

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>
УДК 504.064.3:(550.4:546.3–34)(477.62)

А.О. СПЛОДИТЕЛЬ, І.В. КУРАЄВА, К.С. ЗЛОБИНА

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,
E-mail: asploodytel@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ м. БРОВАРИ

Проаналізовано закономірності розподілу важких металів у техногенно-забруднених ґрунтах урбанізованих територій на прикладі м. Бровари Київської області. Встановлено фізико-хімічні властивості умовно чистих та техногенно-забруднених ґрунтів. Вивчено особливості геохімічного розподілу важких металів у ґрунтовогому покриві міста, що зазнають впливу промислових підприємств. За геохімічними критеріями визначено техногенні асоціації важких металів у ґрунтах, які представлені такими елементами: мідь > свинець > цинк > кобальт > хром > ванадій > молібден > марганець > нікель. Рівень валового вмісту сполук хімічних елементів в ґрунтах різних зон міста неоднорідний. Максимум техногенного навантаження зафіксовано в урбаноземах зони транспортної інфраструктури та зони виробничих та комунально-складських об'єктів. За показниками вмісту важких металів в ґрунтах техногенно-антропогенних зон міста основними поліюантами є мідь та свинець, у той час як найбільш небезпечними забруднювачами ґрунтів всіх функціональних зон міста є рухомі форми цинку та нікелю. Наведено еколого-геохімічну оцінку за сумарним показником забруднення з використанням методик Ю.Є. Саєта. Значення цього показника поверхневого шару ґрунту м. Бровари (0–10 см) коливається від 30 до 106, середній показник — 65, що відповідає небезпечному рівню забруднення ґрунтового покриву. Зони транспортної інфраструктури та зони виробничих та комунально-складських об'єктів мають високі ступені забруднення, а в житловій зоні домінує допустимий рівень забруднення. Досліджувані ґрунти міста характеризуються свинцевою геохімічною спеціалізацією. Встановлено також досить високі рівні цинку, мангану, кобальту та хрому. Проаналізовано основні чинники, що впливають на рівні концентрації та міграцію важких металів у ґрунтах міста. Встановлено зв'язок вмісту важких металів та об'єктів промислового виробництва м. Бровари, що виступають факторами антропогенного навантаження на природні компоненти урбанізованого середовища.

Ключові слова: урбаноземі; важкі метали; міграція; закономірності розподілу.

Вступ

Інтенсивний розвиток промисловості та збільшення видів економічної діяльності суспільства є причиною і наслідком зростання процесів урбанізації. В Україні спостерігається стала

тенденція до зростання частки міського населення. В наш час показник урбанізації становить 67 %, однак за прогнозами ООН в 2050 р. частка міського населення України сягне 79 %. Постійно зростає забруднення природних

Цитування: Сплодитель А.О., Кураєва І.В., Злобіна К.С. Особливості акумуляції важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів м. Бровари. *Геологічний журнал*. 2020. № 2 (371). С. 39—51. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>

Citation: Splodytel A.O., Kurayeva I.V., Zlobina K.S., 2020. Peculiarities of heavy metal accumulation in soils in urbanized landscapes of Brovary town. *Geological Journal (Ukraine)*, No. 2 (371), pp. 39—51. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>

систем внаслідок антропогенної діяльності та низька ефективність методів очищення територій становлять загрозу здоров'ю людей та природному середовищу в цілому.

Під впливом урбанізаційно-техногенних процесів відбувається геохімічна трансформація ґрунтів, що призводить до порушення їх властивостей. Найбільш значні геохімічні перетворення в ґрунтах приурочені до верхніх ґрунтових горизонтів, в які з атмосфери надходить значна кількість пилу і аерозолів, що містять політанти. Надходження тонких фракцій пилу та гумусових речовин збільшує ємність поглинання міських ґрунтів, а випадання карбонатного пилу призводить до збільшення рН верхніх ґрунтових горизонтів. Таким чином, ґрунтовий покрив обтяжений акумуляцією забруднюючих речовин, включаючи важкі метали (ВМ).

Метою роботи є встановлення особливостей акумуляції ВМ у ґрунтовому покриві урбанізованих ландшафтів малих міст на прикладі м. Бровари.

Реалізація поставленої мети передбачала вирішення таких дослідницьких завдань:

- визначити регіональний фоновий рівень вмісту окремих ВМ в ґрунтах м. Бровари;
- встановити взаємозв'язок між фізико-хімічними особливостями ґрунтів території міста з розподілом важких металів в суміжних середовищах;
- оцінити вплив техногенезу на вміст та розподіл ВМ в функціональних зонах міста.

Теоретичну основу сучасних еколого-геохімічних досліджень урбанізованих територій складають базові наукові концепції геохімії ландшафтів (Глазовська, 1989; Перельман, 1989, 1999; Касимов, 1992; Перельман, Касимов, 1999). В Україні значний внесок в еколого-геохімічні дослідження окремих компонентів ландшафту здійснили праці Б.Ф. Міцкевича (1971), Е.Я. Жовинського (Жовинський та ін., 1991; Жовинський, Кураєва, 2012), А.І. Самчука (1993, Самчук та ін., 2002), Г.М. Бондаренка (2004), І.В. Кураєвої (1997).

У пропонованому дослідженні особлива увага приділена не лише визначенню розподілу ВМ в урбанізованих ландшафтах, що знаходяться у межах зон впливу техногенних об'єктів, але й аналізу умов їх латеральної міграції у ґрунтовому покриві міського середовища.

Матеріал і методи досліджень

Методологічною складовою еколого-геохімічної оцінки урбанізованих територій є ландшафтно-геохімічний аналіз стану навколишнього середовища. Важливим напрямом такого аналізу є вивчення міграції політантів, трансформації техногенних потоків та акумуляції забруднювачів в окремих компонентах ландшафту з урахуванням природних умов та реакцій природних ландшафтних систем на техногенний вплив.

Об'єкт дослідження — ландшафтні комплекси м. Бровари Київської області, що розташовані в межах зон впливу великих виробничих підприємств та комунально-складських об'єктів.

Дослідження виконано з використанням аналітичних, картографічних, статистичних методів, а також методів ландшафтно-геохімічних досліджень з використанням засобів ГІС-аналізу. Базову інформацію про ландшафтно-геохімічну структуру території доповнено детальними геохімічними дослідженнями ландшафтів на ключових ділянках. Відбір ґрунтових зразків здійснено за регулярною мережею ключових ділянок з урахуванням особливостей функціонального зонування міської забудови м. Бровари. Всього було відібрано та проаналізовано 1674 проби ґрунту з семи зон міста:

- громадська зона (зона загальноміського центру, другорядна громадська зона, навчальна зона, спортивна зона, лікувальна зона, торговельна зона);
- житлова зона (зона одноквартирної забудови, зона багатоквартирної мало- та середньоповерхової забудови, зона багатоквартирної багатоповерхової забудови, зона змішаної одноквартирної та багатоквартирної забудови);
- ландшафтно-рекреаційна зона (рекреаційні зони озеленених територій);
- зона транспортної інфраструктури (зона зовнішнього залізничного транспорту, зона вулиць, зона розміщення споруд для обслуговування транспортних засобів);
- зона інженерної інфраструктури (зона об'єктів електромережі);
- зона виробничих та комунально-складських об'єктів (зона розміщення об'єктів 4—5 класу санітарної класифікації, зона кладовищ, громадсько-виробнича зона);
- зона спеціального призначення.

Для визначення геохімічних показників використовувалися сучасні фізико-хімічні методи: емісійний спектральний аналіз, атомно-абсорбційний, потенціометричний та ін. Для всіх ключових ділянок дослідження було обчислено показник сумарного техногенного забруднення (Z_c), розрахований за формулою (Саєт, 1990): $Z_c = \sum K_{n_{ci}} - \dots(n-1)$, де n — кількість аномальних елементів; $K_{n_{ci}}$ — коефіцієнт перевищення над фоном (коефіцієнт концентрації).

У зразках ґрунту було визначено їх основні фізико-хімічні властивості та загальний вміст мікроелементів. Гранулометричний склад визначено за допомогою ізометричного методу Casa-grandex, рН-потенціометрично в суспензії 1 моль дм^3 розчину HCl . Гідролітичну кислотність та обмінні катіони — Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ — визначено методом Каппена.

Вміст ВМ визначено мас-спектральним (ICP-MS) та атомно-емісійним методами (ICP-AES) з індуктивно зв'язаною плазмою на приладах Elan-6100 і Optima-4300 DV (Perkin-Elmer, США), на аналізаторі ELEMENT-2 (Німеччина) в Інституті геології Польської академії наук та Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України.

Для статистичної оцінки результатів випробувань були розраховані коефіцієнти кореляції. Зазначені коефіцієнти та вміст ВМ у досліджуваних зразках ґрунту порівнювали зі значеннями, що визначають геохімічний фон ґрунтів за даними Національного наукового центру “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського”, а також за нормативними показниками значень гранично допустимої концентрації (ГДК) валового вмісту і ГДК рухомих форм політантів у ґрунтах (Добровольський, 1983; Фатеев, Пашенко, 2003). Для оцінки забрудненості ґрунтів використано коефіцієнт концентрації K_c , який розраховано за формулою: $K_c = C/C_f$, де C — фактичний вміст забруднення; C_f — фоновий вміст (Воробьева и др., 1980).

Розподіл ВМ в ґрунтах урбанізованих територій

Вміст та розподіл ВМ у ґрунтових профілях визначаються кількістю органічної речовини, фізико-хімічними властивостями ґрунтів та

перебігом ґрунтоутвірних процесів. Природний вміст мікроелементів у ґрунті залежить насамперед від типу материнської породи, яка є їх основним джерелом походження (Кабата-Пендіас, 1989; Воробьева и др. 1980; Жовинський, Кураєва, 2012).

Характерними рисами міських ґрунтів є нейтральна або лужна реакція, підвищена об'ємна маса, знижена вологоємність та ущільненість. Це ускладнює можливість ідентифікувати залежності фізико-хімічних змін, що відбуваються в ґрунтового покриві та сприяють закріпленню елементів-забруднювачів.

Територія міста забруднена елементами I-III класу небезпеки — свинцем, цинком, кобальтом, міддю тощо. Площинне забруднення перевищує фонові значення, окремі техногенні поля мають показники, що перевищують ГДК. У процесі дослідження було виділено ділянки з підвищеним вмістом хімічних елементів, які утворюють площинні та точкові аномалії.

Під час ландшафтно-геохімічного вивчення території м. Бровари особливу увагу було приділено територіям, що зазнають впливу підприємств, які характеризуються підвищеними об'ємами повітряних викидів: Казенний завод порошкової металургії, ЗАТ “Броварський завод пластмас”, СП “Броварський завод торгового машинобудування”, КП “Київський завод алюмінієвих будівельних конструкцій”, ТОВ “Полімер-колор”.

Основні забруднювачі

Свинець

У земній корі свинець накопичується майже виключно як Pb^{2+} , спорадично Pb^{4+} . Свинець має високі сульфідні тенденції, що проявляються в утворенні сульфідних мінералів. У рідинах для сульфидування він сильно диспергується та переходить у залишкові сульфідні продукти. Також свинець виявляє високу геохімічну спорідненість з цинком, утворюючи з ним спільні геохімічні аномалії (Кабата-Пендіас, 1989).

Наявність свинцю в ґрунтах міста безпосередньо пов'язана з мінералогічним та гранулометричним складом ґрунтових порід. Свинець через погану розчинність мінералів мігрує в ґрунтового середовищі менш інтенсивно, ніж кадмій та цинк.

Підвищений вміст свинцю в поверхневих горизонтах ґрунту переважно пов'язаний з антропогенним впливом виробничих та комунаційних викидів. Кисла реакція ґрунтів, а також їх погана сорбційна здатність та низький вміст гумусу посилюють засвоєння свинцю рослинами (Alloway, 1995; Bakker, Vries, 1997; Воробьева и др., 1980).

У поверхневому шарі ґрунтів міських територій накопичуються сполуки свинцю з антропогенних джерел. Присутність свинцю у всіх поверхневих середовищах пов'язана з його широким застосуванням у виробництві акумуляторів та бензинів із додаванням його сполук. Частина свинцю, накопиченого в ґрунті, утворюється при спалюванні відходів. Його сполуки використовуються для виробництва фарб, пестицидів, стабілізаторів пластичної маси та металевого свинцю в акумуляторах, сплавах, трубах, що приймають стічні канали після виробництва (Кабата-Пендиас, 1989).

Високі коефіцієнти варіації свинцю в межах міста свідчать про мозаїчний характер розподілу забруднювача, що є індикатором антропогенного походження. Валовий вміст свинцю в міських ґрунтах усіх функціональних зон Броварів перевищує його фоновий вміст (25—28 мг/кг). Низьким рівнем валового вмісту свинцю характеризуються ґрунти ландшафтно-рекреаційної та житлової зон (16—21 мг/кг), в той час як у ґрунтах зон транспортної та інженерної інфраструктури (80—400 мг/кг) його вміст коливається від середнього до дуже високого. У ґрунтах 58 % території міста валовий вміст свинцю становить 1,1—3,2 ГДК. Перевищення ГДК по свинцю в 1,2—3,5 рази відзначається на 70 % території зони виробничих та комунально-складських об'єктів і в 1,1—2,0 рази на 39 % території житлової зони.

Найвищі концентрації свинцю (348, 400 мг/кг) зафіксовані по вулиці Гагаріна та в межах інженерного коридору по вул. Онікієнка. На 2 % території міста (урбаноземі громадської зони) встановлено дуже високий рівень забруднення ґрунтів (понад 400 мг/кг), на 9 % (урбаноземі зони транспортної інфраструктури) — середній і високий (250—370 мг/кг) і лише на 15 % — низький (80—120 мг/кг), що пов'язано з високим транспортним навантаженням у приміській зоні м. Київ.

Мідь

У ґрунтах мідь зустрічається в різних формах, як правило, створюючи малорухомі сполуки у вигляді осадів карбонату та сульфату. Мідь сильно сорбується органічними речовинами та глинистими мінералами. Поглинання міді пов'язане обернено пропорційно з абсолютними показниками кислотності ґрунту: зниження рН збільшує поглинання цього елемента, зі збільшенням рН ґрунту рівень поглинання елемента зменшується (Кабата-Пендиас, 1989; Виноградов, 1957; Воробьева и др., 1980).

Для ґрунтів міста характерний підвищений вміст міді. У більшості досліджуваних зразків межі концентрації перевищують фон (8 мг/кг) та ГДК (33 мг/кг) в десятки разів. Максимальний вміст міді (1000 мг/кг) було зафіксовано у зразку № 231, взятому з газону на вул. Перонна. Показники валового вмісту міді в ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів (600—1000 мг/кг), житлової зони (80—100 мг/кг), громадської зони (400—600 мг/кг) можна об'єднати в єдину групу підвищеного та високого рівня вмісту цього металу, в той час як у ґрунтах ландшафтно-рекреаційної зони (30—50 мг/кг) концентрація міді відносно низька. У 90 % зразків ґрунтів, що були відібрані у різних частинах м. Бровари, спостерігається перевищення ГДК по валовому вмісту міді в 30 разів, насамперед це характерно для урбаноземів зони виробничих та комунально-складських об'єктів та зони спеціального призначення.

Ванадій

Схожа ситуація простежується і для валового вмісту ванадію. Рівень концентрації цього металу в ґрунтах громадської зони оцінено як середній (10—18 мг/кг), тоді як у ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів міститься надмірна його кількість (понад 40 мг/кг), а на 20 % досліджуваних територій спостерігається перевищення ГДК — 150 мг/кг, в середньому в 3,1 рази.

Нікель і кобальт

Ґрунтовий покрив території відіграє вирішальну роль у розподілі нікелю та кобальту, вміст яких залежить від їх кількості в ґрунотвірній породі. Максимальні значення нікелю та кобальту приурочені до гумусових горизонтів

ґрунту. У глейових горизонтах при високих концентраціях заліза відбувається помітне зниження забруднювачів у порівнянні з неоглеєними (Виноградов, 1957; Воробьева и др., 1980).

Аналіз проведених досліджень засвідчує чітку тенденцію до рівномірного розподілу поліютантів у ґрунтах території міста. Вміст нікелю та кобальту не перевищує верхню межу допустимих концентрацій в поверхневих горизонтах ґрунту (нікель — 8—10 мг/кг, кобальт — 4—6 мг/кг). Лише в районі вулиць Металургів, Щолківській та Онікієнка їхній вміст перевищує ГДК в 2—4 рази, сягаючи 100 мг/кг.

Цинк

Поліютант акумулюється в поверхневих горизонтах, де він сорбується органічною речовиною та глинистими частинками. Взаємодіючи з гумусом, цинк утворює стійкі сполуки, а рівень адсорбції залежить від рН. В лужному середовищі цинк адсорбується за механізмом хемосорбції, а в кислому середовищі адсорбція іона цинку слабшає за рахунок конкуренції з боку інших іонів, що призводить до десорбції з твердої фази в ґрунтовий розчин і до вилуговування цинку. Частка рухомого цинку зростає при підвищенні кислотності (Alloway, 1995).

Ґрунти міста характеризуються контрастним розподілом цинку — від 60 до 1000 мг/кг. У більшості зразків вміст цинку не перевищує 120 мг/кг, при регіональному фоновому значенні 42 мг/кг. Цинк — один з найбільш інтенсивно використовуваних кольорових металів. В цілому (понад 90 %) він застосовується в металевому стані та використовується для покриття сталевих листів та чавунних ливар для захисту від корозії (наприклад, у автомобілях, будівництві). Сплави (бронза, латунь) широко застосовуються для виготовлення деталей машин і фурнітури. Дисперсія цинку в металевій формі невелика, але більш легка в міграції його сполуки, які використовуються у виробництві гуми, препаратів для захисту рослин, добрив, фармацевтичних препаратів та косметики. Важливим джерелом забруднення цинком ґрунту є також виробництво фарби, спалювання вугілля, стирання автомобільних шин, скиди стічних вод, а також вилуговування з полігонів (Воробьева и др., 1980).

Підвищений вміст цинку в ґрунтах спостерігається в основному на північному сході та

північному заході міста — в районах, найбільш індустріалізованих та прилеглих до основних автомобільних шляхів. Найвища концентрація цинку фіксується у ґрунтах, розташованих на вулицях Лісова, Степана Бандери, Фіалківського, Симоненка. Максимальний вміст цинку (1050 мг/кг) було виявлено біля підприємства КП “Київський завод алюмінієвих будівельних конструкцій”.

Дуже висока концентрація цинку (530—827 мг/кг) характерна для ґрунтів неподалік таких підприємств: ЗАТ “Броварський завод пластмас”, СП “Броварський завод торгового машинобудування”. Вміст 347 мг/кг цинку було також виявлено на вулицях Переяслів Шлях та Степана Бандери.

Марганець

Значна акумуляція марганцю в верхніх горизонтах ґрунтового покриву пов’язана з фіксацією цього елемента гумусовими речовинами (Alloway, 1995). Сполуки марганцю добре розчинні, особливо при кислотній реакції середовища.

Ґрунтовий покрив досліджуваної території містить відносно високі показники вмісту марганцю, однак коефіцієнт концентрації в ґрунтах у середньому не перевищує 6, а понад 40 % обстежених площ містить від 360 до 540 мг/кг цього елемента. Максимальний вміст марганцю зафіксовано в зоні виробничих та комунально-складських об’єктів (2300 мг/кг). При цьому значення концентрації в межах міста можуть коливатися від 320 до 1900 мг/кг. Забруднення ґрунтів марганцем особливо істотно поблизу підприємств Казенний завод порошкової металургії (1910 мг/кг) та ВАТ “Завод будівельних конструкцій” (2100 мг/кг).

Хром

Вміст хрому в ґрунтах в основному визначається його концентрацією у материнській породі (Alloway, 1995). Основна частина хрому в ґрунтах представлена в трьохвалентній формі. У кислих ґрунтах сполуки хрому перебувають практично у нерухомому стані, а при рН 5,5 випадають в осад. До основних техногенних джерел хрому відноситься хімічна промисловість (Виноградов, 1957; Воробьева и др., 1980; Жовинський, Кураєва, 2012).

Забруднювач надходить в ґрунт з рудних відвалів, металевого брухту та побутових хромов-

місних відходів. Регіональне фонове значення хрому для ґрунтів міста сягає 39 мг/кг. Встановлено, що середній вміст у супіщаних і глинистих ґрунтах становить 37 мг/кг. Досліджено, що середній вміст валових форм хрому в ґрунтах міста, зокрема у дерново-слабопідзолистих піщаних та супіщаних, становить 32–42 мг/кг. Виявлено незначні коливання вмісту хрому в окремих ґрунтах, більша кількість цього елемента відповідає світло-сірим глеюватим легкосуглинковим та алювіальним супіщаним ґрунтам — 60–80 мг/кг ґрунту. Максимальні значення зафіксовано для зон спеціального призначення (102 мг/кг) та інженерної інфраструктури (110 мг/кг). Високий вміст хрому (92–140 мг/кг) характерний також для ґрунтів зони виробничих та комунально-складських об'єктів.

Закономірності функціонально-зонального розподілу ВМ

У житловій зоні Броварів накопичення ВМ у ґрунтах відбувається аналогічно біогенним елементам за концентричним типом. Це зу-

мовлено не тільки типом ґрунтовірних порід, але і часовими відмінностями в забудові цих територій. Локальні техногенні аномалії з урахуванням регіональних особливостей дозволяють виявити розраховані нами коефіцієнти концентрації (табл. 1). Вміст ВМ у ґрунтах Броварів підвищений ($K_c > 1,0$) в порівнянні з фоновими концентраціями територій, які не зазнають суттєвого антропогенного впливу.

Відповідно до значень цього коефіцієнта в ґрунтах міста спостерігається підвищений валовий вміст ВМ у порівнянні з фоновими значеннями. Концентрація міді, свинцю, цинку підвищена ($K_c > 3$) в зонах інженерної інфраструктури та виробничих і комунально-складських об'єктів, а саме: свинцю, цинку, кобальту — в зоні інженерної інфраструктури; свинцю і міді — в громадській зоні; цинку, нікелю, свинцю і міді — в зоні транспортної інфраструктури.

Для сірих ґрунтів основними поліюантами є свинець, мідь; для дерново-підзолистих глеюватих та лучних ґрунтів — мідь і цинк; для урбаноземів — мідь, цинк, свинець ($K_c > 4,0$).

Таблиця 1. Коефіцієнти концентрації ВМ за функціональними зонами м. Бровари (мг/кг)
Table 1. Concentration coefficients of heavy metals for the functional zone of Brovary city (mg/kg)

Хімічний елемент	Зона							Регіональні фонові значення (за А.І. Фатєєвим)
	Громадська	Житлова	Ландшафтно-рекреаційна	Транспортної інфраструктури	Інженерної інфраструктури	Виробничих та комунально-складських об'єктів	Спеціального призначення	
Mn	400	380	220	760	670	910	830	395
Kc	1,01	0,9	0,5	1,9	1,7	2,3	2,1	
Ni	9,4	8,3	8,1	10	7,5	11	10	12
Kc	0,7	0,69	0,67	0,83	0,6	0,9	0,8	
Co	5,6	4,7	4,1	6,4	32	52	44	10
Kc	0,56	0,47	0,4	0,64	3,2	5,2	4,4	
V	14	9,5	11	10	32	43	29	16
Kc	0,87	0,59	0,68	0,62	2	2,6	1,8	
Cr	42	55	28	82	110	138	102	39
Kc	1,07	1,4	0,7	2,1	2,8	3,5	2,6	
Mo	2,1	1,9	1,7	4,2	5,1	6,4	4,5	2,4
Kc	0,87	0,79	0,7	1,7	2,1	2,6	1,8	
Cu	31	43	38	115	340	540	490	8
Kc	3,8	5,3	4,7	14,3	42,5	67,5	61	
Pb	55	18	16	82	76	78	62	11
Kc	5	1,6	1,4	5,8	6,9	7	5,6	
Zn	35	55	32	110	165	230	170	42
Kc	0,8	1,3	0,76	2,6	3,9	5,4	4	

В цілому для Броварів встановлено наявність поліелементних забруднень міських ґрунтів. У ґрунтах техногенно-антропогенних зон міста основними поліюгантами є мідь, свинець та цинк. Ряди накопичення валових форм ВМ згідно Кс за функціонуванням міста мають такий вигляд:

Громадська зона: $Pb > Cu > Cr > Mn > V > Mo > Zn > Ni > Co$.

Житлова зона: $Cu > Pb > Cr > Mn > Zn > Mo > Ni > V > Co$.

Ландшафтно-рекреаційна зона: $Cu > Zn > Pb > Mo > Cr > Mn > V > Ni > Co$.

Зона транспортної інфраструктури: $Cu > Pb > Zn > Cr > Mn > Mo > Ni > Co > V$.

Зона інженерної інфраструктури: $Cu > Pb > Zn > Co > Cr > Mo > V > Mn > Ni$.

Зона виробничих та комунально-складських об'єктів: $Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni$.

Зона спеціального призначення: $Cu > Pb > Co > Zn > Cr > Mn > V > Mo > Ni$.

Ґрунти ландшафтно-рекреаційної зони відрізняються найменшим вмістом ВМ: для багатьох елементів $K_s < 1$, накопичення відзначається тільки для міді та свинцю. У зонах виробничих та комунально-складських об'єктів та спеціального призначення виявлено одну з найвищих концентрацій поліюгантів у місті. Найбільш інтенсивно акумулюються мідь, свинець, цинк, кобальт, хром. Поблизу великих автомагістралей накопичуються свинець, цинк (відповідно $K_s = 58$ і $2,6$), а також хром, молібден, нікель ($0,8$ — $2,1$). У менших концентраціях виявлено ванадій ($0,62$). Локалізація аномалій ВМ зафіксована в міській промисловій зоні та біля автомагістралей.

У житловій зоні міста розрізняються ґрунти одноквартирної забудови та багатоквартирної мало- та середньоповерхової забудови. Процеси акумуляції ВМ у ґрунтах приватної забудови йдуть менш інтенсивно, ніж багатоповерхової, незважаючи на їх значну емісію. Райони одноквартирної забудови характеризуються слабкою геохімічною трансформацією ґрунтового покриву: для більшості елементів $K_s < 1,0$, крім цинку та свинцю. У зоні багатоповерхової забудови виявлені більш високі концентрації поліюгантів: для хрому та міді $K_s = 1,4$ і $5,3$, відповідно. У фонових ґрунтах і в ландшафтно-рекреаційній зоні міста, крім асоціації $Cu >$

$Zn > Pb > Mo > Cr > Mn > V > Ni > Co$, спостерігається асоціація $Cu > Pb > Cr > Mn > Zn > Mo > Ni > V > Co$. Склад асоціацій в ґрунтах районів приватної забудови близький до фонових значень та значень ландшафтно-рекреаційної зони.

При порівнянні фонових і міських територій виділена техногенна асоціація: $Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni$. Вона приурочена до зони виробничих та комунально-складських об'єктів та зон спеціального призначення; досліджувані ВМ характеризуються високою технофільністю.

Особливе значення при оцінці еколого-геохімічного стану ґрунтів мають сполуки ВМ, що здатні переходити з твердих фаз у рухомі форми та поглинатися живими організмами. Саме тому нами проведена оцінка вмісту рухомих форм ВМ як в ґрунтах основних функціональних зон міста, так і в основних типах ґрунтів у межах м. Бровари.

На відміну від валового вмісту, концентрації рухомих форм свинцю в ґрунтах усіх досліджуваних функціональних зон міста не перевищують ГДК. Зростання санітарно-гігієнічних показників не відзначається також для кобальту і нікелю. На відміну від валового вмісту ВМ у ґрунтах, де простежується чітка відмінність між антропогенними і техногенними зонами міста, ряди накопичення ВМ за Кс для всіх функціональних зон міста мають подібний характер. Найбільш небезпечними забруднювачами є рухомі форми цинку та свинцю (табл. 2).

Вміст рухомих форм цинку в дерново-слабопідзолистих піщаних та супіщаних ґрунтах знаходиться в межах допустимих значень, в той час як ґрунти зони виробничих та комунально-складських об'єктів виходять за норми ГДК. На 58 % територій спеціальної зони та зони транспортної інфраструктури вміст рухомого цинку в ґрунті перевищує ГДК в $1,1$ — $2,7$ рази. У ґрунтах усіх функціональних зон Броварів встановлено перевищення ГДК за вмістом рухомої міді. На 90 % територій зони виробничих та комунально-складських об'єктів та зони спеціального призначення, незалежно від типу ґрунтів, вміст рухомої міді сягає $1,4$ — $3,2$ ГДК, на 32 % житлової зони (урбаноземі) — до $1,1$ — $2,3$ ГДК. У дернових глеюватих супіщаних ґрунтах 34 % і в світлосірих ґрунтах 19 % перевищують ГДК за вміс-

том рухомої міді, що становить 1,2—3,4 ГДК і 1,1—1,6 ГДК, відповідно.

Вміст рухомих форм заліза в ґрунтах житлових та громадських зон міста знаходиться в межах норми (0,24 мг/кг), а в ґрунтах ландшафтно-рекреаційної зони спостерігається різке збільшення його кількості (0,52 мг/кг). Накопичення заліза в цих ґрунтах може бути пов'язано як з особливостями ґрунтотвірних порід, так і з руйнуванням залізистих сполук, що надходять в ґрунт з добре збереженими рослинними рештками.

Нами виділено такі асоціації накопичення рухомих форм ВМ, характерних для різних функціональних зон міста:

Громадська зона: Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr.

Житлова зона: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr.

Ландшафтно-рекреаційна зона: Zn > Cu > Pb > Co > Cr > Ni.

Зона транспортної інфраструктури: Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr.

Зона інженерної інфраструктури: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr.

Зона виробничих та комунально-складських об'єктів: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr.

Зона спеціального призначення: Cu > Zn > Pb > Co > Ni > Cr.

За вмістом та ступенем забруднення рухомими формами ВМ природні фонові ґрунти мають низьку концентрацію нікелю, кобальту, хрому, середню — міді, свинцю та цинку (табл. 3).

Ґрунти 7 % площі громадської та житлової зони і 32 % ландшафтно-рекреаційної зони слабо забруднені міддю, 11 % території зони інженерної інфраструктури і 21 % територій міста, що зайняті ясно-сірими легкосуглинковими ґрунтами, мають високий ступінь забруднення ґрунтів цим поллютантом.

Фонові ґрунти міста накопичують рухомі форми ВМ в такому порядку зменшення:

Ясно-сірий супіщаний: Cu > Zn > Ni > Pb > Cr > Co.

Таблиця 2. Вміст рухомих форм важких металів у функціональних зонах м. Бровари, мг/кг

Table 2. Moving forms of heavy metals content in the functional zones of Brovary city, mg/kg

Функціональна зона	Ni	Co	Cr	Cu	Pb	Zn
Громадська	0,59	0,27	0,26	2,8	0,61	4,10
Житлова	0,29	0,31	0,21	5,7	0,34	4,30
Ландшафтно-рекреаційна	0,31	0,33	0,32	2,9	0,58	3,88
Транспортної інфраструктури	0,56	0,50	0,41	4,30	1,03	4,90
Інженерної інфраструктури	0,42	0,72	0,38	3,87	0,93	5,60
Виробничих та комунально-складських об'єктів	0,68	0,81	0,49	6,80	0,88	6,80
Спеціального призначення	0,52	0,58	0,51	9,70	0,94	6,60
ГДК рухомих форм В.І. Кисіль, 1997 (ацетатно-амонійний буфер, рН 4,8)	4	3	6	3	2	23

Таблиця 3. Вміст валових та рухомих форм ВМ в фонових ґрунтах м. Бровари, мг/кг

Table 3. Content of total and mobile forms of heavy metals in the reference soils of Brovary city, mg/kg

Ґрунт	Ni	Cr	Zn	Co	Cu	Pb
Ясно-сірий супіщаний	15	21	45	4	11	32
	1,6	0,26	2,1	0,18	2	0,38
Ясно-сірий легкосуглинковий	20	34	55	6	23	38
	1,5	0,36	1,9	0,38	3,1	0,43
Дерновий глеюватий слабосолонцюватий легкосуглинковий	12	29	38	8	34	35
	0,49	0,32	4,52	0,37	2,37	0,47
Дерново-слабопідзолистий піщано-супіщаний	19	21	58	8	32	24
	1,3	0,27	3,42	0,9	3,18	0,33
Алювіальний шаруватий супіщаний	11	19	34	6	26	20
	0,26	0,24	2,1	0,53	1,12	0,29
ГДК рухомих форм В.І. Кисіль, 1997 (ацетатно-амонійний буфер, рН 4,8)	4	6	23	3	3	2

Ясно-сірий легкосуглинковий: $Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cr$.

Дерновий глеуватий слабосолонцюватий легкосуглинковий: $Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr$.

Дерново-слабопідзолистий піщано-супіщаний: $Zn > Cu > Ni > Co > Pb > Cr$.

Алювіальний шаруватий супіщаний: $Zn > Cu > Co > Pb > Ni > Cr$.

За сумарним показником забруднення рухомими формами ВМ ґрунтів досліджувані функціональні зони міста зазнають помірно небезпечне техногенне навантаження.

Порівнюючи значення Zc за валовим вмістом ВМ з вмістом їх рухомих форм, можна припустити, що в ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів більша частина ВМ знаходиться в легкодоступній для рослин формі. У той час як для ґрунтів житлової та ландшафтно-рекреаційної зон характерна протилежна тенденція — тут метали накопичуються переважно в фіксованих, нерухомих формах. В дерново-слабопідзолистих піщаних та супіщаних ґрунтах фонових територій міста не спостерігається значних коливань валового вмісту хрому, нікелю, кобальту по ґрунтовому профілю. В порівнянні з урбаноземами в ґрунтах фонових територій фіксується накопичення сполук ВМ з глибинних ґрунтових горизонтів. Очевидно, це пов'язано із значно меншим рівнем техногенного навантаження та підвищеною кислотністю верхніх горизонтів природних ґрунтів у порівнянні з міськими ґрунтами. В таких умовах розчинність сполук більшості ВМ підвищується та збільшується їх міграційна здатність. Низький вміст ВМ у верхньому гумусовому горизонті та переважне їх накопичення в нижніх ґрунтових горизонтах пояснюється також відсутністю на фоновій ділянці деревних форм рослинності. Очевидно, що це перешкоджає переміщенню ВМ з ґрунотвірних порід у верхні горизонти ґрунту та наземну частину рослин. В цьому випадку спостерігається низька контрастність біогеохімічного бар'єру, пов'язаного з утворенням рослинної біомаси. Виняток становить лише цинк, вміст якого в верхньому горизонті ґрунту дещо вищий. Міські ґрунти значно забруднені ВМ у порівнянні з природними фоновими ґрунтами. Максимальні концентрації елементів-забруднювачів здебільшого приурочені до верхнього гумусового горизонту, де інтен-

сивно протікає процес гумусоутворення, що сприяє зв'язуванню ВМ та їх накопиченню.

Інші горизонти досліджуваних ґрунтів характеризуються низьким вмістом гумусу (до 0,4 %), з глибиною змінюється реакція середовища ґрунтового розчину, а щільність ґрунту зростає. Ці властивості призводять до зниження мікробіологічної активності ґрунтів та рухливості ВМ. Розподіл частини ВМ (свинець, цинк, мідь) у ґрунтах функціональних зон міста підпорядкований загальним тенденціям: у ґрунтах природно-антропогенних зон по профілю ВМ розподіляються рівномірно, як і в ґрунтах фонові території з невеликим накопиченням у верхньому горизонті. Для техногенно-антропогенних зон міста, незалежно від типу ґрунтів, спостерігається чітка акумуляція металів у верхньому ґрунтовому горизонті.

Це пов'язано передусім з аеротехногенним характером забруднення цих ґрунтів. На накопичення цих металів впливає і сорбційний бар'єр, який проявляється в акумуляції металів органічною речовиною та глинистими компонентами. Наприклад, мідь та цинк, які є мікроелементами, можуть накопичуватися в верхньому горизонті і внаслідок біогенної сорбції (Bakker et al., 1997; Sillanpaa, 1972).

Розподіл нікелю, марганцю і ванадію має свої особливості. У ґрунті фонові території накопичення нікелю та марганцю спостерігається в гумусно-елювіальному горизонті на глибині від 8—10 см, а ванадій акумулюється в перехідному до ґрунотвірної породи горизонті на глибині від 28 см.

Подібні закономірності характерні для нікелю в ґрунтах усіх техногенно-антропогенних зон міста: для марганцю — в ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів, для ванадію — в ґрунтах як зони інженерної інфраструктури, так і ландшафтно-рекреаційної зони. У ґрунтах житлової та громадської зон марганець та ванадій акумулюються в верхньому гумусовому горизонті.

Таким чином, на накопичення ВМ у ґрунтах міста впливають ступінь техногенно-антропогенного навантаження, особливості самого елемента-забруднювача та гео- та біогеохімічні бар'єри. Розподіл рухомих форм ВМ по профілю міських ґрунтів значною мірою пов'язаний з фізико-хімічним складом ґрунтів. Найбільша міграційна здатність рухомих форм

Таблиця 4. Сумарний коефіцієнт забруднення м. Бровари
Table 4. Total pollution factor of Brovary city

Функціональна зона	Середній сумарний показник забруднення	Категорія забруднення
Громадська	42	Небезпечний
Житлова	30	Помірно-небезпечний
Ландшафтно-рекреаційна	52	Небезпечний
Транспортної інфраструктури	68	“
Інженерної інфраструктури	81	“
Виробничих та комунально-складських об'єктів	106	“
Спеціального призначення	76	“
Сумарний показник забруднення	65	“

свинцю відзначається в ґрунтах зони транспортної інфраструктури та зони виробничих та комунально-складських об'єктів, де утримуюча здатність ВМ змінюється зниженим вмістом органічного вуглецю та залежить від поглинальної здатності ґрунтів. У ґрунтах житлових та громадських зон максимум накопичення свинцю зафіксовано в перехідному до ґрунотвірної породи горизонті, через високі абсолютні показники лужно-кислотного балансу, який в ньому максимальний. На більшості територій природно-антропогенних зон міста накопичення свинцю відзначається в ілювіально-гумусному горизонті. Розподіл рухомих форм цинку по ґрунтового профілю фонових ґрунтів, ґрунтів житлової та ландшафтно-рекреаційної зон рівномірний, а для світло-сірих супіщаних ґрунтів — аналогічний до закономірностей розподілу його валових форм. У ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів спостерігається два максимуми накопичення рухомих форм цинку: у верхньому горизонті, найбільш збагаченому гумусом, і в нижньому, де відбувається зростання рН ґрунтового розчину. Накопичення рухомих форм міді та кобальту в міських ґрунтах і ґрунтах фонові території приблизно аналогічне по профілю, виняток становлять ґрунти зони спеціального призначення, де у міді спостерігається два максимуми накопичення, як і в цинку, а в кобальту — один, в ілювіально-гумусному горизонті з ознаками урбопедогенезу.

Величина рН ґрунтового розчину впливає і на акумуляцію нікелю в перехідному до ґрунотвірної породи горизонті зони виробничих та комунально-складських об'єктів. У ґрунтах житлової зони і ландшафтно-рекреаційної зо-

ни накопичення нікелю відбувається в верхніх горизонтах і знижується вниз по профілю, в сірих лісових легкосуглинкових ґрунтах, як правило, спостерігається два максимуми накопичення.

На основі значень коефіцієнтів концентрації було розраховано сумарний показник забруднення Z_c (65), який відображає загальний вміст ВМ у ґрунтах як по основних функціональних зонах міста, так і за основними типами ґрунтів міста (табл. 4).

За сумарним показником техногенного забруднення житлова зона міста відноситься до помірно-небезпечної категорії забруднення ґрунтів. У той час як всі функціональні зони міста можуть бути віднесені до категорії небезпечних. За показниками валового вмісту ВМ в ґрунтах техногенно-антропогенних зон міста основними політантами є мідь та свинець. Натомість, найбільш небезпечними забруднювачами ґрунтів всіх функціональних зон міста є рухомі форми цинку та нікелю.

Розподіл металів по ґрунтового профілю природних і природно-антропогенних зон міста має подібні тенденції. Забруднення ВМ різних типів ґрунтів м. Бровари має гумусово-аккумулятивний характер, тобто максимум накопичення припадає на верхній горизонт, що пов'язано насамперед з їх аеротехногенним надходженням, міцним закріпленням на біогеохімічних сорбційних бар'єрах шляхом зв'язування з гумусними речовинами ґрунтів, а також з біологічним накопиченням.

Визначальним фактором у розподілі ВМ на території міста є вміст гумусу, тобто активність біогеохімічного бар'єру. У слабогумусованих (менше 0,6 %) ґрунтах концентрація ВМ збільшується при зростанні рН. У ґрунтах з більш

високим вмістом гумусу (0,7—1,0 %) ВМ фіксуються глинистими частинками, особливо рівень забруднення підвищується в діапазоні їх вмісту від 11,2 до 15,2 %. В ґрунтах з відносно підвищеним (понад 1 %) вмістом гумусу акумуляція ВМ визначається кількістю фізичної глини та карбонатів. Максимальна концентрація забруднення на території міста приурочена до ґрунтів з легким гранулометричним складом та високим вмістом карбонатів. У ґрунтах з вмістом фізичної глини понад 13 % показник забруднення зростає при $pH < 7,5$, що може бути наслідком сукупної дії сорбційного бар'єру та переходу окремих поліютантів при підкисленні середовища в малорухоми форми (молібден).

На 38 % території рівень забруднення помірний — це ландшафти майже всієї ландшафтно-рекреаційної та житлової зон та окремі ділянки громадської зони. Помірне забруднення характерно для території зон транспортної інфраструктури, інженерної інфраструктури та зони спеціального призначення. Зона виробничих та комунально-складських об'єктів має високий рівень забруднення ($Zc > 46$). У зоні виробничих та комунально-складських об'єктів і сфері її впливу в ґрунтах виявлені аномальні концентрації цинку, міді, нікелю, а також підвищений вміст решти ВМ. У зоні житлової забудови накопичуються свинець, мідь, а також хром, цинк. Локальні аномалії збільшують варіабельність концентрацій ВМ у міських ґрунтах, утворюють високу просторову неоднорідність, пов'язану з дискретністю

джерел забруднення. Нікель, кобальт, хром характеризуються підвищеним вмістом у ґрунтах зони виробничих та комунально-складських об'єктів, що пояснюється діяльністю будівельних підприємств.

Висновки

Для Броварів встановлено наявність поліелементних забруднень ґрунтового покриву. За показниками валового вмісту ВМ у ґрунтах техногенно-антропогенних зон міста основними поліютантами є мідь та свинець. Концентрації валових та рухомих форм ВМ перевищують фонові значення та ГДК в 17—28 разів. Сучасні урбанізовані ґрунти міста характеризуються такою техногенною геохімічною асоціацією ВМ: $Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni$. Домінуюча асоціація розподіляється по території міста мозаїчно, формуючи геохімічні аномалії в залежності від джерела забруднення. Максимум техногенного навантаження зафіксовано в урбаноземах зони транспортної інфраструктури та зони виробничих та комунально-складських об'єктів. За сумарним показником техногенного забруднення м. Бровари відноситься до міст з високим рівнем забруднення. Ґрунти всіх зон міста, за винятком житлової, віднесені до категорії небезпечних.

Результати дослідження є науковим підґрунтям для прогнозування екологічної ситуації та організації програми заходів щодо вирішення архітектурно-планувальних та рекреаційних завдань м. Бровари.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бондаренко Г.Н. Сопряженность трансформационных и миграционных процессов в почвах. *Минералогический журнал*, 2004. Т. 26. С. 39—46.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Москва: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
- Воробьева Л.А., Рудакова Т.А., Лобанова Е.А. Элементы прогноза уровня концентраций тяжелых металлов в почвенных растворах водных вытяжек из почв. *Тяжелые металлы в окружающей среде*. Москва: Изд-во МГУ, 1980. С. 28—34.
- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. Москва: Высшая школа, 1989. 328 с.
- Добровольский В.В. География микроэлементов. *Глобальное рассеяние*. Москва: Мысль, 1983. 272 с.
- Жовинский Э.Я., Маничев В.И., Кураева И.В. Эколого-геохимические исследования природных сред в условиях городской агломерации. Киев, 1991. 57 с.
- Жовинський Е.Я., Кураєва І.В. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України. Київ: Альфа-реклама, 2012. 156 с.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.
- Касимов Н.С., Перельман А.И. О геохимии почв. *Почвоведение*. Москва, 1992. № 2. С. 9-27.
- Кураева И.В. Загрязнения почв урбанизированных территорий Украины тяжелыми металлами. *Мінералогічний журнал*. 1997. № 2. С. 43-51.

- Мицкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. Київ: Наукова думка, 1971. 271 с.
Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 1990. 335 с.
Самчук А.І., Єгоров О.С., Стадник В.О. та ін. Важкі метали в ґрунтах Київського мегаполісу. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія. Географія*. 2002. № 4. С. 154-161.
Перельман А.И. Геохимия. Москва, 1989. 528 с.
Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Москва, 1999. 610 с.
Фатєєв А.І., Пащенко Я.В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського, 2003. 72 с.
Alloway B.J. Heavy metals in soils. London: Blackie Academy, 1995. 368 p.
Bakker D.J., de Vries W. Effect-based approaches to assess the risks of persistent organic pollutants to soils. *Background document for the workshop on critical limits and effect-based approaches for heavy metals and POP's*. Bad Harzburg, Germany, 1997. 85 p.
Sillanpaa M. Trace elements in soils and agriculture. *FAO soils bulletin, Rome*. 1972. Vol. 17. 67 p.

Надійшла до редакції 27.01.2020

Надійшла у ревізованій формі 05.04.2020

Прийнята 08.04.2020

REFERENCES

- Alloway, B.J., 1995. Heavy metals in soils. London, *Blackie Academy* (in English).
Bakker, D.J., de Vries W., 1997. Effect-based approaches to assess the risks of persistent organic pollutants to soils. In *Background document for the workshop on critical limits and effect-based approaches for heavy metals and POP's* (85 p.). Germany, *Bad Harzburg* (in English).
Bondarenko G.N., 2004. Sopryazhennost transformatsionnyh i migratsionnyh protsessov v pochvah: *Mineralogicheskii zhurnal*, vol. 26, pp. 39-46 (in Russian).
Dobrovolskiy, V.V., 1983. Geography of microelements. In: *Global dispersion*. Moscow: *Izdatelstvo Myisl* (in Russian).
Fatieiev, A.I., Pashchenko, Ya.V., 2003. Background contents of microelements in soils of Ukraine. Kharkiv. *Instytut Hruntoznnavstva ta Ahrokhimii imeni O.N. Sokolovskoho*, 71 p. (in Ukrainian).
Glazovskaya M.A., 1989. Geohimiya prirodnyh i tehnogennyh landshaftov SSSR. Moscow: *Vysshaya shkola*, 328 p. (in Russian).
Kabata-Pendias, A., 1989. Microelements in soils and plants. Moscow: *Mir* (in Russian).
Kasimov N.S., Perelman A.I., 1992. O geohimii pochv. *Pochvovedenie*. Moscow, № 2, pp. 9-27 (in Russian).
Kuraeva I.V., 1997b. Zagryazneniya pochv urbanizirovannyh territoriy Ukrainyi tyazhelyimi metallami. *Mineralogicheskii zhurnal*, vol. 2, pp. 43-51 (in Russian).
Mitskevych B.F., 1971. Heokhimichni landshafty Ukrainskoho shchyta. Kyiv: *Naukova Dumka*, 271 p. (in Ukrainian).
Perelman A.I., 1989). Geohimiya. Moscow, 528 p. (in Russian).
Perelman A.I., Kasimov N.S., 1999. Geohimiya landshafta. Moscow, 610 p. (in Russian).
Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P., 1990. Geochemistry of the environment. Moscow: *Nedra* (in Russian).
Samchuk A.I., Yehorov O.S., Stadnyk V.O., 2002. Vazhki metaly v gruntakh Kyivskoho mehapolisu. In *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Heolohiia. Heohrafiia*, № 4, pp 154-161 (in Ukrainian).
Sillanpaa, M., 1972. Trace elements in soils and agriculture. *FAO soils bulletin, Rome*, 17, 67 p. (in English).
Vinogradov, A.P., 1957. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. Moscow: *Izdatelstvo AN SSSR* (in Russian).
Vorobyova, L.A., Rudakova, T.A., Lobanova, E.A., 1980. Elements for predicting the level of concentrations of heavy metals in soil solutions of aqueous extracts from soils. In *Heavy metals in the environment*, pp. 28-34. Moscow: *Izdatelstvo MGU* (in Russian).
Zhovynskiy, E.Ya., Kuraeva, I.V., 2012. Geochemistry of the environment. Kyiv: *Alfa-reklama* (in Ukrainian).
Zhovynskiy E.Ya., Manichev V.I., Kuraeva I.V., 1991. Ekologo-geohimicheskie issledovaniya prirodnyh sred v usloviyah gorodskoy aglomeratsii. Kiev, 57 p. (in Russian).

Received 27.01.2020

Received in revised form 05.04.2020

Accepted 08.04.2020

A.O. Splodytel, I.V. Kuraeva, K.S. Zlobina

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: asplodytel@gmail.com

PECULIARITIES OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN SOILS IN URBANIZED LANDSCAPES OF BROVARY TOWN

The regularities of heavy metals distribution in technogenically polluted soils of urbanized territories on the example of the town of Brovary of Kyiv region were analyzed. Physical and chemical properties of conditionally clean and technogenically polluted soils were determined. Regularities of the geochemical distribution of heavy metals in the soil

cover of the town under the influence of industrial enterprises were studied. Due to the influence of the Brovary enterprises, heavy metals content is significantly increased in comparison with conditionally clean soils.

Using geochemical criteria the technogenic associations of heavy metals in soils were determined. Technogenic associations of heavy metals in soils are represented by the following elements: copper > plumbum > zinc > cobalt > chrome > vanadium > molybdenum > manganese > nickel. The total content level of chemical elements compounds in soils of different zones of the town is heterogeneous. The maximum of the man-caused load was recorded in urban areas of the transport infrastructure zone and the zone of production and communal-warehouse facilities. Copper and plumbum are the main pollutants according to the indices of heavy metals content in soils of anthropogenic zones of the city. Mobile forms of zinc and nickel are the most dangerous soil pollutants at all functional zones of the Brovary. The ecological and geochemical estimation of the total pollution index using Yu.Ye. Saet methodology is performed. The value of this indicator of the soil surface layer in Brovary town (0-10 cm) ranges from 30 to 106, the average value is 65, which corresponds to the dangerous level of contamination of the soil cover. The zones of transport infrastructure and the zones of production and communal-warehouse facilities have high levels of pollution, and the permissible pollution level dominates in the residential zone. According to the concentration ratio of technogenic pollution, the Brovary town belongs to the dangerous category of soil pollution. The investigated soils of the town are characterized by lead geochemical specialization. High levels of zinc, manganese, cobalt and chromium were established. The main factors that influence the concentration levels and heavy metals migration in the town soils were analysed. The dependence of heavy metals content and industrial production objects (factors of anthropogenic load on the natural components of the urban environment) in Brovary was established.

Keywords: heavy metals; total content; mobile forms; urban soil; migration; distribution regularities.

А.О. Сплодитель, И.В. Кураева, К.С. Злобина

Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко
НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: asplodytel@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ г. БРОВАРЫ

Проанализированы закономерности распределения тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах урбанизированных территорий на примере г. Бровары Киевской области. Установлены физико-химические свойства условно чистых и техногенно-загрязненных почв. Изучены особенности геохимического распределения тяжелых металлов в почвенном покрове города, находящемся под влиянием промышленных предприятий. По геохимическим критериям определены техногенные ассоциации тяжелых металлов в почвах, которые представлены следующими элементами: медь > свинец > цинк > кобальт > хром > ванадий > молибден > марганец > никель. Уровень валового содержания соединений химических элементов в почвах различных зон города неоднороден. Максимум техногенной нагрузки зафиксирован в урбаноземах зоны транспортной инфраструктуры и зоны производственных и коммунально-складских объектов. По показателям содержания тяжелых металлов в почвах техногенно-антропогенных зон города основными поллютантами являются медь и свинец. Наиболее опасными загрязнителями почв всех функциональных зон города есть подвижные формы цинка и никеля. Приведена эколого-геохимическая оценка суммарного показателя загрязнения с использованием методики Ю.Е. Саета. Значение этого показателя поверхностного слоя почв г. Бровары (0–10 см) колеблется от 30 до 106, средний показатель — 65, что соответствует опасному уровню загрязнения почвенного покрова. Зоны транспортной инфраструктуры, производственных и коммунально-складских объектов имеют высокую степень загрязнения, а в жилой зоне доминирует допустимый уровень загрязнения. Исследуемые почвы города характеризуются свинцовой геохимической специализацией, а также достаточно высоким уровнем цинка, марганца, кобальта и хрома. Проанализированы основные факторы, влияющие на уровень концентрации и миграции тяжелых металлов в почвах города. Установлена связь содержания тяжелых металлов на объектах промышленного производства г. Бровары, которые выступают факторами антропогенной нагрузки на природные компоненты урбанизированной среды.

Ключевые слова: тяжелые металлы; урбаноземы; миграция; закономерности распределения.