

УДК 550.42

Закономірності розподілу важких металів в об'єктах навколишнього середовища м. Суми

Ю. Ю. Войтюк¹, І. В. Кураєва¹, Г. А. Кроїк², О. В. Мацібора³, О. В. Матвієнко¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, e-mail: yuliasun86@mail.ru

² Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

³ Інститут географії НАН України, Київ, Україна

Наведено результати еколого-геохімічних досліджень ґрунтів, рослинного покриву та природних вод урбанізованої території м. Суми. Мета цієї роботи – визначення закономірностей розподілу важких металів в об'єктах довкілля. За середнім значенням сумарного показника забруднення встановлено, що рівень забруднення ґрунтів центральної частини міста нижчий середнього. Вони характеризуються такою асоціацією важких металів: Pb (3,4) > Cr (2,9) > Cu (2,2) > Ni (2,1) > Co (1,8). Ґрунти зони впливу основного корпусу ТОВ «Сумитеплоенерго» характеризуються середнім (помірно небезпечним), а ґрунти поблизу золошлакозаклада – високим (небезпечним) рівнем забруднення. Встановлено техногенні геохімічні асоціації важких металів, досліджено основні джерела забруднення, що спричиняють накопичення токсикантів у компонентах міського середовища. На техногенно забруднених ділянках (територія ТОВ «Сумитеплоенерго») вміст важких металів у золі пирію повзучого (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) вдвічі-втричі більший порівняно із фоновим ділянкою. В поверхневих водах р. Псел зони впливу ТОВ «Сумитеплоенерго» значно підвищується вміст таких важких металів відносно фонових значень: Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, V. Встановлено, що відбувся процес метаморфізації перших від поверхні водоносних горизонтів у зоні впливу золошлакозаклада ТОВ «Сумитеплоенерго». Визначення закономірностей розподілу важких металів у ґрунтах, рослинності та природних водах дозволяє виділити аномальні поля та зробити прогноз екологічних ризиків.

Ключові слова: важкі метали, ґрунти, рослинність, природні води

Peculiarities of the heavy metals distribution in the different objects of Sumy city environment

Iu. Iu. Voitiuk¹, I. V. Kuraeva¹, A. A. Kroik², O. V. Matsibora³, A. V. Matvienko¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: yuliasun86@mail.ru

² Dnipropetrovsk National University Oles Honchar, Dnepropetrovsk, Ukraine

³ Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Results of the ecological and geochemical investigation of soils, vegetation and water resources of Sumy city environment are considered in this paper. The aim of scientific investigation is definition of the main peculiarities of heavy metals distribution in some environmental objects (soils, vegetation and water resources) of Sumy city. Special attention was paid to investigation of regularities of heavy metals distribution in "Sumyteploenergo Ltd." affected area. Concentration of chemical elements in samples was determined by classical geochemical and modern methods on mass spectrometer with inductively coupled plasma (ICP-MS) in the M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine. Based on an analysis of the total indicator of pollution were defined that the level of soil's pollution in the central part of the city is lower than average values. They have following association - Pb (3,4) > Cr (2,9) > Cu (2,2) > Ni (2,1) > Co (1,8). Soils in the "Sumyteploenergo Ltd." main building affected area are characterized by middle (moderately hazardous) level of pollution, but soils near slurry tanks have high (hazardous) level of pollution with heavy metals. Also the technogenic geochemical associations of heavy metals were defined, and the main sources of pollution, which determine toxic elements accumulation in the components of environment, were investigated. Activity of "Sumyteploenergo Ltd." during many years led to changes in natural distribution of heavy metals in all investigated objects of environment. In technogenically polluted areas (territory of "Sumyteploenergo Ltd.") the concentration of heavy metals in ash of *Elytrigia repens* (L.) Nevski increases significantly compared with the natural values. In surface water of Psel river in "Sumyteploenergo Ltd." affected area the content of Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, V is much higher than in outside water objects. This investigation proves that the processes of metamorphism of the surface waters horizons in the affected area of "Sumyteploenergo Ltd." slurry tanks took place. Analysis of tailings showed that they are characterized by high

concentration of many chemical elements, especially high values are typical for V, Cr, Cu, Pb and Zn. As the result of geochemical investigations were defined that high concentration of these elements are specific for soils and surface water in the affected area of "Sumyteploenergo Ltd". Conclusions and their analysis of this investigation give the main representation of peculiarities of heavy metals pollution in different industrial areas of urban territory. In the study area some industrial zones were defined, which are characterized by special chemical elements pollution and peculiarities of their distribution. Investigation of environmental objects showed the strong relations between specializing of industrial production and defined geochemical associations of chemical elements and their distribution. This important not only for determination the main sources of heavy metals, but for environmental protection activities. Investigation of heavy metals distribution peculiarities in soils, vegetation and surface waters gives abilities for determination anomalous fields and making prognosis of ecological risks.

Keywords: heavy metals, soils, vegetation, water resources

Вступ. Важлива риса розвитку людства на сучасному етапі – це пришвидшення процесу урбанізації. Постійно зростають площі міських агломерацій. Збільшення кількості міського населення зумовлює формування нових способів взаємодії у системі людина – навколишнє середовище. Урбанізація має глобальний характер і виступає фактором суттєвої трансформації геологічного середовища, в результаті чого розвиваються специфічні утворення – урбоєкосистеми. Підвищення значення міста у житті людства зумовлює концентрацію ресурсів та їх споживачів на відносно невеликих ділянках простору, що спричинує виникнення диспропорцій у балансі використання та відновлення природного середовища.

Наразі проблеми урбогеохімії все більше починають цікавити науковців (Flight, Scheib, 2011; Kabata-Pendias, Pendias, 2001; Kuimova, Sergeeva, Shumilova, Pavlova, Borisova, 2012; Wong, Sharp, Hauwert, Landrum, White, 2012). Особлива увага приділяється містам, де концентруються промислові підприємства (Karmazynenko, Kurajeva, Samchuk, Vojtjuk, Manichev, 2014; Saet, Revich, Janin, 1990; Samchuk, Ogar', 2008).

Серед населених пунктів Сумської області найбільшого антропогенного навантаження зазнає атмосфера м. Суми – 10,93 тис. т. або 36,17 % від викидів стаціонарних джерел по області ("*Dopovid' pro stan*", 2013), що не може не відзначатися на стані об'єктів довкілля та якості життя міського населення в цілому.

Також одна з основних проблем міста щодо охорони атмосферного повітря – це питання морально та фізично застаріле технологічне обладнання промислових підприємств. За останні роки майже на всіх підприємствах міста установки очищення газу, технологічне обладнання не оновлювались (кількість обладнання з терміном експлуатації 40 років і більше складає понад 70 %). На промислових підприємствах міста протягом останніх років майже не впроваджувались найкращі доступні, екологічно чисті технології ("*Dopovid' pro stan*", 2013).

За даними Сумського обласного центру з гідрометеорології, загальний рівень забруднення атмосферного повітря в останні роки деякими шкідливими речовинами в м. Суми стабілізувався, але залишається підвищеним. Спостереження за вмістом пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду та оксиду азоту, аміаку, формальдегіду проводились щоденно на трьох стаціонарних постах. Середньомісячні концентрації пилу та діоксиду азоту в атмосферному повітрі перевищували санітарні норми в 1,2 – 1,3 раза. Інші інгредієнти, що визначались, нижчі або на рівні санітарних норм. Перевищень максимально разових гранично допустимих концентрацій з жодної домішки не зафіксовано. Високих та екстремально високих рівнів забруднення атмосферного повітря у м. Суми протягом останніх років не спостерігалось ("*Dopovid' pro stan*", 2013).

Найбільше підприємство енергетичної галузі Сумської області – ТОВ «Сумитеплоенерго» (4 648,9 т викидів або 15,4 % від викидів по Сумській обл.). У процесі використання як палива вугілля на підприємстві утворюються золошлаки, які видаляються у спеціально побудованому золошлакозакладачі. Це місце видалення відходів експлуатується з 1968 р. і на сьогодні вже практично заповнене ("*Dopovid' pro stan*", 2013).

Існує нерозривний взаємозв'язок та взаємозалежність між умовами теплоенергоспоживання та забрудненням навколишнього середовища. В умовах постійного зростання теплоенергоспоживання сучасним суспільством проблема взаємодії теплоенергетики і навколишнього середовища стає все гострішою і потребує постійного контролю, наукового аналізу з метою зменшення негативного впливу на компоненти середовища та оцінки екологічних ризиків.

Мета роботи – визначення закономірностей розподілу важких металів в об'єктах довкілля (грунтах, рослинності, поверхневих та підземних водах) м. Суми.

Матеріал і методи досліджень. Для проведення еколого-геохімічних досліджень було обрано ділянки: центральна частина м. Суми; основний корпус ТОВ «Сумитеплоенерго» (правий берег р. Псел); золошлакозакладач ТОВ «Сумитеплоенерго» (лівий берег р. Псел); фонові ділянки (в 10

км у напрямку рози вітрів). Відібрано зразки ґрунтів, рослинності, поверхневих вод р. Псел та підземних вод у зоні впливу ТОВ «Сумитеплоенерго» і на фоновій ділянці. На ділянці золошлаконакопичувача додатково відібрано зразки техногенного матеріалу (зола і шлами). Відбір проб ґрунту проведено відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02-84 з верхнього гумусового горизонту 0–10 см. Опробування представницьких видів рослинності проведено паралельно з відбором ґрунтових проб.

Концентрації хімічних елементів у пробах визначалися методами атомно-емісійного спектрального аналізу на СТЕ-1 спектрографі великої дисперсії і мас-спектрометрії з індукційно-зв'язаною плазмою (ICP-MS) (Ponomarenko, Samchuk, Krasjuk, Makarenko, Antonenko, 2008) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України. Еколого-геохімічну оцінку за сумарним показником забруднення дано за методикою Ю. Ю. Саєта (Saet et al., 1990).

Результати та їх аналіз. Найбільш інформативні ореоли розсіювання техногенних елементів у ґрунтових відкладах, що виражають надходження і накопичення хімічних елементів за значний період часу. Тому особливу увагу було приділено еколого-геохімічним дослідженням ґрунтового покриву.

Ґрунти м. Суми представлені переважно чорноземами типовими мало- і слабогумусовими на лесових породах, чорноземами опідзоленими переважно на лесових породах, луговими солонцюватими на делювіальних і алювіальних відкладах, які зазнали значного техногенного забруднення.

Проведено дослідження валового вмісту важких металів у ґрунтах центральної частини м. Суми, зон впливу ТОВ «Сумитеплоенерго» та фонових значень (табл.).

Таблиця 1

Валові вмісти важких металів у досліджуваних ґрунтах, мг / кг

Елемент	Центральна частина м. Суми (n = 50)	Територія зони впливу основного корпусу ТОВ «Сумитеплоенерго» (n = 35)	Територія зони впливу золошлаковідвалу ТОВ «Сумитеплоенерго» (n = 35)	Фонове значення (n = 40)
Mn	500–1 000 (667)	400–800 (640)	400–500 (450)	400
Ni	40–100 (63)	60–100 (80)	40–50 (45)	30
Co	5–10 (7)	8–10 (9)	5–8 (6)	5
V	60–200 (107)	100–150 (120)	60–80 (75)	60
Cr	50–300 (143)	100–500 (330)	50–80 (68)	50
Mo	4–5 (4)	3–5 (4)	2–4 (3)	3
Cu	50–100 (67)	60–100 (84)	40–4 000 (935)	30
Pb	40–80 (67)	60–100 (72)	30–50 (38)	20
Zn	50–68(62)	60–80 (72)	100–500 (250)	60
Sn	3–8 (5)	5–8 (6)	3–4 (3)	4

Примітка. Наведено граничні значення, у дужках – середнє значення, n – кількість проб.

Як показали наші дослідження та розрахунок коефіцієнтів концентрації, ґрунти центральної частини м. Суми характеризуються такою асоціацією важких металів: Pb (3,4) > Cr (2,9) > Cu (2,2) > Ni (2,1) > Co (1,8). За середнім значенням сумарного показника забруднення (СПЗ) встановлено, що рівень забруднення цих ґрунтів нижчий середнього (СПЗ - 9).

Щодо ділянок зони впливу ТОВ «Сумитеплоенерго», виявилось, що рівень техногенного навантаження на ґрунтовий покрив тут значно вищий. Ґрунти в безпосередній близькості від золошлаконакопичувача цього підприємства забруднені такими важкими металами: мідь, цинк, свинець, нікель, хром. Установлено, що ґрунти зони впливу основного корпусу характеризуються такою асоціацією важких металів: хром, свинець, мідь, нікель, ванадій. Ґрунти поблизу золошлаконакопичувача характеризуються високим (небезпечним) рівнем забруднення (СПЗ - 36). Ґрунти зони впливу основного корпусу – середнім (помірно небезпечним) (СПЗ - 16) (рис. 1).

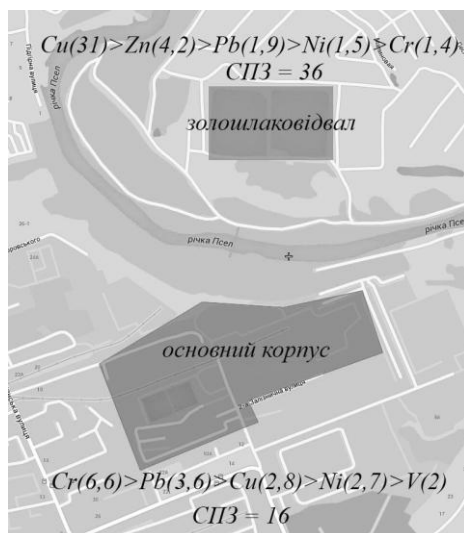


Рис. 1. Асоціації важких металів у ґрунтах зони впливу ТОВ «Сумитеплоенерго» та сумарні показники забруднення. У дужках наведено середні значення коефіцієнтів концентрації

Особлива увага була приділена вивченню біогеоценозів території досліджень. Експериментальні дослідження міграції важких металів проведено на найбільш поширеному представнику трав'янистої рослинності – пирії повзучому (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). З'ясувалося, що на техногенно забруднених ділянках (територія ТОВ «Сумитеплоенерго») вмісти важких металів у золі рослин удвічі–втричі більші порівняно із фоновою ділянкою (рис. 2).

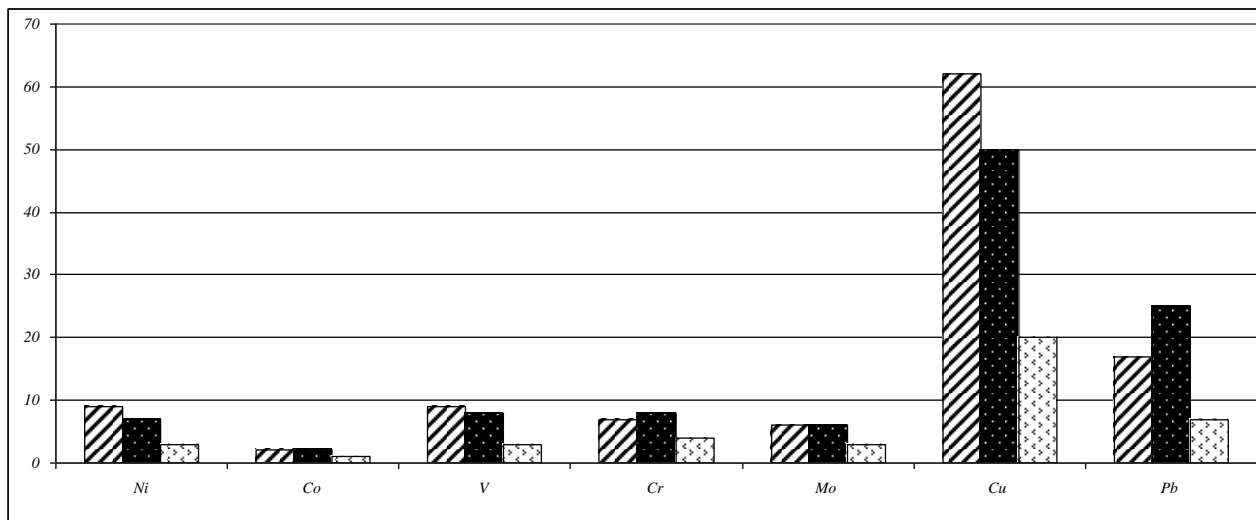


Рис. 2. Вміст важких металів у золі трав'янистої рослини пирії повзучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), мґ/кг. ▨ – ділянка основного корпусу, ■ – ділянка золошлаковідвалу ТОВ «Сумитеплоенерго», ▤ – фонова ділянка

Сучасний стан поверхневих водоем м. Суми характеризується антропогенним тиском суб'єктів господарювання, скидами недостатньо очищених стоків, які щорічно надходять до них. Також причинами незадовільного стану річок є надходження неочищених зливових (талих) вод. Основні причини скиду забруднювальних вод такі: неефективна робота існуючих каналізаційних очисних споруд та їх недостатня кількість. Також не сприяють поліпшенню екологічного стану водних об'єктів існуючі технологічні схеми водоочисних споруд, застаріла технологія очищення стічних вод, значна зношеність існуючих водопровідних і каналізаційних мереж. Річка Псел приходить на

територію Сумщини з Курської області Росії, її басейн складає 23,4 % території області. Основні забруднювачі р. Псел розташовані в межах м. Суми ("Dopovid' pro stan", 2013).

Проведено порівняння даних середнього хімічного складу поверхневих вод р. Псел у районі ТОВ «Сумитеплоенерго» і на фоновій ділянці (рис. 3). Дослідження показали, що за макроскладом поверхневі води належать до гідрокарбонатно-кальцієвого типу. Слід зазначити, що в поверхневих водах зони впливу цього підприємства значно підвищується вміст таких важких металів відносно фонових значень: Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, V. Це свідчить про техногенне забруднення поверхневих вод р. Псел у зоні впливу ТОВ «Сумитеплоенерго».

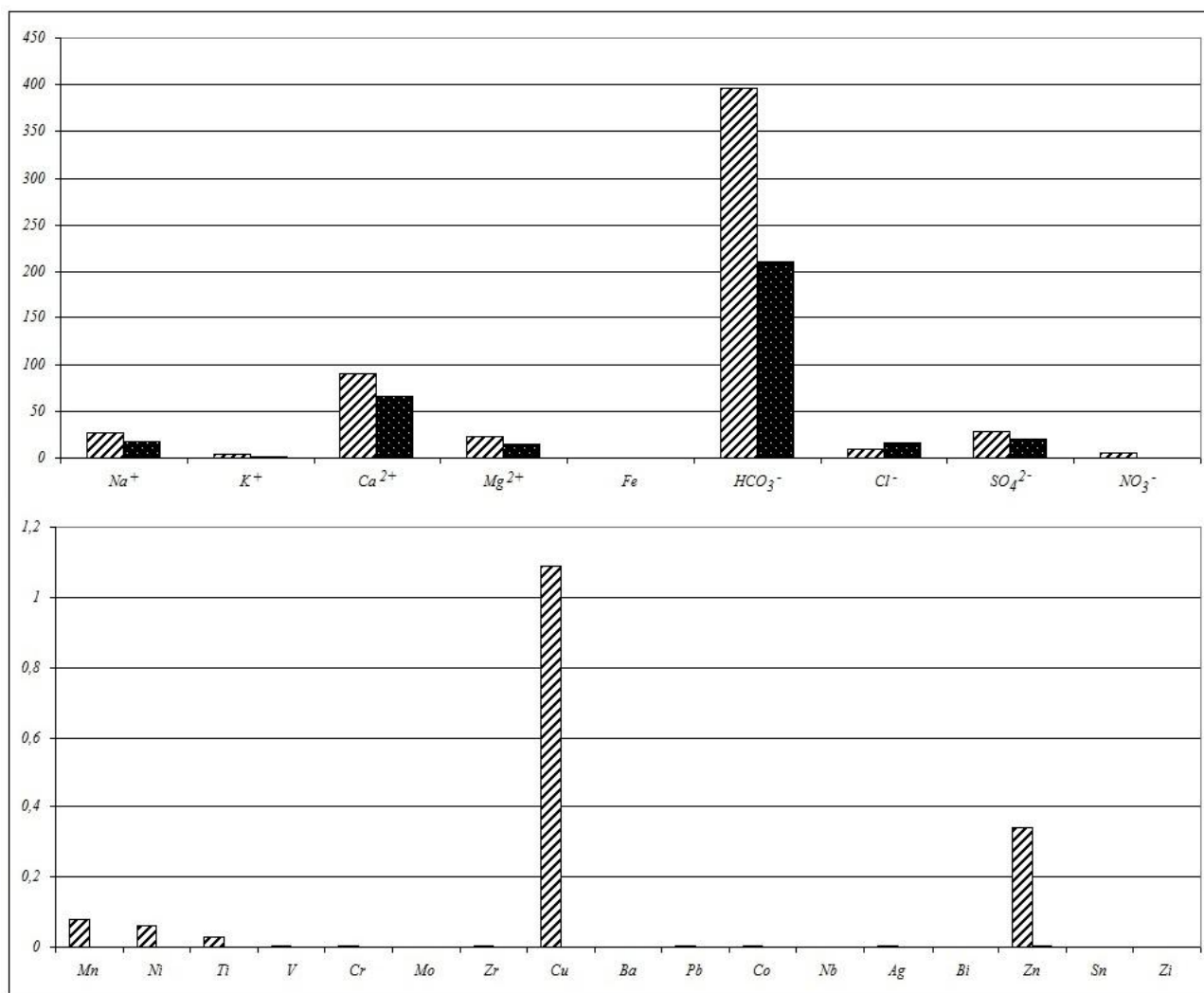


Рис. 3. Хімічний склад поверхневих вод р. Псел у зоні впливу ТОВ «Сумитеплоенерго» та на фоновій ділянці, мг/л.

▨ – р. Псел, ■ – фонова ділянка

Зола кам'яного вугілля містить цілий ряд важких металів, які під час контакту золошлакової суміші з атмосферними опадами здатні вилугуватися, переходити у розчинні форми і потрапляти до ґрунтових вод шляхом інфільтрації. В аніонному складі досліджених підземних вод домінують сульфати і хлориди, а в катіонному – кальцій та натрій. Мінералізація – 900–1 200 мг/дм³; рН 7,3–7,5. Відмічено значні відмінності у макро- та мікрокомпонентному складі ґрунтових вод дослідженої ділянки від фонових. Показано, що за зміною співвідношення макро- та мікроелементів відбувся процес метаморфізації перших від поверхні водоносних горизонтів (рис. 4).

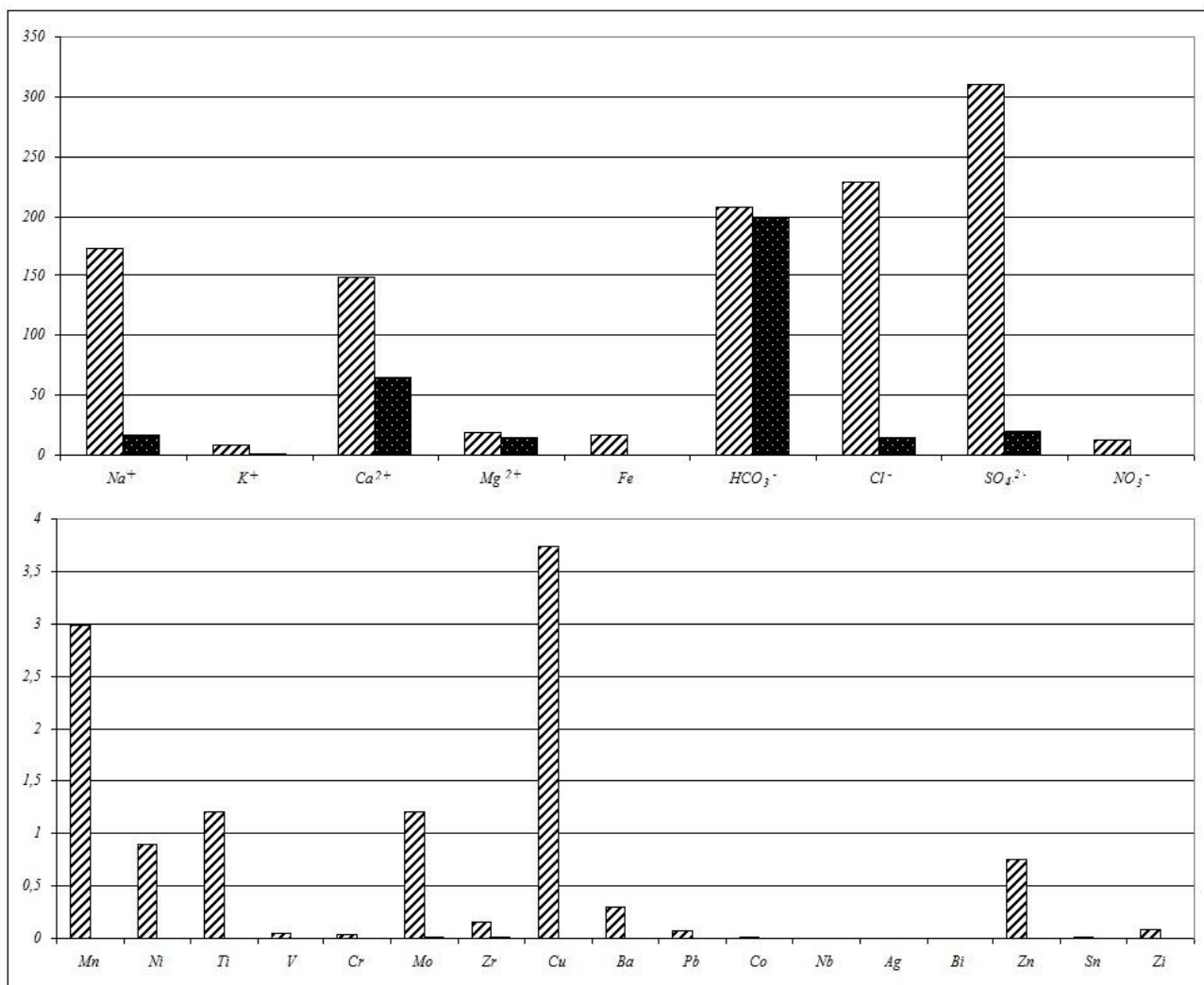


Рис. 4. Хімічний склад підземних вод зі свердловини 1 (водоносний горизонт – аQIVh) у зоні впливу золошлаковідвалу ТОВ «Сумитеплоенерго» та на фоновій ділянці, мг/л. ▨ – свердловина 1, ■ – фонові ділянки.

Також проводилися дослідження відходів виробництва ТОВ «Сумитеплоенерго» (табл. 2). Зола і шлак тут характеризуються значною концентрацією багатьох хімічних елементів, особливо високі значення характерні для V, Cr, Cu, Pb і Zn. Як показали дослідження, підвищені концентрації цих елементів характерні для ґрунтів і природних вод техногенно забруднених територій у зоні впливу згаданого підприємства.

Таблиця 2

Середній вміст важких металів у шлаках та золі, мг/кг

№ з/п	Тип зразка	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn
1	шлаки	1000	200	40	500	400	4	300	200	80	8
2	зола	1000	200	20	400	350	2	200	300	300	8

Висновки. В результаті вивчення ступеня забруднення ґрунтового покриву, рослинності та природних вод м. Суми важкими металами можна зробити загальний висновок про техногенне забруднення території. За середнім значенням сумарного показника встановлено, що рівень забруднення ґрунтів центральної частини міста нижчий середнього. Ґрунти зони впливу основного корпусу ТОВ «Сумитеплоенерго» характеризуються середнім (помірно небезпечним), а ґрунти поблизу золошлакозаклада - високим (небезпечним) рівнем забруднення. Встановлено

техногенні геохімічні асоціації важких металів, досліджено основні джерела забруднення, що спричиняють накопичення токсикантів у компонентах міського середовища.

Багаторічна діяльність ТОВ «Сумитеплоенерго» викликала зміни природного співвідношення розподілу важких металів у всіх досліджених об'єктах довкілля. На техногенно забруднених ділянках (територія підприємства) вмісти важких металів у золі пирію повзучого (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) вдвічі–втричі більші порівнянно із фоновою ділянкою. В поверхневих водах р. Псел зони впливу цього закладу значно підвищується вміст таких важких металів відносно фонових значень: Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, V. Показано, що відбувся процес метаморфізації перших від поверхні водоносних горизонтів у зоні впливу золошлаконакопичувача ТОВ «Сумитеплоенерго».

Отримані результати можуть служити основою для складання багаторічного перспективного плану охорони навколишнього середовища міської агломерації і геохімічного моніторингу.

Бібліографічні посилання

- Dopovid' pro stan navkolyshn'ogo pryrodnogo seredovyshha u Sums'kij oblasti u 2012 roci. (2013). [Report on the state of the environment in the Sumy region in 2012]. Sumy. Sumy Regional State Administration. Department of Ecology, Energy Sector and Natural Resources. (in Ukrainian).
- Flight, DMA, Scheib, AJ. (2011). Soil geochemical baselines in UK urban centers: the G-BASE project. In: Johnson, CC, Demetriades, A, Locutura, J, Ottesen, RT, Mapping the Chemical Environment of Urban Areas. John Wiley & Song, Chichester, 186-206.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001). Trace elements in Soils and Plants. CRC Press.
- Karmazynenko, S.P., Kurajeva, I.V., Samchuk, A.I., Vojtjuk, Ju.Ju., Manichev, V.J. (2014). Vazhki metaly u komponentah navkolyshn'ogo seredovyshha m. Mariupol' (ekologo-geohimichni aspekty) [Heavy metals in the components of the environment. Mariupol (ecological and geochemical aspects)]. Interservis, Kyiv (in Ukrainian).
- Kuimova, N.G., Sergeeva, A.G., Shumilova, L.P., Pavlova, L.M., Borisova, I.G. (2012). Jekologo-geohimicheskaja ocenka ajerotehnogennogo zagrjaznenija urbanizirovannoj territorii po sostojaniju snezhnogo pokrova [Ecological-geochemical assessment of environmental contamination on the urban area of snow cover]. Geojekologija, inzhenernaja geologija, gidrogeologija, geokriologija. 5, 422-435 (in Russian).
- Ponomarenko, O.M., Samchuk, A.I., Krasjuk, O.P., Makarenko, T.I., Antonenko, O.G. (2008). Analitychni shemy probo pidgotovky girs'kyh porid ta mineraliv i vyznachennja v nyh mikroelementiv metodom mas-spektrometrii' z indukcijsno zv'jazanoju plazmoju (ICP-MS) [Analytical samples training schemes rocks and minerals and trace elements in their determination by mass spectrometry with induction coupled plasma (ICP-MS)]. Mineralogichnyj zhurnal. 30 (2), 97-103 (in Ukrainian).
- Saet, Ju.E., Revich, B.A., Janin, E.P. (1990). Geohimija okruzhajushhej sredy [Environmental Geochemistry]. Nedra, Moscow (in Russian).
- Samchuk, A.I., Ogar', T.V. (2008). Rozpodil mikroelementiv u g'runtah ta roslynosti pryrodnyh i tehnogennyh landshaftiv [The distribution of trace elements in soils and vegetation of natural and man-made landscapes]. Mineralogichnyj zhurnal. 30 (1), 80-86 (in Ukrainian).
- Wong, CI, Sharp, JM Jr, Hauwert, N, Landrum, J, White, KW (2012). Impact of urban development on physical and chemical hydrogeology. Elements 8: 429-434.

Надійшла до редколегії 5.09.2016