

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСАДОВОЇ РЕЧОВИНИ ГЕОХІМІЧНИМИ ТА МАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ

Є.І. Наседкін¹, К.М. Бондар², І.В. Цюпа³, С.М. Довбиш⁴, А.М. Іванова⁵

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: nasedevg@ukr.net
Кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник.*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна,
E-mail: ks_bondar@ukr.net
Старший науковий співробітник.*

³ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна,
E-mail: tsyupa@ukr.net
Інженер 1-ї категорії.*

⁴ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: dovbysh@ukr.net
Науковий співробітник.*

⁵ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: a_1207@ukr.net
Кандидат геологічних наук, науковий співробітник.*

Наведено результати спільних аналітичних досліджень розподілу техногенних та природних компонент натурної речовини ґрунтів суходолу, донних відкладів Дніпра, повітряних та водних потоків у межах м. Запоріжжя, проведених фахівцями Інституту геологічних наук НАН України та ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Комплексні моніторингові спостереження за розподілом валового вмісту заліза (рентген-флуоресцентний, хімічний методи аналізу) та його феромагнітної складової, пов'язаної з викидами металургійної промисловості (магнітні методи), дозволили вивчити вплив переробної промисловості на складові навколишнього середовища. Результати досліджень свідчать про сталість зв'язку магнітної сприйнятливості з вмістом заліза в осадовій речовині стабільних середовищ, таких як ґрунти суходолу або донні відклади, де багаторічні процеси накопичення нівелюють тимчасові ситуативні зміни, властиві атмосферному аерозолу та водній завесі.

Ключові слова: аерозоль; осадова речовина; важкі метали; магнітні властивості; м. Запоріжжя.

RESULTS OF COMPREHENSIVE ECOLOGICAL STUDIES OF SEDIMENT SUBSTANCE BY GEOCHEMICAL AND MAGNETIC METHODS

Ye.I. Nasedkin¹, K.M. Bondar², I.V. Tsyupa³, S.M. Dovbysh⁴, G.M. Ivanova⁵

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: nasedevg@ukr.net
Candidate of geological sciences, senior scientific worker.*

² *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine, E-mail: ks_bondar@ukr.net
Senior scientific worker.*

³ *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine, E-mail: tsyupa@ukr.net
Engineer.*

⁴ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: dovbysh@ukr.net
Scientific worker.*

⁵ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: a_1207@ukr.net
Candidate of geological sciences, scientific worker.*

The paper presents analytical research of distribution of technogenic and natural components of substance of land soils, Dnipro bottom sediments, air and water flows within Zaporizhzhia city. The research was jointly carried out by scientists of Institute of Geological sciences of NAS of Ukraine and Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Comprehensive monitoring of distribution of total iron content (X-ray fluorescence analysis, chemical methods) and its ferromagnetic component, linked to emissions of steel industry (magnetic methods), allowed us to examine impact of processing industry on environment components. Research results were indicative of persistent relationship between magnetic susceptibility and iron content in sediment substance of stable environments such as land soils and bottom sediments, where long-term processes of sediment accumulation level short-time situational changes. In air and water media short-time processes are more important.

Key words: aerosol; sediment substance; heavy metals; magnetic properties; Zaporizhzhia city.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА ГЕОХИМИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Е.И. Наседкин¹, К.М. Бондар², И.В. Цюпа³, С.Н. Довбыш⁴, А.Н. Иванова⁵

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: nasedevg@ukr.net*

Кандидат геологических наук, старший научный сотрудник.

² *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, НУИ «Институт геологии», Киев, Украина,
E-mail: ks_bondar@ukr.net*

Старший научный сотрудник.

³ *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, НУИ «Институт геологии», Киев, Украина,
E-mail: tsyupa@ukr.net*

Инженер 1-й категории.

⁴ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: dovbysh@ukr.net*

Научный сотрудник.

⁵ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: a_1207@ukr.net*

Кандидат геологических наук, научный сотрудник.

Приведены результаты совместных аналитических исследований распределения техногенной и природной составляющих вещества воздушных и водных потоков, грунтов суши, донных отложений Днепра в пределах г. Запорожья, проведенных специалистами Института геологических наук НАН Украины и Учебно-научного института «Институт геологии» Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Комплексные мониторинговые наблюдения за распределением валового содержания железа (рентген-флуоресцентный, химический методы анализа) и его ферромагнитной составляющей, связанной с выбросами металлургических предприятий (магнитные методы), позволяют изучить влияние перерабатывающей промышленности на окружающую среду. Результаты исследований свидетельствуют о стабильной связи показателей магнитной восприимчивости с содержанием железа в осадочном веществе грунтов суши и донных отложениях, где многолетние процессы накопления нивелируют временные ситуативные изменения, наблюдающиеся для атмосферного аэрозоля и водной взвеси.

Ключевые слова: аэрозоль; осадочное вещество; тяжелые металлы; магнитные свойства; г. Запорожье.

Як свідчить багаторічний світовий досвід, ефективною методологією визначення особливостей розподілу техногенної та природної компонент у складі осадової речовини транзитних (повітря, водні потоки) та акумулятивних середовищ (грунти суходолу, донні відклади) у межах індустріально навантажених районів є застосування комплексу магнітних та геохімічних методів досліджень [Fuzzi et al., 2015; Heller et al., 1998; Magiera et al., 2007; Strzyszcz et al., 1996; Васильев, Чащин, 2011; Віршило, Бондар, 2009; Бондар та ін., 2016].

Польові та лабораторні роботи, результати яких представлено в публікації, проведено спільно фахівцями Інституту геологічних наук (ІГН) НАН України та ННІ «Інститут геології» Київського національного університету (КНУ) імені Тараса Шевченка в межах м. Запоріжжя як у ході маршрутних зйомок, так і на стаціонарному спостережному пункті на території ДУ

«Науковий гідрофізичний центр НАН України» протягом декількох років.

Відбір завислої речовини з акваторії Дніпра та з атмосферного середовища проводився седиментаційними пастками, конструктивні особливості яких передбачали необхідність тривалого, з часом експозиції до місяця, відбору зразків. Вилучення з пастки осадової речовини один раз за кожні 30 днів створювало умови накопичення її необхідної кількості для проведення аналізів протягом місяця. Мінеральний, макро- і мікрокомпонентний, хімічний склад зразків осадової речовини визначався із застосуванням електронної мікроскопії, а також енерго- і воднодисперсійного аналізів (скануючий електронний мікроскоп (СЕМ) JEOL-6490 LV (JEOL Ltd., Японія)) з енергодисперсійним спектрометром (EDS) системи рентгенівського мікроаналізу INCA Energy+ (Oxford Instruments, Великобританія) в лабораторії фізичних методів досліджень ІГН

НАН України. Ряд лабораторних аналізів (дослідження розподілу мікроелементів і магнітних властивостей проб аерозолі) також виконано в наукових лабораторіях ННІ «Інститут геології» КНУ імені Тараса Шевченка.

Магнітний метод у ході робіт слугував важливим інструментом дослідження розподілу антропогенної та природної складових натурної речовини, а також визначення та класифікації джерел атмосферних викидів за речовинно-генетичними типами завислих частинок. Суть магнітного методу полягає у вивченні розподілу магнітних властивостей (найчастіше вимірюється магнітна сприйнятливості) у ґрунтах та інших компонентах довкілля за допомогою польових та лабораторних приладів [Heller et al., 1998]. Підставою для його застосування на регіональному рівні є доведена наявність значущих зв'язків між магнітними параметрами та вмістом екотоксикантів, що вказує на спільне джерело магнітного і геохімічного забруднення та характеризує його. Зокрема, на підприємствах Запоріжжя в технологічних циклах виробництва задіяні процеси агломерації залізорудної сировини, виробництва чавуну та плавлення сталі мартенівським та електросталеплавильним способами. Технологічні гази очищаються крізь різні газоочисні апарати, однак значна кількість пилу (твердих частинок) усе ж таки потрапляє до атмосфери. Подрібнення залізних руд супроводжуються викидами в атмосферу пилу, що містить багатодомений стехіометричний магнетит, а викиди високотемпературних технологічних процесів, таких як виплавка чавуну і сталі, містять псевдоододомений титаномагеміт і титаномагнетит [Bondar et al., 2017]. Це дозволяє, в комплексі з безперервними натурними спостереженнями еолової завіси в межах міста, з певною часткою вірогідності визначити вплив на забруднення повітря тих чи інших ланок металургійного виробництва.

Значна частина атмосферної речовини, утвореної в межах Запоріжжя, пов'язана з промисловим сегментом міста і складається з частинок переведеної в завислий стан складової поверхні місцевих ґрунтів, привнесених у ході промислових процесів фрагментів руди, вугілля, а також, відповідно, продуктів їх переробки та спалювання [Наседкін та ін., 2016].

При цьому аерозолі дезінтеграції мають бути прив'язані до природних процесів вивітрювання гірських порід, а також різноманітних антропо-

генних технологічних процесів подрібнення твердих речовин. Аерозолі конденсації, в свою чергу, утворюються внаслідок високотемпературних процесів, в тому числі при конденсації випаровувань за участі металоїдів, металів та їх сполук при плавленні, електричному зварюванні і газовому різанні металів. Таким чином, антропогенна складова атмосферного аерозолі буде представлена обома генетичними типами частинок, але при цьому стандартні методи визначення вмісту металів у речовині повітряних потоків не нададуть інформацію про специфіку виробничих процесів, що є основними джерелами викидів. У свою чергу, магнітні методи допомагають визначити роль тих чи інших високотемпературних виробництв у привнесенні в атмосферне середовище техногенних продуктів.

У процесі досліджень на зразках техногенних аерозолів та ґрунтів були здійснені вимірювання магнітної сприйнятливості (χ) та її частотної залежності (χ_{fd}), досліджені параметри петлі гістерезису (SIRM, Ms, Hc, Hcr); для серії зразків отримані криві поведінки χ при низьких і високих температурах. Дослідження засвідчили, що техногенні титаномагнетит і титаномагеміт розповсюджуються атмосферними потоками по всьому місту і є причиною зростання ізотермічних магнітних властивостей ґрунтів (χ , Ms, SIRM) [Bondar et al., 2017; Бондар та ін., 2015].

Аналіз комплексних натурних досліджень, проведених для всіх складових седиментаційної речовини як у транзитних потоках (водна завісь, атмосферний аерозоль), так і у відносно статичних середовищах (ґрунти суходолу, донні відклади), дозволив зробити низку важливих висновків.

По-перше, розподіл магнітної сприйнятливості – універсального показника наявності складової продуктів викидів високотемпературних металургійних процесів – вказує на синхронність її розподілу із загальним вмістом заліза та низки важких металів для проб, що представляють різні середовища накопичення, та переносу осадової речовини (рис. 1). Якщо загальновідомим є факт перевищення рівнів концентрацій важких металів в атмосферних аерозолях у порівнянні з вмістом у ґрунтах, розподілом у річкових завісях та донних відкладах, то спостережене ураганне підвищення магнітної сприйнятливості тісно пов'язане саме з техногенною складовою аерозолів [Наседкін та ін., 2018].

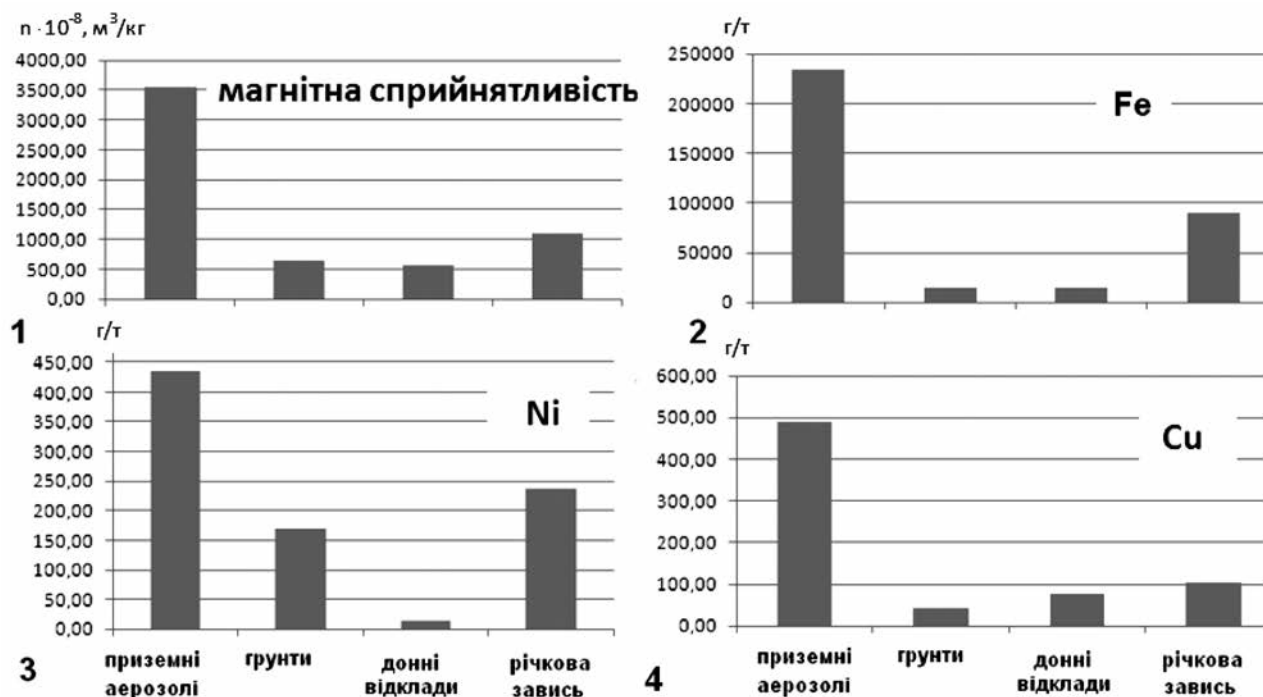


Рис. 1. Розподіл середніх показників:

1 – магнітної сприйнятливості ($n \cdot 10^{-8} m^3/kg$), 2 – валового вмісту заліза (г/т), 3 – валового вмісту нікелю (г/т), 4 – валового вмісту міді (г/т) у речовині атмосферних та водних потоків, донних відкладах та ґрунтах суходолу території м. Запоріжжя

Fig. 1. Distribution of average indexes:

1 – magnetic susceptibility ($n \cdot 10^{-8} m^3/kg$), 2 – Fe total content (g/t), 3 – Ni total content (g/t), 4 – Cu total content (g/t) in substance of air and water flows, bottom sediments and land soils within Zaporizhzhia

Магнітні параметри демонструють значущі додатні коефіцієнти кореляції не тільки з вмістом зазначених елементів, але й Cd, Pb, Zn, Mn [Бондар та ін., 2015]. Це може означати прямий зв'язок забруднення залізом, в якому переважає багатодоменна фракція, з розподілом важких металів. Також встановлено, що нагромадження техногенного магнітного та поліелементного забруднення супроводжується олушенням ґрунтів.

Отримані результати підтверджуються електронномікроскопічними дослідженнями, що начоно демонструють нерівномірний розподіл конденсаційних утворень, вагома складова яких представлена високотемпературними викидами металургійних виробництв, у складових атмосферних та водних потоках, ґрунтах та донних відкладах (рис. 2). При цьому кількість сферул та ценосфер помітно більша в складі речовини транзитних потоків, хоча й має значні коливання в часі.

Підтвердженням отриманих даних є також дослідження фахівців ННІ «Інститут геології» КНУ імені Тараса Шевченка, що базуються на 60 вимірюваннях зразків ґрунтів. Вони дозволили встановити, що магнітна сприйнятливість (χ)

ґрунтів м. Запоріжжя змінюється від 61×10^{-8} до $4087 \times 10^{-8} m^3/kg$ при медіанному значенні $271 \times 10^{-8} m^3/kg$. При цьому низькі χ , притаманні ґрунтам у природному стані, спостерігаються на правобережній західній околиці міста, при $\chi > 10^{-5} m^3/kg$ – пов'язані з промисловою зоною, де сконцентровано заводи металургійного комплексу.

Вимірювання χ та вмісту важких металів у складі відібраного повітряними фільтрами пилу показали суттєву залежність результатів від розташування пункту забору проби повітря. Дослідженнями, що проводились у трьох віддалених один від одного пунктах відбору зразків, встановлено найвищі значення χ та найбільшу її дисперсію безпосередньо біля промзони металургійних комбінатів (Заводський район міста). Статистично значущі показники кореляції виявлені між χ та вмістами заліза і марганцю на західній границі промзони (вул. Рекордна, 2), між χ та вмістами заліза і цинку – на південній границі промзони (вул. Миру, 1). Зразки з пункту, віддаленого від промзони на 3 км на південь, показали зв'язок χ тільки з залізом (рис. 3).

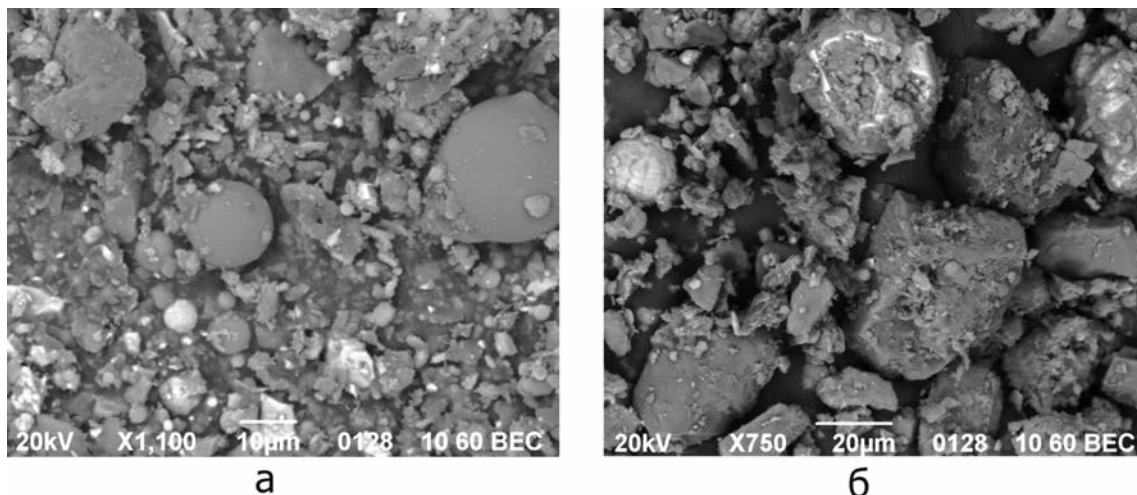


Рис. 2. Типові складові речовини: а – еолових потоків (період відбору 15.12.2017–15.01.2018 рр.), б – поверхневих ґрунтів району досліджень (точка № 2, ґрунтовий профіль промислова зона – причал ДУ «Науковий гідрофізичний центр НАН України», 2017 р.)

Fig. 2. Typical components of substance of: a – eolian flows (sampling period 15.12.2017–15.01.2018), б – ground surface of research area (point 2, ground profile “industrial zone – pier of State Institute “Research Hydrophysical Center of NAS of Ukraine” 2017)

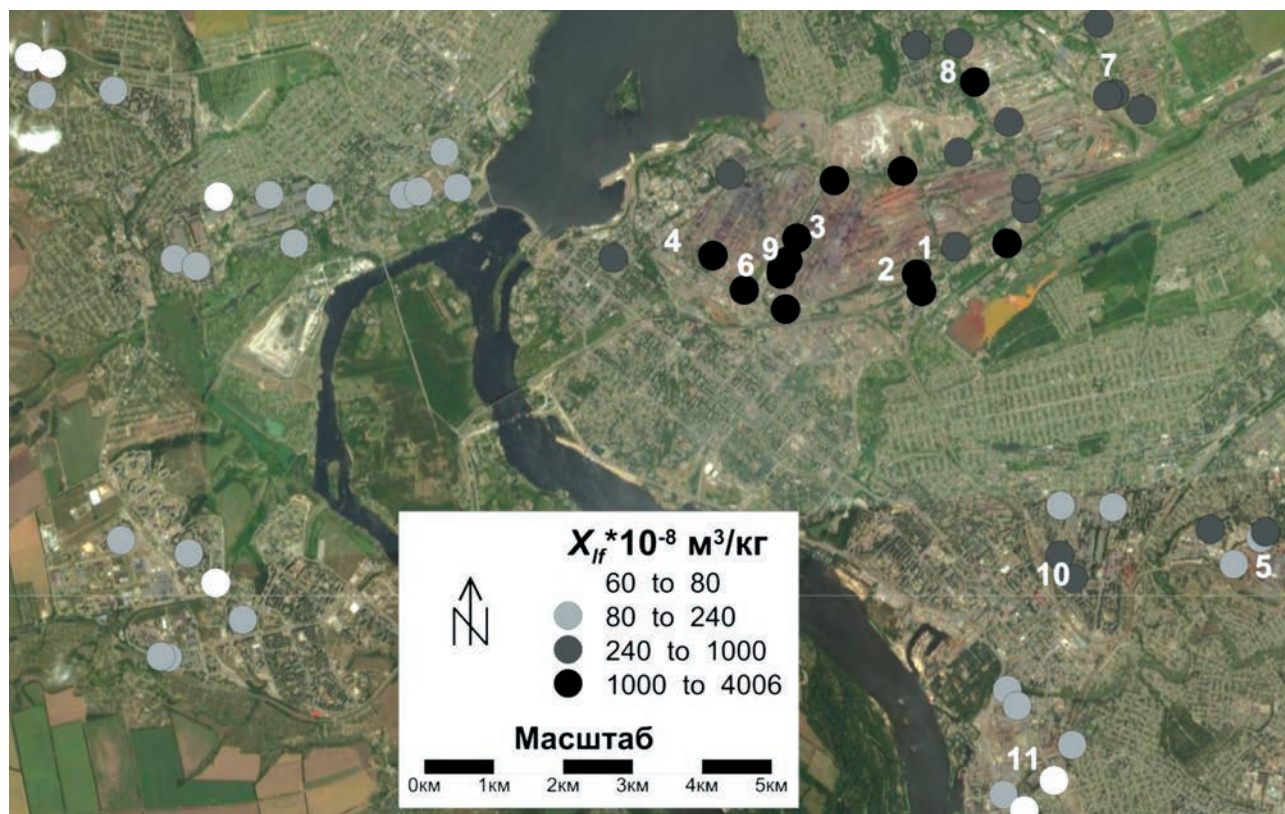


Рис. 3. Карта-схема магнітної сприйнятливості ґрунтів Запоріжжя:
 1 – ВАТ «Запоріжсталь», 2 – ПАТ «Дніпроспецсталь», 3 – ПАТ «Запорізький завод феросплавів», 4 – ПАТ «Український графіт», 5 – ПАТ «Запорізький абразивний комбінат», 6 – ПАТ «Запоріжжкокс», 7 – ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат», 8 – ПАТ «Запоріжжогнетрив», 9 – ВАТ «Запорізький завод зварювальних флюсів та скловиробів», 10 – ПАТ «Мотор Січ», 11 – ПАТ «Запорізький автомобілебудівний завод»

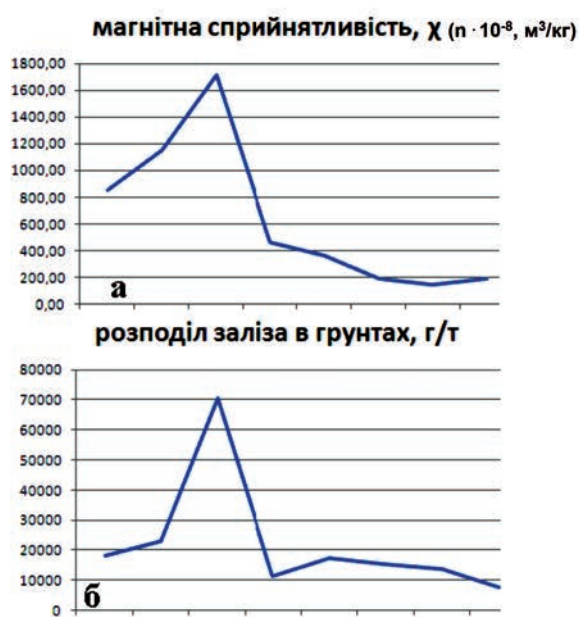
Fig. 3. Sketch map of magnetic susceptibility of Zaporizhzhia grounds:
 1 – OJSC “Zaporizhstal”, 2 – JSC “Dniprospecstal”, 3 – JSC “Zaporozhsky Ferroalloy Plant”, 4 – PJSC “Zaporozhsky Grafit”, 5 – PJSC “Zaporozhsky Abrazivny Combinat”, 6 – PJSC “Zaporozhckoke”, 7 – LLC “Zaporozhye Titanium and Magnesium Combine”, 8 – PJSC “Zaporozhogneupor”, 9 – OJSC “Zaporizhskloflus”, 10 – PJSC “Motor Sich”, 11 – PJSC “ZAZ”

Серед досліджуваних типів осадової речовини показовим прикладом слід вважати взаєморозподіл загального вмісту заліза та χ у поверхневих ґрунтах Запоріжжя за профілем Заводський район – база ДУ «Науковий гідрофізичний центр НАН України» (рис. 4). Проби відбирали із поверхневого шару ґрунтів у межах «зелених зон» у напрямку від промислових ділянок металургійних підприємств до територій з найменшою концентрацією виробничої інфраструктури. Метою досліджень було визначення ступеня забруднення ґрунтів продуктами атмосферних викидів металургійної промисловості на різних відстанях від осередку забруднення.

Було встановлено, що найбільші концентрації заліза властиві ґрунтам із заплави р. Суха Московка, яка є лівою притокою р. Дніпро і на підході до гирла з'єднується з руслом балки Капустяна, де розташований шламонакопичувач ряду промислових підприємств міста. Вважається, що низьку якість вод річки визначають стоки із заводів (скидання забруднених зворотних

вод через неефективну роботу очисних споруд та змив забруднюючих речовин з промислових територій). В цілому, розподіл концентрацій заліза помітно зменшується в напрямку від промислової ділянки до периферії. Це також наочно демонструють графіки розподілу заліза у відібраних ґрунтах та динаміка χ за профілем (див. рис. 4) [Nasedkin, 2018].

Але для осадової речовини в складі динамічних середовищ – атмосферних та водних потоків – спостерігаються інші закономірності зв'язку між розподілом заліза та χ . Зокрема, кореляційні зв'язки між зазначеними величинами в складі річкової зависі протягом тривалого періоду спостережень (з серпня 2015 р. по серпень 2017 р.) характеризуються незначними величинами: коефіцієнт кореляції сягає значення 0,38, що навіть для безперервних щомісячних вимірів упродовж двох років складає несуттєву величину. Одночасно аналіз даних дворічного ряду досліджень засвідчив наявність стійких кореляційних зв'язків за певні тривалі часові проміжки в межах загального періоду досліджень (рис. 5). Зокрема,



В

Рис. 4. Графіки розподілу за профілем відбору проб поверхневих ґрунтів (1-8): а – величини магнітної сприйнятливості зразків (n · 10⁻⁸ м³/кг), б – вмісту заліза за даними рентген-флуоресцентного аналізу (г/т), в – розташування пунктів відбору проб поверхневих ґрунтів за профілем «Заводський район (найбільш техногенно навантажена ділянка території м. Запоріжжя) – територія ДУ «Науковий гідрофізичний центр НАН України»

Fig. 4. Distribution by profile of ground surface samples (1-8): а – value of magnetic susceptibility of samples (n · 10⁻⁸ m³/kg), б – Fe content according to X-ray fluorescence analysis (g/t), в – location of sampling points from Zavodskoy district (the most technogenically loaded area of Zaporizhzhia) to the territory of State Institute “Research Hydrophysical Center of NAS of Ukraine”

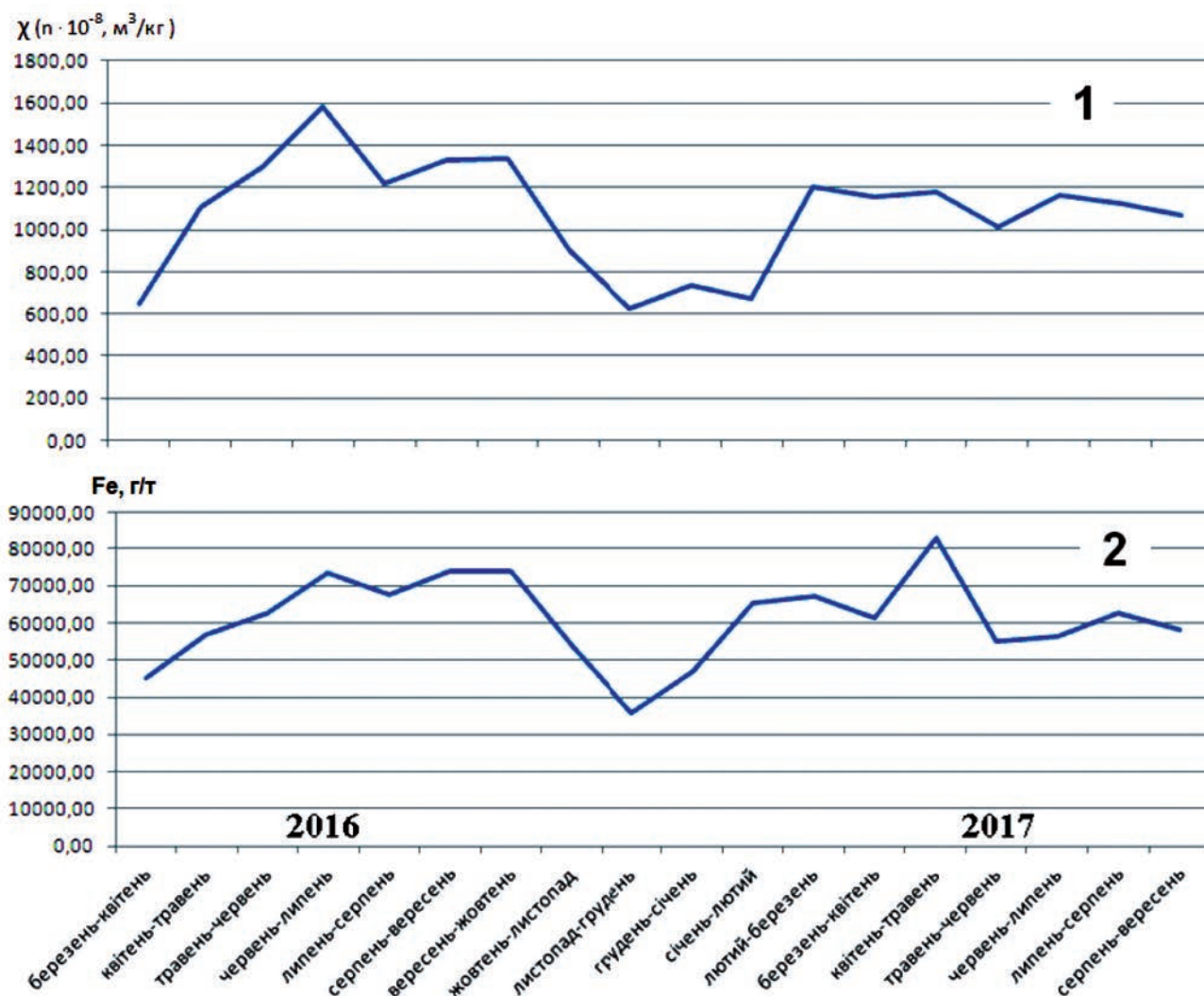


Рис. 5. Графіки щомісячного розподілу протягом 2016-2017 рр.: 1 – величини магнітної сприйнятливості зразків річкової зависі ($n \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), 2 – вмісту заліза в складі завислих частинок за даними рентген-флуоресцентного аналізу (г/т)

Fig. 5. Monthly distribution (2016-2017) of: 1 – value of magnetic susceptibility of river suspension samples ($n \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), 2 – Fe content (g/t) in composition of particulate matter according to X-ray fluorescence analysis

для періоду січень-лютий 2016 р.– серпень-вересень 2017 р. відповідний коефіцієнт становить 0,7.

Результати досліджень свідчать про певну сталість зв'язку χ з вмістом заліза в осадовій речовині для стабільних «статичних» середовищ, таких як ґрунти суходолу чи донні відклади, де багаторічні процеси накопичення нівелюють тимчасові ситуативні зміни. При дослідженні речовини в складі атмосферних чи водних потоків, де її якісні та кількісні показники визначаються змінами параметрів середовища під впливом великої кількості зовнішніх факторів, виникає необхідність коригування результатів та внесення певних поправок у процесі аналізу отриманих натурних даних.

Можна назвати основні фактори, врахування яких визначить якість результатів моніторингових досліджень седиментаційних потоків у межах динамічних середовищ. Для атмосферного середовища це насамперед такі природні сезонні фактори, як напрямки та сила вітрів. Суттєвим також слід вважати наявність опадів та їх тривалість. До факторів техногенного характеру варто відносити не тільки інтенсивність викидів промисловістю речовини в атмосферне повітря, але й їх «видовий» склад, тобто належність до певних ланок промислового виробництва.

Список літератури

Бондар К.М., Курасєва І.В., Войтюк Ю.Ю., Цюпа І.В., Стахів І.Р., Матвієнко О.В., Кузь Ю.В. Комплексна еколого-геохімічна оцінка техногенно забруднених територій. *Мінерал. журн.* 2016. Т. 38, № 2. С. 88-95.

Бондар К., Цюпа І., Король А. Магнітний метод при оцінці забруднення ґрунтового покриву Запоріжжя. Еколого-геохімічне обґрунтування. *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2015. № 4. С. 54-60.

Бондар К., Цюпа І., Стахів І. Характеристика розподілів магнітної сприйнятливості ґрунтів українських міст та оцінка рівнів їх техногенного забруднення. *Там же.* № 3. С. 43-48.

Васильєв А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. С. 75-84.

Віршило І.В., Бондар К.М. Просторовий аналіз індустріального забруднення ґрунтів Північної Астурії (Іспанія) за даними петромагнітних і геохімічних досліджень. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики.* 2009. № 6. С. 223-234.

Насєдкін Є.І., Бондар К.М., Цюпа І.В., Стадніченко С.М. Досвід комплексування магнітного та геохімічного методів при дослідженні екологічного стану промислових осередків. *Геологія і корисні копалини України, Київ, 02-04 жовтня 2018 р.*: тези наук. конф. Київ, 2018. С. 163-165.

Насєдкін Є.І., Стадніченко С.М., Пермяков В.В., Іванова Г.М. Особливості речовинної складової атмосферного аерозолу м. Запоріжжя. *Зб. наук. пр. ІГН НАН України.* 2016. № 9. С. 75-82.

Bondar K.M., Tsiupa I.V., Kozhemiakin H.B., Kuraieva I.V., Voitiuk Yu. Yu. Magnetic minerals and

heavy metals content of industrial dusts and polluted topsoil of Zaporizhzhya (Ukraine). In: *16th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kiev, 15-17 May 2017. Kiev, 2017. P. 561-566.

Fuzzi S., Baltensperger U., Carslaw K., Decesari S., Denier van der Gon H., Facchini M.C., Fowler D., Koren I., Langford B., Lohmann U., Nemitz E., Pandis S., Riipinen I., Rudich Y., Schaap M., Slowik J.G., Spracklen D.V., Vignati E., Wild M., Williams M., Gilardoni S. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmos. Chem. Phys.* 2015. № 15. P. 8217-8299.

Heller F., Strzyszcz Z., Magiera T. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *Journal of geophysical research.* 1998. Vol. 103, № B8. P. 17,767-17,774.

Magiera T., Strzyszcz Z., Rachwal M. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. *Forest ecology and management.* 2007. Vol. 248. P. 36-42.

Nasedkin Ye., Bondar K., Tsiupa I., Ivanova G. Some results of complex monitoring of sediment in the city of Zaporizhzhya. *XII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Kyiv, November 13–16, 2018, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology.* Kyiv, 2018. P. 108-112.

Strzyszcz Z., Magiera T., Heller F. The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in upper Silesia. *Studia Geophysica et Geo-daetica.* 1996. Vol. 40, iss. 3. P. 276-286.

References

Bondar K., Tsiupa I., Korol A., 2015. Magnetic method of Zaporizhzhya soil pollution assessment: ecological and geochemistry justification. *Visnyk Kyivskogo Natsionalnogo Universiteta. Geologiya,* № 4, p. 54-60 (in Ukrainian).

Bondar K., Tsiupa I., Stakhiv I., 2015. Characteristics of distributions of magnetic susceptibility of soils of Ukrainian cities and estimation of levels of their man-caused pollution. *Ibid.,* № 3, p. 43-48 (in Ukrainian).

Bondar K.M., Tsiupa I.V., Kozhemiakin H.B., Kuraieva I.V., Voitiuk Yu. Yu., 2017. Magnetic minerals and heavy metals content of industrial dusts and polluted topsoil of Zaporizhzhya (Ukraine). In: *16th*

International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Kiev, 15-17 May 2017. Kiev, p. 561-566 (in English).

Bondar K.M., Kuraeva I.V., Voitiuk Yu. Yu., Tsiupa I.V., Stakhiv I.R., Matvienko O.V., Kuz Yu. V., 2016. Complex Ecological-Geochemical Assessment of Territories with Technogenic Pollution. *Mineralogichnyy Zhurnal,* vol. 38, № 2, p. 88-95 (in Ukrainian).

Fuzzi S., Baltensperger U., Carslaw K., Decesari S., Denier van der Gon H., Facchini M.C., Fowler D., Koren I., Langford B., Lohmann U., Nemitz E., Pandis S., Riipinen I., Rudich Y., Schaap M., Slowik J. G., Spracklen D.V., Vignati E.,

Wild, M., Williams, M., and Gilardoni, S., 2015. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs, *Atmos. Chem. Phys.*, № 15, p. 8217-8299 (in English).

Heller F., Strzyszc Z., Magiera T., 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *Journal of geophysical research*, vol. 103, № B8, p. 17,767-17,774 (in English).

Magiera T., Strzyszc Z., Rachwal M., 2007. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. *Forest ecology and management*, vol. 248, p. 36-42 (in English).

Nasedkin Ye., Bondar K., Tsiupa I., Ivanova G., 2018. Some results of complex monitoring of sediment in the city of Zaporizhzhya. *XII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, November 13–16, 2018. Kyiv, p. 108-112 (in English).

Nasedkin Ye.I., Stadnichenko S.M., Permyakov V.V., Ivanova G.M., 2016. Features of the material component of atmospheric aerosol in the city of Zaporizhzhya. *Zbirnyk naukovykh prats IGN NAN Ukrainy*, № 9, p. 75-82 (in Ukrainian).

Nasedkin Ye.I., Bondar K.M., Tsiupa I.V., Stadnichenko S.M., 2018. Experience of complexing magnetic and geochemical methods in the study of the ecological state of industrial cells. *Abstracts of Scientific Conference "Geology and Minerals of Ukraine"*, Kyiv, 02-04 October 2018. Kyiv, p. 163-165 (in Ukrainian).

Strzyszc Z., Magiera T., Heller F., 1996. The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in upper Silesia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, vol. 40, iss. 3, p. 276-286 (in English).

Vasiliev A.A., Chashchin A.N., 2011. Heavy Metals in the soils of the City of Chusovoy: Assessment and Diagnosis of Contamination. Perm, Perm State Agricultural Academy, p. 75-84 (in Russian).

Virshylo I.V., Bondar K.M., 2009. Spatial analysis of industrial pollution of soils of Northern Asturias (Spain) according to the data of petromagnetic and geochemical studies. *Teoretychni prikladny aspekty geoinformatyky*, № 6, p. 223-234 (in Ukrainian).

Стаття надійшла
20.05.2019