

УДК 550.4(292.485:477):502

DOI: 10.18524/2303–9914.2024.1(44).305384

І. В. Кураєва¹, д-р геол. наук, проф., зав. від.

ki4412674@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

А. О. Сплодитель¹, канд. геогр. наук, наук. співроб.

asplodytel@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

Т. О. Кошлякова¹, канд. геол. наук, старш. дослідник, докторант

tatianakoshliakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

О. В. Дерюгіна¹, інж. I кат.

derugina.eln@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-0220-635X>

О. Т. Азімов², д-р геол. наук, гол. наук. співроб.

azal07101@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-5210-3920>

К. В. Вовк¹, канд. геол. наук, заст. дир.

vovkkaterina90@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5076-260X>

¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка

НАН України

03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

²Інститут геологічних наук НАН України

01054, м. Київ, Україна, вул. Олесь Гончара, 55б

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ОЦІНКА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У БІОКОСНИХ СИСТЕМАХ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Встановлено закономірності розподілу мікроелементів у ґрунтах, природних водах, рослинності умовно чистих і техногенних ландшафтах Лісостепової зони України. Проведено аналітичні дослідження по визначенню рухомих форм знаходження мікроелементів в ґрунтових відкладах. Отримано дані щодо закономірностей розподілу важких металів у ґрунтах умовно чистих територій та Національного природного парку «Нижньосульський», а також їх вміст в рослинності паркових ландшафтів. Досліджено біокосні системи техногенних ландшафтів м. Бровари та Київського полігону № 5. Визначено підвищений вміст важких металів у ґрунтах м. Бровари та полігону № 5, що значно перевищує фонові значення. За допомогою методу термодинамічного моделювання отримано дані щодо форм міграції мікроелементів у природних водах техногенно-забруднених ґрунтів полігону № 5. Досліджено особливості мікроелементного складу питних підземних вод на території Коростишівського району Житомирської області. Порівняння біологічно значущих концентрацій (БЗК) основних мікроелементів підземних вод із визначеним під час дослідження їх вмістом у зразках води дозволило виявити особливості: у досліджуваних водах спостерігається надлишок таких елементів, як Sr і Ва. Натомість виявлено недостатню кількість елементів, таких як Li, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd та Pb. Ґрунтуючись на отриманих результатах, зроблено висновки про

наявність ризиків виникнення деяких мікроелементозних захворювань на досліджуваній території.

Ключові слова: біокосні системи, мікроелементи, форми знаходження, міграція, рухомі форми, умовно чисті території, техногенно-забруднені території.

ВСТУП

Проблема забруднення навколишнього середовища різними потенційно небезпечними речовинами і, найперше, важкими металами, вплив яких буде здійснюватись протягом багатьох років, є найважливішою для екологічної геохімії.

Російсько-українська війна ще більше загострила проблему деградації природного середовища, а висока інтенсивність бойових дій на окремих територіях поставила під сумнів безпечність їх використання (Сплодитель, Голубцов, Чумаченко, & Сорокіна, 2023). У статті Я. П. Дідуха (Дідух, 2022) дано попереднє оцінювання негативних наслідків воєнних дій на екосистему, які можуть проявлятися впродовж тривалого часу і виявитись ще більш руйнівними, ніж пряме механічне пошкодження. Значний внесок щодо вивчення закономірностей розподілу хімічних елементів у ґрунтах України внесли А. М. Марінич (1963), П. А. Власюк (1969), Н. К. Крупський, А. М. Олександрова (1964). Закономірності розподілу хімічних елементів у біокосних системах з метою ландшафтно-геохімічного районування України досліджував Б. Ф. Міцкевич (1965). Проведені дослідження Е. Я. Жовинським, І. В. Кураєвою (2022), Н. О. Крюченко та ін., (2022) по вивченню форм знаходження важких металів (ВМ) у ґрунтах України та форм їх міграції в ґрунтових розчинах та природних водах. Попри накопичений в літературі матеріал, залишаються недостатньо дослідженими форми знаходження і рухомості мікроелементів у ґрунтах; форми міграції хімічних елементів у ґрунтових розчинах, природних водах, надходження в рослинність. Вивчення важких металів у біокосних системах урбанізованих територій та їх екологічне оцінювання потребують системного, комплексного дослідження. Вивчення сполук важких металів у об'єктах довкілля техногенно-забруднених територій дає змогу виконувати прогнозну оцінку змін екологічного стану. Комплексне вивчення біогеохімічних провінцій передбачає детальніше оцінювання підвищеного вмісту або нестачі мікроелементів у ґрунтових відкладах, підземних та поверхневих водах, рослинності. Особливе значення має встановлення взаємозв'язку між вмістом хімічних елементів у життєво важливих для людини природних середовищах.

Головною *метою* цього дослідження є вивчення закономірностей розподілу мікроелементів у основних типах ґрунтів, рослинності та форм їх міграції в природних водах, фонових та техногенно-забруднених територій Лісостепу. Таким чином, *об'єктом* дослідження є аналіз вмісту мікроелементів у біокосних системах Лісостепової зони України.

Предметом дослідження є ґрунти, природні води (поверхневі, підземні) та рослинність, умовно чистих (Київська обл., с. Пуща-Водиця; Черкаська обл.с. Головатине; Полтавська обл., м. Миргород; Національний природний парк (НПП) «Нижньосульський», Коростишівський р-н Житомирської обл.) та техногенно-забруднених (Київська обл., м. Бровари, полігон № 5) територій Лісостепової зони України.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відбір проб ґрунтів, рослинності та води здійснено за період 2018–2022 рр. Загалом було відібрано 635 зразків ґрунту, 10 різновидів деревної та 25 трав'янистої рослинності, 150 зразків підземних вод. За Методикою ґрунтово-геохімічного обстеження передбачався відбір проб ґрунту на глибині 0–20 см методом конверта, а також за профілем ґрунту, згідно з чинними ДСТУ 4287:2004 й ДСТУ ISO 10381–2:2004. Вимірювання вмісту важких металів у зразках ґрунтів і природних вод виконано за допомогою методу маспектрометрії з індукційно-зв'язаною (ICP-MS) плазмою на аналізаторі *Element-2* (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М. П. Семененка НАН України. Під час застосування цього методу для визначення мікроелементів у зразках природних вод було використано стандарт *ISO 11885:2007 Waterquality Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OE)*. Форми знаходження мікроелементів у зразках ґрунту визначались методом постадійних витяжок (Самчук та ін., 1998). Форми міграції мікроелементів у природних водах визначались за допомогою методів математичного моделювання з використанням спеціалізованих програмних засобів *GEMs v.3.2* та *Hydra&Medusa* (Koshliakova, Zlobina, & Kuraieva, 2023). Під час обробки аналітичних даних використано математико-статистичні методи.

Природні умови досліджуваної території. Територія досліджень відноситься до зони Лісостепу – європейської ділянки природної лісової зони в межах України. Лісостепова зона не має виражених меж, оскільки степові райони вклинюються островами в лісову зону, а ліси входять у зону степів з окремими масивами. Північна межа лісостепу збігається з південною межею змішаної Лісової зони. Її можна простежити в безперервному розповсюдженні ландшафтів північного лісостепу, індикаторами яких є сірі лісові ґрунти, опідзолені чорноземи, що утворюються на лесоподібних породах. У зоні Лісостепу розвинені такі геохімічні класи ландшафтів – Ca-CO₃ | H-Fe (карбонатно-глейовий); H-Ca | H-Fe (кислий кальцієвий кислий глейовий); Ca-Na | H-Fe (кальцієво-натрієвий кислий глейовий) (Малишева, 1998). Для ландшафтів Лісостепової зони характерне поєднання широколистяних лісів та лучних степів. У геохімічному відношенні ці ландшафти мають риси як широколистяних лісів, так і лучних степів (Сорокіна, & Рога, 2011). В геологічному відношенні зона Лісостепу розміщена в межах Українського щита (УЩ), Дніпровсько-Донецької западини

та схилів Воронезького кристалічного масиву. УЩ – багатоярусна тектонічна плита, що характеризується різноманітністю кристалічних порід магматичного, метаморфічного та гідротермально-метасоматичного походження. У більшості вони представлені різноманітними гнейсами, амфіболітами, кварцитами, кристалосланцями, що прорвані гранітами та іншими виверженими породами. На поверхню ці породи виходять у вигляді відслонень у долинах річок, на вододілах перекриваються більш молодими осадовими породами (Щербаков, 2005; Бухарев, 1992).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Природні ландшафти зони Лісостепу. Авторами досліджувались «умовно чисті» території Лісостепу: Київської, Черкаської та Полтавської областей та територія НПП «Нижньосульський». Для оцінки вмісту мікроелементів й закономірностей їх розподілу, були вибрані найпоширеніші типи ґрунтів, згідно (Полупан, Соловей, & Величко, 2005). Досліджено шість типів ґрунтів: темно-сірі опідзолені середньо-гумусоаккумулятивні (Київська обл.), сірі-лісові слабо-гумусоаккумулятивні (Київська, Полтавська обл.), світло-сірі лісові слабо-гумусоаккумулятивні (Полтавська обл.), чорноземи типові гумусоаккумулятивні (Полтавська обл.) чорноземи опідзолені помірно-слабо-гумусоаккумулятивні (Черкаська обл.), чорноземи типові помірно високо-гумусоаккумулятивні (Полтавська обл.).

Узагальнена фізико-хімічна характеристика та фоновий вміст мікроелементів досліджених ґрунтів представлена у табл. 1.

У результаті аналізу досліджуваних зразків ґрунту «умовно чистих» територій Лісостепової зони щодо вмісту фонових значень рухомих форм окремих мікроелементів маємо такі показники – середній вміст рухомих форм важких металів у темно-сірих опідзолених ґрунтах становить, мг/кг: вміст Cu – 1; в типових чорноземах – 2; Co – 3; у світло-сірих опідзолених ґрунтах вміст рухомих форм Cu – 0,5; Zn – 0,14; Co – 1,23.

Варто зазначити, що актуальним для дослідження фонового вмісту важких металів у компонентах ландшафту є території природоохоронних об'єктів, які характеризуються значним ландшафтним різноманіттям і значно меншою кількістю антропогенних впливів. Авторами досліджувались ґрунти території Національного природного парку «Нижньосульський». Територія НПП «Нижньосульський» відноситься до Північно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (західна частина досліджуваної території) та Південно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (східна частина досліджуваної території) Лівобережно-Дніпровського Лісостепового краю Дніпровської терасової рівнини (Маринич, Пархоменко, Петренко, & Шищенко, 2003). У межах території дослідження домінують ландшафти лесових та моренно-воднольодовикових надзаплавних терас і річкових заплав.

Таблиця 1

**Фізико-хімічна характеристика та валовий вміст мікроелементів
у гумусовому горизонті умовно чистих ґрунтів Лісостепової зони**

Ґрунт	Валовий вміст мікроелементів, мг/кг							Гу-мус, %	рН водний	Поглиненні катіони, мг-екв/100г ґрунту			
	Co	Mn	Mo	Zn	Cu	Ni	Cr			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Темно-сірий опідзолений середньо-гумусо-акумулятивний, n – 27	18	900	60	21	26	33	100	1,90	7,2	20,42	3,40	0,22	0,74
Сірий-лісовий помірно-слабогумусо-акумулятивний, n – 25	12	700	12	45	12	17	52	2,03	4,5	14,97	4,00	0,20	0,21
Світло-сірий лісовий слабо-гумусо-акумулятивний, n – 27	10	800	14	46	11	–	–	0,94	4,8	4,61	2,10	0,27	0,21
Чорнозем типовий гумусо-акумулятивний, n – 22	25	320	12	52	20	16	19	4,26	7,4	–	–	–	–
Чорнозем опідзолений помірно-слабо-гумусо-акумулятивний, n – 30	16	1100	66	22	37	43	82	3,33	7,1	21,5	4,43	0,26	0,35
Чорнозем типовий помірно-високо-гумусо-акумулятивний, n – 27	19	360	12	40	32	12	90	4,67	6,8	–	–	–	–

n – кількість відібраних зразків.

Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території НПП «Нижньосульський» показав, що різко виражені відмінності простежуються на рівні класів, серед яких переважають кальцієві перехідні (H^+ - Ca^{2+}) та солонцюваті (Ca^{2+} - Na^+). Менше розповсюджені кислі, кислі глеюваті (H^+ , H^+ - Fe^{2+}), кальцій-магнієво карбонатні та інші класи (Сплодитель, 2018). Достовірним індикатором еколого-геохімічного стану території по оцінці розподілу та міграції ВМ у ґрунтах та в системі «ґрунт-рослина». Територія НПП знаходиться під впливом підприємств: ПАТ «Укрнафта», ТОВ «Надежда Ритейл», ПАТ «Укртрансгаз», склад отрутохімікатів ВАТ «Хорольська сільгоспхімія» тощо.

Концентрація Pb в пробах ґрунту НПП становить 25–40 мг/кг і перевищує фон (8–10 мг/кг). Також, відмічається підвищений вміст валових форм міді,

титану, хрому, ванадію в порівнянні з фоном. Фонові значення Ni (6–8 мг/кг), Co (3–5 мг/кг); вміст молібдену і цинку (1–2 і 50 мг/кг), що нижче фонових значень. Слід відмітити, що вміст металів у дерново-супіщаних ґрунтах знижуються в 1,5–2 рази порівняно з суглинковими. Найвиразніше ця закономірність проявляється у Cr, V, Ni, Zn. В чорноземах типових та дернових суглинкових ґрунтах валовий вміст Ni – 60 мг/кг, Ti – 3000 мг/кг, V – 50–60 мг/кг, Cr – 50–60 мг/кг, Cu – 80–100 мг/кг, Pb – 40–50 мг/кг вище фонових значень (Сплодитель, 2018).

Аналіз даних, щодо розподілу важких металів у рослинах території НПП змінюється для ванадію від 1 до 40 мг/кг, хрому від 2 до 30 мг/кг, міді від 4 до 100 мг/кг, нікелю від 1 до 50 мг/кг, свинцю від 2 до 25 мг/кг, марганцю від 10 до 4500 мг/кг, титану від 2 до 3000 мг/кг. Всі досліджені види рослин у переважній більшості акумулювали мідь та марганець, на другому місці за інтенсивністю накопичення – свинець, хром і ванадій. В окремих видах рослин високу акумулювальну здатність щодо накопичення міді демонстрував клен гостролистий (*Acer platanoides*), а низьку – верба попеляста (*Salix cinerea L.*) і яглиця звичайна (*Aegopodium Podagraria*). Представники цих видів у найменших кількостях накопичували також ванадій і титан, а максимальні кількості цих елементів концентрували представники видів грястиця збірна (*Dactylis glomerata*) і дзвінець пізній вузьколистий (*Rhinanthus major*). Спостерігалась тенденція до збільшення концентрації важких металів у деревних видах, що можна пояснити посиленням фіксації забруднювачів, що надходять аеральним шляхом, на листові поверхні. Деревна рослинність, в цілому, накопичувала більше важких металів, ніж трав'яниста (Сплодитель, 2018). Вміст важких металів у рослинах можна розташувати в наступний ряд: Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti. Це вказує на можливість надходження значної кількості сполук важких металів з ґрунтів у рослини (Кураєва, & Сплодитель, 2020).

Техногенно-забруднені ландшафти. Вивчалися закономірності розподілу мікроелементів у об'єктах навколишнього середовища (ґрунти, поверхневі та підземні води) на техногенно-забруднених ландшафтах зони Лісостепу на прикладі м. Бровари Київської області та одного з найбільших в Україні полігонів захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) – полігона № 5.

Досліджено техногенно-забруднені ґрунти території м. Бровари Київської обл. Для оцінки забрудненості ґрунтів використали коефіцієнт концентрації K_c , який розраховували за формулою: $K_c = C/C_f$, де: C – фактичний вміст забруднення; C_f – фоновий вміст (Кураєва, & Сплодитель, 2020).

Відповідно до фізико-географічного районування України (Маринич, Пархоменко, Петренко, & Шищенко, 2003), територія міста розташована на межі Дніпровського заплавно-борового району Північної лісостепової області Дніпровської терасової рівнини та Дніпровсько-Деснянського фізико-географічного району Чернігівського Полісся. Територія належить до Остерсько-Дарницького (центральна та південно-західна частини міста та Козелецько-Бориспільського

(північно-східна частина міста) ландшафтів давньоалювіальних (терасових) рівнин долини Дніпра.

Досліджувались території міста, що перебувають під впливом підприємств: Казенний завод порошкової металургії, ЗАТ «Броварський завод пластмас», СП «Броварський завод торгового машинобудування», КП «Київський завод алюмінієвих будівельних конструкцій», ТОВ «Полімер-колон».

Територія міста забруднена елементами I–III класу небезпеки – свинцем, цинком, кобальтом, міддю тощо (Сплодитель, 2020). Валовий вміст свинцю (Pb) в міських ґрунтах всіх функціональних зон Броварів перевищує його фоновий вміст (25–28 мг/кг). Низьким рівнем валового вмісту Pb характеризуються ґрунти ландшафтно-рекреаційної та житлової зон (16–21 мг/кг), в ґрунтах зон транспортної та інженерної інфраструктури (80–400 мг/кг). Для ґрунтів міста характерний підвищений вміст міді, який перевищує фон. Валовий вміст ванадію в ґрунтах громадської зони (10–18 мг/кг), а в ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів його вміст підвищений (>40 мг/кг). Вміст нікелю та кобальту (Ni – 8–10, Co – 4–6 мг/кг) не перевищує фон. Підвищений вміст цинку в ґрунтах спостерігається загалом на північному сході та північному заході району – в районах, індустріальних та прилеглих до основних автомобільних шляхів. Високий вміст цинку (530–827 мг/кг) характерний для ґрунтів неподалік підприємств: ЗАТ «Броварський завод пластмас», СП «Броварський завод торгового машинобудування». Забруднення ґрунтів марганцем особливо істотне поблизу підприємств «Казенний завод порошкової металургії» (1910 мг/кг) та ВАТ «Завод будівельних конструкцій» (2100 мг/кг) (Splodytel, 2020; Сплодитель, Кураєва, & Злобіна, 2020).

Вміст важких металів у ґрунтах Броварів підвищений порівняно з фоновими територіями. Відповідно до значень цього коефіцієнта, в ґрунтах міста спостерігається підвищений валовий вміст важких металів порівняно з фоновими значеннями. Вміст Cu, Pb, Zn підвищено в зонах інженерної інфраструктури й виробничих та комунально-складських об'єктів; Pb, Zn, Co – у зоні інженерної інфраструктури; Pb і Cu – в громадській зоні; Zn, Ni, Pb і Cu – в зоні транспортної інфраструктури.

Київський полігон № 5. За фізико-географічним районуванням територія полігона захоронення ТПВ № 5 входить до Васильківсько-Кагарлицького району Київської височинної області Подільсько-Придніпровського краю Лісостепової зони. Серед ландшафтів домінують лісостепові, представлені лесовими височинами, розчленованими ярами та балками, що врізані в палеогенові відклади, із зсувами, з еродованими темно-сірими опідзоленими ґрунтами. На території полігона домінує лісова рослинність із дубовими, грабово-дубовими і грабовими широколистяними лісами та агрофітоценозами на прилеглих землях.

За ландшафтно-геохімічним районуванням територія полігона № 5 розміщується в зоні зі здатністю до самоочищення та акумуляції. Поширені ці ландшафти на лесах і кристалічних породах. В їх межах добре виявляється

низхідна і висхідна міграція хімічних елементів, а також плащовий змив важких металів із ґрунтовим шаром і розвантаженням ґрунтових вод у зниженій частині рельєфу (долини річок, днища ярів). Ці процеси сприяють очищенню ландшафтів від техногенного забруднення. Разом з цим ландшафти цього класу зазнають значних еколого-геохімічних навантажень унаслідок забруднення важкими металами і токсичними речовинами, що надходять у довкілля з відходами (Azimov, Dorofey, Trofymchuk, Zlobina, & Karmazynenko, 2019; Азімов, Кураєва, Бахмутов, Войтюк, & Кармазinenko, 2019; Azimov, Trofymchuk, Kuraeva, Karmazinenko, & Dorofey, 2020).

Тверді побутові відходи на полігоні № 5 складаються в межах колишніх, заповнених ними двох лівих приток (ярів субмеридіонального спрямування) Ходосівської балки урочища Марусин Яр. Балка, по якій протікає р. Марусин Яр, у цьому місці простяглась між с. Підгірці (на відстані 750 м від окраїни) та с. Креничі (на відстані 500 м від окраїни).

Полігон № 5 уведений в експлуатацію у 1986 р. Свого часу це був «передовий» полігон, побудований у відповідності із західними нормами. Це котлован на місці зазначених приток Ходосівської балки, товщі сміття в якому перекриваються шарами плівки та інших матеріалів, які мали запобігти просочуванню у ґрунт фільтратів та насиченої хімікатами води (Azimov, Rogozhin, Trofymchuk, & Khrushchov, 2021). За 34 роки експлуатації потужностей полігона № 5 для захоронення ТПВ вже недостатньо, в його «тілі» під дією опадів накопичився фільтрат. Саме через витікання фільтрату в землю і забруднення ним довкілля, передусім підземних вод, пов'язаний критичний екологічний стан полігона. Адже утворені водні розчини насичені токсичними речовинами, і є хімічно й біологічно активними. Поряд з полігоном протікає р. Сіверка, яка нижче впадає у р. Віту і, зрештою, у р. Дніпро.

В ґрунтовому покриві полігону домінують темно-сірі опідзолені ґрунти переважно на лесових породах, а також чорноземи опідзолені на лесах. У досліджуваних пробах ґрунтових утворень визначені (Azimov, Trofymchuk, Kuraeva, Karmazinenko, & Dorofey, 2020; Кураєва, Кошлякова, Азімов, Злобіна, & Хрущов, 2021; Kuraieva, Koshliakova, Azimov, Zlobina, & Khrushchov, 2021) рухомі форми знаходження Cu, Zn, Co і Ni; встановлено залежність вмісту рухомих форм від фізико-хімічних властивостей ґрунту. До рухомих форм належні водорозчинна форма та фракція легкообмінних іонів. Валовий вміст мікроелементів у досліджуваних зразках значно перевищує фон, також відмічається підвищений вміст рухомих форм металів.

Під час виконання дослідження були відібрали зразки підземних вод зі свердловин, розміщених на присадибних ділянках с. Підгірці, а також було зразки поверхневої води зі ставка, розташованого власне на території полігона (Azimov, Dorofey, Trofymchuk, Zlobina, & Karmazynenko, 2019; Азімов, Кураєва, Трофимчук, Злобіна, & Кармазinenko, 2020; Kuraieva, Koshliakova, Azimov, Zlobina, & Khrushchov, 2021).

Вода зі свердловин за хімічним складом переважно є гідрокарбонатно-кальцієвою та гідрокарбонатною, змішаною за катіонним складом. Натомість відібрана для аналізу вода зі ставка на території полігона є гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвою. За допомогою методу математичного моделювання спеціалізованого програмного засобу *MINTEQA 2* (Allison, Brown, & Novo-Gradac, 1990) встановлено міграційні форми мікро- та макроелементів з органічними та мінеральними компонентами аналізованих зразків води. Розрахунок здійснено з використанням інформації щодо термодинамічних даних комплексних сполук металів з органічною речовиною.

Проведені розрахунки показали, що у разі збільшенні концентрації металів вміст фульватних та гуматних комплексів металів значно зменшується, водночас підвищується вміст їх вільних гідратованих катіонів. У ході дослідження зразків води на вміст мікроелементів, відібраних у межах с. Підгірці (підземної та поверхневої), встановлено суттєве відхилення від санітарних норм. Зокрема, для ґрунтових вод, що використовуються для питного водоспоживання місцевого населення, зафіксовано перевищення ГДК за окремими показниками, а саме: вміст нітратів перевищує ГДК за ДСТУ 7525:2014 майже утричі, присутність у воді Fe, Mn, Co, Ni, Mo, Pb також не відповідає вимогам для питної води. Для вод ставка, що розташований безпосередньо на території полігона № 5, фіксуються значні відхилення від ГДК: вміст Fe перевищує у 17 разів, Mn – у 32 рази, Ni – удвічі, Ti – у 8,5 рази, V – у 2,6 рази, Cu – у 51 раз, Zn – удвічі.

Мікроелементи у природних водах досліджуваних територій Лісостепу.

На сьогодні постійно зростаючий рівень антропогенного забруднення об'єктів навколишнього середовища (ґрунтів, природних вод та атмосферного повітря), зумовлює необхідність проведення постійного моніторингу їхнього стану. Особливо важливим є встановлення елементного складу питної води та вивчення особливостей його формування на територіях окремих країн у зв'язку зі світовою проблемою забезпечення людства якісною та безпечною питною водою, яка є основою життєдіяльності людини. Актуальним є вирішення цих завдань і для різних гідрогеологічних регіонів України, які відрізняються рядом геохімічних особливостей. Необхідність наявності певної кількості мінеральних речовин у питній воді є важливою для збалансованого вмісту їх в організмі людини, що безпосередньо визначає її здоров'я (Кондратюк, 1989; Лютай, 1992).

У зв'язку з цим встановлення мікроелементного складу питних підземних вод природного походження у різних гідрогеологічних регіонах України є вкрай необхідним як для її безпечного використання населенням, так і для районування території України за мікроелементним складом питної води природного походження. Хімічні елементи можуть потрапляти у водойми з різноманітних природних і антропогенних джерел різними шляхами. Деякі з мікроелементів є природними складовими. Наприклад, Zn, Co та Mo завжди присутні в низьких концентраціях у питних водах. Природні джерела надходження хімічних

елементів можуть бути пов'язані з процесами ерозії рудних проявів, перенесенням металовмісного пилу вітром, лісовими і степовими пожежами тощо. До антропогенних джерел знаходження, основа яких – процеси індустріалізації та урбанізації, належать процеси згоряння палива, видобування корисних копалин, вихлопні гази автотранспорту, депонування твердих побутових відходів, застосування елементів у складі добрив і пестицидів тощо.

Протягом 2020 р. авторами було здійснено пробовідбір зразків води із свердловин, розташованих на присадибних ділянках населених пунктів с. Високий Камінь та с. Городське, які розташовані в межах Житомирської області. Глибина свердловин коливалась в межах 10–20 м (с. Високий Камінь).

На попередньому етапі дослідження автори визначили загальний хімічний склад досліджуваних вод та виконали порівняльний аналіз. Результати загального хімічного аналізу зразків води представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Загальний хімічний склад зразків води з водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (с. Високий Камінь, Житомирської обл.)

Найменування показника	Значення показника	ГДК, за ДСТУ 7525:2014*	ГДК, за ДСанПіН 2.2.4–171–10**	Клас якості води, за ДСТУ 4808:2007***
pH	7,22	6,5–8,5	6,5–8,5	2
Жорсткість, мг-екв/дм ³	6,9	7	10	2
Кальцій, мг/дм ³	96,2	130	не визначають	не визначають
Магній, мг/дм ³	25,54	80	не визначають	3
Лужність, мг-екв/дм ³	4,9	6,5	не визначають	2
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	289,9	не визначають	не визначають	не визначають
Хлориди, мг/дм ³	39,1	150	350	1
Сульфати, мг/дм ³	24	150	500	1
Залізо загальне, мг/дм ³	0,05	відсутність	1	1
Сухий залишок, г/дм ³	0,304	1	1,5	1
Na + K сумарно, мг/дм ³	9,2	»	не визначають	не визначають

Примітка. Загальна кількість зразків – 10; *ДСТУ 7525:2014 Державний стандарт України «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»; **ДСанПіН 2.2.4–171–10 Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»; ***ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання».

Порівняльний аналіз дав змогу виявити такі особливості: підземні води водоносного горизонту у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (с. Високий Камінь) за своїм складом є гідрокарбонатними магнієвими кальцієвими. Згідно з вітчизняними нормативними вимогами, перевищень ГДК не зафіксовано.

Винятком є лише показник загальної жорсткості, величина якого фактично відповідає величині ГДК, згідно з нормативом ДСТУ 7525:2014 Державний стандарт України «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Результати оцінки якості води за блоком загально санітарних хімічних показників характеризували досліджені підземні води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{\text{БЦП}} = 1,63$, клас 2, підклас 1–2) як перехідні за якістю від «відмінної» дуже чистої до «доброї», чистої.

Для підземних вод Житомирської обл., автори проаналізували динаміку змін у часі таких показників загального хімічного складу як загальна мінералізація, іони Ca, Mg, SO₄ та Cl. Період спостережень за коливаннями концентрацій вказаних показників охоплював березень 2017 – грудень 2019 рр. (Кошлякова та ін., 2022). Відомо, що інтенсивність водовідбору, яка визначає гідродинамічні умови взаємодії поверхневих та підземних вод, є одним з головних чинників зміни їх хімічного складу. Виявлено значущу кореляцію між концентраціями Mg, SO₄, Cl та їх нормованими показниками за величиною водовідбору (табл. 3). Коефіцієнти кореляції Пірсона R становили, відповідно: для Mg $R = 0,82$; для SO₄ $R = 0,63$; для Cl $R = 0,76$. Також було виконано порівняння основних показників хімічного складу підземних вод з величиною водовідбору (Koshliakova, & Kuraieva, 2023). Отримані результати свідчать, що у водоносному горизонті тріщинуватой зони кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання під час збільшення водовідбору підвищується вміст мінеральних речовин, що підтверджує гіпотезу про істотну роль антропогенного чинника у ході формування хімічного складу досліджуваних підземних вод.

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції Пірсона між показниками загального хімічного складу води та їх нормованими за величиною водовідбору значеннями (водоносний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання, с. Високий Камінь)

Коефіцієнт кореляції Пірсона R	Нормований показник				
	мінералізації	Ca	Mg	SO ₄	Cl
Мінералізація	0,11				
Ca		0,07			
Mg			0,82		
SO ₄				0,63	
Cl					0,76

На наступному етапі дослідження авторами було вивчено мікроелементний склад зразків досліджуваних підземних вод. Загалом було проаналізовано 10 мікроелементів (табл. 4). Вибір даних хімічних елементів обумовлений тим, що Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) для них розроблено нормативи. Це дає змогу оцінити підземні води з точки зору потенційних ризиків для здоров'я населення, що їх споживають.

Виконано порівняльний аналіз мікроелементного складу підземних вод з величинами біологічно значимих концентрацій (БЗК), обрахованих за методикою (Барвиш, & Шварц, 2000), а також з нормативами (World Health Organization, 2022).

Таблиця 4

**Мікроелементний склад зразків досліджуваних підземних вод
(с. Високий Камінь), мг/дм³**

Мікроелемент, мг/дм ³	Водонесний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (с. Високий Камінь)	БЗК*	ГДК (за ВООЗ)
Sr	0,001729	0,00175	0,05
Mn	0,000633	0,05	0,08
Ni	0,000864	0,0075	0,07
Cu	0,012659	0,025	2
Zn	0,023665	0,3	3
As	0,000008	–	0,01
Cd	0,000081	0,0025	0,003
Ba	0,065276	0,02	1,3
Pb	0,000249	0,01	0,01
U-238	0,000048	–	0,03

Примітка. БЗК – біологічно значима концентрація, за (Barvish, Shvarts, 2000).

У результаті аналізу особливостей мікроелементного складу досліджуваних підземних вод авторами виявлені наступні закономірності: перевищень нормативів, рекомендованих ВООЗ, для досліджуваних мікроелементів, у обстежених зразках підземних вод не зафіксовано. Натомість спостерігаються істотні відхилення від величин БЗК – зафіксовано нестачу у воді таких есенціальних елементів як Mn, Cu та Zn. При цьому вміст Mn на кілька порядків менший за БЗК. Концентрація Sr відповідає встановленій для нього величині БЗК. Концентрація Ba утричі перевищує БЗК. Нижчі за БЗК величини важких металів – Ni, Cd, Pb.

Зокрема, виявлені надлишкові концентрації Sr та Ba можуть спричинити виникнення так званої уровської хвороби (хвороби Кашина-Бека). Нестача Mn може негативно впливати на процеси формування кісткової і сполучної тка-

нини, викликати дисбаланс у вуглеводному і ліпідному обміні, супроводжуватися порушеннями в репродуктивній системі. Си є одним з найважливіших незамінних мікроелементів, необхідних для життєдіяльності людини. Він бере участь у метаболізмі Fe, процесах насичення тканин організму людини киснем, стимулює засвоєння білків і вуглеводів. Клінічні прояви недостатнього споживання можуть виявлятися у вигляді порушень формування серцево-судинної системи і скелету, розвитку дисплазії сполучної тканини. Zn життєво необхідний для людини, оскільки бере участь у біосинтезі нуклеїнових кислот, РНК- і ДНКполімераз, є обов'язковим складником ферменту крові, який міститься в еритроцитах. Дефіциту цього елемента в організмі людини може проявлятися у пригніченні ферментної активності, а також в уповільненому заживанні ран, може викликати анемію, вторинний імунodefіцит, цироз печінки та статеву дисфункцію.

ВИСНОВКИ

Встановлено закономірності розподілу і форми знаходження мікроелементів у біоосних системах природних та техногенних ландшафтів досліджуваних територій Лісостепової зони України. Визначено фонові значення валових форм мікроелементів та їх рухомі форми в основних типах ґрунтів умовно чистих територій.

Виконано аналіз вмісту важких металів у ландшафтних комплексах території НПП «Нижняосульський». Вміст мікроелементів Pb, Cu, Ti, Cr, V в пробах ґрунту які знаходяться під впливом підприємств різного профілю, підвищений в порівнянні з фоном. Найбільша здатність до біоаккумуляції в рослинах території НПП виражена у марганцю та купруму. В цілому вміст важких металів у рослинах території НПП «Нижняосульський» можна вважати фоновим.

Встановлено, що вміст важких металів в ґрунтах міста Бровари підвищений в порівнянні з фоновими територіями. На закономірності розподілу мікроелементів впливають ступінь техногенно-антропогенного навантаження та фізико-хімічний склад ґрунту.

Отримано дані, щодо високого вмісту важких металів у ґрунтах досліджуваної території захоронення твердих побутових відходів Київського полігону № 5, який значно перевищує фонові значення. Також, в ґрунтах полігону значно підвищується вміст рухомих форм мікроелементів та їх міграція в природні води та рослинність.

Встановлені особливості мікроелементного складу підземних вод, що використовуються для питного водопостачання мешканців с. Високий Камінь Коростишівського району Житомирської області. Зважаючи на те, що місцеве населення вживає досліджувану воду постійно, і вона є основним джерелом надходження біологічно значущих хімічних елементів до організму, на даній території існують ризики виникнення ряду мікроелементозних захворювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Азімов О. Т., Курасва І. В., Бахмутов В. Г., Войтюк Ю. Ю., Кармазиненко С. П. Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2019. Вип. 4 (87). С. 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>.
- Азімов О., Курасва І., Трофимчук О., Злобіна К., Кармазиненко С. Моніторингова оцінка якості поверхневих вод у районах захоронення твердих побутових відходів // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. Вип. 4 (91). С. 56–60. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.08>.
- Барвиш М. В., Шварц А. А. Новый подход к оценке микрокомпонентного состава подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения // *Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2000. 5, 467–473.
- Бухарев, В. П. Эволюция докембрийского магматизма западной части Украинского щита // Киев: Наук. думка. 1992. 152 с.
- Власюк, П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений // Киев: Наук. думка. 1969. 513 с.
- Дідух Я. П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями // *Вісник Національної академії наук України*. 2022. № 6. С. 16–25. <https://doi.org/10.15407/vsn2022.06.016>.
- Жовинський, Э. Я., Кураева, И. В. *Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины*. Киев: Наук. думка. 2002. 213 с.
- Кондратюк, В. А. Гигиена и санитария. 1989. № 2. С. 81–82.
- Кошлякова Т., Курасва І., Кошляков О., Олексенко Л., Швайка І., Проскурка Л. Мікроелементний склад питних підземних вод на території Коростишівського району Житомирської області у системі гідрогеохімічного моніторингу // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*. 2022. № 2 (97), С. 85–91. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.11>.
- Крупський, Н. К., Александрова, А. М. К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов. Микроэлементы в жизни растений, животных и человека // *Тр. координац. совещ. проблемной коллегии АН УССР*. Киев: Наук. думка. 1964. 325 с.
- Крюченко Н. О., Жовинський Е. Я., Папарига П. С., Жук О. А., Кухар М. В. Хімічний склад води з джерел Карпатського біосферного заповідника // *Мінералогічний журнал*. 2022. 44 (4), С. 61–72. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.061>.
- Курасва І. В., Кошлякова Т. О., Азімов О. Т., Злобіна К. С., Хруцов Д. П. Геохімічна трансформація об'єктів довкілля в межах полігонів захоронення твердих побутових відходів (на прикладі міста Києва) // *Геохімія техногенезу: зб. наук. пр. ДУ «ІГНС НАН України»*. 2021. Вип. 6 (34), С. 113–122. <https://doi.org/10.15407/geotech2021.34.113>.
- Курасва, І. В., Сплодитель, А. О. Розподіл важких металів у системі «ґрунт – рослина» в ландшафтах природоохоронних територій // *Геохімія техногенезу*. 2020. Вип. 3 (31). С. 79–89. <https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.079>.
- Лютай Г. Ф. Влияние минерального состава питьевой воды на здоровье населения // *Гигиена и санитария*. 1992. № 1, С. 13–15.
- Малишева, Л. Л. *Теорія та методика ландшафтно-геохімічного аналізу й оцінки екологічного стану території*: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук // Київ. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ. 1998.
- Маринич, А. М. Геоморфологія южного Полісся // Киев: Изд-во Киев. ун-та. 1963. 252 с.
- Маринич О. М., Пархоменко Г. О., Петренко О. М., Шищенко П. Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України // *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16–20.
- Мицкевич, Б. Ф. *Геохимические методы поисков и условия их применения на Украине и Молдавии* // Киев: Наук. думка. 1965. 128 с.
- Полупан, М. І., Соловей, В. Б., Величко, В. А. *Карта «Ґрунти України» м-бу 1: 1 430 000* // Київ-Харків. 2005.
- Самчук А. І., Бондаренко Г. Н., Долин В. В., Суцук Ю. Я., Шраменко І. Ф., Мицкевич Б. Ф., Егоров О. С. Фізико-хімічні умови формування мобільних форм токсичних металів в ґрунтах // *Мінералогічний журнал*. 1998. Т. 20, № 2., С. 48–59.
- Сорокіна Л. Ю., Рого І. В. Геопросторовий аналіз антропогенних змін ландшафтно-геохімічних умов території (теоретичний аспект) // *Український географічний журнал*. 2011. № 1, С. 38–43.
- Сплодитель, А. О. Ландшафтознавче обґрунтування оптимізації діяльності національних природних парків України (на прикладі національних природних парків «Нижньосульський» та «Олешківські піски»): автореф. дис. ... канд. геогр. наук // Одес. держ. екол. ун-т. Одеса. 2018. 22 с.

- Сплодитель А. О. Эколого-геохимические исследования почв средних городов в зоне влияния промышленных предприятий // *Природопользование*. 2020. № 1, С. 98–107.
- Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., Сорокіна, Л. Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу // Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія». 2023. 154 с.
- Сплодитель А. О., Кураєва І. В., Злобіна К. С. Особливості акумуляції важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів м. Бровари // *Геологічний журнал*. 2020. № 2, С. 39–51. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>.
- Щербаков, И. Б. Петрология Украинского щита // Львов: ЗУКЦ. 2005. 306 с.
- Allison, I.D., Brown, D.S., Novo-Gradac, K.I. (1990), MINTEQA 2 PRODEFA 2. A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version Z. O. User's Manual VS Environmental Protection Agency, 278 p.
- Azimov, O.T., Dorofey, Y.M., Trofymchuk, O.M., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P. (2019). Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. Proc. 13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, pp. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>.
- Azimov, O.T., Rogozhin, O.G., Trofymchuk, O.M., Khrushchov, D.P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. Proc. 20th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, pp. 1–8. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521169>.
- Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M. (2020). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. Proc. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, pp. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>.
- Koshliakova, T., Zlobina, K., Kuraeva, I. (2023), Ecological and geochemical aspects of interlayer water use for potable water supply of urban population: a case study in the Dnieper–Donetsk aquifer system, Springer, Acta Geochimica, Vol. 42, Issue 381, 2023, P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11631-023-00604-y>.
- Koshliakova, T., Kuraeva, I. (2023), Hydrogeochemical features of groundwaters of the Ukrainian shield fractured crystalline rocks on the example of Zhytomyr and Vinnytsia regions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, Vol. 32, № 3, pp.525–539. <https://doi.org/10.15421/112347>.
- Kuraeva, I.V., Koshliakova, T.O., Azimov, O.T., Zlobina, K.S., Khrushchov, D.P. (2021). Modelling of environmental objects geochemical transformation within solid waste landfills. Proc. 20th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521039>.
- Spodytel, A.O. (2020), Patterns of spreading of heavy metals in soils of urbanized landscapes (on the example of Brovary city). *J. Geol., Geograph. and Geoecol.*, Vol. 29, No. 3, pp. 580–590. <https://doi.org/10.15421/112053>.
- Guidelines for drinking-water quality: for the edition incorporating the first and second addenda. (2022), Geneva: World Health Organization. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>.

REFERENCES

- Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Bakhmutov, V.H., Voitiuk, Yu. Iu., Karmazynenko, S.P. (2019), Otsinka rozpodilu vazhkykh metaliv u gruntakh raioniv zakhoronennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv. (Evaluation of the distribution of heavy metals in the soils of solid waste disposal areas). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. Vol. 4 (87). P. 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>. [in Ukrainian].
- Azimov, O., Kuraeva, I., Trofymchuk, O., Zlobina, K., Karmazynenko, S. (2020), Monitorynhova otsinka yakosti povirhnevnykh vod u raionakh zakhoronennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv. (Monitoring assessment of the quality of surface water in the areas of disposal of solid household waste). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. Vol. 4 (91). P. 56–60. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.08>. [in Ukrainian].
- Barvysh, M.V., Shvarts, A.A. (2000), Novyy podkhod k otsenke mykrokomponentnoho sostava podzemnykh vod, yspolzuemukh dlia pytevoho vodosnabzhenyia. (A new approach to assessing the microcomponent composition of groundwater used for drinking water supply). *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. Vol. 5. P. 467–473 [in Russian].
- Bukharev, V.P. (1992). Evoliutsiia dokembryiskoho mahmatizma zapadnoi chasty Ukrainського shchita. (Evolution of Precambrian magmatism in the western part of the Ukrainian Shield). *Nauk. dumka*, Kyiv. 152 p. [in Russian].
- Vlasiuk, P.A. (1969). Biologicheskie elementy v zhiznedeiatelnosti rastenyi. (Biological elements in the life of plants). *Nauk. dumka*, Kyiv, 513 p. [in Russian].

- Didukh, Ya. P. (2022), Ekosystemnyi pidkhdid do otsinky zbytkiv, zavdanykh voiennyimi diiamy. (An ecosystem approach to the assessment of damage caused by military actions). *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*. № 6. P. 16–25. <https://doi.org/10.15407/vsn2022.06.016>. [in Ukrainian].
- Zhovynskiy, E. Ya., Kuraeva, I.V. (2002). Heokhimiya tiazhelukh metallov v pochvakh Ukrainy. (The geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine). Nauk. dumka, Kyiv. 213 p. [in Russian].
- Kondratiuk, V.A. (1989). Gigiena i sanitariya. (Hygiene and sanitation). № 2. P. 81–82. [in Russian].
- Koshliakova, T., Kuraeva, I., Koshliakov, O., Oleksenko, L., Shvaika, I., Proskurka, L. (2022), Mikroelementnyi sklad pytnykh pidzemnykh vod na terytorii Korostyshivskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti u systemi hidroheokhimichnoho monitorynhu (Microelement composition of potable groundwater in Korostyshiv district of Zhytomyr region in hydrogeochemical monitoring system). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 2022. Vol. 2 (97). P. 85–91. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.11>. [in Ukrainian].
- Krupskiy, N.K., Aleksandrova, A.M. (1964). K voprosu ob opredelenii podvyzhnykh form mikroelementov. Mikroelementy v zhyzni rasteniy, zhyvotnykh i cheloveka. (On the issue of determining the mobile forms of microelements. Microelements in the life of plants, animals and humans). *Tr. koordinats. soveshch. problemnoi kollehi AN UkrSSR, Nauk. Dumka. Kyiv*. 325 p. [in Russian].
- Kriuchenko, N.O., Zhovynskiy, E. Ia., Paparyha, P.S., Zhuk, O.A., Kukhar, M.V. (2022), Khimichniy sklad vody z dzherel Karpatskoho biosfernoho zapovidnyka. (Chemical composition of water from sources of the Carpathian Biosphere Reserve). *Mineralogical journal*. Vol. 44 (4). P. 61–72. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.061>. [in Ukrainian].
- Kuraeva, I.V., Koshliakova, T.O., Azimov, O.T., Zlobina, K.S., Khrushchov, D.P. (2021), Heokhimichna transformatsiia ob'ektiv dovkillia v mezhakh polihoniv zakhoronennia tverdykh pobutovykh vidkhdodiv (na prykladi mista Kyieva). (Geochemical transformation of environmental objects within solid waste landfills (on the example of the city of Kyiv)). *Geochemistry of technogenesis: zb. nauk. pr. DU «IHNS NAN Ukrainy»*. Vol. 6 (34). P. 113–122. <https://doi.org/10.15407/geotech2021.34.113>. [in Ukrainian].
- Kuraeva, I.V., Splodytel, A.O. (2020). Rozpodil vazhkykh metaliv u systemi «hrunt-roslyna» v landshaftakh pryrodokhoronnykh terytorii. (Distribution of heavy metals in the “soil – plant” system in the landscapes of protected areas). *Geochemistry of technogenesis*. Vol. 3 (31). Kyiv, P. 79–89. <https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.079>. [in Ukrainian].
- Liutai, H. F. (1992), Vliyanye myneralnogo sostava pytevoi vody na zdorove naseleniya. (The influence of the mineral composition of drinking water on the health of the population). *Hyhyena y sanytariya*. № 1. P. 13–15. [in Russian].
- Malysheva, L.L. (1998). *Teoriya ta metodyka landshaftno-heokhimichnoho analizu y otsinky ekolohichnoho stanu terytoriy*. (Theory and methodology of landscape-geochemical analysis and assessment of the ecological state of territories). Avtoreferat dyss. d-ra heohr. nauk, Kyivsky un-t im. Tarasa Shevchenka. Kyiv. [in Ukrainian].
- Marinych, A.M. (1963). Heomorfolohiya yunoho Polesia. (Geomorphology of young Polesie). Izd-vo Kyiv, un-ta. Kyiv. 252 p. [in Russian].
- Marynych, O.M., Parkhomenko, H.O., Petrenko, O.M., Shyshchenko, P.H. (2003), Udoskonalena skhema fizyko-heohrafichnoho raionuvannia Ukrainy. (Improved scheme of physical and geographical zoning of Ukraine). *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. № 1. P. 16–20. [in Ukrainian].
- Mitskevych, B.F. (1965). Geokhimicheskie metody poiskov i usloviya ikh primeneniya na Ukraine i Moldavii. (Geochemical prospecting methods and conditions for their application in Ukraine and Moldova). Nauk. Dumka. Kyiv. 128 p. [in Russian].
- Polupan, M.I., Solovei, V.B., Velychko, V.A. (2005). Karta «Grundy Ukrainy» masshtabu 1: 1430 000. (Map “Soils of Ukraine” scale 1: 1430 000). Kyiv-Kharkiv. [in Ukrainian].
- Samchuk, A. Y., Bondarenko, H. N., Dolyn, V. V., Sushchik, Yu. Ya., Shramenko, Y. F., Mytskevych, B. F., Ehorov, O. S. (1998). Fyzyko-khymycheskye usloviya obrazovanyia mobyl'nykh form toksychnykh metallov v pochvah. (Physicochemical conditions for the formation of mobile forms of toxic metals in soils). *Mineral. Journ. (Ukraine)*. Vol. 20 (2). P. 48–59. [in Russian].
- Sorokina, L. Yu., Roha, I. V. (2011), Heoprostorovi analiz antropohennykh zmin landshaftno-heokhimichnykh umov terytorii (teoretychnyi aspekt). (Geospatial analysis of anthropogenic changes in landscape-geochemical minds of the territory (theoretical aspect)). *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. № 1. P. 38–43. [in Ukrainian].
- Splodytel, A.O. (2018). Landshaftoznavche obgruntuvannia optymizatsii diialnosti natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy (na prykladi natsionalnykh pryrodnykh parkiv «Nyzhnyosul'skyi» ta «Oleshkivski pisky»). (Landscaping rationale for optimizing the activity of national natural parks of Ukraine (on the example of the national natural parks “Nizhnyosul'skyi” and “Oleshkivski sands”). Avtoref. dyss. kand. heohr. Nauk. Odesa. 22 p. [in Ukrainian].

Splodytel, A.O. (2020), Ekolooho-heokhymycheskye yssledovaniya pochv srednykh horodov v zone vliyaniya promyshlennykh predpriyati. (Ecological and geochemical studies of soils in medium-sized cities in the zone of influence of industrial enterprises). *Pryrodopolzovaniye*. № 1, P. 98–107. [in Russian].

Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, Sorokina, L. (2023). Vplyv viyny Rosiyi proty Ukrainy na stan ukraïnskykh gruntiv. Rezultaty analizu. (The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results). GO «Tsentr ekolohichnykh initsiyatyv «Ekodiya». Kyiv. 154 p. [in Ukrainian].

Splodytel, A.O., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S. (2020), Osoblyvosti akumulatsii vazhkykh metaliv u gruntakh urbanizovanykh landshaftiv m. Brovary. (Features of the accumulation of heavy metals in the soils of urbanized landscapes of Brovary). *Geological journal*. № 2. P. 39–51. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>. [in Ukrainian].

Shcherbakov, I.B. (2005). Petrolohiya Ukraynskoho shchyt. (Petrology of the Ukrainian Shield). ZUKTS, Lvov, 306 p. [in Russian].

Allison, I.D., Brown, D.S., Novo-Gradac, K.I. (1990). MINTEQA 2 PRODEFA 2. *A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version 2.0*. User's Manual VS Environmental Protection Agency, 278 p.

Azimov, O.T., Dorofey, Y.M., Trofymchuk, O.M., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P. (2019). Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. *Proc. 13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>.

Azimov, O.T., Rogozhin, O.G., Trofymchuk, O.M., Khrushchov, D.P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. *Proc. 20th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, pp. 1–8. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521169>.

Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M. (2020). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, pp. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>.

Koshliakova, T., Zlobina, K., Kuraeva, I. (2023), Ecological and geochemical aspects of interlayer water use for potable water supply of urban population: a case study in the Dnieper–Donetsk aquifer system, Springer, *Acta Geochimica*, Vol. 42, Issue 381, 2023, P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11631-023-00604-y>.

Koshliakova, T., Kuraeva, I. (2023), Hydrogeochemical features of groundwaters of the Ukrainian shield fractured crystalline rocks on the example of Zhytomyr and Vinnytsia regions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, Vol. 32, № 3, pp.525–539. <https://doi.org/10.15421/112347>.

Kuraeva, I.V., Koshliakova, T.O., Azimov, O.T., Zlobina, K.S., Khrushchov, D.P. (2021). Modelling of environmental objects geochemical transformation within solid waste landfills. *Proc. 20th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521039>.

Splodytel, A.O. (2020), Patterns of spreading of heavy metals in soils of urbanized landscapes (on the example of Brovary city). *J. Geol., Geograph. and Geoecol.*, Vol. 29, No. 3, pp. 580–590. <https://doi.org/10.15421/112053>.

Guidelines for drinking-water quality: for the edition incorporating the first and second addenda. (2022). Geneva: World Health Organization. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>

Надійшла 10.04.2024 року

I. V. Kuraeva¹
A. O. Splodytel¹
T. O. Koshliakova¹
E. V. Deriuhina¹
O. T. Azimov²
K. V. Vovk¹

¹M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine; 34 Akademika Palladina Ave, Kyiv, 03142, Ukraine

²Institute of Geological Science of the NAS of Ukraine; 55b O. Honchara St, Kyiv, 01054, Ukraine

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE REGULATORY DISTRIBUTION OF MICROELEMENTS IN THE BIO-INERT SYSTEMS OF THE NATURAL AND TECHNOGENIC LAND SCAPES OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF UKRAINE

Abstract

Problem Statement and Purpose. The problem of environmental pollution with various potentially dangerous substances and, first of all, heavy metals, the impact of which will be carried out for many years, is the most important for environmental geochemistry. Despite the material accumulated in the literature, the forms of finding and mobility of trace elements in soils remain insufficiently researched; forms of migration of chemical elements in soil solutions, natural waters, entry into vegetation. The study of heavy metals in biomass systems of urban areas and their ecological assessment require systematic, comprehensive research. Establishing the relationship between the content of chemical elements in vital natural environments for humans is of particular importance. The main purpose of this article is to study the patterns of distribution of trace elements in the main types of soils, vegetation and forms of their migration in natural waters, background and technogenically polluted areas of the Forest- Steppe Zone.

Data & Methods. The measurement of the content of heavy metals in soil and natural water samples was performed using the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS) on the Element-2 analyzer (Germany). The forms of microelements in soil samples were determined by the method of successive extractions. The forms of migration of trace elements in natural waters were determined using mathematical modeling methods using specialized software tools GEMs v.3.2 and Hydra&Medusa.

Results. The regularities of the distribution of microelements in soils, natural waters, and vegetation in conditionally clean and technogenic landscapes of the Forest-steppe zone of Ukraine were studied. The distribution of microelements in soils is determined by their physical and chemical properties, mineralogical and geochemical parameters of soil-forming rocks, landscape and technogenic conditions of the studied territories. Analytical studies were conducted to determine the mobile forms of microelements in soil solutions. Data were obtained on the regularities of the distribution of heavy metals in the soils of conditionally clean territories and the natural park of the NNP «Nizhnyosulsky», as well as their content in the vegetation of park landscapes. The gross content of Pb, Cu, Ti, Cr, V in the soils of the studied

territory of the NPP «Nizhnyosulsky» is higher than the background values. The bio-inert systems of technogenic landscapes of the city of Brovary and Kyiv landfill № 5 were studied. It was established that the emissions of industrial enterprises of various profiles significantly change the geochemical background of metals in the analyzed soils of the city of Brovary. In these soils, the content of heavy metals, which are in the exchangeable and easily exchangeable fractions, increases and their mobility increases compared to the background ones. The highest level of soil contamination is observed on the territory of landfill № 5. Using the method of thermodynamic modeling, data on the forms of migration of microelements in soil solutions of technogenically polluted soils, natural waters (surface and underground) were obtained. Migration of heavy metals in soil solutions is carried out mainly in the form of free cations and dissolved organometallic complexes. The increased content of Mn, Cu, Co, Fe in the dry residue of the surface water of landfill № 5 was determined, which does not meet the sanitary standards for the discharge of wastewater into open waters. Pollution of surface waters by sewage with a high content of primarily organic toxicants: nitrates, vchlorides, was also found. The peculiarities of the microelement composition of drinking groundwater in the territory of Korostyshiv district of Zhytomyr region were studied. The dynamics of changes in the amount of total mineralization, the content of ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- in the aquifer of the fractured zone of crystalline rocks and their weathering crust were analyzed. A high positive correlation was found between the concentrations of Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- and their normalized indicators by the amount of water withdrawal. The obtained results testify to the significant role of the anthropogenic factor in the formation of the chemical composition of the studied groundwater. A comparison of the biologically significant concentrations (BSC) of the main microelements of groundwater with their content in water samples determined during the study allowed us to identify peculiarities: in the studied waters, an excess of such elements as Sr and Ba is observed. Instead, insufficient amounts of elements such as Li, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd and Pb were found. Based on the obtained results, conclusions were made about the presence of risks of some trace element diseases in the studied territory.

Key words: bio-inert systems, microelements, finding forms, migration, mobile forms, conditionally clean territories, technogenically polluted territories.