

УДК 504.06:631.41:662.75

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-08>

ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ У ЗОНІ ВПЛИВУ БАЗ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОКИСЛЮВАЧІВ

Коцюбинський А. О., Грицуляк Г. М.,
Яцишин Т. М., Линник Д. О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Забруднення ґрунтів на територіях, де відбувається зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів є серйозною екологічною проблемою, оскільки ці хімічні сполуки мають тривалий негативний вплив на навколишнє середовище. Особливо це відноситься для військових баз, на яких здійснювалося зберігання таких матеріалів, адже у випадку аварій, витоків або неналежного зберігання можуть виникати негативні екологічні та соціальні наслідки.

У статті розглядається проблема забруднення ґрунтів внаслідок зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів на військових базах. У статті проведено оцінку вмісту хімічних речовин у ґрунті навколо колишньої бази довготривалого зберігання військової техніки та стратегічних ракетноносіїв. Оцінено потенційні ризики для біосистем та здоров'я людей, а також визначено необхідність моніторингу забруднених земель. Після розпаду Радянського Союзу дослідницька база була ліквідована, але деякі компоненти ракетного палива продовжували зберігатися і поступово (протягом декількох років) знешкоджувалися.

Аналіз ґрунту проводився за допомогою рентген флуоресцентного аналізу. Дослідження проводили за допомогою прецизійного рентген флуоресцентного аналізатора EXPERT 3L. Було проаналізовано вплив токсичних речовин на хімічний склад ґрунтів у межах 100, 250 та 1000 метрів від території бази. Під час досліджень було встановлено, що ґрунти містять значну кількість небезпечних хімічних елементів, та-

ких як: марганець, ванадій, хром та сірка. Виявлено значне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кількох хімічних елементів.

З часом ці хімічні елементи можуть проникати у водні ресурси, що створить потенційну небезпеку для здоров'я людей та тварин, які мешкають на цій території. Забруднення ґрунту є значним лише на невеликій відстані від військової бази.

Ключові слова: забруднення ґрунту, нафтопродукти, важкі метали, нафтове забруднення, ракетне паливо, ракетні окислювачі.

Assessment of soil chemical composition in the impact zone of fuel and oxidizer storage bases. *Kotsiubynskiy A., Hrytsulyak H., Yatsyshyn T., Lynnyk D.*

Soil contamination in areas where rocket oxidizers and petroleum products are stored presents a serious environmental issue, as these chemicals can have long-lasting negative effects on the environment. This problem is particularly concerning at military bases, where such materials are commonly kept. Accidents, leaks, or improper storage can lead to severe environmental and social consequences.

This article addresses the issue of soil contamination resulting from the storage of rocket oxidizers and petroleum products at military bases.

The paper evaluates the chemical content in the soil surrounding a former long-term storage base for military equipment and strategic missile

launchers. It assesses potential risks to biosystems and human health while emphasizing the need for ongoing monitoring of contaminated land. After the collapse of the Soviet Union, the research base was shut down, but rocket fuel components continued to be stored and were gradually neutralized over the course of several years.

The soil was analyzed using X-ray fluorescence (XRF) analysis in a pure helium atmosphere, utilizing the precision X-ray fluorescence analyzer EXPERT 3L. The study focused on soils within 100, 250, and 1000 meters of the base to analyze the impact of toxic substances on their chemical composition. The results revealed significant levels of hazardous chemicals, including manganese, vanadium, chromium, and sulfur.

For several chemical elements, the concentrations exceeded the maximum permissible levels (MPCs). Over time, these chemicals can leach into water resources, posing potential health risks to people and animals in the area. Soil contamination was found to be most significant within a short distance of the military base.

Keywords: soil pollution, petroleum products, heavy metals, oil pollution, rocket fuel, rocket oxidizers.

Постановка проблеми

Актуальним питанням сьогодення є збереження екологічної рівноваги біосфери як глобальної екосистеми. Забруднення ґрунтів веде до зміни та забруднення повітря, підземних, поверхневих вод в результаті фізичних процесів вивітрювання небезпечних сполук.

З ґрунту токсичні речовини накопичуються в рослинах і далі поширюються трофічними зв'язками.

Забруднення ґрунтів є серйозною багатоконпонентною проблемою зі складними екологічними наслідками. Нафтове забруднення ґрунтів є однією з небезпечних екологічних проблем, що виникають при видобутку, транспортуванні, зберіганні та переробленні нафти та нафтопродуктів.

Це явище спричиняє суттєві негативні наслідки для довкілля, здоров'я людей та економіки країни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Нафтопродукти при потраплянні в ґрунт, змінюють його фізичні та хімічні властивості, порушують структуру та знижують родючість ґрунту [1]. Витік ракетного палива та розлив нафтопродуктів на ґрунт має значні негативні наслідки для біорізноманіття. Ракетне паливо, особливо його основні компоненти, такі як, гідразин, окислювачі та інші токсичні речовини, є надзвичайно небезпечними для довкілля. Коли ці речовини потрапляють у ґрунт, вони можуть призвести до низки шкідливих наслідків, а саме:

1. Отруєння ґрунтової фауни та мікроорганізмів. Ракетне паливо містить хімічні сполуки, які токсичні для живих організмів. Мікроорганізми, які є важливими для процесів розкладання органічних речовин і підтримання родючості ґрунту, гинуть під впливом токсинів, що призводить до порушення ґрунтових екосистем.

2. Зниження родючості ґрунту. Через загибель корисних мікроорганізмів та руйнування структури ґрунту значно знижується його родючість. Це впливає на рослинний покрив та на харчовий ланцюг, включно із тваринами, виживання яких залежить від рослинності.

3. Накопичення токсинів у біосистемах. Ракетне паливо може накопичуватися в живих організмах через харчовий ланцюг. Це призводить до біоаккумуляції токсичних речовин у рослинах, тваринах та мікроорганізмах, що збільшує негативний вплив на здоров'я екосистеми.

4. Порушення гідрологічного балансу. Токсичні компоненти ракетного палива можуть впливати на водні системи через підземні води, що може спричинити отруєння водних організмів та забруднення джерел питної води.

І як наслідок, розлив ракетного палива на ґрунтовий покрив має комплексний і довгостроковий вплив на біорізноманіття, спричиняє деградацію екосистем і створює значні екологічні ризики.

Розкладання нафти в ґрунті – дуже повільний процес, і залежно від певних умов може тривати десятки або навіть сотні років.

Такий стан призводить до втрати земельних ресурсів, забруднення водойм та загрожує біорізноманіттю [2, 3].

Значне забруднення ґрунтів нафтопродуктами спостерігається на військових об'єктах та правилах зберігання військової техніки [4, 5]. На території України знаходиться велика кількість колишніх військових баз, де зберігалися не тільки нафтопродукти, але й паливо для балістичних та міжконтинентальних ракет [7].

Одним із небезпечних компонентів ракетного палива є меланж. Меланж – це вибухонебезпечна, отруйна речовина, яка використовується як елемент ракетного пального.

Він є високотоксичним і корозійним компонентом, який використовується як окислювач у ракетному паливі [8].

За роки незалежності України, цистерни з меланжем тривалий час зберігалися без належного догляду та охорони.

Меланж небезпечний не тільки своєю токсичністю, але й високою вибухонебезпечністю, особливо якщо він зберігається в неналежних умовах або в застарілих резервуарах [9].

Саме така ситуація склалася в результаті тривалого зберігання, що описана в цій статті. Авторами було проведено дослідження та аналіз ґрунтів навколо бази.

Постановка завдання

Метою роботи є проведення оцінки вмісту хімічних речовин у ґрунті навколо колишньої бази довготривалого зберігання військової техніки та стратегічних ракетноносіїв.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження включало аналіз хімічного складу ґрунтів навколо бази довгострокового зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів. Місце зберігання–колишня військова база стратегічних ракетноносіїв, була розташована в Івано-Франківській області. Нині військова база розформована, а пускові установки були знищені [10].

На базі залишилися деякі бетонні та металеві конструкції. На об'єкті переважно, зберігалися нафтопродукти та меланж (ракетний окислювач).

Оскільки це колишній стратегічний військовий об'єкт, публікація його точного місцезнаходження та фотографій є таємним. Доступ до бази обмежений.

Навколишній ґрунт був відібраний за схемою, показаною на рис. 1.



Рисунок 1. Відбір ґрунту в зоні дослідження

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	46,992	48,843	49,286	49,32	V	0,000269	0,000182	0,000062	0,000032
Si	30,935	34,634	35,965	27,9	Rb	0,000186	0,000163	0,000112	0,000208
Fe	9,461	4,417	3,945	10,3	Pb	0,00018	0,000066	0,000263	0,000166
Al	5,18	5,837	4,859	6,16	Sr	0,000152	0,000119	0,00012	0,000212
Zr	0,076	0,06	0,000414	0,0636	Y	0,000077	0,000049	0,000033	0,000017
Ca	1,118	0,608	1,113	1,998	Ni	0,000076	0,000044	0,00004	0,000066
Ti	0,8	0,737	0,625	0,62	As	0,000046	0,000011	0,000015	0,000016
Mg	0,612	0,695	0,552	0,412	Nb	0,000044	0,000031	0,000022	0,000121
Mn	0,567	0,11	0,113	0,103	Ga	0,000029	0,000022	0,000014	0,000099
P	0,283	0,102	0,125	0,23	Cu	0,000028	0,000025	0,000041	0,000038
S	0,107	0,101	4,76E-05	0,00691	Cr	0,000008	0,000622	0,000231	0,000001

*Проби відібрані на відстані 100 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

*Джерело: розроблено авторами

Ґрунт відбирали на відстані 100, 250 і 1000 метрів від краю території бази, з різних сторін території. Всього було відібрано 12 зразків ґрунту. Кожен зразок вагою 100 г відбирали з площі 30x30 см, та на глибині 10–12 см. Перед проведенням аналізів зразки перемішували. Кожен зразок аналізували 3 рази, після чого результати усереднювали. Хімічний склад ґрунтів визначали за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу (РФА) [11]. Дослідження проводили в атмосфері чистого гелію за допомогою прецизійного рентгенофлуоресцентного аналізатора EXPERT 3L. Похибка дослідження становила 10 ppm [11]. Цей метод дозволяє оцінити точний хімічний (елементний) склад твердої речовини в діапазоні хімічних елементів від магнію до урану.

Результати аналізу порівнювали з відомими нормативними значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК), затвердженими Міністерством охорони здоров'я України [12]. Ці зна-

чення допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті, наразі є діючими.

Також дані хімічного складу порівнювали з контрольним зразком. Контрольний зразок ґрунту був відібраний на дослідному полі, хімічний склад якого постійно контролюється і кожен з хімічних елементів, що входять до складу ґрунту, не перевищує ГДК.

У відібраних експериментальних зразках було виявлено низку хімічних елементів, характерних для цієї місцевості, таких як: залізо, алюміній, калій, магній тощо (табл. 1). Також були виявлені хімічні елементи, які у великих дозах можуть бути небезпечними для живих організмів. У зразках, відібраних поблизу бази, виявлено значну кількість мангану, сульфуру та ванадію.

У таблиці 1 наведено результати аналізу проб, відібраних на відстані 100 м від краю території зберігання меланжу та пально-мастильних матеріалів. Сірим кольором виділено відсотки хі-

Таблиця 2

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	53,201	47,931	51,108	56,211	Zn	0,000138	0,000098	0,000206	0,000235
Si	32,655	36,01	30,05	28,64	V	0,000062	0,000021	0,000002	0,000011
Fe	4,55	3,88	8,417	3,945	Rb	0,0001	0,000101	0,000067	0,000055
Al	4,88	4,832	4,65	5,77	Pb	0,00011	0,000089	0,000026	0,000088
K	3,02	3,7	3,79	1,87	Sr	0,000069	0,000012	0,000022	0,000158
Ca	0,308	2,113	1,198	1,6	Y	0,000039	0,000021	0,000066	0,000004
Ti	0,37	0,625	0,018	0,791	Ni	0,000034	0,000012	0,000012	0,000031
Mg	0,668	0,547	0,428	0,759	As	0,000019	0,000035	0,000101	0,000005
Mn	0,099	0,128	0,134	0,116	Nb	0,000331	0,000012	0,00004	0,000039
P	0,1	0,165	0,088	0,192	Ga	0,000002	0,000034	0,000026	0,000013
S	0,0088	0,0098	0,0011	0,000315	Cu	0,000015	0,000031	0,000027	0,000021
Zr	0,05	0,000414	0,076	0,006	Cr	0,000092	0,000081	0,000098	0,00012

*Проби відібрані на відстані 250 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

Таблиця 3

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	47,1	49,1	50,71	41,48	Zn	0,000096	0,000075	0,000105	0,000149
Si	35,15	30,975	31,634	36,7	V	0,000062	0,000021	0,000002	0,000011
Fe	7,66	9,48	5,9	5,24	Rb	0,0001	0,000101	0,000067	0,000055
Al	4,821	5,14	5,837	8,899	Pb	0,00011	0,000089	0,000026	0,000088
K	2,36	2,764	3,82	3,99	Sr	0,000069	0,000012	0,000022	0,000158
Ca	1,5	2,08	0,308	2,363	Y	0,000039	0,000021	0,000066	0,000004
Ti	0,661	0,0478	0,767	0,225	Ni	0,000034	0,000012	0,000012	0,000031
Mg	0,517	0,169	0,721	0,634	As	0,000019	0,000035	0,000101	0,000005
Mn	0,091	0,108	0,114	0,166	Nb	0,000331	0,000012	0,00004	0,000039
P	0,095	0,003	0,112	0,234	Ga	0,000002	0,000034	0,000026	0,000013
S	0,00086	0,00919	0,00066	0,000465	Cu	0,000015	0,000031	0,000027	0,000021
Zr	0,004	0,0077	0,06	0,0054	Cr	0,000092	0,000081	0,000098	0,00012

*Проби відібрані на відстані 1000 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

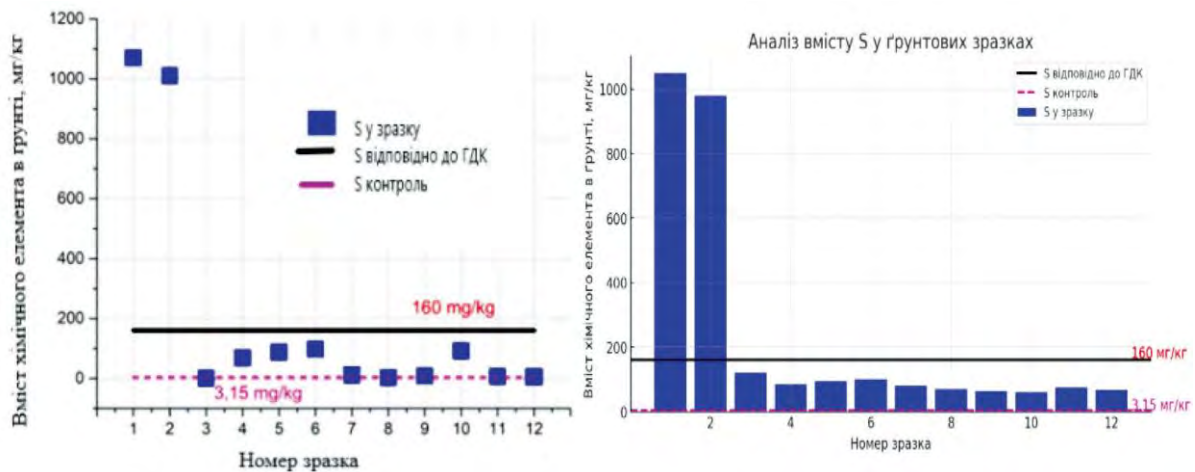


Рисунок 2. Вміст сірки у відібраних зразках ґрунту, допустимий рівень сірки за ГДК і контрольний рівень сірки

*Джерело: розроблено авторами

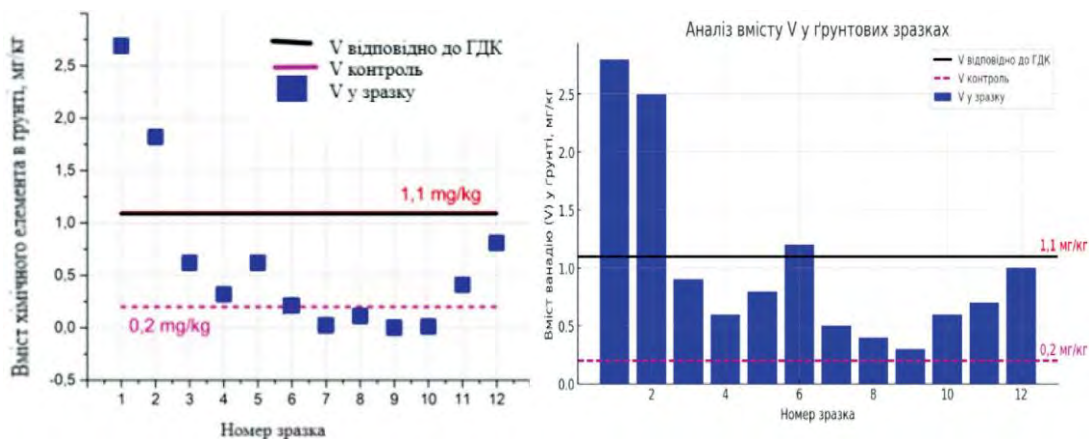


Рисунок 3. Вміст ванадію у відібраних зразках ґрунту, допустимий рівень ванадію за ГДК і контрольний рівень ванадію

*Джерело: розроблено авторами

мічних елементів, які значно перевищують гранично допустимі норми. Як видно з таблиці 1, перевищення норм спостерігається для проб 1 і 2. При цьому перевищення характерне для сірки, ванадію, мангану та хрому (рис. 2, 3, 4).

У зразках, відібраних на більшій відстані від бази, перевищення норм вмісту за ГДК не виявлено (табл. 2).

Таблиця 2 дозволяє оцінити рівень забруднення важкими металами (Pb, As, Cr) та визначити природні або техногенні особливості ґрунту.

Повторний аналіз допомагає усунути випад-

кові похибки та підвищує достовірність отриманих результатів.

Дані таблиць 2 та 3 є важливими для оцінки екологічного стану території, визначення рівня забруднення та характеристики ґрунтового складу. Аналіз таких параметрів допомагає виявити можливі джерела техногенного навантаження та сприяти прийняттю рішень щодо екологічного моніторингу і відновлення земель.

На рисунках 2 та 3 зображено вміст сірки і ванадію порівнянно з контрольним зразком та нормативом ГДК. Таблиця 3 демонструє типовий

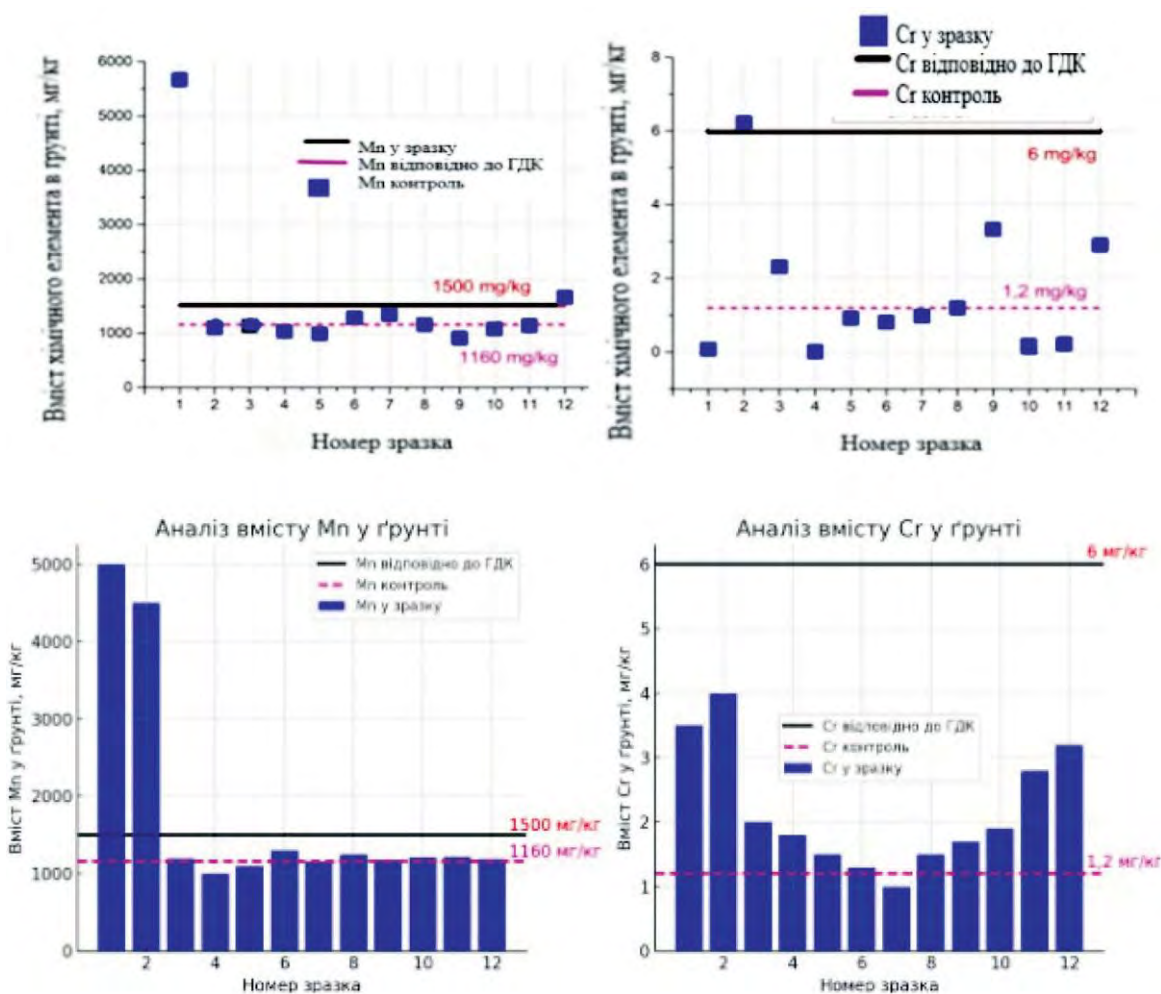


Рисунок 4. Вміст мангану та хрому у відібраних зразках ґрунту, контрольний та допустимий їх рівень за ГДК

*Джерело: розроблено авторами

розподіл елементів у ґрунті, де макроелементи (O, Si, Fe, Al) складають основну масу, а інші хімічні елементи присутні в значно менших концентраціях.

На рис. 2 ГДК допустимого вмісту сульфуру зображено червоною лінією, а значення вмісту сульфуру в контрольному зразку показано фіолетовою пунктирною лінією.

Підвищений вміст S у перших двох зразках може свідчити про локальне забруднення або природні особливості даної ділянки.

Інші зразки містять S у межах екологічних норм, хоча дещо вище контрольного рівня, що може свідчити про незначний техногенний вплив.

На рисунках 4 та 5 показано концентрації мангану, свинцю, хрому та цинку порівняно з

контрольним зразком та гранично допустимими концентраціями. Як видно з рисунків, перевищення ГДК характерне для марганцю та хрому на відстані 100 метрів від території бази.

Джерела підвищеного вмісту V у зразках 1 і 2 можуть бути пов'язані з:

- Промисловими або техногенними викидами.
- Особливостями геологічної будови ділянки.

Наявність V у всіх зразках вище контрольного рівня свідчить про потенційний антропогенний вплив, але не у всіх випадках перевищено допустимі межі.

З означених вище результатів можна зробити висновок, що забруднення ґрунту є значним ли-

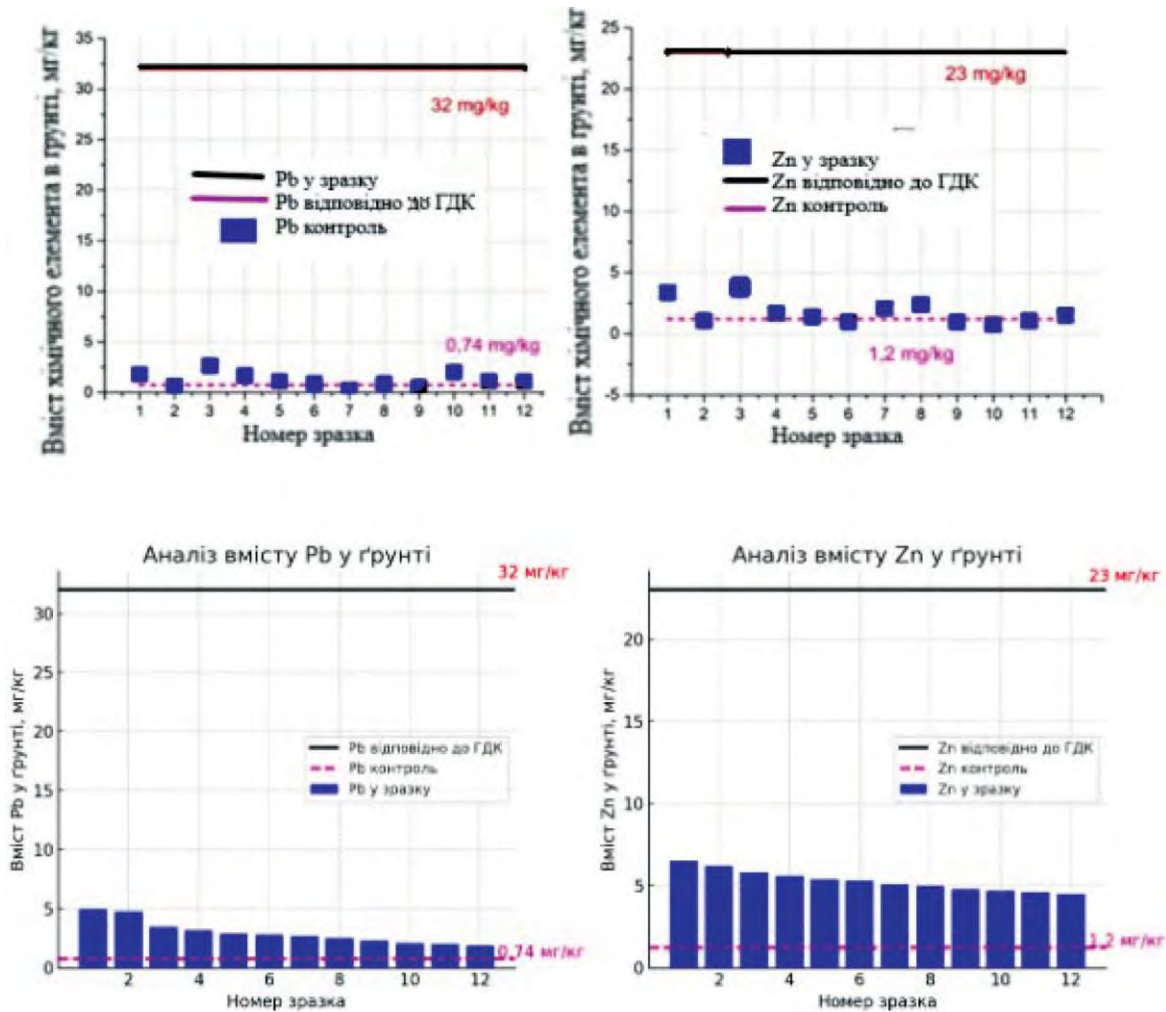


Рисунок 5. Вміст свинцю та цинку у відібраних зразках ґрунту, контрольний та допустимий їх рівень за ГДК

*Джерело: розроблено авторами

ше на невеликій відстані від військової бази (100 метрів). На жаль, оцінити хімічний стан ґрунту на базі неможливо, через воєнний стан в країні та засекреченість об'єкту.

Із врахуванням вищезначеного, ґрунт навколо бази потребує подальшого моніторингу та очищення.

Одним з методів очищення забруднених ґрунтів, який може бути використаний в даній ситуації, є висадка та вирощування енергетичних культур.

Автори проаналізували, що використання високоврожайних енергетичних культур може значно зменшити забруднення ґрунту різними важкими металами.

Висновки

Проблема забруднення ґрунтів навколо військових об'єктів є актуальною, особливо з огляду на військові дії, що ведуться на території України. На великих базах зберігаються окрім військової техніки, шкідливі паливно-мастильні матеріали та боеприпаси. З часом, території навколо таких баз можуть бути забруднені хімічними елементами різного рівня небезпеки. Дослідження показало, що ґрунти на відстані 100 метрів навколо бази зберігання меланжу містять значну кількість марганцю, ванадію, хрому та сірки, кількість яких значно перевищує гранично допустимі норми. Ці хімічні елементи можуть потрапляти і у водойми, що може становити не-

безпеку для людей і тварин, які проживають на цій території. Одним з можливих способів очищення таких ґрунтів може бути вирощування та подальша переробка енергетичних культур.

Список використаних джерел

1. Clean-up of crude oil-contaminated soils: bioremediation option. / Okoh E., та ін. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020. 17(2). С. 1185–1198.
2. Salimnezhad A, Soltani-Jigheh H., Soorki A. Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021. 13 (3). С. 653–670.
3. Budjeryn M. *Soil Chemical Pollution and Military Actions: A Bibliometric Analysis. Inheriting the Bomb: The Collapse of the USSR and the Nuclear Disarmament of Ukraine*. JHU Press. 2022.
4. Kovshov S. V., Garkushev A. U., Sazykin A. M. Biogenic technology for recultivation of lands contaminated due to rocket propellant spillage. *Acta Astronautica*. 2015. 109. С.203–207.
5. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України / А. Сплодитель та ін. <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-full3.pdf>.
6. Trofimov I., Boichenko S., Shamanskyi S. Analysis of rocket fuels and problems of their application on the example of Ukraine. *Technology audit and production reserves*. 2020. 6 (1). С. 56.
7. Riabchuk M. Ukraine's nuclear nostalgia. *World Policy Journal*. 2009. 26(4). С. 95-105.
8. Butenko O., Boychuk V., Savchenko B., Kotsyubynsky V., Khomenko V., Barsukov V. Pure ultrafine magnetite from carbon steel wastes. *Materials Today: Proceedings*. 2019. 6. С. 270-278.
9. Polutrenko M., Fedorovich Y., Hrytsulyak H., & Kotsyubynsky A. Influence of composition of soil electrolyte model environments on corrosion rate of tube steel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. С. 23.
10. Lopushnyak V., Hrytsuliak H., Kozova I., Jakubowski T., Kotsyubynska Y., Polutrenko M., & Kozan N. Biological absorption of chemical elements in Topinambur plants by separation of wastewater in Podzol soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. 23(9).
11. Lopushniak V., Tonkha, O, Hrytsuliak H., Lopushniak H., Polutrenko M., Poberezhna L., Kotsyubynska Y. Productivity model of herbal bioenergy cultures depending on biometric indicators of overhead mass. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. 23.
12. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: Міністерство охорони здоров'я України від 14.01.2020 № 52. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>.