

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 504:61: 669.1+ 556.314: 556.332

В. Долін, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vdolin@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

Є. Яковлев, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

О. Щербак, канд. геол. наук, наук. співроб.

E-mail: scherbak_olesia@ukr.net

С. Мещеряков, асп.

E-mail: mescheriakov@mail.ua

ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

пр. Акад. Палладіна, 34а, м. Київ, 03680, Україна

Г. Пампуха, президент

E-mail: secretary@chea-taic.be

Європейська арбітражна палата, Ave. Louise, 146, Brussels, Belgium

**ПРОВІДНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ВОД
ПІД ВПЛИВОМ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА
(НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)*

Мета і завдання. Вивчення хімічного складу підземних вод природно-техногенного водоносного горизонту, що сформувався в межах майданчика металургійного виробництва Дніпровського металургійного заводу. Завдання дослідження: виявити основні забруднювачі підземних вод; встановити просторову структуру поля забруднення; класифікувати територію промайданчика за рівнем екологічного навантаження від основних забруднюючих речовин; оцінити міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах.

Методика. Концептуальне положення методики досліджень базувалось на ролі верхньої зони геологічного середовища (ненасиченої зони або зони аерації) як головного "акумуляючого депо" більшості техногенних викидів у повітря, поверхневі і підземні води та ландшафти. Дослідження виконано на основі результатів лабораторних досліджень проб води, шлаку та шламу.

Результати. У межах досліджуваної ділянки водоносного горизонту виявлено та закартовано теплове і хімічне забруднення, а також аномально високий вміст завислих речовин у підземних водах. Найбільш гостро стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками (феноли, нафтопродукти). Унаслідок техногенної діяльності металургійного виробництва змінюються окисно-відновні та лужно-кислотні умови зони аерації, що впливає на її бар'єрні (захисні) властивості: зменшується інтенсивність водної міграції заліза, марганцю та цинку, при цьому збільшується міграційна здатність алюмінію, свинцю та кадмію.

Практична значущість та висновки. У результаті дослідження з'ясовано, що в цілому стан підземних вод на території промайданчика можна охарактеризувати як "відносно задовільну екологічну ситуацію". Металургійне виробництво створює локальний вплив на якість підземних вод, зокрема в межах радіальних відстійників, шламових карт, градієнтів та інших техногенних об'єктів з підвищеним інфільтраційним живленням ґрунтових вод.

Ключові слова: забруднення ґрунтових вод, металургійне виробництво, коефіцієнт концентрації, геоінформаційний аналіз, коефіцієнт водної міграції.

Вступ. На сучасному етапі розвитку техногенезу виїзкову актуальність набуває проблема забруднення ландшафтів, приземного повітря, поверхневих та підземних вод в межах промислових зон урбанізованих територій, де відбувається техногенна еволюція хімічного складу всіх природних компонентів навколишнього середовища. Серед промислових підприємств саме підприємства чорної металургії створюють вирішальний вплив на екологічний стан мегаполісу. Адже вони продукують значні обсяги відходів у рідкому, твердому та газоподібному стані, сумарний об'єм яких перевищує випуск чорних металів у 2–4 рази [11], та виступають потужним джерелом надходження елементів в біосферу. У світовій практиці близько 80 % відходів металургійного виробництва використовуються як вторинні матеріальні ресурси [12], в Україні частка вторинного ресурсокористування не перевищує 10–15 % [9], решта відходів зберігається у відвалах. Складування відходів створює негативний вплив на навколишнє середовище: вилучаються з використання земельні ділянки, відвали виступають потенційним джерелом забруднення атмосфери, ґрунтів, зони аерації, підземних вод тощо [12].

Дослідження впливу металургійного виробництва на підземну гідросферу являє собою складну комплексну задачу, яка включає виявлення основних забруднюючих речовин, вивчення рівнів їх накопичення та поширення в підземних водах з метою обґрунтування існуючих рівнів екологічного навантаження. Складність зумовлена

динамічністю досліджуваного водного середовища поширення забруднювачів. Різноманітність термодинамічних і фізико-хімічних умов, що формуються у підземних водах під дією комплексу техногенних факторів спричинених безпосередньо діяльністю металургійного підприємства (уповільнення поверхневого стоку, протікання інженерних комунікацій, теплове та хімічне забруднення), еколого-геохімічними особливостями урболандшафту в цілому, визначає істотну строкатість хімічного складу та мінливість концентрацій хімічних показників у часі.

Аналіз матеріалів попередніх досліджень забруднення підземних вод свідчить про те, що з гідрогеохімічних позицій у межах промислових зон урбанізованих територій відбуваються два самостійні явища: забруднення вод існуючих водоносних горизонтів (ВГ), передусім першого від поверхні найменш захищеного від забруднення ґрунтового ВГ, та формування нових техногенних ВГ [8]. Оскільки металургійне виробництво є водоемким: водоспоживання на 1 га площі металургійних заводів становить 1000–10000 м³/добу, або 0,1–1 м водного шару, що до п'яти разів перевищує природне інфільтраційне живлення ґрунтових вод [8]. За даних умов прибуткова частина водного балансу значно перевищує витрату, що веде до техногенно спричинених змін природних еколого-гідрогеологічних умов, передусім на території промайданчика, які супроводжуються формуванням природно-техногенного ВГ. Особливості такої техногенної трансформації розглядалися нами в роботі [10].

Мета та завдання дослідження. Метою даної роботи є вивчення хімічного складу підземних вод природно-техногенного ВГ, що сформувався в межах проммайданчика металургійного виробництва Публічного акціонерного товариства "ЄВРАЗ – Дніпровський металургійний завод ім. Петровського" (ПАТ "ЄДМЗ"). Для досягнення мети було поставлено такі завдання дослідження: виявити основні забруднювачі; встановити просторову структуру поля забруднення; класифікувати територію проммайданчика за рівнем екологічного навантаження від основних забруднюючих речовин; оцінити міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах.

Методика дослідження. Концептуальне положення методики досліджень базувалось на ролі верхньої зони геологічного середовища (ненасиченої зони або зони аерації) як головного "акумуляючого депо" більшості техногенних викидів у повітря, поверхневі і підземні води та ландшафти. Тому вивчення умов формування хімічного складу підземних вод техногенного водоносного горизонту в межах проммайданчика металургійного виробництва здійснювалося на основі результатів лабораторних досліджень проб води, шлаку та шламу, що відбиралися у процесі моніторингу 2010–2014 рр. та при цільовому обстеженні спостережних свердловин у 2014 р. Аналіз хімічного складу води, валового вмісту та вмісту рухомих форм важких металів, арсену і алюмінію у пробах шлаку і шламу виконувався в лабораторії хіміко-аналітичних досліджень відділу аналітичних досліджень та організації моніторингу Українського наукового центру екології моря Міністерства екології та природних ресурсів України. Хімічний склад проб шлаку, шламу та зависі підземних вод досліджено методом силікатного аналізу в лабораторії аналітичної хімії відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України.

Оскільки підземні води не мають безпосереднього контакту з джерелом забруднення (металургійне виробництво) і його вплив здійснюється через складні фізико-хімічні взаємодії в системі "ґрунт – породи зони ненасиченої фільтрації – ґрунтові води", то кількісна оцінка

впливу і стану підземної гідросфери виконувалась із використанням спеціальних індексів і коефіцієнтів.

Для визначення елементів-забруднювачів, що надходять у підземні води внаслідок діяльності металургійного виробництва, застосовувався традиційний для геохімії підхід, а саме порівняння хімічного складу досліджуваного об'єкта з природним фоном. Показником рівня накопичення елемента-забруднювача у підземних водах проммайданчика слугував коефіцієнт аномальності (коефіцієнт концентрації $K_c = C/C_\phi$) – відношення середнього значення концентрації елемента в досліджуваному об'єкті до середнього фонового його вмісту [7]. Як природний фон було взято хімічний склад ґрунтових вод, відібраних з криниці Сухачівського лісопарку, яка розташована на відстані 10 км у західному напрямку від досліджуваного майданчика металургійного виробництва.

Просторова структура поля забруднення підземних вод досліджувалась методом геоінформаційного аналізу і застосуванням аналітичного модуля Spatial Analyst програми ArcGIS 9.2. Для побудови цифрових поверхонь просторового розподілу показників забруднення підземних вод досліджуваної території було підібрано такі параметри апроксимації: метод апроксимації зворотно зв'язаних відстаней; радіус впливу – змінний; кількість точок впливу – 12; ступінь – 4.

Оцінку рівня екологічного навантаження на підземні води, які не використовуються для господарсько-питного водопостачання, на ділянках господарських об'єктів виконано згідно з науково-технічними розробками та методичними рекомендаціями [1, 2, 4]. Критеріями такої оцінки є площа поля забруднення нітратами, фенолами, важкими металами, СПАР (синтетичними поверхнево-активними речовинами), нафтопродуктами у кратності гранично допустимих концентрацій (табл. 1). У даному випадку під полем забруднення будемо розуміти частину ВГ, обмежену аналітично обґрунтованою лінією перевищення гранично допустимої концентрації забруднюючої речовини [2].

Таблиця 1

Критерії оцінки ступеня забруднення підземних вод для ділянок господарських об'єктів [2, 4]

Показники	Катастрофічна екологічна ситуація	Надзвичайна екологічна ситуація	Напружена екологічна ситуація	Відносно задовільна екологічна ситуація
Вміст забруднюючих речовин, кратність ГДК	Понад 100	10–100	5–10	3–5
Мінералізація, г/дм ³	Понад 100	10–100	3–10	Менше 3
Площа забруднення, км ²	Понад 8	3–8	0,5–3	Менше 0,5

Для оцінки міграційних властивостей хімічних елементів у підземних водах використано розрахунковий метод. Показником міграційної здатності елемента у підземних водах виступає коефіцієнт водної міграції, розрахований за О. Перельманом [6]:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x},$$

де m_x – вміст елемента в підземних водах, мг/дм³; n_x – вміст того ж елемента у водовмісних породах, %; a – сухий залишок, мг/дм³.

Обговорення результатів. Дослідження виконані для території майданчика металургійного виробництва ПАТ "ЄДМЗ" у м. Дніпро, де ведуться спостереження за станом ґрунтових вод по мережі моніторингових свердловин, організований на території заводу в 1973 р. Моніторингова мережа складається з 11 свердловин, пробурених на водоносний горизонт у четвертинних алювіальних відкладах перших надзаплавних терас. У природних гідрогеологічних умовах ВГ четвертинних алювіальних відкладів характеризувався наступними особливостями.

Водовмісні породи представлені пісками глинистими, тонкозернистими до пілуватих. ВГ безнапірний. Живлення ґрунтових вод відбувалось за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та латерального притоку з гіпсометрично вищих ділянок, розвантаження – у р. Дніпро та невеличкі потічки.

Складування шлаків та їхнє використання для підсипки території проммайданчика з подальшим їх замуленням унаслідок фільтрації шламової пульпи зумовило утворення слабопроникного техногенного шлакомулового шару на покрівлі природних алювіальних утворень. У техногенно змінених еколого-гідрогеологічних умовах з'являється додаткова техногенна складова інфільтраційного живлення ґрунтових вод (підпірний вплив р. Дніпро, перетворення природних дрен-потічків у скидні колектори, значні втрати води з водонесучих комунікацій, а також відстійників заводу) та, відповідно, стрімкий підйом рівня ґрунтових вод (РГВ). Наслідком такого процесу стало обводнення шару техногенних відкладів та формування природно-техногенного ВГ з ризиком погіршення інженерно-

геологічної стійкості підґрунтя потенційно небезпечних об'єктів (домни, прокатний стан та ін.) [10].

Сучасний ґрунтовий ВГ, води якого досліджуються, має складну двошарову будову: природний водонасичений шар та техногенний у шлакомулових відкладах. Його рівень встановився на глибині 5,15–10,56 м (2014 р.) у техногенній товщі. Потужність шару водонасичених техногенних порід в середньому у 1,56 раза перевищує потужність водонасичених алювіальних відкладів. А оскільки провідну роль у формуванні хімічного складу підземних вод відіграє петрогеохімічний склад порід зони аерації та водовмісних порід, то формування переважної частини об'єму ґрунтових вод відбувається під впливом техногенного чинника.

Геохімічні особливості та екологічний стан ґрунтових вод проммайданчика. Вірогідність еколого-гідрогеохімічних оцінок залежить від якості вихідної моніторингової інформації про стан підземних вод. Просторове розташування шлакомулового насипного шару вище фільтрів спостережних свердловин істотно зменшує вірогідність.

Температура. У цілому температура ґрунтових вод у межах території досліджень змінюється від 19 °С до 310С при фоновому значенні для алювіального ВГ 12 °С (табл. 2.). Виконаний аналіз просторово-часових змін гідрогеотермального поля техногенного ВГ за період 2010–2014 рр. (рис. 1.) дозволив встановити підвищення температури підземних вод до 2,5–4 градусів на 90 % території проммайданчика.

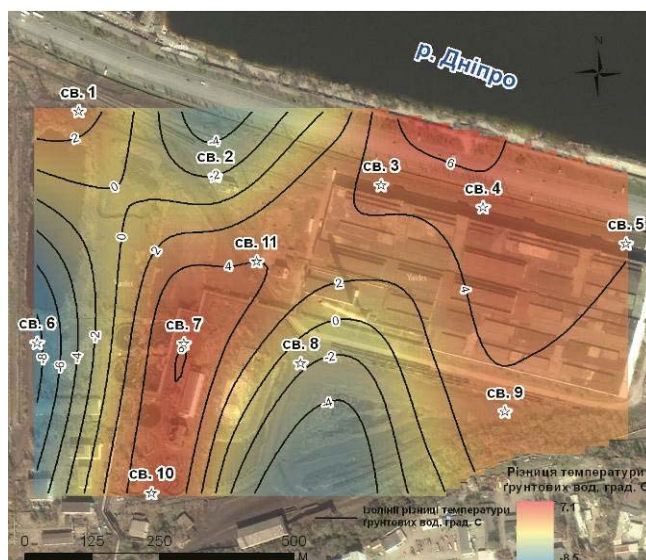


Рис. 1. Зміна температури ґрунтових вод на території металургійного майданчика в період 2010–2014 рр.: зірочками показано місця розташування спостережних свердловин

Часткове зниження температури, за цей період на 8 градусів відбулося західніше градірень, що може бути пов'язано зі зменшенням втрат теплих вод на сусідніх підприємствах. Стійке підвищення температури ґрунтових вод у межах більшої частини проммайданчика металургійного виробництва з 2010 р. супроводжується зростанням втрат води з інженерних мереж в 1,3 раза, на фоні зменшення використання води на виробничі потреби, в середньому на 22 тис. м³/міс (за період 2011–2013 рр.). Отже, аномально високі значення температури ґрунтових вод природно-техногенного ВГ, які майже в два рази перевищують фонові ($K_{сер}=1,9$) зумовлені активнішою інфільтраційним техногенним живленням ВГ внаслідок експлуатації металургійного заводу.

За вмістом *завислих речовин* підземні води проммайданчика вирізняються аномально високими значеннями даного показника порівняно з природним фоном та вимогами щодо мутності для питних вод. Цей показник для територій промислових майданчиків не нормується. Найбільший вміст завислих виявлено у свердловинах центральної частини металургійного майданчика, де розташовані градірні та шламові карти, і може бути спричиненим прискороною фільтрацією шламової пульпи до ВГ. Однак значення даного показника також істотною мірою визначаються станом фільтра свердловини, покривних порід та прифільтрової зони. За хімічним складом завис у воді спостережних свердловин проммайданчика металургійного виробництва відповідає хімічному складу доменних шлаків та дещо збагачена оксидами алюмінію,

заліза і калію, а також збіднена сполуками мангану і кальцію. Це свідчить про активне вимивання дрібнодисперсної фракції шламово-мулових техногенних порід і важкої залізистої фракції зі шламу в процесі експлуатації шламових карт та поводження з відходами.

Водневий показник. Підземні води проммайданчика характеризуються переважно лужною реакцією середовища ($pH = 7,6-10,4$), на відміну, від нейтральної на фоновій ділянці ($pH = 7,1$). Істотна зміна кислотно-основних умов підземних вод може бути зумовлена техногенно спричиненою підвищеною температурою підземних вод (при підвищенні температури >22 °С збільшуються активності іонів H^+ та OH^+ , пришвидшуються реакції гідролізу [3]). При збільшенні температури дисоціація води збільшується та іонний добуток води зростає. При 90 °С $K_w = 10^{-12,4}$, тобто $pH = 6,2$ і кислотно-основна рівновага зсувається в бік кислої реакції середовища. Тому лужність підземних вод у зоні впливу інженерних споруд ПАТ "ЄДМЗ" найімовірніше формується в процесі інфільтрації при взаємодії теплої води з техногенними відкладами зони аерації.

Хімічний склад підземних вод досліджуваного ВГ в основному відповідає макрокомпонентному складу природних вод в алювіальних відкладах. За показниками *сухого залишку, вмісту сульфатів та хлоридів* води відповідають вимогам для питної води та близькі до природних фонових. Діяльність ПАТ "ЄДМЗ" на металургійному виробництві не здійснює впливу на формування забруднення підземних вод цими компонентами.

Таблиця 2

Порівняльна оцінка хімічного складу ґрунтових вод на території майданчику металургійного виробництва ПАТ "ЄДМЗ" з природним фоном та чинними вимогами щодо якості питних підземних вод

Показник	одиниці виміру	Абсолютний вміст у підземних водах			Коефіцієнт аномальності (Кс=С/С _ф)	Кратність перевищення ГДК		Категорія екологічної ситуації [2, 4]
		ПАТ "ЄДМЗ" (С)	фон (С _ф)	ГДК [1, 5]		ПАТ "ЄДМЗ" (С/ГДК)	фон (С _ф /ГДК)	
Завислі речовини	мг/дм ³	$\frac{129-25172}{5715,4}$	1,51	2,03	$\frac{85,4-16670,2}{3785}$	$\frac{63,5-12400}{2815,5}$	0,7	Не входять до переліку критеріїв оцінки
pH		$\frac{7,6-10,4}{9,6}$	7,01	6,5-8,5	$\frac{1,1-1,5}{1,4}$	$\frac{0,9-1,2}{1,1}$	0,8	
Температура	°C	$\frac{19-31}{23,1}$	12	—	$\frac{1,6-2,6}{1,9}$	—	—	
БСК-5	мг/дм ³	$\frac{5-57,5}{27,6}$	0,8	3	$\frac{6-68,5}{32,8}$	$\frac{1,7-19,2}{9,2}$	0,3	
ХСК	мгО/дм ³	$\frac{21,6-158}{74,7}$	4,2	30	$\frac{5,1-37,3}{17,6}$	$\frac{0,7-5,3}{2,5}$	0,1	
Нафтовуглеводні	мг/дм ³	$\frac{0,4-1,53}{0,7}$	0,43	0,1	$\frac{0,9-3,6}{1,7}$	$\frac{3,7-15,3}{7,2}$	4,3	Напружена
Сухий залишок	г/дм ³	$\frac{0,3-1}{0,5}$	0,71	1,5	$\frac{0,4-1,4}{0,7}$	$\frac{0,2-0,7}{0,3}$	0,5	Відносно задовільна
Феноли	мкг/дм ³	$\frac{1,7-9,9}{5,2}$	2,19	1	$\frac{0,8-4,5}{2,4}$	$\frac{1,7-9,9}{5,2}$	2,2	Напружена
Сульфати	мг/дм ³	$\frac{41,5-189}{92,4}$	123	500	$\frac{0,3-1,5}{0,8}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	0,2	Відносно задовільна
Хлориди	мг/дм ³	$\frac{58,3-174}{94,5}$	58,4	350	$\frac{0,9-3}{1,6}$	$\frac{0,2-0,5}{0,3}$	0,2	Відносно задовільна
Фосфати	мкг/дм ³	$\frac{57-1383}{422,1}$	583	3500	$\frac{0,1-2,4}{0,7}$	$\frac{0,02-0,4}{0,1}$	0,2	Відносно задовільна
АПАР	мкг/дм ³	$\frac{30,9-372}{129,8}$	3,34	500	$\frac{9,3-111,4}{38,9}$	$\frac{0,06-0,7}{0,3}$	0,007	Відносно задовільна
Fe заг.	мг/дм ³	$\frac{0,4-2,5}{1,2}$	0,03	1	$\frac{14,3-84,3}{41,4}$	$\frac{0,4-2,5}{1,2}$	0,03	Відносно задовільна
Cr заг.	мкг/дм ³	$\frac{2,6-5,7}{3,4}$	9,06	50	$\frac{0,3-0,6}{0,4}$	$\frac{0,05-0,1}{0,07}$	0,2	Відносно задовільна
Zn	мг/дм ³	$\frac{0,01-0,1}{0,02}$	0,068	1	$\frac{0,1-1,5}{0,3}$	$\frac{0,01-0,1}{0,02}$	0,1	Відносно задовільна
Cu	мг/дм ³	0,03	0,03	1	1	0,03	0,03	Відносно задовільна
Mn	мг/дм ³	$\frac{0,1-1,2}{0,4}$	0,04	0,5	$\frac{2,8-30,5}{9,5}$	$\frac{0,2-2,4}{0,8}$	0,08	Відносно задовільна
Ni	мкг/дм ³	$\frac{1-92}{31,7}$	1,04	20	$\frac{1-88,5}{30,5}$	$\frac{0,05-4,6}{1,6}$	0,05	Відносно задовільна
Al	мг/дм ³		0,11	0,5			0,2	Відносно задовільна
Cd	мкг/дм ³		0,17	1			0,2	Відносно задовільна
Pb	мкг/дм ³		1	10			0,1	Відносно задовільна
Co	мкг/дм ³		1,08	100			0,01	Відносно задовільна

За показниками вмісту *фосфатів, поверхнево активних речовин (АПАР), хрому, цинку, міді, свинцю і кобальту* в жодній з відібраних проб підземних вод перевищення ГДК для питної води не виявлено. Середні значення вмісту фосфатів, хрому і цинку перебувають у межах природного фону. Концентрації кобальту та АПАР перевищують фонові, що свідчить про слабе забруднення підземних вод проммайданчика, екологічна ситуація відносно задовільна (табл. 2).

У ґрунтових водах відмічаються локальні підвищення вмісту *нікелю, кадмію, свинцю* (<5 ГДК) та *алюмінію* (>10 ГДК). Просторовий аналіз розподілу концентрацій

перелічених мікроелементів (рис. 2, а, б) свідчить про наявність локальних осередків забруднення води спостережених свердловин № 1, 2, 6, 8, 10, розташованих у зоні впливу градижень та шламових карт. Водночас на більшій частині площі поширення ґрунтових вод проммайданчика концентрації не перевищують ГДК. Виявлене забруднення ґрунтових вод нікелем, кадмієм, свинцем та алюмінієм має техногенний генезис, оскільки природні фонові концентрації даних мікроелементів у прісних підземних водах значно нижчі за ГДК. Джерелами їх надходження є як багаті металами шламопилові відходи металургійного виробництва, так і відходи суміжних підприємств міста,

траси автомобільних та залізничних доріг. Так, у спостережній свердловині № 14, розташованій за межами майданчика металургійного виробництва (на півдні, вгору за потоком ґрунтових вод), пробурений на водоносний горизонт кори вивітрювання і тріщинуватої зони кристалічних

порід, виявлено забруднення підземних вод кадмієм (>5 ГДК) та свинцем (>5 ГДК). У цілому екологічна ситуація в межах проммайданчика металургійного виробництва щодо забруднення підземних вод мікроелементами залишається відносно задовільною.

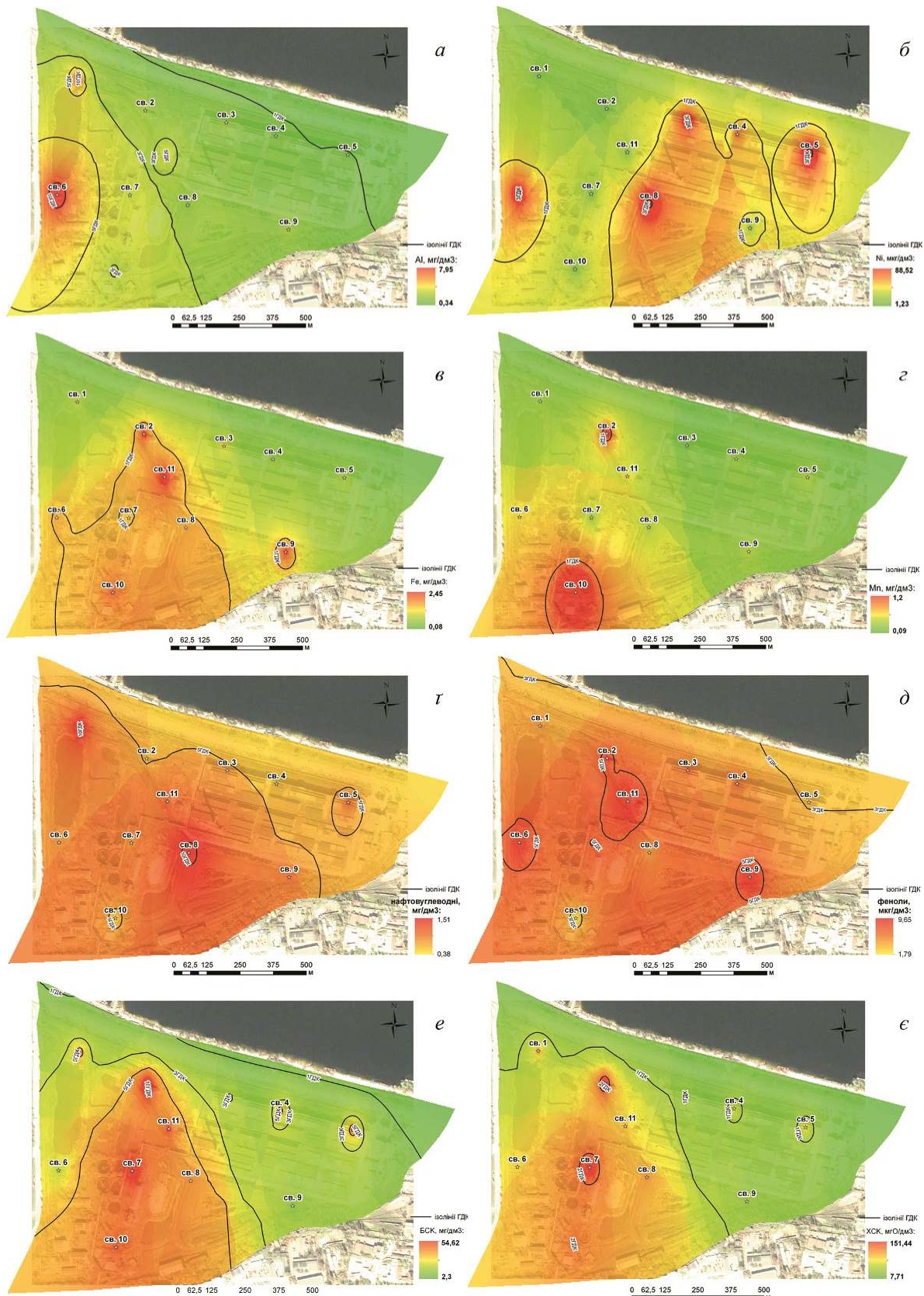


Рис. 2. Вміст забруднюючих речовин у підземних водах у межах металургійного майданчика ПАТ "ЄДМЗ"
(зірочками позначено точки відбору проб зі спостережних свердловин. Кольорова шкала умовна – від найнижчих (зеленим) до найвищих (червоним) величин. Ізолінії кратності перевищення ГДК питної води показано чорним кольором)

Гідрогеохімічні поля концентрацій заліза і марганцю мають аналогічну структуру (рис. 2, в, г) і незначне перевищення ГДК для підземних вод (2,4-2,5 ГДК), що є типовим для елементів, ГДК яких близькі до фонового вмісту. Осередки забруднення підземних вод виявлено в центральній та південній частині проммайданчика, де розташовані радіальні відстійники та шламові карти – локальні скупчення значних мас металів.

Гідроізоляція бортів і днища шламових карт не передбачена, розчинні та колоїдні форми важких металів, що містяться в металургійному шламі, фільтруються через товщу проникного матеріалу підсіпки (шлаку і шламу) на поверхню дзеркала ґрунтових вод, забруднюючи останні. Техногенно сформоване лужне середовище ґрунтових вод сприяє осадженню гідроксидів заліза, меншою мірою – марганцю. Так, на більшій частині площі проммайданчика вміст заліза та марганцю в підземних водах не перевищує ГДК (рис. 2, в, г), що визначає відносно задовільну екологічну ситуацію щодо забруднення підземних вод.

Найбільш гостро для досліджуваної території стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками, передусім нафтовуглеводнями та фенолами. Це відображається показниками хімічного та біохімічного споживання кисню (ХСК та БСК), які дають уявлення про загальний вміст органічних речовин у воді без специфікації їхнього хімічного складу. Просторовий розподіл величин цих показників у підземних водах проммайданчика (рис. 2, е, є) відображає інтегральне забруднення води нафтопродуктами (рис. 2, г) та фенолами (рис. 2, д). Осередками забруднення підземних вод органічними речовинами на майданчику металургійного виробництва є радіальні відстійники, градирні та шламові карти, що в цілому корелює з просторовою інтерпретацією забруднення фенолами та нафтовуглеводнями.

Нафтопродукти у підземних водах мігрують у напрямку зони розвантаження на значні відстані. Ймовірно, що формування гідрогеохімічного поля забруднення підземних вод нафтовуглеводнями у прибережній зоні р. Дніпро великою мірою зумовлено зливом з міських територій: у воді св. № 14, розташованій вище майданчика металургійного виробництва, концентрація нафтопродуктів становить 1,81 мг/дм³ (понад 18 ГДК, встановленої для питної води). У воді фоновій проби концентрація нафтовуглеводнів становить 0,43 мг/дм³ (понад 4 ГДК). Така ж само концентрація в поверхневій воді р. Дніпро (0,41 мг/дм³). Забруднення підземних вод нафтопродуктами на території металургійного майданчика визначається транспортними потоками, що виявляється в локальному підвищенні концентрації нафтопродуктів (до 10 ГДК) у воді св. № 1, 8 (рис. 2, г).

Фоновий вміст фенолів у підземних водах криниці в Сухачівському лісопарку становить близько 2,2 мг/дм³, що вдвічі перевищує ГДК, встановлену для питної води, та зумовлено природними чинниками. Вміст фенолів у

воді може визначатися метаболізмом гідробіонтів і біохімічною трансформацією органічних речовин. Джерелом надходження фенолів у підземні води є гумінові речовини, що утворюються в ґрунтах і торфовищах. Діяльність ПАТ "ЄДМЗ" на металургійному майданчику, в результаті якої утворюються та скидаються у шламовідстійники та шламонакопичувачі значні обсяги багатих фенолами стічних вод, веде до підвищення вмісту фенолів у підземних водах до рівня 5 ГДК.

Загалом поле забруднення підземних вод нафтопродуктами та фенолами в межах майданчика металургійного виробництва характеризується формуванням напруженої екологічної ситуації (табл. 2), що значною мірою зумовлено чинниками, не пов'язаними з діяльністю ПАТ "ЄДМЗ".

Міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах. Оскільки формування переважної частини об'єму ґрунтових вод досліджуваного природно-техногенного ВГ відбувається під впливом техногенного фактору в товщі водонасичених шлакумолукових порід, то для розрахунку коефіцієнта водної міграції водовмісними породами вважали шлакові відклади.

За даними силікатного аналізу основними компонентами шлаку є CaO (32 %) та SiO₂ (23,1 %). Шлакові відходи на відміну від шламу збіднені оксидом заліза. Його вміст коливається в межах 20 %, що у перерахунку становить 14,5 % заліза.

Аналізуючи вміст важких металів, алюмінію і арсену в пробах доменних шлаків, слід відзначити істотний вміст марганцю та хрому. Вміст рухомих форм забруднювачів надзвичайно високий та сягає 70,5 % для алюмінію, 49,2 % для ртуті, 28,5 % для марганцю; 17,4 % для міді; 13,2 % для нікелю; 12,9 % для цинку; частка рухомих форм решти забруднювачів сягає менше десяти відсотків. Ці дані свідчать про можливість розчинення і вивезення важких металів, зокрема алюмінію, в умовах інтенсивної інфільтрації у підземні води.

Інтенсивність водної міграції забруднювачів у підземних водах було оцінено розрахунковим методом, результати узагальнено в табл. 3. Відповідно до аналітичних даних хімічні елементи утворюють наступний ряд за інтенсивністю водної міграції у підземних водах на території досліджень: Ni > Cu, Cd > Co > Zn > Al > Pb > Fe > Cr > Mn. Отриманий ряд не збігається з рядами міграції металів у природних водах зони гіпергенезу. Значення коефіцієнта водної міграції таких металів, як Al, Cd та Pb мають більший порядок для території проммайданчика, ніж для підземних вод зони гіпергенезу (табл. 3.). Це свідчить про інтенсивнішу їх міграцію. Цинк та марганець, навпаки, в досліджуваних ґрунтових водах мігрують слабше, ніж у природних умовах. Залізо мігрує хоча і слабо ($K_{Fe}=0,019$), проте інтенсивніше марганцю та хрому, що є нетиповим для природних умов. Алюміній, який дуже слабо мігрує в природних водах зони гіпергенезу, в досліджуваних техногенних умовах характеризується середньою інтенсивністю водної міграції.

Таблиця 3

Коефіцієнти водної міграції хімічних елементів у підземних водах

Метали	Коефіцієнт водної міграції, K_x		Інтенсивність міграції	
	ґрунтові води проммайданчика	підземні води зони гіпергенезу (за О. Перельманом) [6]	ґрунтові води проммайданчика	підземні води зони гіпергенезу [6]
Cr	0,012	< 0,0n	слабка та дуже слабка	слабка та дуже слабка
Zn*	0,4	n – n'10	середня	сильна
Cu	3	0,n – n	середня	середня
Mn*	0,004	0,n – n	слабка та дуже слабка	середня
Ni	9,7	0,n – n	середня	середня
Al*	0,36	< 0,0n	середня	слабка та дуже слабка
Cd*	3	< 0,0n	сильна	слабка та дуже слабка
Pb*	0,3	< 0,0n	середня	слабка та дуже слабка
Co	1,55	0,n – n	середня	середня
Fe	0,019	< 0,0n	слабка та дуже слабка	слабка та дуже слабка

*напівжирним шрифтом виділені елементи міграційні властивості який у підземних водах проммайданчика не співпадають з природними.

Отримані результати підтверджують істотний вплив техногенної складової на формування хімічного складу підземних вод досліджуваної території, зокрема наявність значних фільтраційних втрат технологічних вод та інтенсивна інфільтрація через дно шламових карт змінюють природні лужно-кислотні та окисно-відновні умови зони гіпергенезу та, відповідно, умови міграції хімічних елементів у ґрунтових водах.

Висновки. Просторова і кількісна оцінка техногенних потоків забруднюючих речовин у підземних водах, зумовлених діяльністю металургійного виробництва, є важливим першочерговим етапом екологічних досліджень, спрямованих на вивчення взаємодії між твердими (ґрунти), рідкими (поверхневі та підземні води) та газоподібними (приземний шар атмосфери) складовими навколишнього природного середовища, що знаходяться в зоні впливу від одного й того ж техногенного джерела. Виконані дослідження дозволили отримати нові відомості про хімічний склад ґрунтових вод, міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах та оцінити екологічний стан природно-техногенного ВГ на території майданчику металургійного виробництва – найбільш небезпечній з екологічних позицій "ближній" зоні забруднень, зумовлених діяльністю Дніпровського металургійного заводу.

У цілому стан підземних вод на території промайданчика можна охарактеризувати як "відносно задовільну екологічну ситуацію", що значною мірою зумовлено сорбційно-захисною здатністю верхньої зони геологічного середовища (ґрунти, породи зони аерації).

Встановлено наявність теплового та хімічного забруднення, а також аномально високий вміст завислих речовин у підземних водах. Основними показниками хімічного забруднення підземних вод є вміст АПАР, нікелю, кадмію, свинцю, алюмінію, заліза, марганцю та ін. Найбільш гостро стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками (феноли, нафтопродукти). При цьому негативний вплив промислової діяльності ПАТ "ЄДМЗ" визначається локальним забрудненням підземних вод фенолами в зоні впливу шламових карт та місця зберігання відходів шламу, що створює "напружену екологічну ситуацію". Основні джерела забруднення підземних і поверхневих вод нафтопродуктами, які зумовлюють "напружену екологічну ситуацію", найімовірніше, розташовані за межами промислового майданчика ПАТ "ЄДМЗ".

Унаслідок техногенної діяльності металургійного виробництва змінюються окисно-відновні та лужно-кислотні умови зони аерації, що впливає на її бар'єрні (захисні) властивості: зменшується інтенсивність водної міграції заліза, марганцю та цинку, при цьому збільшується міграційна здатність алюмінію, свинцю та кадмію.

Подяки. Робота виконана за фінансової підтримки Незалежного інституту судових експертиз: www.nice.com.ua. Автори щиро вдячні колективам лабораторії хіміко-аналітичних досліджень відділу аналітичних досліджень та організації моніторингу Українського наукового центру екології моря Міністерства екології та природних ресурсів України під керівництвом чл.-кор. МАНЕБ Ю.М. Деньги та лабораторії аналітичної хімії відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України під керівництвом доктора хім. наук А.І. Самчука за допомогу в отриманні аналітичних даних.

Список використаних джерел

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: державні санітарні норми та правила (ДСанПін 2.2.4-171-10): затв. Наказом МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Уведено в дію 01.07.2010 № 452/17747. Із змінами від 15.08.2011 № 505. – 51 с.
2. Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В. М. Гольдберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
3. Крайнов С.Р. Гидрогеохимия: учебник для вузов / С. Р. Крайнов, В. М. Шве́ц. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: методика. – М.: НЦПИ, 1992. – 54 с.
5. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту) [Затв. Міністерства аграрної політики та продовольства України 30.07.2012 № 471] // Офіц. вісн. України від 10.09.2012. – 2012. – № 66. – 39 с. (ст. 2714, код акту 63236/2012).
6. Перельман А.И. Геохимия: учеб. для геол. спец. вузов / А. И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.
7. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Са́ет, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
8. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф. И. Тютюнова. – М.: Наука, 1987. – 335 с.
9. Шатоха В. И. Вторичные ресурсы металлургии / В. И. Шатоха, С. И. Пинчук. – Днепропетровск: РИА "Днепр-VAL", 2009. – 338 с.
10. Техногенна еволюція еколого-гідрогеологічних умов унаслідок складування відходів металургійного виробництва / О. В. Щербак, Г. Г. Пампуха, С. В. Мещеряков та ін. // Гідрогеологія: наука, освіта, практика: матеріали III наук. конф. (м. Харків, 2-4 листопада 2016 р.). – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – С. 135–138.
11. Экология города: коллектив авторов. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
12. Cirtina D. Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality / D. Cirtina, E. Traista // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2014. – №49, (3). – P. 311–315.

References

1. Hiihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu: derzhavni sanitarni normy ta pravyla (DSanPin 2.2.4-171-10). (2011). [Zatv. Nakazom MOZ Ukrainy vid 12.05.2010 no. 400. Uvedeno v diu 01.07.2010 no. 452/17747]. Iz zminyamy vid 15.08.2011, 505, 51 p. [in Ukrainian].
2. Gol'dberg, V. M. (1987). Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy. L.: Gidrometeizdat, 248 p. [in Russian].
3. Krainov, S. R., Shvets, V. M. (1992). Gidrogeokhimiya: uchebnik dlya vuzov. M.: Nedra, 463 p. [in Russian].
4. Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya: metodika. (1992). M.: SCL, 54 p. [in Russian].
5. Normatyvy ekolohichnoi bezpeky vodnykh ob'ektiv, shcho vykorystovuiutsia dlia potreb rybnogo hospodarstva, shchodo hranynchno dopustymykh kontsentratsii orhanichnykh ta mineralnykh rehovyn u morskykh ta prysnykh vodakh (biokhimichnoho spozhyvannia kysniu (BSK-5), khimichnoho spozhyvannia kysniu (KhSK), zavyslykh rehovyn ta amoniinoho azotu) (2012). [Zatv. Ministerstva aharnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy 30.07.2012, 471]. Ofitsiyni visnyk Ukrainy vid 10.09.2012, 66, 39 p. (article 2714, kod aktu 63236/2012) [in Ukrainian].
6. Perel'man, A. I. (1989). Geokhimiya: ucheb. dlya geol. spets. vuzov. M.: Vyssh. shk., 528 p. [in Russian].
7. Saet, Yu. E., Revich, B. A., Yanin, E. P. et al. (1990). Geokhimiya okruzhayushchey sredy. M.: Nedra, 335 p. [in Russian].
8. Tyutyunova, F. I. (1987). Gidrogeokhimiya tekhnogeneza. M.: Nauka, 335 p. [in Russian].
9. Shatokha, V. I., Pinchuk, S. I. (2009). Vtorichnye resursy metallurgii. Dnepropetrovsk: RIA "Dnepr-VAL", 338 p. [in Russian].
10. Shcherbak, O.V., Pampukha, H.H., Meshcheriakov, S.V., Yakovlev, E.O., Dolin, V.V. (2016). Tekhnohenna evoliutsiia ekoloho-hidroheolohichnykh umov unaslidok skladuvannya vidkhodiv metalurhiinoho vyrobnytstva. Hidroheolohiia: nauka, osvita, praktyka: materialy III naukovo konferentsii (m. Kharkiv, 2-4 lystopada 2016). Kh.: KhNU imeni V. N. Karazina, 135-138. [in Ukrainian].
11. Ekologiya goroda: kolektiv avtorov (2004). M.: Nauchnyy mir. 624 p. [in Russian].
12. Cirtina, D., Traista, E. (2014). Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49 (3), 311-315. [in English].

Надійшла до редколегії 21.08.17

V. Dolin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: vdolin@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine
E. Yakovlev, Dr. Sci.(Tech.), Senior researcher
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua
O. Shcherbak, Cand. Sci. (Geol.), Researcher
E-mail: scherbak_olesia@ukr.net
S. Meshcheryakov, PhD student
E-mail: mescheriakov@mail.ua
State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine"
34a Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine
G. Pampukha, President
E-mail: secretary@chea-taic.be
European Arbitration Chamber
146 Louise Ave., Brussels, Belgium

MAIN FORMATION FACTORS OF GROUNDWATER CONTAMINATION FIELD UNDER THE INFLUENCE OF METALLURGICAL PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF DNIEPER METALLURGICAL PLANT)

Purpose. Exploring the chemical composition of groundwater of natural and technogenic aquifer, formed within the area of metallurgical production of the Dnieper metallurgical plant. Objectives of the research: to identify the main pollutants of groundwater; establish the spatial structure of the field of pollution; classify the industrial site in terms of the environmental load of the main pollutants; estimate the migration properties of chemical elements in groundwater.

Design/methodology/approach. Conceptual provision of research methodology was based on the role of the upper zone of the geological media (unsaturated zone or zone of aeration) as the main "accumulating depot" for the majority of anthropogenic emissions into the air, surface water, groundwater and terrain. The study was carried out on the laboratory results of water samples, slag and sludge.

Findings. Thermal and chemical contamination, and abnormally high content of suspended solids in groundwater were detected and mapped within the investigated site of aquifer. Groundwater contamination by organic compounds (phenols, petroleum products) is the most acute problem. The study tested, as a result of technogenic activity of metallurgical production, the redox and the acid-alkaline conditions of unsaturated zone changed, which affects its barrier (protective) properties, decreasing the intensity of water migration of iron, manganese and zinc, with increased migration capacity of aluminum, lead and cadmium.

Practical value/implications. As a result of research, it was established the overall state of the groundwater at the industrial site can be described as "relatively satisfactory environmental situation". Metallurgical production impacted on groundwater quality locally, particularly within the radial sedimentation tanks, sludge cards, coolers and other industrial units within unsaturated zone of geological media.

Keywords: groundwater contamination, metallurgical production, concentration coefficient, GIS analysis, water migration coefficient.

В. Долин, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vdolin@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
Е. Яковлев, д-р тех. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua;
О. Щербак, канд. геол. наук, науч. сотруд.
E-mail: scherbak_olesia@ukr.net;
С. Мещеряков, асп.
E-mail: mescheriakov@mail.ua
ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины"
пр. Акад. Палладина, 34а, г. Киев, 03680, Украина
Г. Пампуха, президент
E-mail: secretary@chea-taic.be
Европейская арбитражная палата,
Ave. Louise, 146, Brussels, Belgium

ВЕДУЩИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА)

Цель и задачи. Изучение химического состава подземных вод природно-техногенного водоносного горизонта, который сформировался в пределах площадки металлургического производства Днепропетровского металлургического завода. Задачи исследования: выявить основные загрязнители подземных вод; установить пространственную структуру поля загрязнения; классифицировать территорию промплощадки по уровню экологической нагрузки от основных загрязняющих веществ; оценить миграционные свойства химических элементов в подземных водах.

Методика. Концептуальное положение методики исследований базировалось на роли верхней зоны геологической среды (ненасыщенной зоны или зоны аэрации) как главного "аккумулирующего депо" большинства техногенных выбросов в атмосферу, поверхностные и подземные воды и ландшафты. Исследование выполнено на основе результатов лабораторных исследований проб воды, шлака и шлама.

Результаты. В пределах исследуемого участка водоносного горизонта обнаружено и закартировано тепловое и химическое загрязнение, а также аномально высокое содержание взвешенных веществ в подземных водах. Наиболее остро стоит проблема загрязнения грунтовых вод органическими соединениями (фенолы, нефтепродукты). В результате техногенной деятельности металлургического производства изменяются окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия зоны аэрации, что влияет на ее барьерные (защитные) свойства: уменьшается интенсивность водной миграции железа, марганца и цинка, при этом увеличивается миграционная способность алюминия, свинца и кадмия.

Практическая значимость и выводы. В результате исследования установлено, что в целом состояние подземных вод на территории промплощадки можно охарактеризовать как "относительно удовлетворительную экологическую ситуацию". Металлургическое производство создает локальное воздействие на качество подземных вод, в том числе в пределах радиальных отстойников, шламовых карт, градирен и других техногенных объектов с повышенным инфильтрационным питанием грунтовых вод.

Ключевые слова: загрязнение грунтовых вод, металлургическое производство, коэффициент концентрации, геоинформационный анализ, коэффициент водной миграции.