

УДК 550.4+550.8+553.9

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2025.39.06>

Дудік О.М., Сетая Л.Д.

Дудік О.М., кандидат геолого-мінералогічних наук, завідувач відділу, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, ORCID 0000-0002-5153-418X, dud-am@ukr.net

Сетая Л.Д., старший науковий співробітник, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, ORCID 0000-0002-2996-0289, lasetaya@gmail.com

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ДОНБАСУ

У статті наведено результати еколого-геохімічної оцінки підприємств чорної металургії Донбасу. Основним об'єктом досліджень було вибрано одне з найстаріших металургійних підприємств України – Донецький металургійний завод і компоненти довкілля у його промзоні та на прилеглих територіях. Здійснено еколого-геохімічну оцінку всіх видів мінеральної сировини, яка використовується металургійними підприємствами, їх газопилових викидів у приземну атмосферу, твердих відходів усіх виробництв. Визначено вміст у них 39 хімічних елементів, побудовані еколого-геохімічні моделі (спектри). Детальне еколого-геохімічне картування промислової зони цього заводу та прилеглих до неї густонаселених районів Донецька дало можливість визначити масштаби й геохімічні особливості впливу на компоненти довкілля цього підприємства чорної металургії Донбасу. Встановлено ділянку площею 11 км², на якій під впливом металургійного виробництва відбулися незворотні перетворення компонентів довкілля. У будові техногенних літохімічних аномалій беруть участь 14 хімічних елементів, провідне місце серед яких належить елементам першого класу небезпеки – Hg, Pb, Zn, As. Здійснено також оцінку впливу на довкілля металургійного підприємства вторинної переробки відходів кольорових металів «Донкавамет», який розташований на відстані 2–4 км від Донецького металургійного заводу. Негативний вплив сучасних активних воєнних дій на зміну довкілля потребує розробки й виконання «Програми еколого-геохімічного відновлення території Донбасу в повоєнний період». Для цього будуть корисні досвід і результати еколого-геохімічної оцінки підприємств чорної металургії Донбасу, викладені у статті.

Ключові слова: еколого-геохімічне моделювання, техногенні аномалії, підприємства чорної металургії, тверді відходи, газопилові викиди.

Вступ. Проблема хімічних змін довкілля Донбасу посідає особливе місце через надзвичайно великі масштаби та швидкість техногенних процесів. Найбільшу роль у цих змінах відіграють підприємства важкої промисловості, особливо металургійні. У межах Донбасу було шість підприємств чорної металургії з повним циклом виробництва: у Луганській області – Алчевський металургійний комбінат, у Донецькій області – три комбінати (Макіївський ім. Кірова, Маріупольський «Азовсталь», Маріупольський ім. Ілліча) і два заводи (Донецький та Єнакієвський).

Території цих підприємств зараз окуповані, тут і донині відбуваються воєнні дії, які негативно впливають на виробничу діяльність усіх підприємств. Слід зазначити, що металургійні підприємства Донбасу (крім маріупольських), розташовані частково чи повністю в зоні підземного вугледобування, тому масове закриття майже всіх шахт, здійснене окупаційною владою способом «мокрої консервації», суттєво змінює техногенез – активізуються процеси

підтоплення й затоплення територій, відбувається осідання денної поверхні, забруднення поверхневих і підземних вод і ґрунтів, змінюються газгеохімічні умови надр. Значний негативний вплив на зміну довкілля чинять активні воєнні дії (Белоконь та ін., 2023), (Долін та ін., 2024), (Полозенцева, Юрченко, 2022).

Мета роботи – виконати еколого-геохімічну оцінку підприємств чорної металургії та визначити їх роль у масштабних техногенних змінах довкілля Донбасу.

Об'єкти та методика досліджень. Базовим об'єктом досліджень був Донецький металургійний завод (ДМЗ), який почав виробничу діяльність (виплавку чавуну) у 1872 р. На початку XXI сторіччя на базі ДМЗ були створені окремі підприємства: ВАТ «ДМЗ», ЗАТ «Донецьксталь», ЗАТ «ММЗ ІСТІЛ», ЗАТ «ЦНДІвтормет», ТОВ «Калтоп».

Під час еколого-геохімічної оцінки техногенних і природних об'єктів для порівняння нами були використані дані геохімічних досліджень природних фонових ландшафтів доантропогенного періоду – біосферних заповідників «Кам'яні Могили» і «Хомутовський

степ», а також Великоанадольського штучного лісового масиву (Дудік, 1992).

У мінеральній сировині, що використовується металургійними підприємствами, промислових відходах твердої та газопилової фаз і компонентах довкілля в зоні їх впливу було досліджено 39 хімічних елементів (Hg, Pb, Zn, Cu, Mo, Mn, Cr, Sn, Ni, Ge, Ag, Ca, Mg, Fe, Ba, Sr, B, Sc, Li, Na, Al, P, Be, Bi, As, Tl, Cd, Si, Sb, W, Ce, La, Nb, Y, Yb, Co, Ga, Ti, V).

Початковий етап геохімічних досліджень довкілля та впливу його хімічного забруднення на життєдіяльність населення Донбасу пов'язаний із роботами Інституту геолого-екологічних проблем Донбасу (ІГЕПД), який досліджував цей регіон з 1990 по 2014 рік. Були виконані комплексні дослідження (картування) найбільших промислово-міських агломерацій (Донецько-Макіївської, Горлівсько-Єнакієвської), окремих екосистем, численних підприємств важкої індустрії і компонентів довкілля в зоні їх впливу. Результати їх наведено в геолого-геохімічних звітах і окремих публікаціях (Дудік, 1992, 2000; Панов та ін., 2003).

Методика еколого-геохімічних досліджень природних і техногенних об'єктів. Дослідження виконувалися за «Тимчасовими методичними рекомендаціями» (Дудік, 1992), де порівнюються геохімічні спектри техногенного об'єкта (мінеральної сировини, відходів, техногенних літохімічних аномалій) і фоновий природного ландшафту.

Геохімічний спектр фоновий ландшафту (біосферних заказників степової зони України) включає значення фону (Сф) і стандартні множники (Е) 31 хімічного елемента (табл. 1). Він графічно відображає межі коливань випадкових величин навколо значень фону (математичного очікування), який відповідає величині $S_f = 10^0$. При цьому було визначено дві групи хімічних елементів, які негативно впливають на компоненти довкілля: 1) формують позитивні техногенні аномалії (елементи-забруднювачі); 2) формують від'ємні техногенні аномалії (елементи-розубожуювачі).

Результати досліджень. Еколого-геохімічна оцінка підприємств чорної металургії передбачає об'єднання результатів геохімічних досліджень складу мінеральної сировини, відходів твердої та пилогазової фаз, утворених на основних (доменному, мартенівському електросталеплавильному) і допоміжних (конвекторному, прокатному, вогнетривковому та ін.) виробництвах металургійних підприємств, а також техногенних аномалій у компонентах довкілля. Для їх моделювання за великою кількістю геохімічних ознак використано ГІС-технологію GOLD DIGGER.

Еколого-геохімічна оцінка мінеральної сировини. Металургійні підприємства Донбасу використовують продукти збагачення залізних руд Кривбасу – агломерати й окатиші з додаванням кускової залізної руди, вапняку Комсомольського рудника, коксу з коксохімічних заводів Донбасу. Нами безпосередньо на ДМЗ були відібрані проби: агломератів – 25, окатишів – 20, залізної руди – 28, шлаків силікомарганцю – 20, вапняків – 27, вапняків обпалених – 13, феросплавів – 2, коксу – 17. Мінеральний склад кускової залізної руди – гематит, магнетит, частково гетит, лімоніт; вапняків – кальцит і доломіт із домішками кварцу, гіпсу та піриту. У всіх пробах спектрометричним методом було досліджено вміст 39 хімічних елементів.

Результати досліджень залізних руд Кривбасу та Приазовської групи родовищ, які використовують металургійні підприємства Донбасу, демонструє табл. 2, де показано середньонормований вміст 26 хімічних елементів. Ці дані свідчать, що вміст Fe і Ge у залізних рудах значно перевищує їх природний фон (Кс заліза становить 8,48–9,68, германію – 2,96–4,6), тоді як вміст більшості з досліджених хімічних елементів значно нижчий за їх природний фон (Кс – 0,05–0,75). Вміст Mg, Mn, Ag і P у залізних рудах Приазов'я близький до значень їх природного фону.

Агломерати. Порівняння хімічного складу агломератів і руд Кривбасу показало їх практично ідентичний склад. Виняток становить лише кальцій, вміст якого

Таблиця 1. Геохімічні показники ґрунтів у природних ландшафтах чорноземної зони південного сходу України
Table 1. Geochemical indicators of soils in natural landscapes of the southeastern Ukraine black earth zone

Елемент	Значення фону Сф, ppm	Стандартний множник Е	Елемент	Значення фону Сф, ppm	Стандартний множник Е	Елемент	Значення фону Сф, ppm	Стандартний множник Е
Hg	0,037	1,43	Co	19	1,13	Zr	197	1,14
Ag	0,032	1,12	Nb	19	1,11	Ba	470	1,11
Ge	1,4	1,09	Cu	25	1,12	P	645	1,11
Mo	1,4	1,11	Y	26	1,28	Mn	754	1,12
Bi	2,0	1,10	Li	29	1,14	Ti	4 820	1,10
Be	2,4	1,10	B	50	1,09	Na	6 420	1,14
Yb	3,2	1,22	Ni	57	1,13	Mg	9 970	1,19
Sn	4,7	1,15	Zn	90	1,19	Ca	22 360	1,32
Ga	11,5	1,11	Cr	92	1,20	Fe	37 910	1,11
Sc	11,6	1,09	V	95	1,12	Al	72 250	1,19
Pb	18	1,15						

Таблиця 2. Середньонормований вміст хімічних елементів у залізних рудах Кривбасу та Приазовської групи родовищ ($K_c = C_p / C_f$)
Table 2. Medium normalized chemical elements content in iron ores of the Kryvbass and Pryazovsky deposits ($K_c = C_p / C_f$)

Хімічний елемент	Родовища Кривбасу		Приазовська група родовищ	Хімічний елемент	Родовища Кривбасу		Приазовська група родовищ
	Рудник ім. Кірова	Рудник ім. Фрунзе			Рудник ім. Кірова	Рудник ім. Фрунзе	
Fe	8,49	9,63	9,40	Li	н. д.	н. д.	0,34
Ge	4,6	3,60	2,96	Na	0,20	н. д.	0,37
Mg	0,9	0,84	1,35	Mo	н. д.	1,21	0,36
Ca	0,27	0,42	0,53	Pb	н. д.	0,06	0,24
Ma	0,92	0,94	0,53	Sn	н. д.	0,98	0,21
P	0,64	0,53	1,07	Ga	0,29	н. д.	0,21
Cu	0,75	0,21	0,54	Al	0,09	0,04	0,12
Zn	0,34	0,25	0,43	Co	н. д.	0,07	0,10
Ba	0,62	н. д.	0,64	Ni	0,22	0,05	0,15
Be	н. д.	0,45	0,42	Cr	0,18	0,14	0,15
Ag	н. д.	1,00	0,94	V	н. д.	н. д.	0,07
Sc	н. д.	н. д.	0,26	Ti	0,06	0,01	0,05
Y	н. д.	н. д.	0,38	Zr	н. д.	0,21	0,05

Примітка: н. д. – немає даних.

в агломераті майже вп'ятеро вищий. Вміст Mg, Mn, Ba і Ti в агломератах близький до значень природного фону (0,80–1,25). Найбільшу групу становлять 13 елементів-розубожувачів ($K_c = 0,03–0,4$).

Окатиші. За хімічним складом окатиші близькі до агломератів і залізних руд. Від агломератів вони відрізняються дещо вищою концентрацією Ge ($K_c = 3,6$) і зниженим вмістом Ca ($K_c = 1,3$).

Феросплави мають високий вміст таких елементів (%): Cr – до 1,0, Mn – 3,2, Al – 10, Ni – 0,012, Cu – 0,015, Hg – 0,000009. Перевищує значення фону вміст Fe ($K_c = 3,06$) і Ca ($K_c = 2,12$). Вміст, близький до фону, мають Zn, Mo, Sn і Mg.

Еколого-геохімічна оцінка твердих відходів. У період діяльності всіх металургійних підприємств Донецької області утворювалося близько 14 млн т відходів на рік, із яких 10 млн т – від доменного виробництва, а 4 млн т – від сталеплавильного. Валові викиди шкідливих речовин в атмосферу становили 1 370 тис. т, що відповідає 46 % від викидів усіх підприємств області. На кожен мільйон тон сталі в середньому утворювалося (тис. т): шлаків – 800, пилу – 100, шлаків – 300, оксидів азоту – 30, сірчастого газу – 8.

Поточні відходи ДМЗ на початку спостережень (1900–1991 рр.) становили (тис. т): доменний шлак – 657,3, сталеплавильний шлак – 331,2, залізовмісний шлак – 70. Крім того, у відвалах на площі 18 га було складовано близько 3 000 тис т сталеплавильних шлаків (Полежаківські відвали). Еколого-геохімічна оцінка твердих відходів ДМЗ передбачала відбір і спектрометричний аналіз 39 елементів у 99 збірно-штучних пробах із Полежаківських відвалів, 129 пробах поточних відходів (із шлаку мартенівського – 28, електросталеплавильного – 26, доменного – 52, гран-шлаку – 23), а також 130 пробах шламу. Досліджувався також хімічний склад пилу газопилової фракції доменного, мартенівського й електросталеплавильного виробництв.

Були побудовані еколого-геохімічні спектри твердих відходів, утворених на різних виробництвах ДМЗ і складованих у Полежаківських відвалах (рис. 1). Вони наочно демонструють хімічний склад відходів, ступінь впливу на довкілля й можливість використання окремих із них як вторинної мінеральної сировини.

Полежаківські відвали. У металургійних шлаках і пилу Полежаківських відвалів визначено 12 елементів-забруднювачів. Середній вміст (у значеннях фону K_c): Mn – 14,74, Cr – 8,18, Hg – 6,22, Mo – 4,71, Mg – 4,02, Pb – 3,94, Ca – 2,93, Zn – 2,36, Ba – 1,97, Sn – 1,72, Cu – 1,6, Fe – 1,38. Характерною особливістю відходів є крайня геохімічна неоднорідність (%): Pb – 0,0002–0,4, Zn – 0,0005–0,1, Mo – 0,0001–0,04, Cr – 0,005–0,2, Hg – 0,0000005–0,0013.

Доменні шлаки мають еколого-геохімічну спеціалізацію (K_c): Mn – 14,61, Ca – 9,46, Hg – 5,41, Ba – 4,02, Cr – 3,3, Mg – 3,3, Sr – 2,24, Mo – 1,71. Середній вміст заліза – 3,6 %.

Мартенівські шлаки мають таку спеціалізацію (K_c): Ca – 6,8, Cr – 6,6, Mg – 4,13, W – 3,1, Mn – 2,19, Mo – 2,0, Ba – 1,65, Fe – 1,24.

Сталеплавильні шлаки утворюються під час плавлення та рафінування сталі у процесі взаємодії флюсів, футерування печі та забруднювальних чавун і шихту домішок. Це силікатні багатокомпонентні утворення з домішкою сульфідів і заліза. Вміст заліза в металевій формі – 20 %. Дослідження 26 проб показало таку еколого-геохімічну спеціалізацію шлаків (K_c): Mn – 18,71, Ca – 7,3, Cr – 7,14, Mg – 4,12, W – 2,2, Ba – 1,54, Mo – 1,36.

Еколого-геохімічна оцінка відходів пило-газової фази. Згідно зі звітною формою «2ТП–повітря», на початку 90-х років викиди в атмосферу ДМЗ становили 12 445 т/рік, у тому числі тверді – 3 462,4, газоподібні та рідкі – 8 983, сірчастий ангідрид – 933,1, оксид вуглецю – 6 751,2 т/рік, сірководень – 13,2, сірчана кислота – 7,7. Але у звітах відсутня характеристика

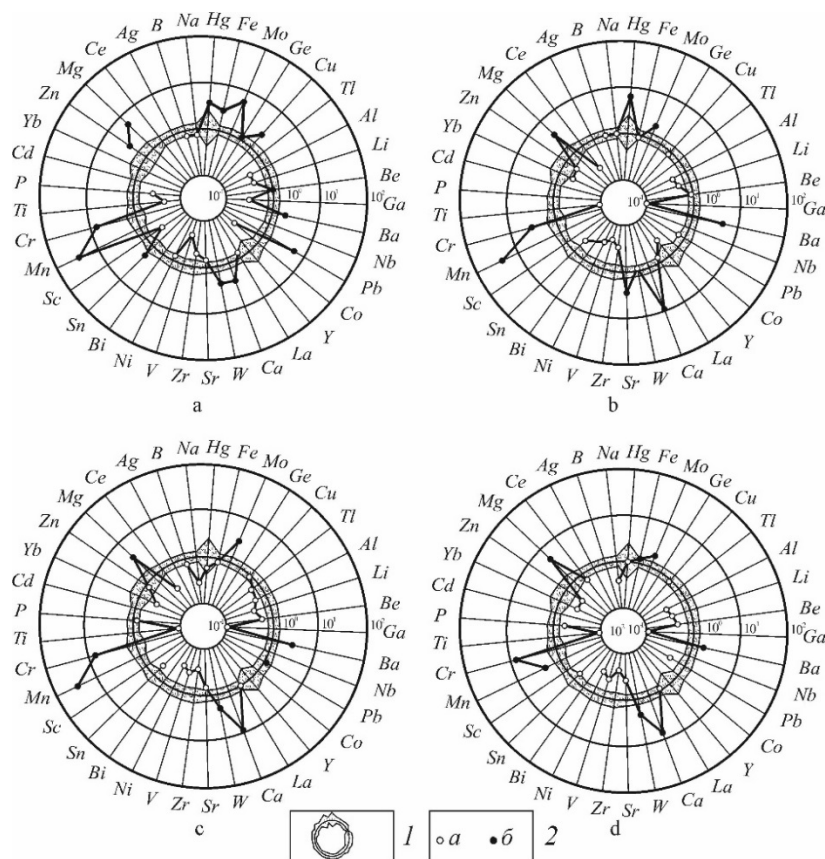


Рис. 1. Еколого-геохімічні спектри (образи) твердих відходів ДМЗ – у Полежаківських відвалах (а); шлаків доменного (b), сталеплавильного (c) і мартенівського (d) виробництв:

1 – фонові геохімічні показники у ґрунтах біосферних заповідників, 2 – середній вміст хімічних елементів у відходах ДМЗ: а – менший за фон; б – більший за фон

Fig. 1. Ecological and geochemical spectra (images) of the DMP solid waste – in Polezhakivsky dumps (a), slags from blast furnace (b), steelmaking (c) and Marten's method (d) industries:

1 – background geochemical indicators in soils of biosphere reserves, 2 – average content of chemical elements in waste in DMP waste: a – smaller than the background; b – larger than the background

хімічного складу пилової складової відходів, а також дані щодо шлаків, річний обсяг яких на ДМЗ досягав 100 тис. т. Нами було відібрано 130 проб шламу з усіх відстійників і з пульпи гідротранспортування його електросталеплавильним виробництвом.

Еколого-геохімічні спектри пилу ДМЗ (рис. 2) показують його хімічний склад і визначають елементи, які формують позитивні (елементи-забруднювачі) і негативні (елементи-розубожувачі) техногенні аномалії.

Доменне виробництво. Із звітних матеріалів ДМЗ відомо, що доменне виробництво викидає в атмосферу близько 11 % загальнозаводських викидів. Результати досліджень колошникового пилу доменних печей № 1 і № 2 демонструє рис. 2а, де показано відносний вміст досліджених хімічних елементів і відзначено елементи-забруднювачі (Кс): Ag – 9,7, Fe – 8,8, Pb – 5,5, Mo – 4,3, Zn – 4,0, Mn – 4,0, Hg – 3,0, Ca – 3,0, Ge – 2,1, Ni – 1,7, Cu – 1,6.

Знижений вміст Ti, V, Zr, B, Al, Ga, Co, La (Кс – 0,04–0,30) визначено в колошниковому пилу й інших відходах. Типоморфні елементи шлаків (Кс): Hg – 11,6, Zn – 7,3, Fe – 5,4, Pb – 4,6, Ca – 2,4, Mn – 2,3.

Мартенівське виробництво. за звітами ДМЗ, викидає в атмосферу приблизно 50 % загальнозаводських викидів шкідливих речовин. Еколого-геохімічний спектр пилу неорганізованих викидів складається з 14 елементів, вміст яких у різному ступені перевищує фоновий (рис. 2, b).

Характерною особливістю цього пилу є найвищий вміст елементів першого класу небезпеки (Кс): Pb – 11,4, Hg – 8,9, Zn – 7,6, Mn – 7,1, Fe – 6,3. Нижчу концентрацію мають (Кс): Cu – 3,68, Mo – 3,57, Cr – 4,5, Ca – 3,16, Mg – 2,56, Sn – 2,34, Ag – 2,5, Ge – 1,93, Ba – 1,53, Ni – 1,46.

Електросталеплавильне виробництво. За результатами спектрометричного аналізу пилогазової фази відходів визначено, що пил газоочисток, шлами відстійників і пульпи електросталеплавильного цеху, а також пил Полежаківських відвалів мають найбільший спектр елементів-забруднювачів (Pb, Mo, Hg, Ag, Zn, Mn, Cu, Sn, Cr, Ni, Ge, Ca, Fe, а в шлаках – також Mg і Ba) і найвищий вміст більшості із них. Вміст перших шести елементів цієї групи перевищує фоновий більш ніж удесятеро, причому елементи першого класу

небезпеки (Hg, Pb, Zn) мають найвищу концентрацію (рис. 2с).

Середній вміст Pb в пилу газоочисток – 0,25 %, у шламі пульпи – 0,07 %, Hg – відповідно 1,0 і 5,1 г/т. В окремих пробах пилу вміст Pb досягає 0,4–0,6 %, а Hg – 13 г/т. У шламах пульпи середній вміст Ag 21,2 г/т, Ge – 2,2 г/т, Sn – 43 г/т, Mo – 55 г/т, Zn – 0,12 %, Ni – 0,04 %.

Висока концентрація кольорових, рідкісних і благородних металів у відходах електросталеплавильного виробництва свідчить про доцільність їхнього використання як вторинної мінеральної сировини.

Результати дослідження мінеральної сировини, складованих і поточних твердих відходів, газопилових викидів дають можливість оцінити металургійні підприємства як джерело активного негативного впливу

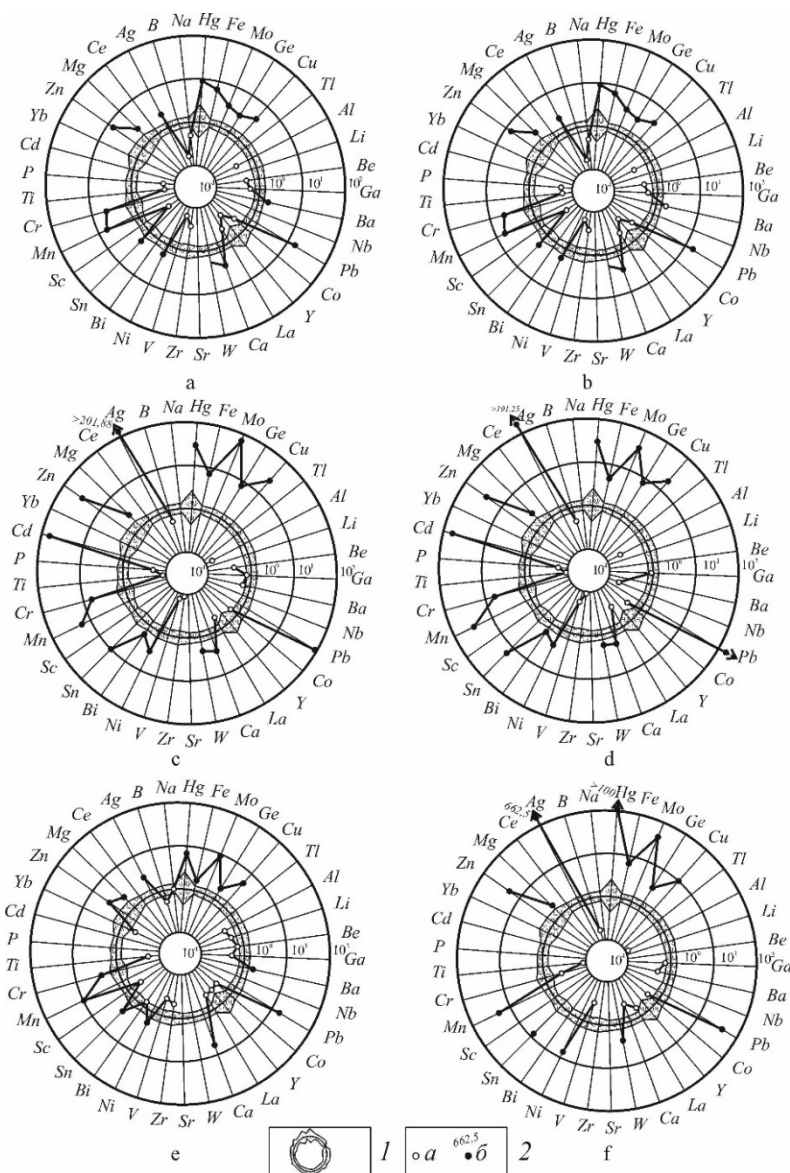


Рис. 2. Еколого-геохімічні спектри (образи) пилогазової фази відходів ДМЗ – колошниковий доменний пил (а), пил мартенівських викидів (б), пил відвалів електросталеплавильного виробництва (с), шлам відстійника електросталеплавильного виробництва (д), пил газоочисток електросталеплавильного виробництва (е), шлам пульпи електросталеплавильного цеху (ф):

1 – фонові геохімічні показники в ґрунтах біосферних заповідників, 2 – середній вміст хімічних елементів у відходах ДМЗ: а – менший за фон; б – більший за фон

Fig. 2. Ecological and geochemical spectra (images) of the dust-gas phase waste of the DMP – blast furnace dust (a), dust from Marten's emissions (b), dust from electric steelmaking dumps (c), sludge from the settling tank of the electric steelmaking plant (d), dust from gas cleaning plants of the electric steelmaking plant (e), sludge from the pulp of the electric steelmaking plant (f):

1 – background geochemical indicators in soils of biosphere reserves, 2 – average content of chemical elements in waste in DMP waste: a – smaller than the background; b – larger than the background.

на навколишнє середовище Донбасу. На великому фактичному матеріалі доведено, що, крім сірчистого газу, оксиду вуглецю, оксиду азоту, сірководню та вуглеводню, металургійні підприємства викидають значні обсяги (причому ніким не враховані та не контрольовані) Hg, Pb, Zn, Cu, Mo, Ag, Mn, Sn, Cr, Ni, Ge, Ca, Mg, Fe, а окремі виробництва – також B, Sc, Li, Na, Al. Далі ці хімічні елементи накопичуються в компонентах природного середовища – ґрунтах, рослинах, донних осадах водотоків і водойм, таким чином формуються комплексні техногенні літохімічні, гідрохімічні й біохімічні аномалії.

Еколого-геохімічна оцінка довкілля в районі дії металургійних підприємств. Міграція техногенної речовини від промислових підприємств здійснюється переважно атмосферою як газопилові утворення, меншою мірою – поверхневими водами. На шляху водної маси (у русловій і заплавної частинах водотоків), повітряних потоків (у приземній атмосфері) та в місцях аерозольних опадів (у ґрунтах, рослинах) утворюються техногенні аномалії (атмохімічні, літохімічні, гідрохімічні, біогеохімічні), масштаби яких навколо промислових об'єктів залежать від фізико-хімічних властивостей газопилових викидів, ландшафтно-геохімічних умов територій, динамічних характеристик приземної атмосфери, а також від висоти викидів (фізико-географічних чинників).

Проведені нами дослідження довкілля (ґрунтів, частково рослин) у межах промислової зони ДМЗ та території, що примикає до неї (30 км²), дали змогу оцінити характер і ступінь його змін під впливом металургійного виробництва, визначити наявність техногенних аномалій та їх еколого-геохімічні властивості.

Еколого-геохімічна оцінка ґрунтів полягала у визначенні характеру та ступеня їх хімічних змін, насамперед забруднення шкідливими хімічними речовинами, у районі ДМЗ за весь період його діяльності. Слід зазначити, що на сході, на відстані 2–4 км від ДМЗ, розташоване підприємство переробки відходів кольорових металів «Донкавамет» (до 2003 р. «Донвторцветмет»). Спільні дії підприємств чорної і кольорової металургії призвели до значних змін довкілля, особливо до забруднення ґрунтів великою кількістю хімічних елементів. Проби, відібрані в межах промислових зон по сітці 100 × 100 м, за межами – по сітці 200 × 200 м, були проаналізовані на наявність 39 хімічних елементів.

Одним із поширених методів вивчення форм знаходження хімічних елементів є «метод постадійних екстракцій». Приклад його використання для дослідження форми знаходження важких металів у ґрунтах міських агломерацій Києва, Маріуполя та Шостки опублікований у роботі (Самчук та ін., 2016).

Еколого-геохімічне моделювання території досліджень було здійснено за допомогою ГІС-технології GOLD DIGGER. За його результатами були визначені ділянки з незворотними перетвореннями ґрунтів та інших компонентів довкілля. Крім промислових зон, осередки хімічного забруднення визначені також і в густонаселених районах Донецька.

У будові техногенних комплексних літохімічних аномалій беруть участь 14 хімічних елементів – Hg, Pb, Zn, As, Cu, Cr, Mn, Mo, Sn, Fe, Ag, Ni, W, Ge. Особливої уваги заслуговують елементи першого класу небезпеки – Hg, Pb, Zn. Техногенні аномалії ртуті, створені виробничою діяльністю ДМЗ і заводу «Донкавамет», демонструє рис. 3.

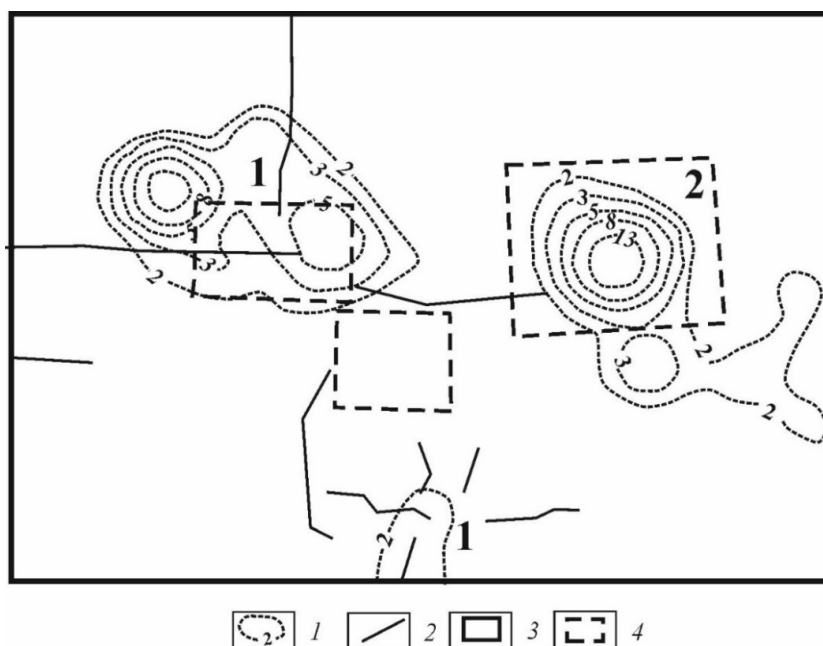


Рис. 3. Схема техногенних аномалій ртуті, створених ДМЗ (1) і «Донкавамет» (2): 1 – ізолінії вмісту ртуті у значеннях фону; 2 – профілі відбору проб із кроком 10 м; 3 – ділянка відбору проб за мережею 200 × 200 м; 4 – ділянки деталізації (мережа 100 × 100 м)
Fig. 3. Scheme of technogenic mercury anomalies created by DMP (1) and “Donkavamet” (2): 1 – isolines of mercury content in background values; 2 – sampling profiles with a step of 10 m; 3 – sampling area on a 200 × 200 m grid; 4 – detail areas (100 × 100 m grid)

Завод «Донкавамет» (ПО «Донецквторцветмет») має два основні виробництва: бронзово-латунне та фосфористої міді. Як сировину використовують брухт кольорових металів, первинні метали та флюси (флюорит, кварцит, феросиліцій, кріоліт). Цей завод, за критеріями СН 245-71, належить до підприємств першого класу небезпеки.

Результати факторного аналізу геохімічних даних із використанням методу головних компонент демонструє схема значень інтегрального показника F_{leg} (рис. 4). Вона показує морфологію і розміри (у контурі зовнішньої ізолінії $F_{leg} = 0$) літохімічних аномалій, створених діяльністю ДМЗ і «Донкавамет».

З діяльністю ДМЗ пов'язане утворення двох техногенних літохімічних аномалій: перша (обумовлена роботою основних виробничих підприємств) – велика за площею (8 км²) аномалія з високою контрастністю; друга, площею 2 км² з відносно невисокою контрастністю, просторово пов'язана з відстійником шламів і твердими відходами електросталеплавильного цеху.

Особливої уваги заслуговує аномалія, пов'язана з діяльністю металургійного підприємства «Донкавамет». Це одна з найконтрастніших аномалій серед техногенних об'єктів Донбасу площею приблизно 5 км².

За даними факторного аналізу визначено, що основне навантаження в аномаліях, створених діяльністю ДМЗ і «Донкавамет», несуть такі елементи: Pb – 0,86; Zn – 0,82; Sn – 0,89; Bi – 0,82; Cu – 0,70; Hg – 0,60; Mo – 0,69; Be – 0,78; W – 0,73; Cd – 0,66.

Класифікація аномалій за ступенем екологічної безпеки (за гігієнічною оцінкою ґрунтів) показала, що вони містять ділянки від помірно небезпечних до надзвичайно небезпечних (Z_c від 16 до 675). Медичні служби Донецька вказували на наявні проблеми зі станом здоров'я населення, у тому числі дітей, у районі діяльності цих металургійних підприємств. Тому важливо оцінити зв'язок між техногенними змінами довкілля в цій міській території і реакцією населення на ці зміни.

Методичні розробки з дослідження реакції населення на хімічні зміни біосфери техногенними процесами й окремі практичні результати таких досліджень описані в роботах (Белоконь та ін., 2023; Ковалевська, 2013; Сидоренко та ін., 2024; Тарасова, 2013).

Таким чином, у подальшому потрібно оцінити реакцію населення на хімічні зміни довкілля техногенними процесами, пов'язаними із цими металургійними підприємствами. Вирішення цієї проблеми для цього району Донбасу потребує спільних геохімічних і медико-біологічних досліджень.

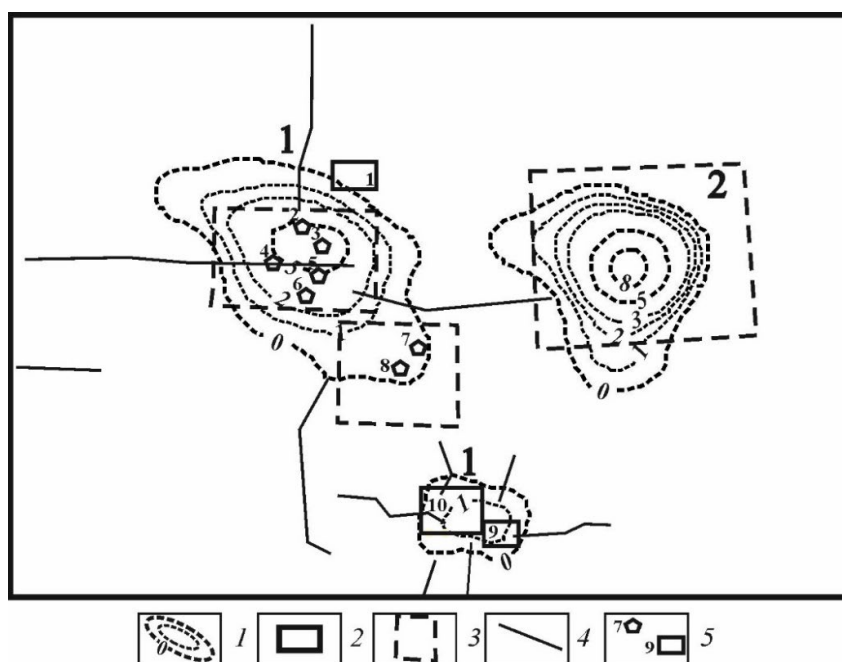


Рис. 4. Схема техногенних літохімічних аномалій ДМЗ (1) і «Донкавамет» (2) за інтегральним геохімічним показником F_{leg} : 1 – ізолінії значень F_{leg} ; 2 – ділянка відбору проб за мережею 200 × 200 м; 3 – ділянки деталізації

(мережа 100 × 100 м); 4 – профілі відбору проб з кроком 10 м; 5 – промислові виробництва ДМЗ (1 – відстійник доменного цеху, 2 – мартенівський цех, 3 – доменний цех, 4 – обтискний цех, 5 – прокатний цех, 6 – ТЕЦ-ПВС, 7 – електропідстанція, 8 – електросталеплавильний цех, 9 – тверді відвали, 10 – шламовідстійник електросталеплавильного цеху)

Fig. 4. Scheme of technogenic lithochemical anomalies of DMP (1) and “Donkavamet” (2) by the integral geochemical index F_{leg} : 1 – isolines of F_{leg} values; 2 – sampling area according to a 200 × 200 m grid; 3 – detailing areas (100 × 100 m grid); 4 – sampling profiles with a step of 10 m; 5 – DMP workshops (1 – blast furnace shop settling tank, 2 – open-hearth shop, 3 – blast furnace shop, 4 – crimping shop, 5 – rolling shop, 6 – TETS-PVS, 7 – electrical substation, 8 – electric steelmaking shop, 9 – solid dumps, 10 – sludge settling tank of the electric steelmaking shop)

Висновки

1. Метою роботи була еколого-геохімічна оцінка підприємств чорної металургії Донбасу та визначення їхньої ролі в масштабних техногенних змінах довкілля регіону.

2. Для обробки одержаних геохімічних даних, які описують всі види мінеральної сировини, відходи твердої і пилогазових фаз і літохімічні аномалії, створені металургійними підприємствами ДМЗ і «Донкавамет», і моделювання було застосовано комп'ютерну ГІС технологію GOLD DIGGER.

3. Побудовані еколого-геохімічні спектри мінеральної сировини та відходів твердої і пилогазової фаз, утворених на доменному, мартенівському й електросталеплавильному виробництвах, дали можливість визначити 14 хімічних елементів (Hg, Pb, Zn, Cu, Cr, Mn, Mo, Sn, Fe, Ag, Ni, W, Ge, As), які в найбільшому ступені впливають на довкілля. Визначено, що з діяльністю ДМЗ пов'язані літохімічні аномалії загальною площею 11 км², «Донкавамет» – 7 км², які за гігієнічною оцінкою класифікуються як небезпечні або надзвичайно небезпечні.

4. Території металургійних підприємств Донбасу на цей час є окупованими, тут відбуваються воєнні дії, які негативно впливають і на виробничу діяльність, і на стан довкілля. Тому для розробки «Програми еколого-геохімічного відновлення території Донбасу в післявоєнний період» слід використати викладені в цій статті результати досліджень металургійних підприємств і довкілля в зоні їхнього впливу з урахуванням змін у період окупації і воєнних дій.

Література

- Белоконь К. В., Ситий В. Л., Гордієнко Д. Р. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя у довоєнний та воєнний періоди. *Зб. наук. статей XIX Міжнар. наук.-практ. конф. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*. Харків, 2023. С. 42–45.
- Долін В. В., Орлов О. О., Яковлев Є. О. Геохімічні маркери деградації екосистем унаслідок військової агресії. *Геохімія техногенезу*. 2024. № 38. С. 59–75.
- Дудик О. М. Тимчасові методичні рекомендації щодо еколого-екологічних робіт у межах гірничо-промислових районів України. Донецьк : (ІГЕПД), ДДП «Геопрогноз», 1992. 105 с.
- Дудик А. М. Прогнозирование дальнейшего развития минерально-сырьевой отрасли в Донбассе и возможных экологических последствий. Экономические проблемы развития минерально-сырьевой базы Донецкой области. *Сб. науч. тр. НАН Украины. Институт экономико-правовых исследований*. Донецк, 2000. С. 36–41.
- Панов Б. С., Шевченко О. А., Дудик А. М., Дудик С. А., Селяков С. Ю. Современные экологические проблемы Донецкого бассейна. *Геофиз. журн.* 2003. 25, № 3. С. 46–60.
- Ковалевська І. Статистичний аналіз та оцінювання впливу екологічного стану довкілля на здоров'я населення і якості життя людини. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Економіка*. 2013. С. 30–32.

7. Полозенцева В. О., Юрченко А. І. Щодо впливу бойових дій на стан ґрунтів Донецької області. *Зб. наук. статей XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*. Харків, 2022. С. 246–252.

8. Самчук А. І., Кураєва І. В., Войтюк Ю. Ю., Матвієнко О. В., Вовк К. В. Форми знаходження важких металів у техногенно забруднених ґрунтах міських агломерацій. *Мінерал. журн.* 2016. 38, № 4. С. 66–74.

9. Сидоренко В. Л., Бондаренко О. О., Положешний В. В. Деякі аспекти оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. *Зб. наук. статей XX Міжнар. наук.-практ. конф. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*. Харків, 2024. С. 344–351.

10. Тарасова В. В. Оцінка впливу екологічного стану довкілля на здоров'я населення. *Агросвіт*. 2013. № 13. С. 3–6.

References

- Bielokon, K.V., Sytyi, V.L., Hordiienko, D.R. (2023), "Otsinka ryzyku dlia zdorovya naselennia vid zabrudnennia atmosferного povitria m. Zaporizhzhia u dovoiennyi ta voiennyi periody", *Zb. nauk. statei XIX Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Ekologichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia*, Kharkiv, 42–45.
- Dolin, V.V., Orlov, O.O., Yakovlev, Ye.O. (2024), "Heokhimichni markery dehradatsii ekosystem unaslidok viiskovoi ahresii", *Heokhimiia tekhnogenezu*, 38: 59–75.
- Dudik, O.M. (1992), "Tymchasovi metodychni rekomendatsii shchodo heoloho-ekologichnykh pobit u mezhakh hirnycho-promyslovykh raioniv Ukrainy", Donetsk: (IHEPD), DDP "Heoprohnoz", 105 p.
- Dudik, A.M. (2000), "Forecasting the further development of the mineral resource industry in Donbass and possible environmental consequences. Economic problems of the development of the mineral resource base of Donetsk region", *Collection of Scientific Works Institute of Economic and Legal Research of the NAS of Ukraine*, Donetsk, pp. 36–41.
- Panov, B.S., Shevchenko, O.A., Dudik, A.M., Dudik, S.A., Seliakov, S.Yu. (2003), "Modern environmental problems of the Donetsk basin", *Geophys. Journ. (Ukraine)*, 25, No. 3: 46–60.
- Kovalevska, I. (2013), "Statystychnyi analiz ta otsiniuvannia vplyvu ekolohichnoho stanu dovkillia na zdorovya naselennia i yakist zhyttia liudyny", *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Ekonomika*, 30–32.
- Polozentseva, V.O., Yurchenko, A.I. (2022), "Shchodo vplyvu boiovykh dii na stan gruntiv Donetskoi oblasti", *Zb. nauk. statei XVIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Ekologichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia*, Kharkiv, pp. 246–252.
- Samtchuk, A.I., Kuraieva, I.V., Voitiuk, Yu.Yu., Matviienko, O.V., Vovk, K.V. (2016), "Formy znakhodzhennia vazhkykh metaliv u tekhnogenno zabrudnennykh gruntakh miskykh ahlomeratsii", *Mineral. zhurn.*, 38, № 4: 66–74.
- Sydorenko, V.L., Bondarenko, O.O., Polozheshnyi, V.V. (2024), "Deiaki aspekty otsinky ryzyku dlia zdorovya naselennia vid zabrudnennia atmosferного povitria", *Zb. nauk. statei XX Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Ekologichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia*, Kharkiv, pp. 344–351.
- Tarasova, V.V. (2013), "Otsinka vplyvu ekolohichnoho stanu dovkillia na zdorovya naselennia", *Ahrosvit*, № 13: 3–6.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE DONBASS FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

Dudik O.M., Sietiaia L.D.

Dudik O.M., Candidate of Geological Sciences, Head of Department M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine ORCID 0000-0002-5153-418X, dud-am@ukr.net

Sietiaia L.D., Senior Research Fellow, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0002-2996-0289, lasetaya@gmail.com

The results of ecologico-geochemical modeling of the Donbas ferrous metallurgy enterprises are presented in the article. One of the oldest metallurgical enterprises of Ukraine – Donetsk Metallurgical Plant and components of the environment in its industrial zone and adjacent territories – was chosen as the main object of research. An ecological and geochemical assessment was carried out for all types of mineral raw materials used by metallurgical enterprises, their gas and dust emissions into the surface atmosphere, and solid waste from all productions. The content of 39 chemical elements in them was determined, ecological and geochemical models (spectra) were built. Detailed ecological and geochemical mapping of the industrial zone of the Donetsk Metallurgical Plant and the adjacent densely populated areas of Donetsk allowed us to determine the scale and geochemical features of the impact on environmental components of this ferrous metallurgy enterprise in Donbas. An area of 11 km² has been identified, on which, under the influence of metallurgical production, irreversible transformations of environmental components have occurred. 14 chemical elements participate in the structure of technogenic lithochemical anomalies, the leading place among which is occupied by elements of the first hazard class – Hg, Pb, Zn, As. An assessment of the environmental impact of the metallurgical enterprise for secondary processing of non-ferrous metal waste “Donkavamet”, which is located at a distance of 2–4 km. from the Donetsk Metallurgical Plant, has also been carried out. The results of studying the bioreaction of the population to the centers of chemical environmental pollution in the area of the metallurgical plant and its stored solid waste are also presented. A significant contribution of modern active military actions to negative environmental changes requires the development and implementation of the “Program for the ecological and geochemical restoration of the Donbas territory in the post-war period”. The experience and results of ecological and geochemical modeling presented in the article will be useful for this.

Key words: ecologi-geochemical modeling, technogenic anomalies, metallurgical enterprises, solid waste, gas and dust emissions.