [https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1\\_Книга\\_сайт.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_Книга_сайт.pdf) (in Ukrainian).
30. Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Azimov O.T., Karmazynenko S.P., Zlobina K.S. Geochemical characteristics for the soil deposits within the municipal waste disposal areas by the environment study results. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya – Environ. Safety Nat. Resources (Ukraine)*. 2020. Iss. 3 (35). P. 5-21. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.3.%0p> (in Ukrainian with English abstract).
31. Total population. Statistical information. Demographic and social statistics / Population and migration. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2020. <http://www.ukrstat.gov.ua/> (in Ukrainian).
32. Shevchenko M., Medvedieva O.V. Ecological evaluation of the impact of solid waste landfills on the state of environment. *Naukovi zapysky – Academic Notes (Ukraine)*. Kirovohrad: Kirovohrad Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical Univ., 2010. Iss. 10, part II. P. 313-315. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf> (in Ukrainian with English summary).
33. Sheviakina N.A., Trofymchuk O.M., Krasovsky G.Y., Klimenko V.I. Methods and models of space monitoring of zones of effect of solid domestic waste landfill on the environment. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia – Space Sci. Tech. (Ukraine)*. 2019. Vol. 25, No 1 (116). P. 62-72. <https://doi.org/10.15407/knit2019.01> (in Ukrainian with English abstract).
34. Abu-Zeid N., Bianchini G., Santarato G., Vaccaro C. Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy). *Environ. Geol.* 2004. Vol. 45. P. 439-447. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0895-x>
35. Adeolu O.A., Ada V.O., Gbenga A.A., Adebayo A.O. Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *Afr. J. Environ. Sci. Tech.* 2011. Vol. 5, iss. 11. P. 933-940. doi: 10.5897/AJEST11.27
36. Aluko O.O., Sridhar M.K.C., Oluwande P.A. Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria. *J. Environ. Health Res. (JEHR)*. 2003. Vol. 2, iss. 1. P. 32-37. [https://www.researchgate.net/profile/Olufemi\\_Aluko2/publication/274243919\\_Characterization\\_of\\_leachates\\_from\\_a\\_municipal\\_solid\\_waste\\_landfill\\_site\\_in\\_Ibadan\\_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Olufemi_Aluko2/publication/274243919_Characterization_of_leachates_from_a_municipal_solid_waste_landfill_site_in_Ibadan_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf)
37. Azimov O.T., Bakhmutov V.G., Voytyuk Yu.Yu., Dorofey Ye.M., Karmazynenko S.P., Kuraeva I.V. Reconnaissance integrated geoecological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. 12th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine): Extended Abstr. 2018. P. 1-5. doi: 10.3997/2214-4609.201803142
38. Azimov O.T., Dorofey Ye.M., Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Zlobina K.S., Karmazynenko S.P. Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. 13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine): Conf. Proc. Vol. 2019. P. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>
39. Azimov O.T., Kuraeva I.V., Trofymchuk O.M., Karmazynenko S.P., Dorofey Ye.M., Voytyuk Yu.Yu. Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. 18th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine): Conf. Proc. Vol. 2019. P. 1-7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902129>
40. Azimov O.T., Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Zlobina K.S., Karmazynenko S.P., Dorofey Ye.M. Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine): Conf. Proc. Vol. 2020. P. 1-7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>
41. Azimov O.T., Shevchuk O.V. Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine): Conf. Proc. Vol. 2020. P. 1-7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>
42. Bauer M.J., Herrmann R., Martin A., Zellmann H. Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates. *Wat. Sci. Tech.* 1998. Vol. 38, No 2. P. 185-192. <https://search.proquest.com/openview/ff40061ef856211c1411206e7c834ffa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>

43. Bhalla B., Saini M.S., Jha M.K. Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *Int. J. Res. Engineering Tech. (IJRET)*. 2013. Vol. 02, iss. 08. P. 223-232. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.681.5957&rep=rep1&type=pdf>
44. Chen D.M.C., Bodirsky B.L., Krueger T., Mishra A., Popp A. The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environ. Res. Lett.* Accepted Manuscript online 3 April 2020. 20 p. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>
45. Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A., Groneberg D.A. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2006. Vol. 1:22. P. 1-6. doi: 10.1186/1745-6673-1-22 <https://www.google.com/maps>
46. <https://www.google.com/maps>
47. Kaliaskarova Z.K., Aliyeva Zh.N., Ikanova A.S., Negim E.S.M. Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *KR YGA Habarlary. Heolohiya men tehnikalyk hilymdar seriyasy – News Acad. Sci. Rep. Kazakhstan: Geol. Tech. Sci.* 2019. Vol. 6, No 438. P. 256-267. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>
48. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban development Series. Washington, DC: World Bank, 2018. 295 p. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0
49. Mor S., Ravindra K., Dahiya R.P., Chandra A. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environ. Monit. Assess.* 2006. Vol. 118. P. 435-456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>
50. Øygaard J.K., Gjengedal E. Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *Int. J. Environ. Res. (IJER)*. 2009. Vol. 3, iss. 1. P. 61-68. [https://ijer.ut.ac.ir/article\\_33.html](https://ijer.ut.ac.ir/article_33.html)
51. Słomczyńska B., Słomczyński T. Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Pol. J. Environ. Stud.* 2004. Vol. 13, No 6. P. 627-637. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>
52. Trofymchuk O., Rogozhin O., Klymenko V., Sheviakina N., Kreta D. Development the information-analytical system for assessing the impact of landfills on the environment and electronic management. 19th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConf.: SGEM 2019 (9-12 December, 2019, Vienna, Austria): Conf. Proc. Iss. 4.2. P. 65-72. doi: 10.5593/sgem2019V/4.2/S05.009

Receive 07.08.2020

O.T. Azimov<sup>1</sup>, O.M. Trofymchuk<sup>2</sup>, K.S. Zlobina<sup>3</sup>, I.V. Kuraeva<sup>3</sup>, S.P. Karmazinenko<sup>4</sup>

<sup>1</sup> State Institution «Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NAS of Ukraine»,  
55-b, Oles Honchar Str., Kyiv, Ukraine, 01054,  
e-mail: azimov@casre.kiev.ua

<sup>2</sup> Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine,  
13, Chokolivskiy Blvd., Kyiv, Ukraine, 03186,  
e-mail: itelua@kv.ukrtel.net

<sup>3</sup> M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine,  
34, Acad. Palladina Av., Kyiv, Ukraine, 03680,  
e-mail: ecaterinka@ukr.net, ki4412674@gmail.com

<sup>4</sup> Institute of Geography of NAS of Ukraine,  
44, Volodymyrska Str., Kyiv, Ukraine, 01030,  
e-mail: karmazinenko78@gmail.com

## HEAVY METALS GEOCHEMISTRY IN SOIL FOR THE LANDFILL SITES ON THE RESULTS OF ENVIRONMENTAL STUDIES USING REMOTE SENSING DATA

**Introduction and problem definition.** Most landfills and dumps for the municipal solid waste (MSW) disposal in Ukraine do not have the engineering and geological maintenance. As a result within both the landfills and dumps and in the surrounding areas the soil deposits, surface water, high groundwater zone are undergone the substantial technogenic changes that often leads to the drastic changes of the plant communities. The soil formations are the most important biogenous and abiogenous deposit environment. The key role in physiological, bio- and geochemical processes, which proceed in the soils belongs to the heavy metals (HMs).

**Purpose** of studies is first of all to determine the maximum values for the different geochemical parameters of soil among all generalized data over the area of the Section «A» of the Kyiv's Landfill No 5 for MSW disposal and its buffer zone. The next step was the analytical comparison of these parameters with the same characteristics for the background soils, which are inherent in the region, where the Landfill is situated.

**Methods.** In order to measure the concentrations of the chemical elements in the soil samples such key methods as the atomic emission spectroscopy (AES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) are used. For planning and carry out the field study, for ecological interpretation of spatial distribution results of geochemical analysis there were used remote sensing data from satellites and the unmanned aerial vehicle.

**Results.** As a result of the analytical research and result of the previous stages of study it was found the significant contamination of the soil layer by the HMs within the Kyiv's Landfill area No 5 and the surrounding areas to the north-east and north-west. It was revealed also the negative its effect on the contents of these pollutants in the soil of adjacent buffer zone. This is a result of 34 years of the operation of the MSW disposal facility, when there were operating troubles.

So, soil deposits of the Landfill have get the maximum exceed of background contents for cooper, lead, nickel, and tin by from several to ten times, at the same time, beyond its contour – by 2–3 times. The negative changes of physical-chemical properties of soils of the humus horizon is revealed by the comparison with the proper indications for the soil samples collected in the sites adjacent to the Landfill and directly on its territory. The buffer coefficient of soil of this horizon is twice as lower for the technogenic polluted soils within the MSW disposal facility than for the background sites.

The contents of mobile forms for the HMs in the soil formations of the Landfill No 5 in the comparison with the background values increase 2 times for cooper and zinc, as well 8 times for lead.

**Prospects for the further studies.** In order to elucidate the mechanism of pollutant migration in the environment components for the area in question (soils–natural water–vegetation) it needs to carry out their ecological-geochemical sampling over the regular network of land-based sites as well as remote sensing multispectral surveys. The basic necessity is to focus efforts of the specialists on the seasonal assessment of Landfill No 5 impact on the environment conditions as a whole.

**Keywords:** Landfill, solid waste, heavy metals, soil, geochemical analysis, remote sensing data.

*A.Т. Азимов<sup>1</sup>, А.Н. Трофимчук<sup>2</sup>, Е.С. Злобина<sup>3</sup>, И.В. Кураева<sup>3</sup>, С.П. Кармазиненко<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Государственное учреждение «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины»,  
ул. О. Гончара, 55-б, Киев, Украина, 01054,  
e-mail: azimov@casre.kiev.ua

<sup>2</sup> Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины,  
Чоколовский б-р, 13, Киев, Украина, 03186,  
e-mail: itelua@kv.ukrtel.net

<sup>3</sup> Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины,  
пр-т Академика Палладина, 34, Киев, 03680, Украина,  
e-mail: ki4412674@gmail.com, ecaterinka@ukr.net

<sup>4</sup> Институт географии НАН Украины,  
ул. Владимирская, 44, Киев, Украина, 01030,  
e-mail: karmazinenko78@gmail.com

#### **ГЕОХИМИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ МУСОРНЫХ СВАЛОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ СХЕМОК**

Изложены результаты аналитического обобщения материалов новейших и предыдущих этапов исследований геохимических особенностей проб почвенных отложений по территории Киевского полигона № 5 захоронения твердых бытовых отходов и в прилегающих к ней с северо-востока и северо-запада районах. Применены такие основные методы: атомно-эмиссионный спектральный анализ, масс-спектрометрия с индукционно связанной плазмой. Установлено существенное загрязнение почвенного слоя тяжелыми металлами, прежде всего в пределах полигона № 5. Выявлено также негативное его влияние на содержание этих поллютантов в почвах буферной, в прилегающей к нему зоне. Это стало следствием 34-летнего функционирования объекта захоронения твердых бытовых отходов, на протяжении которого имели место нарушения в его эксплуатации. В частности, для почвенных образований полигона определено максимальное превышение фонового содержания меди, свинца, цинка, никеля и олова в десятки раз, а вне его контура – в 2–3 раза. Зафиксированы негативные изменения физико-химических свойств почв гумусового горизонта при сравнении с соответствующими показателями для образцов, отобранных в прилегающих к полигону районах и непосредственно на его территории. Коэффициент буферности почв этого горизонта почти в 2 раза меньше на техногенно загрязненных землях объекта захоронения твердых бытовых отходов, нежели на относительно фоновых участках. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвенных образованиях полигона № 5 сравнительно с фоновыми значениями возрастает в 2 раза для меди и цинка, в 8 раз – для свинца.

**Ключевые слова:** полигон, бытовые отходы, тяжелые металлы, почва, геохимический анализ, данные дистанционных съемок.