УДК 550.424.4

<https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.34-43>

А. О. СПЛОДИТЕЛЬ, канд. геогр. наук, докторант (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), м. Київ, Україна, aspodytel@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

A. SPLODYTEL, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, aspodytel@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ВІЙСЬКОВОГО ПОЛІГОНУ “ОЛЕШКІВСЬКІ ПІСКИ”

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL PRECONDITIONS AND REGULARITIES OF TOXIC ELEMENTS DISTRIBUTION ON “OLESHKIVSKI PISKY” MILITARY TRAINING SITE TERRITORY

Схарактеризовано основні ознаки ландшафтно-геохімічної структури військового полігону “Олешківські піски”. Проаналізовано особливості впливу військової навчальної діяльності на рівень забруднення ґрунтів і рослин важкими металами. Обґрунтовано схему відбору зразків для вивчення особливостей міграції важких металів з огляду на ландшафтну структуру території. Встановлено особливості розподілу важких металів у ґрунтах на різній відстані від вогневих позицій військового полігону. Досліджено розподіл і накопичення важких металів I й II класу небезпеки в ґрунтовому й рослинному покриві полігону. Визначено закономірності просторового розподілу рухомих і потенційно доступних форм важких металів. З’ясовано, що вміст важких металів у трьох рухомих формах становлять такі геохімічні асоціації, мг/кг: у кислоторозчинній формі: $Mn > Zn > Pb > Cu > V > Ni > Co > Cd$; в обмінній: $Mn > Zn > Pb > V > Co = Ni > Cu > Cd$; у водорозчинній формі: $Mn > Zn > Pb = V > Co > Ni > Cd > Cu$. Наведено результати досліджень щодо інтенсивності накопичення й характеру розподілу валових і рухомих форм важких металів у ґрунтовому просторі та їхню міграцію в профілі ґрунту. Виділено панівну техногенну геохімічну асоціацію: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$. Виявлено ландшафти з максимальним поліелементним забрудненням. На основі власного польового та експериментального матеріалу укладено ландшафтно-геохімічну карту території військового полігону “Олешківські піски”.

Встановлено динаміку міграції рухомих форм Ni , Zn , Cu , V , Pb та інших важких металів у ґрунтовому профілі дернового слабозвищеного піщаного ґрунту впродовж 2015–2019 років за рівнів імпактного забруднення. Визначено особливості поглинання рухомих форм важких металів у типових різновидах рослин території військового полігону протягом вегетаційних періодів 2015–2019 років.

Ключові слова: важкі метали, форми знаходження, сумарний показник забруднення, геохімічна асоціація, ландшафт, ландшафтно-геохімічні умови.

It is characterized main features of landscape-geochemical structure of “Oleshkivski pisky” military range. It is analysed special aspects of military training activity influence on the of soils and plants contamination level with heavy metals. Sampling scheme for studying of heavy metals migration features, with respect to landscape structure of the territory is substantiated. Special features of heavy metals distribution in soils at different distances from firing positions within military range have been determined. It is investigated distribution and accumulation of I and II danger class heavy metals in soil and vegetational cover of the military training site. The regularities of spatial distribution of mobile and potentially accessible forms of heavy metals are determined. It was defined that content of heavy metals in three movable forms are represented in the following geochemical units, mg/kg: in acid soluble form – $Mn > Zn > Pb > Cu > V > Ni > Co > Cd$; in exchangeable form – $Mn > Zn > Pb > V > Co = Ni > Cu > Cd$; in water soluble form – $Mn > Zn > Pb = V > Co > Ni > Cd > Cu$.

It is presented studies results on accumulation intensity and the nature of distribution of gross and mobile heavy metals forms in soil space and on their migration in the soil profile. The dominant technogenic geochemical unit was extracted: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$. Landscapes with maximum polyelement contamination have been identified. Landscape-geochemical map of “Oleshkivski pisky” military training site territory was drawn, relying on own field and experimental materials. Migration dynamics of Ni , Zn , Cu , V , Pb and other heavy metals mobile forms in the soil profile of soddy underdeveloped sandy soil during 2015–2019 under impact contamination levels has been determined. The peculiarities of heavy metals mobile forms absorption in typical plant species of the military range territory during 2015–2019 vegetation periods were clarified.

Keywords: metals, speciation forms, summarized contamination rate, geochemical association, landscape, landscape-geochemical conditions.

Вступ

В умовах інтенсивного техногенного впливу на геосистеми, зумовленого тривалим веденням військової діяльності, виникає реальна загроза забруднення всіх компонентів ландшафту важкими металами. Хімічний вплив заходів бойової підготовки призводить до зміни природних параметрів компонентів ландшафту під дією забруднювальних речовин, що утворюються внаслідок експлуатації систем зброї та військової техніки.

Військові полігони належать до територій небезпек з погляду можливого техногенного забруднення природного середовища. Тому оцінка ландшафтно-геохімічних умов їх-

ньої території стає одним із потрібних етапів аналізу еколого-геохімічного стану.

У зв'язку з цим важливо розробити методику комплексного вивчення, картографування та оцінки на засадах еколого-геохімічного підходу як основи обґрунтування комплексу реабілітаційних заходів, спрямованих на відновлення територій військових полігонів, забруднених унаслідок військової діяльності, для приведення їхнього екологічного стану до гарантовано-безпечних довіллію й здоров'ю людей рівнів і стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні вагомий внесок в еколого-геохімічні дослідження окремих компонентів ландшафту зробили праці Г. М. Бондаренка (2000, 2002, 2004), В. В. Доліна (2004, 2011),

В. О. Ємельянова (2004), І. В. Кураєвої (1996, 2002, 2010–2015, 2019), Г. В. Лисиченка (2009), Л. Л. Малишевої (1997, 2000), Б. Ф. Міцкевича (1971, 1981), О. Ю. Митропольського (2004, 2006), А. І. Самчука (1982, 1993, 1998, 2002, 2005, 2006, 2012), В. М. Шестопалова (2011) та інших учених.

Метою дослідження є визначення вмісту важких металів (ВМ) у ландшафтах військового полігону “Олешківські піски”, що підлягають різному впливу військової діяльності, а також аналіз ландшафтних передумов їхньої латеральної й радіальної міграції.

Об’єкти та методи досліджень

Об’єктом дослідження є ландшафтні комплекси військового полігону “Олешківські піски”.

Дослідження тривали впродовж 2015–2019 рр. у межах військового полігону “Олешківські піски” як складової частини території національного природного парку (НПП) з такою ж назвою.

Зразки ґрунту для вивчення вмісту та латерального перерозподілу ВМ відбирали з верхнього гумусного горизонту методом “конверта” по ландшафтно-геохімічній катені. Аналітичні роботи з визначення валового вмісту й рухомих форм ВМ у ґрунтах і фітомасі рослин виконано методом атомної адсорбції на спектрометрах С-115, “Сатурн-3” та методом мас-спектрометрії з індуктивно зв’язаною плазмою (ICP–MS) аналізатора ELEMENT-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Національному науковому центрі “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”. Окремі визначення рухомих форм мікроелементів отримано на приладі М=3030 (“Перкін-Ельмер”, США) і М=1800 (“Хітачі”, Японія), а також з використанням гамма-активаційного та рентгенфлуоресцентного аналізів в Інституті геології Польської академії наук (м. Варшава). Аналіз та інтерпретація коефіцієнтів концентрації сполук ВМ здійснено на ландшафтно-геохімічних засадах.

Ґрунтово-геохімічні обстеження виконували за такими методиками: гранулометричний склад за методом піпетки в модифікації Качинського (ДСТУ 4730.2007), загальний вміст гумусу за Тюрніним (ДСТУ 4289:2004), рН водної витяжки за ГОСТом 26423-85, рН сольової витяжки з ґрунту за ГОСТом 26484-85, рухомих форм ВМ, що вилучають ацетатно-амонієм буферним розчином з рН – 4,8 – за ДСТУ 4770.1:2007-4770.9:2007.

Результати дослідження

Загальні відомості

Військовий полігон є стаціонарним військовим об’єктом, який упродовж чималого проміжку часу розміщується та функціонує на певній території. Тому його можна зарахувати за прийнятою класифікацією до військових природно-технічних систем, які є одним із різновидів природних територіальних комплексів, що зазнали змін унаслідок військової діяльності. У системі стаціонарних військових об’єктів призначення полігону полягає в забезпеченні бойової підготовки військ, проведення тактичних навчань і табірних зборів артилерійських частин та підрозділів [2].

Процеси техногенного перетворення природних умов території військового полігону “Олешківські піски” розпочалися з 1957 року. На території Олешківської (Козачелажерської) піщаної арени був військовий полігон, на якому відпрацьовували військові навчання пілоти з країн Варшавського договору. З лютого 2010 року територія увійшла в склад заповідної зони національного природного парку “Олеш-

ківські піски”. Однак, у зв’язку з окупацією Російською Федерацією Кримського півострова та східних областей Міністерство оборони України відновило військові навчання на колишньому полігоні, що перебуває під охороною й у віданні національного природного парку.

Природні умови

Територія військового полігону “Олешківські піски” відповідно до фізико-географічного районування належить до Рибальченсько-Раденського ландшафтного району ландшафтно-області Нижньодніпровського терасово-дельтового степу Причорноморсько-Приазовського сухостепового ландшафтного краю [14].

У геологічному аспекті територія розміщується в межах північного схилу Причорноморської западини з глибиною залягання архейсько-протерозойського кристалічного фундаменту від 1200 м [17].

Геоморфологічною основою території є велика акумулятивна терасова рівнина, складена антропогеновою алювіально-дельтовою товщею на неогенових вапняково-мергелистих і піщано-глинистих утвореннях.

Літогенну основу сучасних ландшафтів території складають піщані й супіщані відклади, лесоподібні супіски та легкі суглинки середнього й верхнього пліоцену, частково міоцену. Піщано-суглинста товща алювіальних відкладів підстилається дуже розмитими й різноманітними за літологічним складом відкладами неогену потужністю 5–7 м. Піщано-супіщаний склад поверхневих відкладів зумовлений фізико-географічними особливостями території, зокрема температурними контрастами [5, 17].

З різним літологічним і механічним складом ґрунто-твірних порід пов’язана і висока варіабельність вмісту в них мікроелементів. Зокрема, вміст титану коливається в межах 1384–2614 мг/кг, цинку 12–52 мг/кг, нікелю 10–22 мг/кг тощо (табл. 1).

Для ландшафтно-структури дослідження характерне поєднання терасових піщаних рівнин (піщаних горбів) з урочищами міжбугристих і міжгорбистих западин [5].

Завдяки дослідженням автора опрацьовано й укладено ландшафтну та ландшафтно-геохімічну карту зазначеного району в масштабі 1:25000 [5] (рисунк). Створені нами карти розподілу вмісту важких металів у сучасному ґрунтовому покриві НПП “Олешківські піски” (станом на 2015, 2019 рр.) також є новим складником досліджень території військового полігону [18].

Територія полігону повністю розміщується в межах комплексу найвищих піщаних терас Дніпра. На глибині 80–150 см основна частина арени складена червоно-бурою глиною з укріпленням гальки. Крем’яна галька трапляється і в товщі піску, а також у піску котловин. Основна частина ландшаф-

Таблиця 1. Середній вміст мікроелементів у ґрунотвірних породах Олешківського полігону, мг/кг (за результатами власних досліджень)

Ґрунотвірні породи	Fe	Ti	Zn	Pb	Cu	Co	Mn	V	Ni
Давньоалювіальні піщані відклади	–	1382	12	8	2,1	2,6	110	23	10
Давньоалювіальні супіщані відклади	14533	4211	38	10	9,8	8,1	145	27	15
Глинисті леси	17609	2614	52	12	15	12	446	82	22

Рисунок. Ландшафтна структура військового полігону “Олешківські піски” та прилеглих територій (фрагмент)

ту складена високими піщаними буграми, що чергуються із численними западинами. Еолові форми рельєфу сформовані внаслідок еолового перероблення алювіальних відкладів надзаплавно-терасової рівнини. Піщані бугри характеризуються хаотичним розміщенням. Вони складені еоловими тонкозернистими пісками й супісками з доданням пілуватих часток. Середня висота піщаних бугрів – 6–8 м. Особливістю ландшафту є глибоке залягання ґрунтових вод – 15–20 м [17].

Ландшафтно-геохімічна структура

Міграційна активність забруднювальних речовин у ландшафтах визначається ландшафтно-геохімічними умовами, які залучають забруднювачі в процес перерозподілу. Перша група чинників сприяє підвищенню міграційних властивостей забруднювачів. Ці чинники регулюють кислотність та окисно-відновний потенціал ґрунтів, сприяють переходу забруднювачів у рухомі форми й визначають геохімічні класи міграції в ландшафтах піщаної арили як кислий (Н) і кислий глейовий (Н-Fe).

Дія другої групи чинників спрямована на утримання та запобігання міграції забруднювачів. До них належать наявність глинистих мінералів, уміст гумусу в ґрунтах, насичення їх основами, сприятливими для формування ландшафтно-геохімічних бар'єрів [13, 17].

Основний геохімічний фон тут становлять **ландшафти кислого геохімічного класу** – з провідною роллю іона водню H^+ : Н; Н,Н-Fe; Н-Fe.

Для ландшафтних комплексів **Н-класу** в межах території військового полігону характерними є ґрунти з невеликим умістом фізичної глини до 5 %, сума увібраних катіонів не перевищує 4,15–5,00 мг екв/100 г, у край низький уміст гумусу – до 0,8 %. Вологоємність ґрунту в гумусовому горизонті становить 8–11 %, у нижній частині профілю досягає 4–6 %.

Піски бідні поживними речовинами. За проведеними дослідженнями вони складаються з 0,02 % фосфору (P_2O_5) та 0,14 % калію (K_2O) у формі калійних польових шпатів. Наявність азоту (N) і карбонатів кальцію ($CaCO_3$) не зафіксовано [16]. У мінеральному складі давньоалювіальних відкладів домінуючими елементами виступають кварц і польовий шпат. Через легкий гранулометричний склад ґрунтів і промивний водний режим ландшафти цього класу збіднені на хімічні елементи (B, I, Br, Cr, Ni, Co, Zn, Cu), у ґрунтах мало N, P, K, але багато SiO_2 (до 94 %). Уміст мікроелементів може істотно коливатися залежно від механічного й мінерального складу ґрунтоутворювальних порід [15]. У піщаних і супіщаних ґрунтах ландшафтів Н-класу вміст рухомих елементів, за винятком цинку, – найнижчий [13].

Легкий гранулометричний склад описуваних ґрунтів, низький уміст обмінних основ і гумусу не сприяє закріпленню забруднювальних речовин у ґрунтах. Саме тому ландшафтно-геохімічні характеристики ландшафтних комплексів Н-класу не є сприятливими для акумуляції забруднювальних речовин.

В окремих частинах полігону, де ґрунтові води залягають близько від поверхні (глибина залягання підґрунтових вод близько 0,5 м), формуються ґрунти з кислим оглеєнням (**Н,Н-Fe – клас**) і низьким рН (менше 5,2). Крім іону водню, у ґрунтах досліджуваних ландшафтних комплексів починає переважати іон двовалентного заліза, наслідком чого є протікання процесу оглеєння. У глеевих горизонтах двовалентне залізо є не тільки в ґрунтових водах, розчинах, а й у вбирному комплексі ґрунтів [15]. Для заболочених ландшафтів характерні ґрунтово-водні підзоли з потужними оглеєними озалізненими горизонтами [13]. Унаслідок оглеєння Fe і Mn переходять у рухомий стан, однак міграція цих металів є різною. Mn рухоміший, його відновлення можливе ще в зоні окиснення, там де Fe міститься в тривалентній формі. У поверхневому горизонті ґрунти містять 0,2–0,5 % гумусу, на глибині 20–30 см близько 0,1 %. Сума поглинутих основ коливається в межах 2,5–4,0 мекв. У складі обмінних катіонів переважає кальцій.

Ландшафти цього класу займають невеликі простори на надзаплавно-терасовій рівнині, складеній давньоалювіальними відкладами. Типоморфними іонами виступають – H^+ і Fe^{2+} . Для ландшафтів характерний низький уміст кисню в ґрунті, накопичення гумусових речовин і дуже кисла реакція води. Ґрунтові води мало мінералізовані, містять органічні кислоти та Fe. Низька біологічна продуктивність кислих ландшафтів пояснюється дефіцитом кисню, який зумовлює дефіцит інших елементів. Надлишковими є Fe^{2+} і H^+ [16].

У межах досліджуваної території Н, Н-Fe-клас унаслідок зниженого гіпсометричного положення поверхні та близького рівня залягання підґрунтових вод представлений ландшафтними комплексами з оглеєними відмінами дерново-підзолистих ґрунтів.

Залежно від положення в ландшафтній структурі території певні ландшафтні комплекси Н, Н-Fe-класу мають різні характеристики за геохімічними показниками. Так, ландшафтні комплекси міжбугристих і міжгорбистих знижень, складені давньоалювіальними (піщаними й супіщаними) відкладами, характеризуються низьким умістом обмінних катіонів (1,9–2,78 мг екв/100г) і гумусу (0,8–0,9), кислотність близька до нейтральної – 6,0–6,3 %, уміст фізичної глини становить у середньому 7,2–8,4 %. Подібні характеристики мають ландшафтні комплекси найзнижених поверхонь тераси, що утворилися на давньоалювіальних пісках і супісках, проте

їхні відміни ґрунтів мають нижчий уміст фізичної глини у своєму складі – до 3 %.

Територіальний розподіл значень рН водного, який відображає кислотність ґрунтових розчинів у різних типах ґрунтів змінюється від 3,6 до 6,3. Що менше значення рН, то вищим є рівень кислотності ґрунту, отже вищою є рухливість переважної більшості речовин і сполук у водних розчинах. Більшість ґрунтів полігону мають нейтральну реакцію рН. Кислотність органічних ґрунтів у міжбугристих зниженнях дещо менша ($\text{pH} < 5,6\text{--}5,8$), що може сприяти акумуляції ВМ у подібних місцезнаходженнях [16].

Уміст гумусу у верхніх горизонтах ґрунтів полігону змінюється в межах від 0,2 до 0,9 %. Глибина горизонту максимального заглиблення є важливим показником міграції елементів зі змінною валентністю, до яких належать залізо, плутоній, алюміній тощо. Для таких елементів глейовий горизонт відіграє роль бар'єра на шляху їхньої міграції. Для території полігону глибина залягання глейового горизонту в ґрунтах варіює від 0,1–0,2 для дернових глейових піщаних до 2,1–2,8 і більше метрів для сухих дерново-підзолистих ґрунтів.

Закономірності розподілу токсичних елементів

Уміст ВМ у ґрунтовому покриві залежить від взаємодії з гуміновими кислотами, що мають високу сорбційну ємність і є потужним геохімічним бар'єром. Інтенсивність міграції речовин залежить від гранулометричного складу ґрунтів і вмісту гумусу. Концентрації забруднювальних речовин у ґрунтах, зокрема ВМ визначають здебільшого типом ґрунтового покриву та морфологічними особливостями території, що впливають на процеси латеральної й радіальної міграції та акумуляції [6].

Як свідчать дослідження, у найбільшій кількості політанти акумулюються у верхньому ґрунтовому горизонті, для гумусово-елювіального та елювіального горизонтів дерново-слабопідзолистих піщаних і супіщаних ґрунтів кількість забруднювальних речовин знижується внаслідок процесів винесення органічних і мінеральних речовин [21].

У котлах артилерії відбувається хімічне забруднення повітряного простору внаслідок емісії газів вибухового перетворення боеприпасів і ґрунтів – залишками вибухових речовин, що не розірвалися [2].

Під час стрільб на території полігону використовують боеприпаси з різним складом порошу та вибухових речовин, унаслідок горіння яких утворюються такі речовини, як азот, сажа, вуглеводні, плумбум, двоокис мангану та інші похідні. Так, під час вибуху 115-міліметрового осколково-фугасного боеприпасу, спорядженого гексогеном, утворюється близько 4000 л газу, який містить продукти згоряння цієї вибухової речовини. До 30 % газів розсіюється в повітрі, частина важких фракцій осідає на ґрунт [2].

Серед небезпечних речовин, що входять до складу викидів військових транспортних засобів, найвивченіша поведінка плумбуму, який вивільнюється після спалювання пального. Визначено, що з усіх присадок, які містять свинець (Pb), близько 40 % його одразу осідає на ґрунт. Відстань, на яку поширюється свинець, може сягати 130 м, а на відстані 100 м від маршрутів постійного пересування машин концентрація Pb у ґрунті перевищує фон у п'ятеро. Характерною ознакою Pb, інших ВМ є те, що вони зв'язуються з колоїдами, а через рослини здатні надходити до організму людей [21].

Істотне місце в забрудненні ґрунту викидами транспорту посідають інші важкі метали. За даними досліджень 2019 року на території полігону, уздовж основних шляхів пере-

сування військової техніки, визначено наявність у ґрунтах купруму, цинку, кадмію, ванадію тощо. Під час бойової підготовки в буферній зоні та поблизу вогневих позицій полігону зафіксовано поодинокі геохімічні аномалії з умістом у ґрунті свинцю – близько 816 мг/кг, міді – 529 мг/кг, хрому – 320 мг/кг (точки відбору проб 137-19, 236-19, 421-19, 631-19, 811-19). Військові транспортні засоби є одним з поширених джерел хімічного впливу на довкілля [2].

Першочерговість аналізу валової форми вмісту забруднювачів у ґрунтах полігону є виправданою, оскільки вона характеризує геоекологічний стан і потенційну небезпеку забруднення ландшафтів у разі їхнього нагромадження та зростання концентрації.

У пробах ґрунту, відібраних на території військового полігону, найвищим виявився валовий уміст плумбуму. Концентрація Pb становить 18–66 мг/кг і перевищує фон та гранично допустимі концентрації (ГДК), показники яких відповідно становлять 6–8 і 30 мг/кг. Зафіксовано підвищений уміст валових форм купруму, кадмію, кобальту, цинку. Перевищення фону майже в усіх досліджуваних зразках ґрунтів зафіксовано для Ni (уміст сягає 12–18 мг/кг) і Cu (10–25 мг/кг). Уміст цих хімічних елементів перебуває в межах ГДК, однак інколи отримані значення перевищують його, що становить відповідно 24 мг/кг і 42 мг/кг. Близькими до фонових значень є кількість у ґрунті Hg (0,01 мг/кг) та V (10 мг/кг), а в точках 15-19, 28-19 та 76-19 зафіксовано незначне перевищення їхніх фонових значень. Концентрація Zn є високою (у межах відповідно 6,1 та 73 мг/кг) і перебуває вище фонових значень і значень ГДК [19]. Однак, для Co характерні локальні перевищення в точках моніторингу 32-15, 102-15, 120-19, 213-19 (6,2–8,1 мг/кг).

Закономірності радіального перерозподілу ВМ за генетичними горизонтами характерних ґрунтів території полігону досліджено на прикладі точок комплексного опису. Валовий уміст у точках відбору зразків (345-19, 418-19, 624-19) перевищує фонові значення, а подекуди – ГДК: V – 50–60 мг/кг (40 мг/кг), Pb – 70–90 мг/кг (10 мг/кг), Cu – 40–60 мг/кг (12–16 мг/кг), Ni – 30–50 мг/кг (для фонових показників 22 мг/кг) тощо.

На характер розподілу ВМ територією полігону впливає фізико-хімічний і морфологічний склад борових пісків. Визначено, що акумуляція ВМ у рівнинно-понижених середньо-сильнозарослих борових пісках суттєво відрізняється від високогорбистих слабогумусованих слабозарослих пісків і варіює в широкому діапазоні. Урочища рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків є давнішими формами рельєфу, для них характерні морфологічні та хімічні ознаки осолодіння. Процеси осолодіння сприяють міграції сполук ВМ у глибину ґрунтового профілю з ґрунтовою вологою. Розвиток дернового процесу сприяє висхідному руху ВМ, якого фактично немає на високогорбистих слабогумусованих слабозарослих борових пісках. Урочища рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків вирізняються слабкою диференціацією ґрунтового горизонту на генетичні горизонти та визначають відмінності в їхній сорбційній здатності. Так, у рівнинно-слабохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісках ВМ накопичуються в більшій кількості, ніж у високо- та середньогорбистих слабо- й середньозарослих слабогумусованих слабозарослих борових пісках, відмінності можуть досягати від 1,5 раза за цинком і кобальтом до 15,4 раза за купрумом і плумбумом. У високогорбистих

слабогумусованих слабозарослих пісках зафіксовано вищі концентрації металів з порівняно невисокою атомною масою – нікелю, ванадію й мангану.

Найнижчий уміст цинку (6,6 мг/кг) характерний для *урочищ високо- й середньобугристих рухомих борових пісків* з глибоким заляганням ґрунтових вод, складених еоловими пісками, підстеленими давньоалювіальними відкладами з пісками перевіюваними негумусованими та слабогумусованими слабо- й середньозарослими та дерновими розвиненими слабогумусованими слабозарослими піщаними ґрунтами під сухими борами (*урочища 1–5*). Максимальний уміст цього елемента (63 мг/кг) характерний для дернових слабозарослих піщаних ґрунтів (*урочища 1–7*), які становлять 70 % загальної площі досліджуваної території. Аналіз умісту Zn у поверхневому горизонті досліджуваних ґрунтів дав змогу встановити тенденційне підвищення його концентрації з глибиною, що пов'язано з особливостями міграції забрудника.

Уміст аргентуму для вирівняних ділянок тераси становить 0,4 мг/кг, які характеризуються наявністю оглиненого піску в товщі давньоалювіальних пісків і крутістю підвітряних схилів не більш як 12°, плоским характером вершин без або з малою кількістю осередків дефляції. Концентрація цього елемента не перевищує встановлених норм ГДК на жодній з точок пробовідбору.

Уміст кобальту в поверхневому шарі ґрунтів зазвичай змінюється від 1 до 7 мг/кг. Концентрація в межах полігону становить 6,5–7,5 мг/кг. Високі показники вмісту кобальту в пробах ґрунтів (8,1 мг/кг), відібраних в *урочищах середньогорбистих слабо- й середньозарослих слабогумусованих слабозарослих борових пісків*, складених еоловими пісками з дерновими слабозарослими слабо-середньозарослими піщаними й супіщаними, дерновими слабозарослими глинисто-піщаними та дерновими слабозарослими піщаними ґрунтами на похованих еолово-делювіальних шаруватих відкладах (9–12). На заході території полігону в *урочищах високोगорбистих слабогумусованих слабозарослих борових пісків* з дерновими слабозарослими слабозарослими піщаними ґрунтами на еолових відкладах під сухими борами концентрації кобальту дуже малі (8) (1,7 мг/кг).

Підвищений уміст плумбуму зафіксовано на всіх пробних площах полігону. Антропогенними джерелами потрапляння свинцю в ґрунт є ремонт зразків озброєння та військової техніки. Дослідження демонструють, що навіть у незабруднених районах на 1 га поверхні в середньому потрапляє до 180 г плумбуму. Максимальний уміст (66 мг/кг) виявлено на позиціях для стрільби в *урочищах низькогорбистих слабогумусованих середньозарослих борових пісків* з дерновими розвиненими середньозарослими піщаними й легкосупіщаними ґрунтами на неглибоко похованих чорноземовмісних ґрунтах, підстелених еоловими відкладами під сухими та свіжими борами (13–15), попри характерні для них транзитні умови міграції.

Важливим чинником внутрішньої диференціації території дослідження є прошарки оглиненого піску у верхній товщі алювію. В умовах рівнинно-середньо й слабохвилястого рельєфу це помітно змінює умови мінерального живлення, зволоження й визначає формування *урочищ рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними та супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м) з дерновими розвиненими глибокими середньозарослими піщаними та піщано-суглинковими, дерновими розвиненими слабо-середньо- та сильнозарослими

легкосупіщаними ґрунтами під свіжими борами (16–19). Для цих урочищ характерні “пікові” показники вмісту плумбуму, що становлять 92 мг/кг. На підставі результатів дослідження латерального перерозподілу плумбуму зазначимо, що мінімальну його концентрацію зафіксовано в дернових розвинених глибоких середньозарослих піщано-суглинкових. Цим ґрунтам властива нейтральна реакція ґрунтового розчину, однак валовий уміст плумбуму тут є в межах фону (12 мг/кг).

Найвищий рівень концентрації нікелю (35 мг/кг) зафіксовано в урочищах із чорноземами легкосупіщаними поверхнево-середньо-сильносолонцюватими сильнозарослими на давньоелювіальних пісках, розміщених переважно на півночі арени під свіжими суборами (20). Інші урочища теж вирізняються підвищеним умістом нікелю в ґрунтовому покриві, найчастіше концентрація цього елемента перевищує регіональні фонові значення на кожній із точок пробовідбору (для нікелю фонове значення валового вмісту становить 15 мг/кг).

Кадмій належить до рідких розсіяних елементів, з одним з найбільших періодів напіврозпаду – близько 1200 років. Джерелом потрапляння кадмію в ґрунт є вихлопні гази військового транспорту. За вмістом Cd військовий полігон належить до порівняно незабруднених. Середній уміст забрудника в досліджуваних ґрунтах становить 0,15 мг/кг. Для елемента властива міграція вниз по профілю ґрунту і його накопичення у верхніх горизонтах може свідчити про техногенний шлях потрапляння в геосистему.

Максимальний уміст кадмію (0,2–0,5 мг/кг) зафіксовано для урочищ *рівнинно-слабохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених давньоелювіальними вапняковими глинисто-супіщаними відкладами з прошарками й лінзами легкосуглинкового матеріалу різної потужності із чорноземами супіщаними глибоко-сильносолонцюватими середньо-сильнозарослими із середньоглибоким еоловим нанесенням на супіщаних давньоелювіальних глинисто-супіщаних відкладах під свіжими суборами (21).

З-поміж досліджуваних ВМ високі показники концентрації в ґрунтах цієї території має купрум. Показники вмісту купруму в ґрунті залежать від материнських порід, однак на сучасному етапі збільшення концентрації сполук у верхньому гумусовому горизонті ґрунту пов'язане з підвищеним військовим впливом. На міграційну поведінку впливають процеси адсорбції, оклюзії, хелато- й комплексоутворення та мікробіологічної фіксації [1]. Виявлено чимале перевищення вмісту купруму 8 мг/кг для дернових слабозарослих слабо-середньозарослих піщаних ґрунтів на похованих чорноземовмісних супіщаних ґрунтах (22–26) під свіжими борами (табл. 2).

Концентрація мангану в ґрунтах досліджуваної території близька до середніх концентрацій Mn у регіоні, яка становить 640 мг/кг сухої маси.

Підвищений уміст мангану (760–820 мг/кг) характерний для знижених ділянок основної поверхні піщаної надзаплавно-терасової рівнини, що перебувають в умовах підвищеного зволоження.

Тут формуються *урочища рівнинно-знижених середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними й супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м) з дерновими слабозарослими глеюватими середньозарослими глинисто-піщаними на неглибоко похованих дернових розвинених глибоких глейових легкосупіщаних ґрунтах у комплексі з дерновими розвиненими сильнозарос-

Таблиця 2. Середній валовий уміст важких металів у ландшафтах території військового полігону “Олешківські піски”, мг/кг (глибина 0–15 см) (за власними даними 2015–2019 рр.)

Хімічний елемент	Урочища високо- й середньобугристих рухомих борових пісків, n=621	Урочища рівнинно-слабохвилястих і знижених середньо-сильнозарослих борових пісків, n=743	Середній валовий уміст ВМ у ландшафтних урочищах, n≥1300
Zn²⁺	39,24	68,65	64,34
Pb²⁺	28,63	52,34	44,37
Ni²⁺	12,39	18,47	16,53
Co²⁺	6,18	7,65	6,43
Cd²⁺	0,18	0,29	0,21
Cu²⁺	45,68	67,42	54,74
V²⁺	31,18	47,11	38,86
Mn²⁺	564,74	645,23	620,21

лими супіщано-легкосуглинковими на похованих дернових розвинених середньоглибоких глеюватих піщано-глинистих ґрунтах, підстелених слабооглеєними давньоалювіальними відкладами (27, 29–34) з умістом Mn > 820 мг/кг.

Джерелом надходження Mn у ґрунтовий покрив полігону є ґрунтоутворювальні породи. Найвища концентрація мангану переважає у верхньому ґрунтовому горизонті, що пов’язано з його фіксацією органічними сполуками. Також підвищена концентрація мангану простежується в урочищах, складених оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними й супіщаними відкладами (з оглиненими лінзами й прошарками) (0,1–0,2 м) з дерновими слабозрозвиненими глеюватими слабосолончакуватими середньозарослими глинисто-піщаними ґрунтами на оглеєних давньоалювіальних відкладах під вологими борами (28).

Максимальний уміст усіх досліджуваних забруднювальних речовин характерний для знижень антропогенного походження (вирви від авіаційних бомб), які містять горизонти, збагачені оксидами й гідроксидами заліза. Вони складені переважно ооловими пісками, підстеленими оглеєними давньоалювіальними (верхньоантропогенними) відкладами, а природного походження – оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними та супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м). На днищах таких западин формуються дернові розвинені середньоглибокі глейові середньо-сильнозарослі солончакові легкосупіщані, дернові розвинені глибокі глеюваті та глейові слабосолончакуваті середньо-сильнозарослі супіщані та дернові слабозрозвинені глейові слабосолончакові середньозарослі глинисто-піщані ґрунти з підвищеним умістом плюмбуму, ванадію й нікелю (53, 42, 21 мг/кг) (46–55).

Сягаючи понад 8–9 м заввишки, високо- та середньобугристі рухомі борові піски визначають характер розподілу важких металів на території полігону. Уміст ВМ від вершини до основи бугра помітно зростає, що зумовлено безперервним механічним перенесенням частин піску з висотної частини бугра до його основи, де вони накопичуються у великій кількості. По-друге, унаслідок випадання опадів відбувається міграційний змив хімічних елементів. Потрапляючи на поверхню ґрунтового покриву, ВМ зазнають низку перетворень, і залежно від характеру геохімічних бар’єрів, властивих території, розсіюються або накопичуються. Очевидно, це слугує визначальним чинником у тому, що концентрації вище за ГДК виявлені лише для Zn, Pb, Cu від 2,3 (1,8–3,1 раза), валовий уміст інших металів нижче значень їхніх ГДК.

Визначено, що вміст купруму, мангану й кобальту в поверхневому шарі пісків полігону найбільше залежить від

їхнього вмісту в ґрунотвірних породах. Zn, попри підвищену міграційну спроможність, у пісках накопичується в істотно більшій кількості, порівняючи з іншими сполуками ВМ. Це зумовлено його приуроченістю до досить широкого діапазону гранулометричних фракцій. Водночас Co накопичується у верхній частині ґрунтового профілю у великих кількостях завдяки своїй низькій міграційній спроможності й малого винесення рослинами.

Отже, мікроелементний склад поверхневого шару борових пісків залежить від ґрунтоутворювальних порід, що є наслідком біогеохімічних процесів, що відбуваються в ґрунті, зокрема й під впливом рослинності.

Фоновий уміст ВМ у досліджуваних ґрунтах полігону підпорядковується загальним закономірностям розподілу, а рівень накопичення в ґрунтах здебільшого залежить від складу ґрунтоутворювальних порід.

Для загальної характеристики забрудненості ґрунтового покриву полігону ми розраховували показник сумарного забруднення за методикою Ю. Е. Саєта (Zc)

$$Zc = \sum K_{n_{ci}} - \dots (n-1),$$

де n – кількість аномальних елементів; $K_{n_{ci}}$ – коефіцієнт перевищення над фоном (коефіцієнт концентрації).

Оцінку забруднення ґрунтів проводили відповідно до меж значень сумарного показника: при $Zc < 16$ – забруднення вважається допустимим; при $16 < Zc < 32$ – помірно небезпечним; при $32 < Zc < 128$ – небезпечним; при $Zc > 128$ – надзвичайно небезпечним [7].

Цей показник сягає максимальних значень у районі розміщення вогневих позицій і котла військового полігону. Zc поверхневого шару ґрунту (0–10 см), Cu, Pb, Zn, Co, V та Ni змінюється від 8 до 56, середній показник – 32, що відповідає небезпечному рівню забруднення ґрунтового покриву (табл. 3). Zc зменшується в напрямку від вогневих позицій до буферної зони. Унаслідок досліджень виділено

Таблиця 3. Оцінка осередків забруднення ґрунтів Олешківського військового полігону

Функціональна зона полігону	Середній сумарний показник забруднення	Категорія забруднення
Вогневі позиції	56	Небезпечна
Котел	42	Небезпечна
Придорожня смуга	32	Небезпечна
Житлова зона	14	Допустима
Буферна зона	17	Допустимо небезпечна

таку геохімічну асоціацію: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$.

З огляду на різну токсичність елементів ми розрахували сумарний показник Z_c , представлений у праці Ю. М. Водяницького (2011), за формулою

$$Z_{ct} = \sum (K_{K_i} \cdot K_{T_i}) - (n-1),$$

де K_{T_i} – коефіцієнт токсичності i -го елемента.

Значення коефіцієнтів токсичності елементів представлено в табл. 4.

Для вивчення часової динаміки показника концентрації ВМ у дернових розвинених середньозарослих піщаних ґрунтах полігону дані, які ми отримали 2015 року, порівняли з умістом валових форм ВМ. Порівняння даних наведено в табл. 5.

Отже, дослідження, проведені впродовж п'яти років, дали змогу визначити такі результати.

Уміст Hg , Cd і Ni зафіксовано на попередньому рівні, виявлено збільшення вмісту Pb , Zn , V і Mn , що зумовлено підсиленням процесів міграції ВМ униз уздовж ґрунтового профілю, а також процесами ерозії й дефляції внаслідок зростання військової активності на полігоні.

У дернових розвинених слабогумусованих слабозарослих піщаних ґрунтах у 90-сантиметровому шарі міститься в 1,1 раза менше цинку, плумбуму й купруму, ніж у супіщаних, і в 1,8 раза менше цинку, плумбуму, кобальту, ніж у дернових розвинених середньозарослих супіщаних ґрунтах, що, на наш погляд, зумовлено тим, що в ґрунтах, утворених на давньоалювіальних супіщаних відкладах, міститься більша кількість валового вмісту означених сполук ВМ. У дернових розвинених середньозарослих легкосупіщаних ґрунтах, сформованих на легкосуглинкових відкладах, міститься більше валового вмісту Pb , Zn , Ni та Mn , порівнюючи з піщаними ґрунтами. Однак рухомість сполук ВМ у них є низькою й у верхніх горизонтах коливається від 0,4 до 1,1 %, знижуючись в елювіальних горизонтах і материнській породі до 0,1–0,3 %.

Отримані результати щодо вмісту й закономірностей розподілу ВМ дають змогу припустити, що екзогенні процеси та антропогенна діяльність впливають на рівень вмісту ВМ у ґрунтоутворювальних породах, однак прямий вплив на вміст ВМ у ґрунтового покриві мають чинники ґрунтоутворення.

Таблиця 4. Шкала небезпеки забруднювальних речовин території військового полігону “Олешківські піски” за коефіцієнтом токсичності

Клас небезпеки	Коефіцієнт токсичності	Хімічні елементи
1	1,52	Cd , Hg , Pb , Zn
2	1,03	Co , Ni , Cu
3	0,54	V , Mn

Таблиця 5. Динаміка середнього валового вмісту хімічних елементів у ґрунтах військового полігону “Олешківські піски”, мг/кг

Хімічні елементи / Роки	Cd	Pb	Zn	Ni	Co	Cu	Hg	V	Mn
2015	0,24	42	42	15	5,8	12	0,05	20	560
	0,1	8	8	6	1,2	6	0,01	8	120
2019	0,23	66	73	16	6,4	52	0,05	38	620
	0,1	8	6,6	6	1,1	8	0,03	4	240

Уміст ВМ у рослинному покриві

Ми дослідили накопичення деяких техногенних (купрум, плумбум, нікель) металів у типових різновидах рослин на території військового полігону впродовж вегетаційних періодів 2015–2019 років. Для вивчення вибрали ділянки в різних ландшафтно-геохімічних умовах території полігону з відмінним режимом функціонального зонування (табл. 6).

Для виявлення ступеня поглинання ВМ з ґрунту в рослини виконано хімічний аналіз досліджуваних зразків щодо вмісту в рослинах ВМ I та II класу небезпеки (Pb , Ni , Cu) тощо.

Розподіл ВМ у рослинах території полігону характеризується чималою спорадичністю. Максимальне й мінімальне значення концентрацій валових форм досліджуваних ВМ різняться до 50 разів. Зокрема, уміст валових форм сполук плумбуму змінюється в діапазоні від 2 до 42 мг/кг, мангану від 10 до 6500 мг/кг, купруму від 10 до 170 мг/кг, нікелю від 1 до 52 мг/кг. З віддаленням від вогневих позицій спостерігається зменшення концентрації валових форм сполук плумбуму й нікелю, концентрація сполук мангану є стабільно високою. Уміст валових форм ВМ у рослинах можна розмістити в такий ряд:

Досліджені різновиди рослин у найбільшій кількості акумулювали цинк і купрум, на другому місці за інтенсивністю накопичення є плумбум і манган. Високу акумулювальну здатність щодо купруму демонстрували верба попеляста (*Salix cinerea* L.), а низьку – сосна кримська (Палласа) (*Pinus pallasiana* D. Don.). Валовий уміст купруму в гілках сосни кримської (*Pinus pallasiana* D. Don.) становить 0,8 мг/кг, у гілках верби попелястої (*Salix cinerea* L.) 8–12 мг/кг. Зазначені різновиди у найменших кількостях накопичували ванадій і кобальт, а максимальні кількості цих елементів концентрували представники таких видів, як ковила волосиста (*Stipa capillata*) та осока віддаленоколоскова (*Carex distans*), – понад 30 мг/кг. Зокрема, зростання концентрації ВМ спостерігається в деревних видах. На відміну від трав'янистої рослинності у них розсічена будова листової пластинки й восковий наліт на листках, що пояснюється посиленням фіксації забруднювачів, які надходять повітряним шляхом від вибуху осколково-фугасних боеприпасів і сигнальних ракет.

Фонові значення вмісту купруму для трав'янистих рослин визначено в діапазоні концентрацій – 5,0–20,0 мг/кг сухої маси. ГДК для купруму становить 25,0–30,0 мг/кг сухої речовини. У досліджуваних різновидах рослинності вміст Cu становив 15–168 мг/кг сухої маси [20].

Максимальний уміст Cu зафіксовано для булавоносця сірватого (*Corynephorus canescens* (L.) Beauv) (172 мг/кг) на дернових слабозарослих глеюватих середньозарослих піщаних ґрунтах (точка пробовідбору 216-19), жовтозілля дніпровського (*Senecio borysthenticus* (DC.) Andr.) (154 мг/кг) на дернових розвинених сильнозарослих супіщаних ґрунтах і ковили волосистої (*Stipa capillata*) (132 мг/кг) на дернових слабозарослих слабо-середньозарослих піщаних ґрунтах (241-19).

Таблиця 6. Концентраційні залежності вмісту важких металів у системі ґрунт-рослина

Тип ґрунту/рослинність		№ точки	Хімічний елемент, мг/кг														
		Генетичний горизонт, см	V	КБП	Cu	КБП	Co	КБП	Ni	КБП	Pb	КБП	Mn	КБП	Zn	КБП	Геохімічні ряди накопичення
Дернові слабо-розвинені слабо-середньозарослі піщані	340-15-4	P (69-130)	32		87		5		37		32		740		61		
	340-15-3	HP (28-69)	28		92		6		43		48		870		54		
	340-15-2	H (2-28)	68		83		8		55		60		938		72		
	340-15-1	Hd (0-1)	71		85		8		57		62		945		77		
Сосна кримська (Палласа)	340-1	<i>Pinus pallastana D. Don.</i>	21	0,3	72	0,8	4	0,5	8	0,1	42	0,67	608	0,6	154	2	Zn>Cu>Pb>Mn>-Co>V>Ni
Ковила волосиста	340-2	<i>Stipa capillata</i>	38	0,5	77	0,9	5	0,6	17	0,3	39	0,6	703	0,7	169	2,1	Zn>Cu>Mn>Pb>-Co>V>Ni
Дернові слабо-розвинені глеюваті середньозарослі глинисто-піщані	825-17-4	Pgl (45-89)	76		67		8		24		50		1765		86		
	825-17-3	HPgl (4-45)	67		68		8		28		47		1980		105		
	825-17-2	H (e) (2-4)	83		72		10		34		51		2270		93		
	825-17-1	Hd (0-1)	85		75		12		36		54		2230		97		
Жовтозілля дніпровське	825-1	<i>Senecio borysthenicus DC.</i>	18	0,2	83	1,1	6	0,5	8	0,2	30	0,5	1230	0,5	123	1,2	Zn>Cu>Pb>Mn>-Co>Ni>V
Крушина ламка	825-2	<i>Frangula alnus Mill.</i>	31	0,3	95	1,2	5	0,4	14	0,4	21	0,4	1500	0,7	158	1,6	Zn>Cu>Mn>Pb>Ni>-Co>V
Дернові розвинені середньозарослі піщані та легко-сушані	911-19-3	HPi (20-34)	47		165		14		27		46		1268		89		
	911-19-2	H (e) (2-3)	52		130		18		33		34		1354		102		
	911-19-1	Hd (0-2)	59		127		20		46		32		1360		103		
Вербя попеляста	911-1	<i>Salix cinerea L.</i>	45	0,7	168	1,3	6	0,3	10	0,2	28	0,9	1560	1,1	147	1,4	Zn>Cu>Mn>Pb>V>-Co>Ni
Берега дніпровська	911-2	<i>Betula borysthenica Klokov</i>	33	0,5	157	1,2	4	0,2	4	0,4	19	0,6	1340	0,9	118	1,1	Cu>Zn>Mn>Pb>V>-Ni>Co
Дернові розвинені глибокі глеюваті та глейові слабосолончакуваті середнь-сильнозарослі супіщані	1259-19-4	Ps (42-70)	131		58		3		61		26		698		65		
	1259-19-3	HPigs (23-42)	121		64		3		65		29		763		76		
	1259-19-2	Hegls (8-23)	110		75		4		54		27		873		118		
	1259-19-1	H(gl)s (2-8)	92		67		6		62		34		968		122		
Осока віддалено-коловська	1259-1	<i>Carex distans</i>	56	0,6	114	1,7	3	0,5	68	1	107	35	540	0,5	78	0,6	Pb>Ni>Cu>Zn>V>-Co>Mn

Примітка. КБП – коефіцієнт біологічного поглинання, n – кількість проб.

Критична концентрація плумбуму для різного виду рослин становить 10 мг/кг, фоновий уміст – у діапазоні від 0,6 до 5,0 мг/кг сухої речовини [8, 10, 11, 20].

Найбільший уміст плумбуму зафіксовано для осоки віддаленоколюскової (*Carex distans*) на дернових розвинених глибоких глеюватих і глейових слабосолончакуватих середньозарослих супіщаних ґрунтах – 100–107 мг/кг (160-16) і для житняка пухнастоквіткового (*Agropyron dasyanthum*) на дернових слабозарослих глейових слабосолончакуватих середньозарослих глинисто-піщаних ґрунтах – 97 мг/кг (157-16). Мінімальну концентрацію цього металу зареєстровано для берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*) і крушини ламкої (крушина звичайна) (*Frangula alnus Mill.*) на дернових слабозарослих глеюватих слабосолончакуватих середньозарослих піщаних ґрунтах (139-16, 140-16).

Проведені дослідження засвідчили, що нікель слабо акумулюється деревними рослинами й не перевищує ГДК. Найменша його концентрація в листі верби сірої (*Salix cinerea*) становить у середньому 2 мг/кг сухої маси впродовж усього вегетаційного періоду. У сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) концентрація металу істотно вища (8–11 мг/кг) і суттєво відрізняється в усіх досліджуваних деревних різновидах. В умовах фону концентрація нікелю не змінювалася. У трав'янистих рослинах найвищі показники вмісту спостережено для пирію повзучого (*Elytrigia repens*) і ситника скупченого (*Juncus conglomeratus L.*) – 38 мг/кг (137-16, 134-16).

Загалом, накопичення нікелю в досліджуваних різновидах не перевищувало ГДК і не змінювалося впродовж досліджуваного періоду. Видової специфіки до накопичення металу не виявлено [11].

З'ясовано, що досліджені метали нерівномірно розподіляються органами й тканинами рослин, що можна продемонструвати геохімічними рядами в мг/кг (на прикладі сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*)):

Си: пагони (2,87) > деревина (2,21) > хвоя (1,83) > шишки (1,1).

Мп: хвоя (121,8) > деревина (63,5) > пагони (49,7) > шишки (21,6).

V, Сповідно: деревина (1,32; 0,384) > пагони (0,86; 0,186) > хвоя (0,69; 0,159) > шишки (0,43; 0,118).

Pb, Zn відповідно: пагони (3,21 і 33) > хвоя (2,91 і 28,7) > деревина (2,48 і 24,8) > шишки (0,92 і 19).

“Пікові” значення вмісту досліджуваних металів виявлено в деревині сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*), що зумовлено багаторічним накопиченням забруднювачів у стовбурі.

Однак, мінімальний уміст досліджено в шишках, що пояснюється захистом органів репродукції (шишки) від надлишкового накопичення токсичних елементів.

Досліджено, що листя верби сірої (*Salix cinerea*) у більших концентраціях накопичують купрум, цинк і кобальт, порівнюючи з листям берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*). Хвоя першого року життя сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) вирізняється нижчим накопиченням досліджуваних ВМ, уміст яких перевищує ГДК у листі берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*).

Визначені ряди геохімічної спеціалізації різних видів деревних рослин демонструють більшу схильність до накопичення цинку та нікелю листяних порід дерев, наприклад, верби сірої (*Salix cinerea*). Виділено геохімічні асоціації для сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) – Zn > Cu > Pb > Mn > Co > V > Ni та верби сірої (*Salix cinerea*) – Zn > Cu > Mn > Pb > V > Co > Ni.

Дослідження елементного складу листя чагарникових рослин виявило, що акумулятором купруму, нікелю, мангану, ванадію й плумбуму є крушина звичайна (*Frangula alnus Mill.*). Розподіл металів у листі крушини можна представити такою геохімічною асоціацією, мг/кг: Zn > Cu > Mn > Pb > Ni > Co > V.

Аномальні концентрації купруму для рослин виявлено в коренях житняка Лавренка (*A. lavrenkoanum*), цинку – у коренях тонконога вузьколистого (*Poa angustifolia L.*), кадмію – у коренях зіноваті дніпровської (*Cytisus borysthena Klovov*). Для багатьох видів рослин концентрації ВМ у підземних органах набагато вищі, ніж у надземних, що пояснюється бар'єрною функцією кореневої системи [8]. Отримані дані щодо вмісту ВМ у надземних органах рослин демонструють, що їхній розподіл відбувається в порядку зменшення: листя > квітки > стебла > плоди, але максимальні концентрації зафіксовано в органах за низхідною: стебла > листя > квітки > плоди.

Висновки

Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території є невіддільним складником еколого-геохімічної оцінки території. Максимальні значення токсичних елементів зафіксовано в урочищах рівнинно-слабохвилястих і знижених середньозарослих борових пісків, що характеризують район розміщення вогневих позицій військового полігону. Найбільший уміст рухомих форм у ґрунтах характерний для біофільних елементів – Mn, Zn, Cu. Досліджено перевищення плумбуму, купруму, цинку у фітомасі рослин, порівнюючи із чинними ГДК.

Проведені дослідження виявили залежність перерозподілу ВМ від ландшафтно-геохімічної структури території полігону, що визначає характер і потенційну інтенсивність міграційних потоків забруднювачів. Це засвідчує доцільність систематичних досліджень ландшафтів полігону “Олешківські піски”.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авессаломова И. А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 108 с.
2. Вазицкий П. Очерки военной экологии/П. Вазицкий. – Ленинград: Воениздат, 1989. – 105 с.
3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах/А. П. Виноградов. – Москва: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
4. Воробьева Л. А., Рудакова Т. А., Лобанова Е. А. Тяжелые металлы в окружающей среде/Л. А. Воробьева, Т. А. Рудакова, Е. А. Лобанова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 28–34.
5. Географічна карта “Ландшафтні комплекси Національного природного парку “Олешківські піски” та прилеглих територій” (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000)/А. О. Сплодитель. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 69449. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.10.2016.
6. Геохимия ландшафта: учеб. пособие/Н. К. Чертко и др. 2 изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
7. Геохимия окружающей среды/Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
8. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние/В. В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
9. Жовинский Э. Я. Геохимия техногенных металлов в почвах Украины/Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К.: Наукова думка, 2002. – 215 с.
10. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе “почва – растение”/В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.
11. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях; пер. с англ./А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
12. Косець М. І. Рослинність Козаче-Лагерської арени Нижньодніпров'я/М. І. Косець. – Журн. Ін-ту ботаніки АН УРСР. – 1936. – Т. 17. № 9. – С. 127–191.

13. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів. Навч. посібник/Л. Л. Малишева. – К.: Либідь, 2000. – 472 с.
14. Маринич О. М. Удосконалена схема фізико-географічного районування України/О. М. Маринич, Г. О. Пархоменко, О. М. Петренко, П. Г. Шищенко. – УГЖ, 2003. – № 1. – С. 16–20.
15. Перельман А. И. Геохимия ландшафта/А. И. Перельман. – Москва: Высш. шк., 1975. – 342 с.
16. Перельман А. И. Геохимия ландшафта/А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М.: Астрель-2000, 1999. – 763 с.
17. Проект організації території Національного природного парку “Олешківські піски”, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об’єктів/Приватне акціонерне товариство “Науково-виробничий комплекс “Курс”. – Київ, 2013. – 305 с.
18. Серія географічних карт: Розподіл важких металів (Cu, Pb, V) у сучасному ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Національного природного парку “Олешківські піски” та прилеглих територій” (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:50 000)/І. В. Кураєва, Л. Ю. Сорокіна, А. О. Сплідитель. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 71505. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 19.04.2017.
19. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України/А. І. Фатєєв, Я. В. Пашченко. – Харків, 2003. – 71 с.
20. Cottenie A. Plant quality response to the uptake of polluting elements/A. Cottenie, A. Dhaese, R. Camerlynck. Qual. Plantarum, 1976. – V. 26, № 3. – P. 93–319.
21. Sankaran U. K., Phillip S. Heavy metals uptake and accumulation by Typha angustata from Wetlands around thermal power station/Int. J. Ecol and Environ Sci. – 1990. – V. 16, № 2–3. – P. 113–144.

REFERENCES

1. Avessalomova I. A. Geochemical indicators in the study of landscapes. – Moskva: Izd-vo Mosk. un-ta, 1978. – 108 p. (In Russian).
2. Vazickij P. Essays on Military Ecology. – Leningrad: Voenizdat, 1989. – 105 p. (In Russian).
3. Vinogradov A. P. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. – Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1957. – 238 p. (In Russian).
4. Vorobeva L. A., Rudakova T. A., Lobanova E. A. Heavy metals in the environment. – Moskva: Izd-vo MGU, 1980. – P. 28–34. (In Russian).
5. Geographical map “Landscapes of Oleshkovsky Sands National Nature Park and Adjacent territories” (in digital format, basic scale 1:25 000). A. O. Splodytel. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 69449. Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii 06.10.2016. (In Ukrainian).
6. Geochemistry of the landscape. Manual/N. K. Chertko i dr. – Minsk: BGU, 2011. – 303 p. (In Russian).
7. Environmental chemistry/Yu. E. Saet, B. A. Revich, E. P. Yanin i dr. – Moskva: Nedra, 1990. – 335 p. (In Russian).
8. Dobrovolskij V. V. The geography of trace elements. Global scattering. – Moskva: Mysl, 1983. – 272 p. (In Russian).
9. Zhovinskij Je. Ja. Geochemistry of technogenic metals in the soils of Ukraine. – Kyiv: Nauk. dumka, 2002. – 215 p. (In Russian).
10. Ilin V. B. Heavy metals in the system “soil–plant”. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 150 p. (In Russian).
11. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. – Moskva: Mir, 1989. – 439 p. (In Russian).
12. Kosets M. I. Vegetation of the Cossack Camp arena of the Lower Dnieper//Zhurn. In-tu botaniky AN URSR, 1936. – P. 27–191. (In Ukrainian).
13. Malysheva L. L. Geochemistry of landscapes. Tutorial. – Kyiv: Lybid, 2000. – 472 p. (In Ukrainian).
14. Marynych O. M. The scheme of physical-geographical zoning of Ukraine has been improved. – UHZh, 2003. – № 1. – P. 16–20. (In Ukrainian).
15. Perelman A. I. Landscape geochemistry. – Moskva: Vyssh. shk., 1975. – 342 p. (In Russian).
16. Perelman A. I., Kasimov N. S. Landscape geochemistry. – Moskva: Astreya-2000, 1999. – 763 p. (In Russian).
17. Project for the organization of the territory of the Oleshkovsky Sands National Park, protection, reproduction and recreational use of its natural complexes and objects. – Pryvatne aktsionerne tovarystvo “Naukovo-vyrobnychiy kompleks “Kurs”. – Kyiv, 2013. – 305 p. (In Ukrainian).
18. Geographic map series: Distribution of heavy metals (Cu, Pb, V) in the modern soil cover (0–5 cm horizon) of Oleshkovski Sands Na-

tional Nature Park and adjacent territories (in digital format, basic scale 1:50 000). I. V. Kuraieva, L. Ju. Sorokina, A. O. Splodytel. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 71505. Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii 19.04.2017. (In Ukrainian).

19. Background content of trace elements in soils of Ukraine/ A. I. Fatieiev, Ya. V. Pashchenko. – Kharkiv, 2003. – 71 p. (In Ukrainian).

20. Cottenie A. Plant quality response to the uptake of polluting elements/A. Cottenie, A. Dhaese, R. Camerlynck. Qual. Plantarum, 1976. – V. 26, № 3. – P. 93–319.

21. Sankaran U. K., Phillip S. Heavy metals uptake and accumulation by Typha angustata from Wetlands around thermal power station/Int. J. Ecol and Environ Sci., 1990. – V. 16, № 2–3. – P. 113–144.

Р у к о п и с о т р и м а н о 15.01.2020.

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Редакція приймає оригінальні, раніше не опубліковані статті геологічної, геолого-мінералогічної та технічної тематик.

Статті треба надсилати в друкованому (два примірники) й електронному вигляді, бажано українською мовою.

Обсяг однієї наукової статті – до 25 стор. машинопису через 2 інтервали (разом з табл., фото, рис. та підписами до них, бібліографічним списком, анотацією), оглядової – 6–7 стор., інформаційного повідомлення – 3–4 стор.

До рукопису потрібно додати акт експертизи й такі відомості про автора/авторів: прізвище, ім'я та по батькові (повністю); учене звання й учений ступінь; посада чи професія; місце роботи (назва установи чи організації); адреса місця роботи, номер телефону; адреса місця проживання, номер телефону, електронна адреса, ORCID.

До кожної статті обов'язково навести: індекс УДК, анотацію (українською та англійською), бібліографічний список за алфавітом (оформлений відповідно до сучасних вимог), рисунки, таблиці та підписи до них (окремі файли).

Комп'ютерні макети рисунків приймаються в разі дотримання таких умов.

Р а с т р о в а графіка: чорно-біле зображення – *.tif чи *.psd (Adobe PhotoShop); повнокольорове зображення – *.tif, *.eps, *.psd-формат, роздільна здатність 300 dpi. Кольорова модель СМЮК, чорний колір в одному каналі.

В е к т о р н а графіка: файли формату *.ai, *.eps (Adobe Illustrator) чи *.cdr (CorelDraw). Використані шрифти мають бути подані окремо або переведені в криві. Растрову графіку до векторного макета не вносити.

• Редколегія може не поділяти думок автора.

• Автори відповідають за точність викладених фактів, даних, цитат, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен, геологічних термінів тощо.

Рішення про публікацію статті в журналі приймається на основі незалежної експертизи, яку організовує редакція журналу.