

КОНСТРУКТИВНА ГЕОГРАФІЯ І ГЕОЕКОЛОГІЯ

УДК 504.054: 550.424.4

DOI: 10.18524/2303-9914.2021.2(39).246195

Т. В. Лаврова, науковий співробітник

К. О. Кориченський, науковий співробітник

О. В. Войцехович, к. геогр. наук

Український гідрометеорологічний інститут

Відділ радіаційного моніторингу природного середовища

проспект Науки, 37, Київ. 03028, Україна

lavrova@uhmi.org.ua

ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ І АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЯХ ВПЛИВУ КОЛИШНЬОГО УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА ВО «ПРИДНІПРОВСЬКИЙ ХІМІЧНИЙ ЗАВОД»

Колишні об'єкти ВО «Придніпровський хімічний завод» («ПХЗ») розташовані у м. Каменському Дніпропетровської області, займають площі верхньої і нижньої тераси р. Дніпро (більше 300 га), де розташовані колишні об'єкти виробничої інфраструктури з переробки уранових руд і уран-містких мінералів. Після 1991 р. виробництво уранових концентратів було припинено, але за тривалий період його експлуатації (1947–1991 рр.) у межах його промислового майданчика і на прилеглих територіях було накопичено до 40 млн. тон радіоактивних і хімічних мінеральних залишків уранового виробництва. Значна кількість залишків уранового виробництва накопичена у хвостосховищах, в елементах колишньої виробничої інфраструктури і розсіяна на території колишнього «ПХЗ». Очистку території заводу після 1991 р. не виконували. Системні моніторингові дослідження розпочалися тільки у 2005 р. Протягом тривалого часу на майданчику в рамках програм моніторингу довкілля вивчали стан забруднення ґрунтів, а також атмосферного повітря (забруднені аерозолі), які стали одним із факторів інгаляційного опромінення персоналу підприємств на майданчику і населення міста. Результати узагальнення багаторічних досліджень обговорюються у даній статті.

Ключові слова: об'єкти спадщини уранового виробництва, радіонукліди уранового ряду, ґрунти, аерозолі, радон, моніторинг забруднення, радіаційний ризику

ВСТУП

Внаслідок політичних і економічних причин після розпаду СРСР у 1992 р. було припинено діяльність одного із найбільших гірничо-переробних підприємств уран-містких руд ВО «Придніпровський хімічний завод» («ПХЗ») у м. Кам'янське (Дніпропетровська область), на якому в період з 1947 р. по

1991 р. здійснювали виробництво уранових концентратів із руд, які видобувалися в Україні, Центральній Європі і країнах Центральної Азії. На території майданчика площею більше 300 га і прилеглих ділянках на даний час зосереджено шість хвостосховищ де накопичені мільйони тон радіоактивних залишків уранового виробництва; кілька десятків значно забруднених об'єктів колишньої будівельної інфраструктури, залишки рудних складів, які не очищувалися з часу перепрофілювання підприємства (Войцехович, 2016; Lavrova, Voitsekhovych, 2013). Системні дослідження радіаційних і екологічних впливів на довкілля залишків уранової спадщини колишнього «ПХЗ» розпочалися тільки після 2005 р. Основну увагу в роботах з оцінки стану забруднення майданчика приділяли просторовому розподілу забруднення ґрунтів на його території розсіяними залишками уранового виробництва за показниками ПЕД (потужності еквівалентної дози) зовнішнього гамма-випромінювання, а також формам і структурі вертикального розподілу радіонуклідів у ґрунтах. Вивчалися також характеристики забруднення атмосферного повітря аерозолями (частки ґрунту і пилу), які асоційовані із підвищеними концентраціями активності радіонуклідів уранового ряду і підвищеним вмістом металів, джерелом надходження яких у природне середовище стали уран-місткі руди.

Результати даного дослідження є складовою частиною комплексних багаторічних спостережень в рамках програм оцінки стану і моніторингу радіоактивного і хімічного забруднення природного середовища майданчика уранового виробництва «ПХЗ», зокрема ґрунтів, атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод у зоні виносу забруднюючих речовин за межі майданчика з метою інформаційного забезпечення заходів безпеки діяльності і обґрунтування стратегії приведення даної території у безпечний стан.

Метою даного етапу дослідження є комплексний аналіз просторового розподілу радіонуклідів уранового ряду на території і факторів, які можуть привести до суттєвого розширення площ і масштабів формування хронічного забруднення природного середовища під впливом атмосферного перенесення і опромінення людей за рахунок інгаляційних шляхів. Об'єктом дослідження є територія майданчика спадщини уранового виробництва «Придніпровський хімічний завод» і природне середовище на прилеглих територіях м. Кам'янське. Предмет дослідження: характеристики радіоактивного і хімічного забруднення ґрунтів і об'єктів виробничої інфраструктури на території колишнього уранового підприємства, як джерела розширення зони забруднення і формування ризиків радіаційного опромінення інгаляційними шляхами.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для виконання поставлених завдань проведено вивчення і узагальнення кращого міжнародного досвіду (у тому числі нормативної бази МАГАТЕ) з організації програм моніторингу об'єктів радіаційної спадщини уранових виробництв на етапах обґрунтування стратегій приведення таких майданчиків у без-

печний стан, у тому числі з аналізу інгаляційних шляхів опромінення (IAEA, 2016; IAEA, 2012). Вивчення технологічних особливостей переробки руд, просторовий аналіз забруднення майданчика і характеристик залишків виробничої інфраструктури колишнього уранового виробництва «ПХЗ» дозволили обґрунтувати розташування пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря, розглядаючи накопичені джерела залишків уранового виробництва у якості основних джерел емісії радіоактивного пилу у повітря під впливом метеорологічних факторів.

Аналіз просторового розподілу показників ПЕД гамма-випромінювання виконано із застосуванням дозиметрів-радіометрів різного типу із функцією GPS позиціювання. Карто-схеми забруднення було побудовано із застосуванням методів гео-інформаційного моделювання інструментів MapInfo (ЕС, 2017). Для відбору проб ґрунтів і матеріалів у хвостосховищах залишків уранового виробництва використовувалися геологічні бури шнекового і колонкового типів, які дозволяли відбирати проби ґрунтів із різних типів техногенного ландшафту (природних, хвостосховищ, місць накопичення рудних матеріалів, шламо-накопичувачів, тощо) до глибин від поверхні до 3 м.

Для відбору аерозолів використовувалися портативні повітря-фільтруючі установки різного типу (рис. 1) із можливістю прокачувати 60–100 м³ повітря за годину на фільтри на основі тканини Петрянова, а також планшети для атмосферних сухих випадінь (Наставление, 2015).

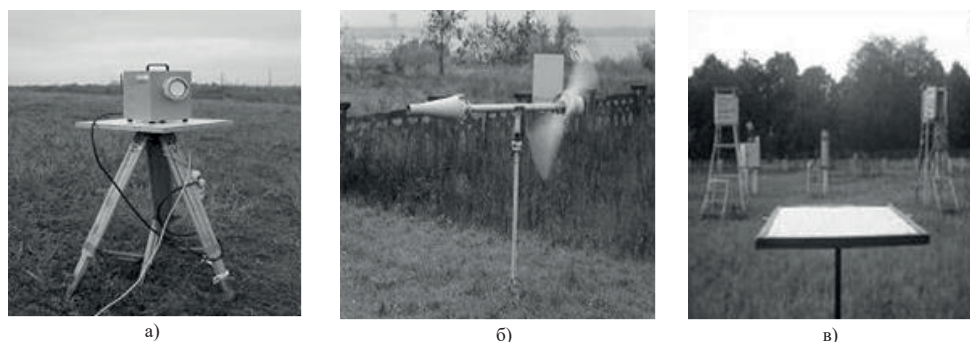


Рис. 1 – Засоби відбору зразків аерозолі та атмосферних випадінь:
а) портативний повітряно-фільтруючий пристрій (помпа);
б) ізо-кінетичний пробовідбірник; в) планшет сухих атмосферних випадінь.

Стандартні марлеві планшети встановлювалися у межах розташування хвостосховищ і у пунктах фонових спостережень (метеостанція м. Кам'янське і с. Таромське на відстані до 10 км від майданчика «ПХЗ») з експозицією до 2-х тижнів у різні сезони роки. Відбір проб портативними відбірниками виконували з експозицією 3–6 годин, ізо-кінетичні пристрої дозволяли відбирати проби аерозолів у повітрі усереднено за період до 2-х тижнів. Фільтри із відібрани-

ми аерозолями доставлялися у лабораторію УкрГМІ (Інформаційна брошура, 2021), де їх висушували, обвуглювали і пакували у спеціальні холдери (5 мл), проби ґрунтів після висушування пакували у 100 мл контейнери. Всі підготовлені проби витримували не менше ніж 20 діб для встановлення рівноваги між активністю ^{226}Ra та його коротко-існуючими дочірніми радіонуклідами.

Вимірювання вмісту радіонуклідів ^{238}U (^{234}Th), ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{40}K у ґрунтах і аерозолях виконували на гамма-спектрометрах із напівпровідниковим детектором із надчистого германію (HPGe) шахтного типу GWL для проб аерозолів у холдерах і планарного типу GMX (фірми ORTEX) для проб ґрунтів у 100 мл контейнерах (Костеж, Лаврова, 2011).

В окремих пробах методом атомної-абсорбційної спектрометрії визначався вміст металів: Pb, Co, Cd, Mn, Cu, Fe, Zn, Ni, As, V, Cr.

Обробку результатів моніторингових даних виконано із використанням стандартних методів статистичного аналізу. Усереднені показники вмісту радіонуклідів в аерозолях порівнювалися із також із допустимими рівнями безпеки (НРБУ-97, 2000), а також із отриманими фоновими рівнями.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Забруднення ґрунтів. Забруднення ґрунтів на майданчику формувалося поступово протягом всього періоду роботи підприємства, як наслідок завезення і складування рудних матеріалів, дисперсії пилу під час переробки уранових руд (розмель, вилуджування, екстракція), а також в процесі поводження із залишками виробництва уранових концентратів, які складували у хвостосховищах (Войцехович, 2016; Lavrova, Voitsekho vych, 2013). На даний час забруднення майданчика є вкрай неоднорідним і визначається окремими ділянками із показниками майже фонового забруднення (ПЕД гамма-випромінювання 0,2–0,5 мкЗв/год), ділянками із типовими підвищеними рівнями ПЕД гамма-випромінювання (від 0,5 до 5 мкЗв/год), а також окремими ділянками із дуже високими рівнями зовнішнього випромінювання до 10–50 мкЗв/год на поверхні ґрунтів (ЕС, 2017). Мінливість характеристик ПЕД гамма-випромінювання визначається переважно вмістом радію-226 у ґрунтах майданчика. Окремі фрагменти картографування ПЕД гамма-випромінювання, що виконано у відділі радіаційного моніторингу УкрГМІ показано на рис. 2.

Сучасний стан структури забруднення ґрунтів на майданчику відображає наслідки розсіювання залишків уранового виробництва із об'єктів концентрованого накопичення радіоактивних матеріалів у цехах колишнього уранового виробництва (Buchnea, Voitsekho vych, Lavrova et al. 2013), відстійниках і хвостосховищах під впливом природних факторів і господарчої діяльності. На ділянках, де суттєвого впливу залишків уранового виробництва не має, вміст радіонуклідів уранового і торієвого рядів у ґрунтах є близьким до вмісту цих радіонуклідів на ділянках фонових спостережень із рівноважними концентраціями активності радіонуклідів уранового ряду у діапазоні 0,02–0,06 Бк/г сухої



Рис. 2 – Фрагмент зйомки ПЕД гамма-випромінювання (мкЗв/год) на висоті 1 м від поверхні території в центральній частині південного сектору майданчика колишнього ВО «ПХЗ»

речовини (рис. 3а) із домінуванням активності природного радіонукліду ^{40}K . На ділянках територій із суттєвим впливом уранового виробництва, вміст радіонуклідів уранового ряду у верхніх шарах ґрунту може досягати від 5–10 Бк/г до 100–1000 Бк/г (Рис. 3б і 3в). Характерні співвідношення активності урану-238 і його дочірніх радіонуклідів у ґрунтах дозволяють ідентифікувати джерела їх походження.

На рис. 3б показано характерний вертикальний профіль забруднення ґрунту на ділянках тимчасового утримання уранових руд до їх переробки (тут мають місце майже рівноважні активності радіонуклідів уранового ряду із підвищеними концентраціями рудного типу). На Рис. 3в показано характерні профілі забруднення ґрунту в районі розташування седиментаційних відстійників, куди надходили продукти очистки торієвої фракції (споруда № 230). Тут домінуючим в активності ґрунтів поверхневого шару до глибин 40–70 см є ^{230}Th , а також спостерігаються високі концентрації активності урану-238 і радію-226 (від 100 Бк/г до 2000 Бк/г).

На більшій частині території майданчика техногенні шари забруднення складають 20–40 см, тоді як на окремих ділянках такі шари можуть охоплювати глибини від поверхні до 50–80 см і більше. Особливості структури забруднення враховувалися в проектах видалення таких ґрунтів з майданчика на етапі його очищення. Типові характеристики вмісту радіонуклідів у ґрунтах, а також

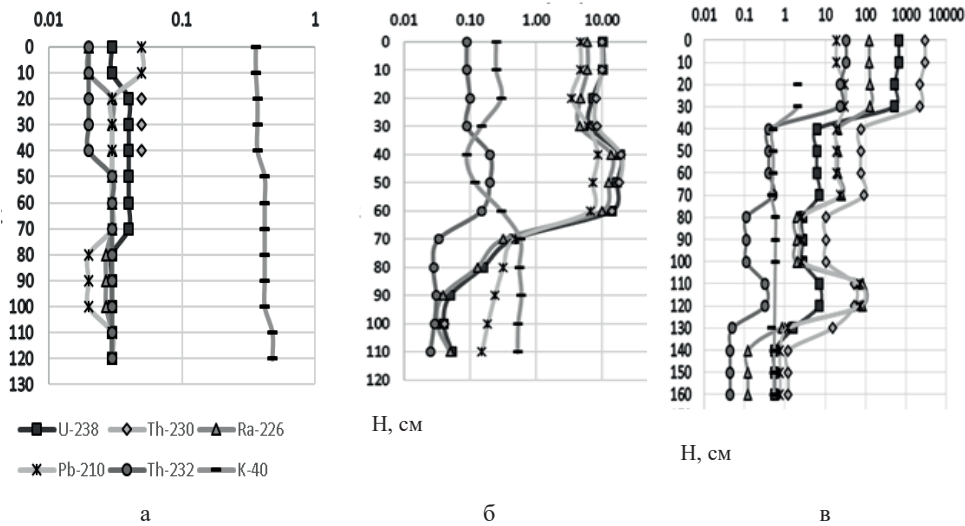


Рис. 3 – Характерні типи розподілу радіонуклідів у ґрунтах майданчика по глибині від поверхні (Н, см) із різним типом забруднення (Бк/г), де: а) – ділянка за межами забруднення рудними матеріалами; б) – ділянка із рудними матеріалами до переробки; в) – ділянка забруднена залишками переробки уранових руд після їх збагачення

у мінеральних залишках уранового виробництва «ПХЗ», які потенційно є джерелами вітрового перенесення пилу, які наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Типові концентрації активності радіонуклідів (Бк/г) у ґрунтах і залишках переробки уранових руд на майданчику колишнього ВО «ПХЗ»

Об'єкт	$^{238}\text{U} (^{234}\text{Th})$	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	$^{232}\text{Th}^*$
ґрунти на майданчику (ПЕД гамма 0,5–1,0 мкЗв/год)	0,20–0,65	0,30–0,90	0,20–0,70	0,50–0,80	0,04–0,06
ґрунти на майданчику із (ПЕД гамма 1,0–5,0 мкЗв/год)	0,70–2,50	0,5–1,80	0,90–3,5	0,80–3,8	0,05–0,06
Залишки U-виробництва у хвостосховищі «Західне»	12,2–60,5	24,2–490	34,2–280	27,8–175	0,05–28,5
Цех виробництва уранових концентратів (будівля № 103)	2500–4100	420–710	140–250	0,3–44,5	0,05–3,50
Залишки торієвої очистки урану (будівля № 104)	0,35–3,50	45,0–640	1,6–34,0	0,4–34,2	0,40–7,10
Шлами седиментаційних відстійників (№ 230, секція 1)	0,15–14,1	0,85–240	0,47–51,5	0,55–50,0	0,05–4,50
ґрунти за межами зони впливу майданчика, природний фон	0,02–0,04	0,03–0,04	0,03–0,04	0,04–0,05	0,03–0,05

Забруднення аерозолів

Вивчення динаміки радіоактивного забруднення атмосферного повітря спільно із дослідженнями забруднення підстильної поверхні виконувалися з метою оцінки впливу природних (вітровий підйом) і техногенних факторів (земельні, будівельні роботи на забруднених об'єктах і територіях). Всього за період з 2005 р. по 2018 р. проведено 66 серій спостережень із двох-тижневою експозицією, які охоплювали літній та осінній сезони, а також частково зимові періоди. Результати спостережень за характеристиками аерозольного забруднення радіонуклідами уран-торієвих рядів навколо хвостосховищ уранового виробництва і найбільш забруднених будівель за період з 2006 р. по 2018 р. дозволили визначити середні значення (\bar{X}), середньоквадратичне відхилення (s) і показники тимчасової мінливості ($W, \%$), медіанні, мінімальні і максимальні значення для показників щільності радіоактивних випадінь, а також для показників об'ємної концентрації активності природних радіонуклідів (^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Th).

Фоновий рівень для показників об'ємної активності радіонуклідів в аерозолях визначали у відповідності до керівництва (Порядок визначення, 2001). За величину фонові концентрації i -го радіонукліду $C_{\text{ф}i}$ (Бк/м³) або щільності радіоактивних випадінь для певних радіонуклідів $C_{\text{ф}i}$ (Бк/м²·с) брали середнє багаторічне значення концентрацій за даними спостережень забруднення атмосферного повітря за межами майданчика (метеостанція м. Кам'янське), виключаючи 5% найбільш високих значень статистичного розподілу у таблиці 2.

На основі визначених фонових показників розраховувались інтегральні показники індексу перевищення забруднення над фоном ($Q_f = C_i/C_f$), які використовувались для оцінки факторів впливу на забруднення повітря. Результати статистичної обробки даних спостережень за радіоактивними випадіннями і об'ємними концентраціями радіонуклідів в аерозолях на різних ділянках території колишнього ВО «ПХЗ» показали, що в цілому навіть в умовах стійкого вітрового переносу характеристики забруднення майданчика радіоактивними аерозолями не суттєво впливали на забруднення атмосферного повітря на відстані більше 300 м від джерел емісії радіонуклідів асоційованих з аерозолями. У вологі сезони роки характеристики забруднення атмосферних випадів в районах розташування хвостосховищ не суттєво відрізнялися від показників радіоактивних випадінь у межах міста Кам'янське (на відстані біля 10 км від майданчика). Висновки щодо несуттєвого впливу вітрового перенесення забрудненого пилу з території майданчика за межі його санітарно-захисної зони також були отримані за результатами математичного моделювання вітрового перенесення аерозолів (Халченков, Ковалец, Лаврова, Тодосієнко, 2016).

Натомість, на ділянках у безпосередній близькості до джерел емісії радіоактивних аерозолів у повітря в умовах вітряної сухої погоди до спорудження захисного покриття хвостосховища «Південно-Східне» у 2005–2007 роках, а також в окремі періоди спорудження захисного покриття на поверхні хвос-

Таблиця 2

Характерні рівні активності радіонуклідів в аерозолях

Показники U-238	Активність радіонуклідів			
	Ra-226	Pb-210	Th-232	
Фонові, метеостанція м. Кам'янське				
Щільність випадінь, [10^{-6} ·Бк/м ² ·с]	0,05	0,06	1,85	0,03
Об'ємна активність, [10^{-6} ·Бк/м ³]	4,2	4,4	470	2,5
Середні із мінімальних рівнів забруднення території колишнього ВО «ПХЗ»				
Щільність випадінь, [10^{-6} ·Бк/м ² ·с]	0,07	0,08	1,85	0,04
Об'ємна активність, [10^{-6} ·Бк/м ³]	5,2	6,2	470	2,6
Середні типові рівні забруднення території колишнього ВО «ПХЗ»				
Щільність випадінь, [10^{-6} ·Бк/м ² ·с]	0,25	0,26	3,20	0,06
Об'ємна активність, [10^{-6}·Бк/м³]	15,6	16,6	730	5,5
Середні максимальні рівні забруднення території колишнього ВО «ПХЗ»				
Щільність випадінь, [10^{-6} ·Бк/м ² ·с]	2,10	3,50	5,90	0,30
Об'ємна активність, [10^{-6} ·Бк/м ³]	300	425	1400	35,5
Контрольні рівні*				
ДК _{В інгал.} об'ємної активності, [10^{-6} ·Бк/м ³]	3000	700	5000	400
ДК _{А інгал.} об'ємної активності, [10^{-6} ·Бк/м ³]	200000	60000	400000	30000

*Контрольні активності об'ємної активності аерозолів ДК_{Аінгал.} і ДК_{Вінгал.} як допустимі для персоналу (група А – персонал і група В – населення) відповідно до (НРБУ-97)

тосховища протягом сухих сезонів 2008 р. максимальні рівні забруднення повітря на відстані до 50 метрів від місця проведення робіт перевищувати характерні фонові рівні забруднення повітря радіоактивними аерозолями від 10 до 100 разів і більше (рис. 4). В той же час концентрації активності урану-238 і радію-226 біля даного хвостосховища не перевищували показники допустимих рівнів забруднення атмосферного повітря для інгаляційного опромінення (ДК_{А інгаляц.}) персоналу групи А (НРБУ-97, 2000).

Тому, під час будь-яких робіт інженерних робіт із ремонту або спорудження нового захисного покриття на поверхні хвостосховищ, зняття ґрунту на забруднених ділянках території, на маршрутах перевезення радіоактивних залишків виробництва потрібно запроваджувати спостереження за забрудненням повітря і проводити заходи із пило-гасіння шляхом постійного зволоження транспортних шляхів і територій ведення земельних або будівельних робіт на забруднених територіях.

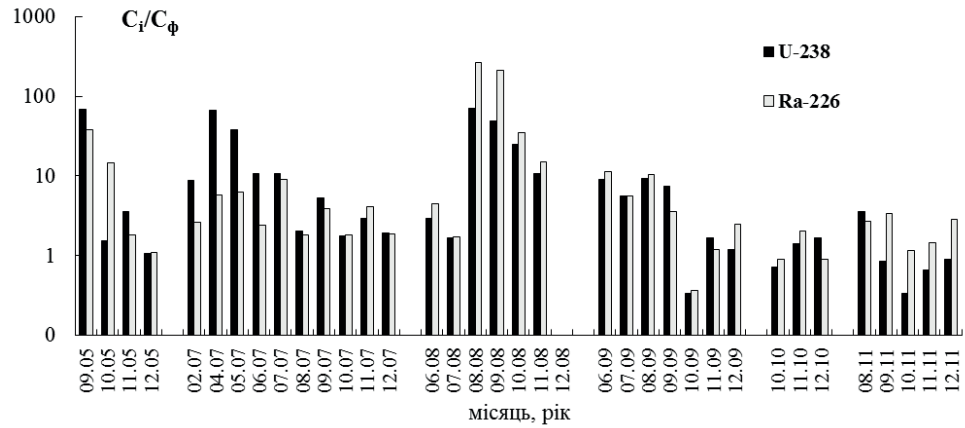


Рис. 4. – Індекс забруднення атмосферного повітря (об'ємні активності аерозолів радіонуклідами ряду урану-238 і радію-226) за період 2005–2011 рр. у пункті спостережень в районі хвостосховища «Південно-Східне»

Результати спостережень також показали, що на різних ділянках майданчика у складі аерозолів за різних метеорологічних умов можуть суттєво зростати і концентрації металів (рис. 5), що також є присутніми у залишках переробки уран-містких руд. Навіть в умова незначних вітрів (2–5 м/с) вміст металів в аерозолях біля об'єктів спадщини уранового виробництва може перевищувати їх фонові концентрації у 2–10 разів порівняно із результатами спостережень у фонових пунктах спостережень (метеостанція м. Кам'янське і с. Таромське на відстані до 10 км від майданчика).

Розрахунки індексу забруднення (ІЗ) атмосферного повітря аерозолями (відношення фактичного результату спостережень до ГДК вмісту металів, асоційованих з аерозолями) свідчить, що найбільший внесок в забруднення повітря вносять свинець, марганець, кадмій і залізо.

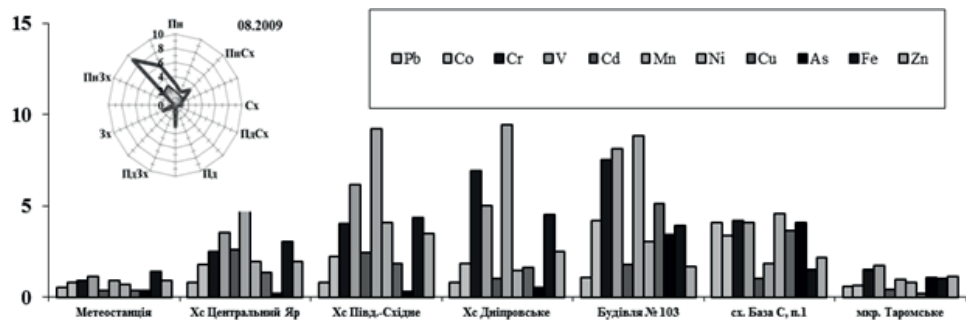


Рис. 5 – Відносні показники забруднення аерозолів в атмосферних випадіннях металів для ділянок накопичено зберігання залишків уранового виробництва на майданчику «ПХЗ» порівняно із фоновими рівнями у серпні 2009 р. за умов північно-західних вітрів (2–5 м/с)

Спостереження за показниками забруднення атмосферного повітря показали, що перенесення радіонуклідів і металів у складі аерозолів з території майданчика «ПХЗ» не може суттєво вплинути на стан радіаційної обстановки міста. Натомість, спостереження мають бути продовжені до завершення робіт приведення майданчика у безпечний стан, протягом якого всі заходи з очищення ґрунтового покриття, реконструкція хвостосховищ і демонтаж будівельних конструкцій мають супроводжуватися зволоженням території з метою зменшення ризиків інгаляційного опромінення персоналу.

ВИСНОВКИ

Основними сучасними джерелами радіаційних небезпек на майданчику є відкриті дисперговані залишки уранового виробництва накопичені на території і в об'єктах колишньої виробничої інфраструктури.

Результати вивчення просторової і вертикальної структури радіоактивного і хімічного забруднення майданчика показали, що біля 30% його території потребує очищення шляхом видалення найбільш забруднених ділянок ґрунту і вивезення його для подальшого довготривалого і безпечного утримання.

Показано, що впливи аерозольного розповсюдження радіоактивних часток від хвостосховищ і елементів колишньої виробничої інфраструктури є локальними і не розповсюджуються за межі промислового майданчика. Найбільші ефекти вітрового розповсюдження спостерігаються в період проведення земельних робіт і поводження із залишками уранового виробництва. В таких умовах за рахунок вітрового підйому дрібних часток пилу питома активність аерозолів у повітрі за показниками вмісту радіонуклідів уранового ряду може перевищувати у 100 раз і більше фонові концентрації у м. Кам'янське і прилеглих населених пунктах, але не перевищували рівні безпечних концентрацій для населення у відповідності до норм радіаційної безпеки. Вміст металів, що асоційовані із частками аерозолів також може підвищуватися у 2–10 разів, але також їх перенесення вітром на майданчику є локальним і не має суттєвого впливу на житлові райони міста. Значні інгаляційні ризики можуть формуватися під час демонтажу виробничого обладнання і будівель колишнього уранового виробництва. Тому до початку впровадження інженерних робіт доцільно провести видалення всіх дисперсних матеріалів із цехів колишнього уранового виробництва із запровадженням заходів радіаційного контролю і радіаційної безпеки. Запроваджені методи відбору проб повітря ПФУ і аналітичні методи вимірювання дозволяють рекомендувати їх для використання в програмах моніторингу робочих місць під час приведення таких об'єктів у безпечний стан.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Войцехович О.В. Приднепровский химический завод – масштабы бедствия и перспективы приведения площадки уранового наследия («ПХЗ») в безопасное состояние. Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї. 2016, 12. 20 с. URL: <http://www.uatom.org/wp-content/uploads/2016/12/PHZ-3.pdf>. (дата звернення: 20.10.2021)

Інформаційна брошура відділу радіаційного моніторингу природного середовища про аналітичне оснащення і аналітичні можливості лабораторії. *Сайт Українського гідрометеорологічного інституту*. URL: https://uhmi.org.ua/dep/tm/files/DERM_UHMI_analit_ua.pdf (дата звернення: 20.10.2021).

Костеж А. Б., Лаврова Т. В. Прикладная ядерная спектрометрия радионуклидов уран-ториевых рядов в пробах окружающей среды. Ч. 1: Монография. К.: Укр.НИГМИ, ЗАО «Випол», 2011. 212 с.

РД 52.18.826–2015. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением компонентов природной среды. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу природной среды (Росгидромет). ФГБУ «НПО «Тайфун». 102 с.

ДГН 6.6.1.-6.5.001–98. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). К., 2000. 135 с.

Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі затверджений наказом Міністерства екології та природних ресурсів України № 286 від 30.07.2001 р.

Халченко А. В., Ковалец І. В., Лаврова Т. В., Тодосієнко С. В. Моделирование атмосферного переноса радионуклидов в составе частиц пыли в окрестностях объектов хранения радиоактивных отходов. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2016. Вип. 27. С. 19–29.

Buchnea, A., Voitsekhoivich, O., Lavrova, T., Kovalets, I., Khalchenkov, A., Todosienko, S. Hazards characterization and Safety Assessment of Building 103. ENSURE II Project, Task 2.3.9b. 2013. ECOMONITOR, FACILIA.

EC. Development of the method (strategy, technology) for the remediation activities at the former uranium facility Pridneprovskiy Chemical Plant, Ukraine (EuropeAid/134871/C/SER/UA). Final Report. Task 5. 2017.

IAEA Safety Series 72. Monitoring for Compliance with Remediation Criteria for Sites. IAEA. Vienna, 2012.

IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1). Safety Assessment for Facilities and Activities. IAEA, Vienna. 2016.

Kovalets I., Asker Ch., Khalchenkov A., Persson Ch., Lavrova T. Atmospheric dispersion of radon around uranium milltailings of the former Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *J. Of Environmental Radioactivity*. 2017. Vol.172. P. 173–190.

Lavrova T., Voitsekhoivich, O.. Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. Vol.115. P. 118–123.

REFERENCES

Voitsekhoivich, O. V. Pridneprovskiy khimicheskii zavod – masshtaby bedstviya i perspektivy privedeniya ploshchadki uranovogo naslediya («PKhZ») v bezopasnoe sostoyanie (Dnieper Chemical Plant – the scale of the disaster and the prospects of bringing the Uranium legacy site («PChZ») to a safe state). *Website on nuclear and radiation safety and non-proliferation*. Retrieved from <http://www.ATOM.org/wp-content/uploads/2016/12/PHZ-Ukr.pdf>. [in Russian]

Informatsiina broshura viddilu radiatsiinoho monitorynhu pryrodnoho seredovyscha pro analitychne osnashchennia i analitychni mozhlyvosti laboratorii. (Department of Radiation Monitoring of the Environment Brochure on analytical equipment and analytical capabilities of laboratories) *Website on Ukrainian Hydrometeorological Institute*. Retrieved from https://uhmi.org.ua/dep/tm/files/DERM_UHMI_analit_ua.pdf [in Ukrainian]

Kostezh, A. B., Lavrova, T. V. (2011). *Prikladnaya yadernaya spektrometriya radionuklidov uran-torievykh ryadov v probakh okruzhayushchey sredy. Ch. 1: Monografiya. (Applied nuclear spectrometry of radionuclides of Uranium and Thorium decay series in the environmental samples. Part 1: Monograph)*. Kyiv: UkrNIGMI, Vipol [in Russian]

RD52.18.826–2015. Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam Vypusk 12. Nablyudeniya za radioaktivnym zagryazneniem komponentov prirodnoy sredy. Federalnaya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu prirodnoy sredy (Rosgidromet). (RD52.18.826–2015. Guidance to Hydrometeorological stations and posts. Issue 12. Observations of radioactive contamination of components of the natural environment. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). FSBI NPO “Typhoon”. [in Russian]

DHN6.6.1.-6.5.001–98. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97) (2000). (Radiation safety standards of Ukraine). Kyiv. [in Ukrainian]

Poriadok vyznachennia velychyn fonovykh kontsentratsii zabrudniuvalnykh rehovyn v atmosferному povitri (The procedure for determining the values of background concentrations of pollutants in the air) the order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine № 286 of 30.07.2001. [in Ukrainian]

Khalchenkov, A. V., Kovalets, I. V., Lavrova, T. V., Todosienko, S. V. (2016). Modelirovanie atmosfernogo perenosa radionuklidov v sostave chastits pyli v okrestnostyakh obektov khraneniya radioaktivnykh otkhodov.

(Modeling of atmospheric transport of radionuclides in the composition of dust particles in the vicinity of radioactive waste storage facilities). *Safety issues of nuclear power plants and Chernobyl*. Vol. 27. P. 19–29. [in Russian]

Buchnea, A., Voitsekhovych, O., Lavrova, T., Kovalets, I., Khalchenkov, A., Todosienko, S. (2013). Hazards characterization and Safety Assessment of Building 103. ENSURE II Project, Task 2.3.9b. ECOMONITOR, FACILIA.

ЕС. Development of the method (strategy, technology) for the remediation activities at the former uranium facility Pridneprovskiy Chemical Plant, Ukraine (EuropeAid/134871/C/SER/UA). Final Report Task 5. 2017.

IAEA Safety Series 72. Monitoring for Compliance with Remediation Criteria for Sites. IAEA. Vienna, 2012.

IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1). Safety Assessment for Facilities and Activities. IAEA, Vienna. 2016.

Kovalets, I., Asker, Ch., Khalchenkov, A., Persson, Ch., Lavrova, T. (2017). Atmospheric dispersion of radon around uranium milltailings of the former Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *J. of Environmental Radioactivity*. Vol.172.. P. 173–190.

Lavrova, T., Voitsekhovych, O. (2013). Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *J. of Environmental Radioactivity*. Vol.115. P. 118–123.

Надійшла 12.11.2021

Т. В. Лаврова, научный сотрудник

К. А. Кориченский, научный сотрудник

О. В. Войцехович, к. геогр. наук

Украинский гидрометеорологический институт

Отдел радиационного мониторинга природной среды

проспект Науки, 37, Киев, 03028, Украина.

lavrova@uhmi.org.ua

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ И АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИЯХ ВЛИЯНИЯ БЫВШЕГО УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО «ПРИДНЕПРОВСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Резюме

Бывшие объекты ПО «Приднепровский химический завод» («ПХЗ») расположены в г. Каменском Днепропетровской области и занимают площади верхней и нижней террасы р. Днепр (более 300 га), где расположены объекты наследия производственной инфраструктуры по переработке урановых руд и урансодержащих минералов. После 1991 г. производство урановых концентратов было прекращено, но за длительный период (1947–1991 гг.) в пределах промышленной площадки «ПХЗ» и на прилегающих территориях было накоплено до 40 млн. тонн радиоактивных и химических минеральных остатков уранового производства. Очистку территории не выполняли. Системные мониторинговые исследования начались только в 2005 г. Одними из элементов наблюдений стали почвы, места накопления остатков переработки урановых руд, а также загрязненный радиоактивными аэрозолями атмосферный воздух. Приведены результаты обобщения результатов многолетних исследований.

Ключевые слова: объекты наследия уранового производства, радионуклиды уранового ряда, почвы, аэрозоли, мониторинг загрязнения, оценка воздействия на окружающую среду

T. V. Lavrova,
K. O. Korychenskyi,
O. V. Voitsekhovych,

Ukrainian Hydrometeorological Institute
Department of the Environment Radiation Monitoring
Nauki Avenue, 37, Kyiv. 03028, Ukraine.
lavrova@uhmi.org.ua

SOIL AND ATMOSPHERIC AEROSOL CONTAMINATION AT THE TERRITORIES OF INFLUENCE OF FORMER URANIUM PRODUCTION FACILITIES “PRIDNIPROVSKY CHEMICAL PLANT”

Abstract

Problems Statement and Purpose. The territory of the former Uranium production facility “Prydniprovsky Chemical Plant” (“PChP”) are located in Kamensky city, Dnipropetrovsk region, occupy the area of the upper and lower terraces of the Dnieper River (more than 300 hectares), where the remained legacy facilities and residues of the former uranium ore processing are located. After 1991 the production of Uranium concentrates ceased without remediated. Thus, up to 40 million tons of radioactive and chemical mineral residues of uranium production have accumulated within its industrial site and at the adjacent territories. Systemic monitoring studies began only in 2005. The studied environment characteristics were soils contamination, the tailings facilities where Uranium ore processing residues had accumulated, as well as atmospheric contamination by airborne aerosols. The purpose of this study stage is a comprehensive analysis of the spatial distribution of radionuclides of Uranium series at the legacy site territory and factors that can lead to a significant expansion of the contaminated area and scale of chronic environmental pollution under the influence of atmospheric transport and human exposure by inhalation.

Data & Methods. The field sampling and analytical methods (gamma, alpha spectrometry and liquid scintillation counting methods) for determination of radionuclides of U-Th decay series were in use for this study. Soils samples from the top layers (0–5 cm) and gamma-dose rate surveys performed. A two-week continues integrated sampling data on the radioactive aerosols ambient activity concentrations and radioactive atmospheric fallout from 7-th locations at the legacy site and adjacent areas used for the environment radioactivity site-specific analyses. For determination of radionuclides in the environment samples (aerosols, soils and in the raw ore mineral residues) the low background gamma-spectrometry method with HPGe detectors have been in use. The content of metals associated with aerosols measured on filters using atomic absorption spectrometry methods. The data analysis for long-term series of observations (2005–2017) carried out using statistical methods. The compliance environment contamination analyses for the legacy site were carried comparing averaged observed data with the established safety criteria and regional background observation data.

Results. The main current sources of radiation emission to the environment at the legacy site are open dispersed residues of Uranium production accumulated at the tailings facilities and at the former U-extraction infrastructure. The spatial analyses of the gamma dose rate at the U-production legacy site and its soil chemical

contamination showed that about 30% of its territory requires decontamination. It is shown that the effects of aerosol radioactive particles dispersion from the contaminated “hot spots” at the territory such as tailings and former U-production infrastructure are local and do not extend significantly beyond the industrial site. The greatest effects of wind re-suspension and propagation observed during the period of earthworks during construction of the U-tailings covers and residues management at the contaminated facilities. In worst cases during earthwork at the U-tailings facilities specific activity concentrations of ^{238}U , ^{226}Ra associated with aerosols (dust) nearby the tailings facilities may exceed 100 times above background radioactivity concentrations level observed at the distance about 10 km from the legacy site in the Kamyanske city. However, the air contamination with radioactive dusts in the worst meteorological conditions (dry windy period observation) did not exceed safe level of air concentrations according national radiation safety standards of Ukraine. The content of metals associated with aerosol particles can also increase by 2–10 times, but also their transfer by wind at the site is local and does not have a significant impact on residential areas of the city. Significant inhalation risks may arise during the dismantling of production equipment and buildings of former uranium production. Therefore, during implementation of any engineering remediation works, it is advisable to provide dust suppression control and to remove all dispersed materials from the former Uranium extraction before dismantling of the contaminated buildings and U-production equipment. The introduced methods of air sampling at the PChP legacy site and low background analytical methods for radionuclide determination in the laboratories allow to recommend them for site specific environment monitoring programs bringing the radioactive contamination PChP site in a safe state

Keywords: Uranium production facility, legacy sites, radionuclides of U-decay series, soils contamination, atmospheric aerosols, monitoring, environment impact assessment.