

ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ ГЕОХІМІЧНОГО ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ПІД ВПЛИВОМ БОЙОВИХ ДІЙ

СОЛОХА М.О. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-1860-0819

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

СМІРНОВА К.Б. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-7196-673X

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

ВИНОКУРОВА Н.В. – провідний інженер

orcid.org/0000-0003-3876-480X

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

СЕМЕНЦОВА К.О. – провідний інженер

orcid.org/0000-0002-4898-0314

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Постановка проблеми. Війни мають згубний вплив на екосистему в усьому світі, завдаючи значної, а іноді й непоправної шкоди навколишньому середовищу [1]. Поодинокі вибухи або вибухи декількох боєприпасів представляють собою велику небезпеку як для людини та інших живих організмів, так і для середовища їх проживання [2]. Воєнні дії завдали безпрецедентного впливу на ґрунтовий покрив України, зокрема й на чорноземі, що є найвагомішим природним багатством України і забезпечують продовольчу безпеку не лише нашої держави, а й у цілому світі. Воронки від вибухів снарядів, витік паливо-мастильних матеріалів та інших забруднюючих речовин з розбитої техніки, забруднюючи речовини, які містяться у боєприпасах та розсіюються навкруги під час вибухів, призводять до неконтрольованих змін геохімічного та механічного складу ґрунтів у зонах бойових дій.

Визначення якісних та кількісних змін гранулометричного складу, а також вмісту мікроелементів і важких металів у таких ґрунтах є актуальною та неабиякою науковою задачею, від вирішення якої залежить можливість використання родючого шару ґрунту в наступні декілька десятиліть. Відповіді на ці питання дозволять визначити майбутню долю земельних ділянок, що потрапили в зону воєнних дій, і виявити, чи є потреба у їх консервації шляхом припинення чи обмеження господарського використання. Взагалі відбувається чи ні хімічне забруднення ґрунтового покриття внаслідок впливу воєнних дій?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень згідно цього напрямку в усьому світі має фрагментарний характер, практично не зустрічаються роботи, які пов'язані саме з впливом на чорноземі. Тобто слід зазначити, що ця тематика має безпрецедентний характер в новітній історії України, як свого часу був вплив на навколишнє природне середовище від Чорнобильської катастрофи.

Мета статті. Вирішити декілька науково-методичних задач. А саме: у ґрунтах, що постраждали від бойових

дій, визначити порядок та методику відбору ґрунтових проб, пошук змін у гранулометричному складі та концентрацій мікроелементів і важких металів у відібраних пробах та науковий пошук у систематизації та інтерпретації цих результатів.

Об'єкти і методи. Дослідження проведено із застосуванням системного, порівняльного, логіко-аналітичного і лабораторного методів, а також методів інфометрії, критичного аналізу та узагальнення.

Місце проведення досліджень: землі сільськогосподарського призначення (орні угіддя та лісосмуги) поблизу населених пунктів Мала Рогань та Новий Коротич Харківської області, де відбулися активні бойові дії. Ґрунтовий покрив території досліджень представлений чорноземними ґрунтами Лісостепової зони.

Відбір точкових проб ґрунту здійснено за глибинами ймовірного забруднення на основі комбінованого підходу із застосуванням модифікованих моделей радіального локального розподілу речовин («гарячих точок») у дво- і тривимірному просторі згідно серії гармонізованих стандартів ДСТУ ISO10381 [3-5]. Оригінальні ISO цієї серії стандартів були скасовані протягом 2017-2018 рр., і, не дивлячись на чинність їх гармонізованих версій в Україні, вже не придатні для збору доказової бази визначення збитків за екологічну шкоду земельним ресурсам для міжнародних судових інституцій. Тому під час складання програми відбору проб було також враховано вимоги нових стандартів серії ISO 18400 [6-8], які офіційно замінили попередню серію ISO 10381, і є чинними в системі міжнародного нормативно-методичного забезпечення.

Для визначення гранулометричного складу ґрунту використовувався метод лазерної дифракції, який на противагу стандартизованому сито-піпет методу за Качинським, не тільки більш швидкісний та легкий, але й дозволяє визначити як інтегральний розподіл часточок, так і по фракціям за будь-якою класифікацією, що особливо корисно при оцінюванні збитків на міжнарод-

ному рівні. Адже при класифікації ґрунтів за гранулометричним складом межі фракцій котрої визначені за ДСТУ 4730:2007 [9] не співпадають з межами фракцій що рекомендовані FAO [10].

Визначення розміру часточок ґрунту проводили лазерно-дифракційним методом на аналізатор часточок Mastersizer 3000E фірми Malvern Instruments з рідинним модулем диспергування Hydro EV з застосуванням таких параметрів: диспергатор – дистильована вода з коефіцієнтом рефракції 1,33, швидкість мішалки –2000 об/хв., час вимірювання фону та зразка 15с., кількість вимірювань – 6, математична модель розрахунку – теорія Мі з коефіцієнтом рефракції 1,39 та абсорбції 0,01. Також для підтвердження можливості застосування цього методу при порівняння даних між фоном (точка, що візуально не підпала під вплив бойових дій) та точками, що візуально підверглися активним діям снарядів, бомб та імовірного хімічного забруднення, проведено аналізування сито-піпет методом в модифікації Качинського за ДСТУ 4730:2007. Підготовка проб була однаковою для обох методів: розтирка зразка у порцеляновій ступці товчком з резиновим наконечником, видалення карбонатів – соляною кислотою з молярною концентрацією 0,2 та 0,05 моль/дм³ та дезагрегація – розчином гідроксиду натрію з молярною концентрацією (NaOH) 1 моль/дм³.

Вміст рухомих форм марганцю, цинку, заліза, кобальту, міді, кадмію, хрому, свинцю, нікелю у пробах ґрунту визначено в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії на приладі САТУРН – 4 (виробник Україна) за ДСТУ 4770.1 – 9:2007 [11].

Результати та обговорення.

Аналізуючи дані (табл. 1), які одержані двома методами, бачимо, що хоча вони не співпадають один до одного, але є загальні закономірності. Так у зразках, які відібрані у місцях влучення снарядів та авіабомб на полі № 1 та № 2 села Мала Рогань вміст фізичної глини більший по відношенню до фону на тому ж полі, а вміст крупного та середнього піску (фракції з діаметром часточок 1-0,25 мм та 0,25-0,05 мм) навпаки зменшився. На полі № 1 Нового Коротичу ця різниця більш суттєва та складає 9,96, 6,13 та 9,73%. Ґрунт, що розкиданий від розриву авіабомб та снарядів навкруги вирви, під впливом опадів та у процесі оранки з часом перемішається з верхнім родючим шаром, що призведе до його утяжеління, і як наслідок, погіршеться повітряно-водний баланс. Воронки, які необхідно буде засипати при подальшого використанні полів, як земель сільськогосподарського призначення, будуть мати порушений ґрунтовий профіль, що під впливом опадів з часом просідатиме і є вірогідність акумуляції у цьому місці солей.

Аналіз даних поля № 3 с. Мала Рогань, спостерігаємо, що у точці Т.1, де найвірогідніше був виток паливномастильної речовини (за органолептичними характеристиками) вміст фізичної глини зменшився. На нашу думку, це відбулося за рахунок зцементування агрегатів та утворенню навколо них мастильної плівки, яка під дією застосованих реагентів не руйнується. Це може

покрощити аерацію ґрунту, але мастильні речовини можуть також спричинити обволокування плівкою кореневої системи рослин, що унеможливить їх повноцінний розвиток. Все це, без застосування рекультивационних дій, призведе до деградації чорноземів.

Збільшення фракції глини у точках ураження снарядами та бомбами та зменшення її у зразку з слідами мастильно-поливної речовини по відношенню до контролю у методі лазерної дифракції підтверджуються даними стандартизованого сито-піпет метода за ДСТУ 4730:2007 (табл. 1). Лише у зразку, який відібраний у точці Т.2., де ймовірно відбувся витік кислоти (ґрунт має рН_{сол} 2,68), хоча вміст крупного піску та мулу (фракції з діаметром часточок <0,001 мм) в обох методах збільшився, але по вміст суми фракцій з діаметром часточок <0,01 мм відносно фону різняться (у методі лазерної дифракції – збільшився на 2,79%, а у сито-піпет методі – зменшився на 5,55%). можливо це пов'язано з похибками вимірювань або у різниці методів, але однозначно, що ґрунти забруднені кислотою та які будуть відбиратися в інших точках слід досліджувати поки що обома методами. На даний час спростити або підтвердити закономірність цієї різниці для точці Т.2 поля № 3 на більшій кількості зразків не має можливості.

Для визнання земель техногенно забрудненими необхідно, щоб вміст речовини, що забруднює ґрунт, перевищував гранично допустиму концентрацію (ГДК) і був втричі вищий за фоновий вміст. У разі забруднення ґрунту кількома небезпечними речовинами підставою для надання землям статусу техногенно забруднених є перевищення сумарного показника Z_c понад 16 [12].

Сумарний показник забруднення обчислюється як:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

де $K_c = \frac{C_i}{C_{ф}}$ (C_i – фактичний вміст i -го елемента;

$C_{ф}$ – фоновий вміст i -го елемента)

За результатами аналізування проб ґрунту (табл. 2) понаднормовий вміст важких металів зафіксовано тільки у забрудненому кислотою ґрунті, що закономірно призвело до зниження параметрів рН_{сол} до 2,68 (рН_{вод} до 3,05) та різкого вивільнення заліза, марганця, свинцю і сірки із валових запасів (1045,81; 327,40; 16,91; 3962,7 мг/кг ґрунту відповідно). Згідно затверджених КМУ нормативів ГДК небезпечних речовин у ґрунтах [13], вміст рухомих форм марганцю у проаналізованих пробах ґрунту перевищує нормативно допустимий вміст у 2,3 рази, свинцю – у 2,8 разів.

В інших випадках вміст важких металів був нижчим за ГДК, але перевищував їх фонову концентрацію у ґрунтах. У відібраних зразках не було зафіксовано відчутного збільшення вмісту рухомих форм кобальту і цинку, тоді як зростання вмісту нікелю (в 3-4 рази) і міді (в 2,4-2,8 раз) виявлено у ґрунті на місці падіння авіабомб 100 кг, у місцях «воронок» від 155-мм, 152-мм (Cu – в 3,6-4,5 разів) і, особливо, 82-мм снарядів (Cu – в 12,8 разів), а також, в окремих випадках, 120-мм боєприпасів (Ni – в 3,9 разів). Підвищення вмісту хрому в ґрунті

Гранулометричний склад ґрунту за методами лазерної дифракції (у чисельнику) та за ДСТУ 4730:2007 (у знаменнику)

Джерело впливу (маса/ калібр снаряду)	Точки відбору проб ґрунту	Вміст гранулометричних фракцій, %							Різниця між фоном та точками фракції <0,01 мм, %	Втрати від хім. обр., %
		1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	<0,001 мм	Сума фракцій <0,01 мм		
с. Мала Рогань, поле № 1										
-	Фон 1	3,09/ 3,06	11,56/ 10,76	29,40/ 22,05	7,86/ 13,78	20,03/ 13,94	28,05/ 36,41	55,95/ 64,13		
Авіа-бомба (100 кг)	Т.1	1,42/ 1,76	8,42/ 0,75	29,62/ 28,73	8,28/ 12,67	21,88/ 12,84	30,39/ 35,63	60,54/ 66,17	-4,59/ -2,04	7,62
Воронка (120 мм)	Т.2	1,07/ 1,51	7,82/ 7,17	30,56/ 24,59	8,39/ 15,90	21,70/ 13,20	30,46/ 37,63	60,55/ 66,73	-4,60/ -2,60	
Воронка (330 мм)	Т. 2.1	1,80/ 0,87	5,28/ 0,22	28,39/ 27,72	8,42/ 12,51	23,68/ 14,47	32,41/ 33,39	64,50/ 67,69	-8,55/ -3,56	10,82
Воронка (120 мм)	Т.3	0,75/ 1,66	8,78/ 2,80	29,83/ 23,58	8,28/ 12,40	22,15/ 15,58	30,22/ 36,83	60,64/ 69,80	-4,69/ -5,67	7,15
Воронка (120 мм)	Т.4	1,72/ 1,40	8,78/ 4,04	29,98/ 29,10	8,11/ 11,02	21,14/ 14,87	30,41/ 38,20	59,65/ 64,98	-3,70/ -0,85	1,37
Воронка (330 мм)	Т.5	0,43/ 1,83	6,07/ 4,54	30,99/ 28,25	8,79/ 10,81	22,37/ 12,56	31,35/ 37,36	62,51/ 63,69	-6,56/ 0,44	4,65
Воронка (155 мм)	Т.6	1,80/ 2,53	7,37/ 2,83	27,76/ 28,38	8,21/ 13,54	22,92/ 11,76	31,90/ 35,70	63,07/ 64,38	-7,12/ -0,25	5,26
Воронка (120 мм)	Т.7	0,88/ 0,95	9,29/ 6,09	31,06/ 28,41	8,07/ 14,20	20,54/ 13,78	30,16/ 36,57	58,77/ 64,55	-2,82/ -0,42	
Воронка (120 мм)	Т.8	0,09/ 0,69	5,42/ 3,79	31,00/ 29,48	8,53/ 13,00	22,41/ 13,54	32,55/ 38,47	63,49/ 65,68	-7,54/ -1,55	1,03
Воронка (120 мм)	Т.9	1,18/ 1,37	7,69/ 4,60	30,27/ 29,84	7,99/ 13,67	21,08/ 12,56	31,78/ 37,96	60,86/ 64,19	-4,91/ -0,06	
с. Мала Рогань, поле № 2										
	Фон 2	1,71/ 1,25	10,16/ 12,72	30,59/ 24,88	8,26/ 9,36	20,48/ 12,20	28,79/ 39,59	57,54/ 61,15		
Воронка (155 мм)	Т.1	1,11/ 1,76	8,80/ 0,78	30,53/ 29,64	8,26/ 11,34	20,96/ 13,16	30,34/ 38,25	59,56/ 66,10	-2,02/ -4,95	5,07
Воронка (152 мм)	Т.2	0,20/ 0,74	6,65/ 0,91	32,73/ 28,67	8,92/ 12,30	21,50/ 15,19	30,00/ 36,11	60,42/ 67,72	-2,88/ -6,57	6,08
Воронка (82 мм)	Т.3	0,22/ 0,73	5,39/ 0,42	30,65/ 28,62	8,62/ 15,14	22,39/ 14,63	32,72/ 35,39	63,73/ 68,64	-6,19/ -7,49	5,07
с. Мала Рогань, поле № 3										
	Фон 3	1,41/ 1,08	11,01/ 4,59	31,80/ 31,32	7,86/ 12,40	19,53/ 15,58	28,38/ 35,03	55,78/ 63,01		
Ґрунт із ДП ¹⁾	Т.1	7,42/ 4,23	22,12/ 8,56	29,31/ 31,46	6,43/ 11,13	14,37/ 11,13	20,26/ 33,49	41,07/ 55,75	14,71/ 7,26	
Ґрунт із кислотою	Т.2	4,10/ 5,17	10,61/ 9,18	26,72/ 28,19	7,45/ 8,61	20,49/ 6,53	30,63/ 42,32	58,57/ 57,46	-2,79/ 5,55	
с. Новий Коротич, поле № 1										
-	Фон 4	1,47/ 1,75	9,52/ 5,92	32,58/ 37,27	7,45/ 10,55	20,02/ 14,20	28,96/ 30,31	56,43/ 55,06		
Авіа-бомба (100 кг)	Низ воронки	0,24/ 0,83	5,48/ 3,90	27,89/ 24,15	8,76/ 10,29	24,51/ 11,34	33,11/ 35,43	66,39/ 66,39	-9,96/ -11,33	14,06
Авіа-бомба (100 кг)	Схил воронки	1,37/ 0,59	6,19/ 4,13	29,29/ 25,72	8,75/ 13,33	23,35/ 10,92	31,03/ 32,81	63,13/ 65,21	-6,13/ -10,15	12,50
Авіа-бомба (100 кг)	Верх воронки	0,15/ 0,53	5,51/ 4,43	28,18/ 25,57	8,98/ 11,23	24,31/ 15,22	32,87/ 31,60	66,16/ 65,53	-9,73/ -10,47	11,42

- ¹⁾ ДП – дизельне паливо.

Вміст мікроелементів і важких металів у ґрунтах за ДСТУ 4770.1 – 9:2007, мг/кг

Джерело впливу (маса/ калібр снаряду)	Точки відбору проб ґрунту	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
-	Фон 1	0,01	0,46	0,67	0,39	1,91	20,27	0,26	0,12	0,96
Авіабомба (100 кг)	Т.1	0,13	0,67	1,22	0,71	2,57	18,24	0,34	0,79	0,67
Воронка (120 мм)	Т. 2	0,13	0,33	0,84	0,56	2,38	4,98	0,54	1,38	0,32
Воронка (330 мм)	Т.2.1	0,13	0,81	1,69	0,88	6,51	21,00	0,34	1,02	1,3
Воронка (120 мм)	Т.3	0,17	0,46	1,86	0,70	2,45	16,52	1,02	1,90	0,95
Воронка (120 мм)	Т.4	0,11	0,21	1,01	0,30	2,90	34,55	0,10	1,07	0,38
Воронка (330 мм)	Т.5	0,02	0,15	1,68	1,20	1,68	13,76	0,47	1,41	0,38
Воронка (155 мм)	Т.6	0,18	0,69	0,44	0,58	3,72	22,88	0,64	0,48	0,91
Воронка (120 мм)	Т.7	0,16	1,15	1,64	0,85	1,83	8,39	0,34	2,73	1,19
Воронка (120 мм)	Т.8	0,04	0,08	1,44	0,55	1,89	17,88	0,12	0,58	0,43
Воронка (120 мм)	Т.9	0,01	0,15	0,08	0,33	1,22	4,93	0,29	0,98	0,76
-	Фон 2	0,12	0,41	0,85	0,06	2,05	11,07	0,45	0,51	0,66
Воронка (155 мм)	Т.1	0,27	0,19	0,81	0,22	0,54	9,27	0,31	1,36	0,84
Воронка (152 мм)	Т.2	0,26	0,67	1,35	0,27	2,30	15,16	0,40	1,51	0,37
Воронка (82 мм)	Т.3	0,08	0,32	1,27	0,77	1,13	8,79	0,52	1,69	0,71
-	Фон 3	0,01	0,31	1,34	0,90	1,75	4,04	0,05	0,80	0,98
Ґрунт із ДП ¹⁾	Т.1	0,18	1,12	1,15	0,25	2,04	34,55	0,06	3,00	19,86
Ґрунти із кислотою	Т.2	0,14	2,12	1,22	0,35	1045,81	327,40	3,78	16,91	3,68
-	Фон 4	0,02	0,57	0,66	0,50	3,56	11,79	0,17	0,18	1,14
Авіабомба (100 кг)	Низ воронки	0,10	0,10	2,26	1,23	5,13	26,15	0,53	0,60	0,86
Авіабомба (100 кг)	Схил воронки	0,20	0,80	0,87	1,44	5,53	26,18	0,24	3,89	0,99
Авіабомба (100 кг)	Верх воронки	0,08	0,12	1,07	1,36	5,57	20,65	0,69	1,28	0,91
	ГДК	0,7	5,0	6,0	3,0	-	140,0	4,0	6,0	23,0

- ¹⁾ ДП – дизельне паливо.

в 2,1-3,4 рази визначено у місцях падіння авіабомб та артилерійських снарядів 120-мм калібру. Двократне перевищення вмісту марганцю присутнє тільки у пробах ґрунту, відібраних унизу та на схилах воронки від падіння авіабомби вагою 100 кг.

Найвищий рівень суцільного забруднення ґрунту у місцях падіння боєприпасів різного калібру відмічається за вмістом кадмію і свинцю. Так, на цілях запуску снарядів 120-мм калібру коефіцієнти концентрації кадмію складають 4-17 кларки від фону, 82-мм – 4 кларки, 152-155-мм – 2-18 кларків, авіабомб – 5-13 кларків

(рис. 1). При чому найбільша концентрація кадмію відмічається на схилах «авіаворонки», тоді як хрому – на її дні. Привнесення рухомих форм свинцю з (рис. 2) відзначається на рівні 4-22 кларків у місцях розривів 120-мм боєприпасів, 2,6-4 кларки – 152-155-мм, 2,7 кларки – 82-мм боєприпасів, 2-11,7 кларки – авіаційних бомб.

Загалом, за одержаними даними забруднюючу дію боєприпасів на ґрунти щодо важких металів можливо розподілити так:

1. 120-мм боєприпаси: Pb>Cd>Cr (рідко)>Ni (дуже рідко);

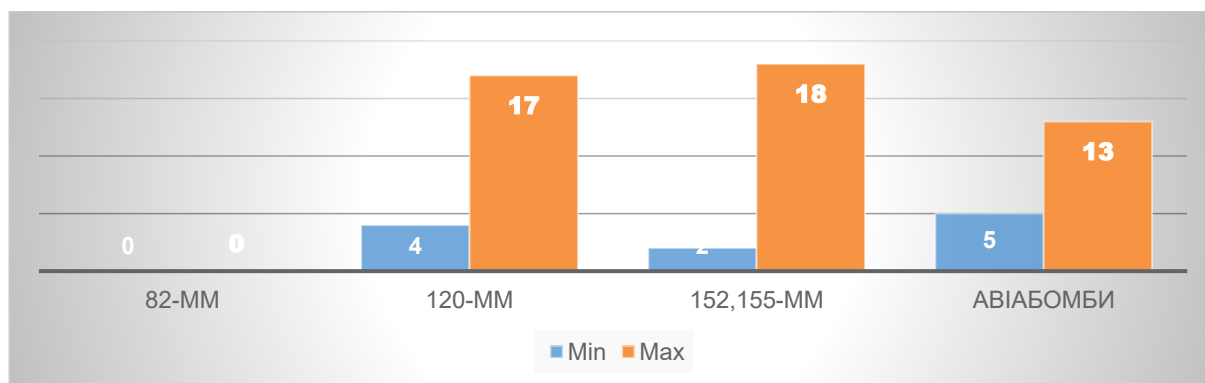


Рис. 1. Коефіцієнти концентрації вмісту рухомих форм кадмію у ґрунтах

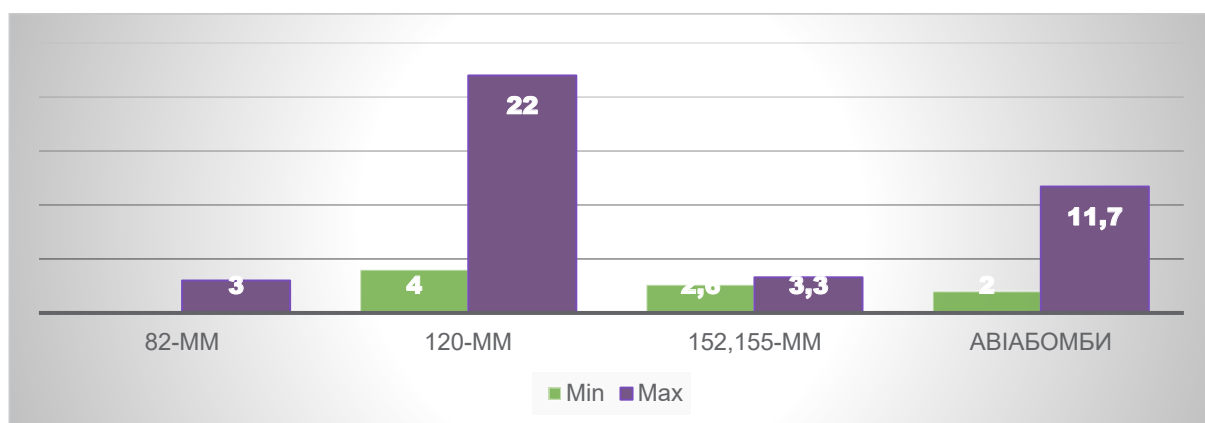


Рис. 2. Коефіцієнти концентрації вмісту рухомих форм свинцю у ґрунтах

- 152-155 мм боєприпаси: Cd>Pb>Cu;
- 82-мм боєприпаси: Cu>Pb;
- Авіабомби вагою 100 кг: Cd>Pb>Ni>Cr>Cu>Mn.

За результатами обчислення сумарного показника забруднення Z_c [12] однократний артилерійський постріл 82-мм снарядами викидає на цілі таку кількість важких металів, що за вмістом їх рухомих форм у ґрунтах відповідає допустимому ступеню техногенного забруднення земель; 120-мм снарядами – від допустимого до помірно-небезпечного і небезпечного ступенів; 152-155-мм – допустимому і помірно-небезпечному; скидання авіабомби вагою 100 кг – помірно-небезпечному і небезпечному ступеням забруднення. У місцях розливів дизельного палива вміст важких металів підвищується до помірно- небезпечного рівня, технічних кислот – до надзвичайно небезпечного рівня техногенного забруднення земель.

Відповідно до ДСТУ 7243:2011 усі частини земельних ділянок, де визначається, принаймні, помірно-небезпечний і небезпечний ступені техногенного забруднення, підлягають консервуванню на строк, що обумовлений класом персистентності речовини.

Такі важкі метали, як кадмій, свинець і нікель відносяться до I класу надзвичайно небезпечних речовин, а мідь і марганець – до 2 класу високонебезпечних речовин за ступенем можливої дії на організм людини [12]. Відповідно, у першому випадку рекомендований

строк консервування становить 7-10 років, у другому – тільки 5-7 років.

Утім, зважаючи на пріоритетність забезпечення продовольчої безпеки держави і майже суцільне пошкодження земель сільськогосподарського призначення в зонах бойових дій боєприпасами різного калібру видається доцільнішим залишати такі землі у господарському використанні за умови проведення комплексу профілактичних заходів із попередження забруднення вирощуваної продукції. До таких заходів можна віднести підбір стійких проти забруднення сортів культур, і заходи ремедіації, направлені на зв'язування важких металів у малорухомі форми (вапнякові матеріали, органічні добрива, сорбенти тощо) та блокування їх надходження в рослини (підживлення мікроелементами-антагоністами).

Слід відмітити, що варіабельність важких металів у ґрунтах під впливом бойових дій відчутно зростає. Коливання концентрації забруднювачів охоплюють діапазон від 2 до 20 кларків від фону і більше навіть за умови одиночних обстрілів зброєю однакового калібру. В умовах інтенсивних артилерійських і ракетних обстрілів не було можливостей і часу на безпечно пробовідбирання із значних глибин ґрунту, тому фонові зразки було відібрано з глибини 0-30 см, тоді як глибина воронки становила 60,70, 80, 1500 і до 2000 см. Відомо, що зазвичай вміст важких металів у ґрунтах зменшуються вглиб за профілем [14, 15], тому порівняння з фоном

0-30 см може дещо зменшувати величини коефіцієнтів концентрації забруднювачів.

На полях, які розташовані у місцях запеклих боїв, діапазон варіювання їх величин вірогідно буде охоплювати значно ширші межі, що може створювати значні ризики для одержання сільгосппродукції належної санітарно-гігієнічної якості. Такі території потребують проведення після конфліктної екологічної оцінки земель і розробки рекомендацій щодо подолання екологічних ризиків для довкілля і здоров'я населення, організації системи спеціального екологічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення у зонах бойових дій, проведення моніторингових спостережень для контролю процесів очищення і відновлення ґрунтів та корекції заходів ремедіації.

Висновки

1. Результати впливу артилерійських та авіа ударів на ґрунтовий покрив суто негативні. Вирви, що утворюються внаслідок цих впливів потребують рекультивациі, та в будь-якому разі можуть накопичувати вологу, зменшувати площу оранки на полі. Крім того, ґрунт, що розкиданий від розриву авіабомб та снарядів навкруги вирви, під впливом опадів та у процесі оранки з часом перемішається з верхнім родючим шаром, що призведе до його утяжеління, і як наслідок, погіршеться повітряно-водний баланс, що призведе до втрати родючості.

2. Для визначення змін у ґранулометричному складі в ґрунтах лісостепу України внаслідок військових дій сито-піпет метод може бути замінений більш швидким та недорогим лазерно-дифракційним методом, оскільки він так само реагує на зміни у розмірі часточок ґрунту. Лише ґрунти, що мають забрудненість кислотою потребують досліджень обома методами, оскільки мають розбіжності.

3. Перевищення ГДК вмісту важких металів зафіксовано тільки у забрудненому кислотою ґрунті, що закономірно призвело до зниження параметрів $pH_{\text{сод}}$ до 2,68 ($pH_{\text{вод}}$ до 3,05) та різкого вивільнення заліза, марганця, свинцю і сірки із валових запасів.

4. За результатами визначення сумарного показника забруднення $Z_{\text{с}}$ за вмістом важких металів один артилерійський постріл 82-мм калібру призвів до допустимого ступеня техногенного забруднення земель; 120-мм калібру – від допустимого до помірно-небезпечного і небезпечного ступенів; 152-155-мм – допустимого і помірно-небезпечного; скидання авіабомби вагою 100 кг – помірно-небезпечного і небезпечного ступеня. У місцях розливу дизельного палива вміст важких металів підвищився до помірно-небезпечного рівня, технічних кислот – до надзвичайно небезпечного рівня техногенного забруднення земель.

5. Зважаючи на пріоритетність забезпечення достовірної безпеки держави і майже суцільне пошкодження земель сільськогосподарського призначення в зонах бойових дій боєприпасами різного калібру видається доцільнішим залишати такі землі у господарському використанні за умови проведення комплексу профілактичних заходів із попередження забруднення вирощуваної продукції.

6. Сільськогосподарські угіддя у зонах запеклих боїв потребують проведення після конфліктної екологічної

оцінки земель і розробки рекомендацій щодо подолання екологічних ризиків для довкілля і здоров'я населення, організації системи спеціального екологічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення у зонах бойових дій, проведення моніторингових спостережень для контролю процесів очищення і відновлення ґрунтів та корекції заходів ремедіації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kaplan G., Rashid T, Pietrelli A., Ferrara V. Monitoring war-generated environmental security using remote sensing: A review / Land Degradation and Development. 2022. URL: <https://doi.org/10.1002/ldr.4249> (дата звернення 1.05.2022)
2. Оцінка наслідків від вибухів боєприпасів на військових складах. 2017. 30 с. URL: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/vibuhi_boiepriipasiv_.pdf
3. (дата звернення 10.07.2022)
4. ДСТУ 4770.1-9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю, цинку, заліза, кобальту, міді, кадмію, хрому, свинцю, нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 117 с. (Національні стандарти України).
5. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2006. 36 с. (Національний стандарт України);
6. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2006. 29 с. (Національний стандарт України).
7. ДСТУ ISO 10381-5:2009. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту (ISO 10381-5:2009, IDT); К.: ДП «УкрНДНЦ», 2011. 28 с. (Національний стандарт України).
8. ISO 18400-104:2018 Soilquality – Sampling –Part 104: Strategies. Switzerland. ISO.2018. 140 p.
9. ISO18400-203:2018 Soilquality – Sampling –Part 203: Investigation of potentially contaminated sites. Switzerland. ISO.2018. 42 p.
10. ISO 18400-102:2017 (E) Soilquality – Sampling –Part 104: Selection and application sampling techniques. Switzerland. ISO.2017. 80 p.
11. ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. [Чинний від 2008–01–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 16 с.
12. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soil sand creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
13. ДСТУ 7243:2011. Якість ґрунту. Землі техногенно забруднені. Обстеження і використання. К.: Держспоживстандарт України, 2012. III, 12 с. (Національний стандарт України).
14. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин. Постанова КМУ

- України від 15.12.2021 № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення 15 січня 2022)
15. Цветкова Н.М., Гунько С.О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. С. 190-196. doi:10.15421/011527 друкований ISSN 2312-301X онлайн ISSN 2310-0842.
 16. Цвей Я. П., Широконос А. М., Феденко П. Я., Звягінцев С. С. Вміст важких металів на моніторингових ділянках біосферного заповідника "Асканія-Нова" / наукові записки. Том 19. Біологія та екологія. 2001. С 83-85.
 9. International Organization for Standardization (2020) ISO 18400-102:2017 Soilquality – Sampling –Part 104: Selection and application sampling techniques. Switzerland. (2017). *ISO 18400-102:2017 First edition 2017-01*.
 10. Yakist gruntu. Vyznachennia hranulometrychnoho skladu metodom pipetky v modyfikatsii N.A. Kachynskoho. [Soil quality. The soil granulometric composition analysis by pipette method in modification of N.A. Kachynskiy]. (2008) *DSTU 4730:2007 from 1st January 2008*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
 11. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soil sand creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
 12. Yakist gruntu. Zemli tekhnohenko zabrudneni. Obstezhennia i vykorystannia [Soil quality. Lands are man-made polluted. Examination and use]. *DSTU 7243:2011 from 1st January 2012*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
 13. Kabinet Ministriv Ukrainy. Postanova. vid 15 hrudnia 2021 r. № 1325. Kyiv. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rechovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rechovyn [On approval of standards for maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils, as well as a list of such substances]. available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text> (accessed 15 January 2022) [in Ukrainian].

REFERENCES:

1. Kaplan G., Rashid T, Pietrelli A., Ferrara V. (2022) Monitoring war-generated environmental security using remote sensing: A review / *Land Degradation and Development*. URL: <https://doi.org/10.1002/ldr.4249> (accessed 1 May 2022).
2. Otsinka naslidkiv vid vybukhiv boieprypasiv na viiskovykh skladakh [Assessment of the consequences of ammunition explosions at military warehouses]. (2017). 30 s. available at: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/vibuhi_boieprypasiv_.pdf (accessed 10 July 2022) [in Ukrainian].
3. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marhantsiu, tsynku, zaliza, kobaltu, midi, kadmiu, khromu, svyntsiu, nikeliu v gruntu v bufernii amoniino-atsetatnii vytiashtsi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of manganese, zinc, iron, cobalt, copper, cadmium, chromium, lead, nickel in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009) *DSTU 4770.1-9:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
4. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 1. Nastanovy shchodo skladannia prohramm vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling Part 1. Guidance on the design of sampling programmes]. (2006). *DSTU ISO 10381-1:2004 from 1st April 2006*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
5. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 2. Nastanovy z metodiv vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling Part 2. Guidance on sampling techniques]. (2006). *DSTU ISO 10381-1:2004 from 1st April 2006*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
6. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 5. Nastanovy z protsedury doslidzhennia miskykh i promyslovykh dilianok shchodo zabrudnenosti gruntu [Soil quality. Sampling Part 5. Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination]. (2009). *DSTU ISO 10381-5:2009 from 1st January 2011*. Kyiv: SE «UkrNDNC» [in Ukrainian].
7. International Organization for Standardization. Soilquality – Sampling –Part 104: Strategies. Switzerland. (2018). *ISO 18400-104:2018. First edition 2018-10*
8. International Organization for Standardization. Soilquality – Sampling –Part 203: Investigation of potentially contaminated sites. Switzerland. (2018). *ISO18400-203:2018. First edition 2018-10*.
14. Tsvietkova N.M., Hunko S.O. (2015). Koreliatyvna kharakterystyka kadmiu u gruntakh stepovoho Prydniprovia [Correlative characteristics of cadmium in the soils of the Dnieper steppe]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia, ekolohiia*. S. 190-196. doi:10.15421/011527, print ISSN 2312-301X online ISSN 2310-0842 [in Ukrainian].
15. Tsvei Ya. P., Shyrokonos A. M., Fedenko P. Ya., Zviahintsev S. S. Vmist vazhkykh metaliv na monitorynhovykh diliankakh biosferneho zapovidnyka "Askaniia-Nova" [The content of heavy metals in the monitoring areas of the Biosphere Reserve "Askania-Nova"]. *Naukovi zapysky*. Tom 19. Biolohiia ta ekolohiia. 2001. S 83-85[in Ukrainian].

Солоха М.О., Смірнова К.Б., Винокурова Н.В., Семенцова К.О. Варіабельність геохімічного та гранулометричного складу ґрунтів лісостепу України під впливом бойових дій

Стаття має практичний характер за спрямування впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив України. За мету статті обрано визначення якісних та кількісних змін гранулометричного складу, а також вмісту мікроелементів і важких металів в місця впливу артилерійських та авіаційних ударів на ґрунтовий покрив в Харківській області (Харківський район, східні околиці міста Харкова). Методи досліджень: для визначення гранулометричного складу ґрунту використовувався метод лазерної дифракції. Визначення розміру часточок ґрунту проводили лазерно-дифракційним методом на аналізатор часточок Mastersizer 3000E фірми Malvern Instruments з рідинним модулем диспергування Hydro EV. Вміст рухомих форм

марганцю, цинку, заліза, кобальту, міді, кадмію, хрому, свинцю, нікелю у пробах ґрунту визначено в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на приладі САТУРН – 4 (виробник Україна) за ДСТУ 4770.1 – 9:2007.

Відбір точкових проб ґрунту здійснено за глибинами ймовірного забруднення на основі комбінованого підходу із застосуванням модифікованих моделей радіального локального розподілу речовин («гарячих точок») у дво- і тривимірному просторі згідно серії гармонізованих стандартів ДСТУ ISO10381.

Дослідження проведено із застосуванням системного, порівняльного, логіко-аналітичного і лабораторного методів, а також методів інфометрії, критичного аналізу та узагальнення.

Місце проведення досліджень: землі сільськогосподарського призначення (орні угіддя та лісосууги) поблизу населених пунктів Мала Рогань та Новий Коротич Харківської області, де відбулися активні бойові дії. Ґрунтовий покрив території досліджень представлений чорноземними ґрунтами Лісостепової зони.

В результаті аналітичних досліджень встановлено, що вплив артилерійських та авіа ударів на ґрунтовий покрив суто негативні. Вирви, що утворюються внаслідок цих впливів потребують рекультивациі, та в будь-якому разі можуть накопичувати вологу, зменшувати площу оранки на полі. Крім того, ґрунт, що розкиданий від розриву авіабомб та снарядів навкруги вирви, під впливом опадів та у процесі оранки з часом перемішається з верхнім родючим шаром, що призведе до його утяжеління, і як наслідок, погіршується повітряно-водний баланс, що призведе до втрати родючості. За результатами визначення сумарного показника забруднення Z_c за вмістом важких металів один артилерійський постріл 82-мм калібру призвів до допустимого ступеня техногенного забруднення земель; 120-мм калібру – від допустимого до помірно-небезпечного і небезпечного ступенів; 152-155-мм – допустимого і помірно-небезпечного; скидання авіабомби вагою 100 кг – помірно-небезпечного і небезпечного ступеня. У місцях розливу дизельного палива вміст важких металів підвищився до помірно-небезпечного рівня, технічних кислот – до надзвичайно небезпечного рівня техногенного забруднення земель.

Ключові слова: воєнні дії, ґрунтовий покрив, результати аналітичних досліджень, гранулометричний склад, мікроелементи.

Solokha M.O., Smirnova K.B., Vynokurova N.V. Sementsova K.O. Variability of the geochemical and granulometric composition of the soils of the forest steppe of Ukraine under the influence of combat actions

The article has a practical character for directing the influence of military actions on the soil cover of Ukraine. The **purpose** of the article is to determine the qualitative and quantitative changes in particle size composition, as

well as the content of trace elements and heavy metals in the places of impact of artillery and air strikes on the ground cover in the Kharkiv region (Kharkiv district, eastern outskirts of the city of Kharkiv). **Research methods:** the laser diffraction method was used to determine the granulometric composition of the soil. This physical value refers to stable indicators and its change indicates the degradation processes in the soil cover. Determination of the size of soil particles was carried out by the laser diffraction method on a Mastersizer 3000E particle analyzer from Malvern Instruments with a Hydro EV liquid dispersion module. The content of mobile forms of manganese, zinc, iron, cobalt, copper, cadmium, chromium, lead, and nickel in soil samples was determined in a buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry on a SATURN-4 device (manufactured by Ukraine) according to DSTU 4770.1 – 9:2007.

The selection of point samples of the soil was carried out according to the depths of probable contamination based on a combined approach with the use of modified models of radial local distribution of substances ("hot spots") in two- and three-dimensional space according to the series of harmonized standards DSTU ISO10381.

The research was carried out using systematic, comparative, logical-analytical and laboratory methods, as well as methods of infometry, critical analysis and generalization.

Place of research: agricultural land (arable land and forest strips) near the settlements of Mala Rohan and Novy Korotych of Kharkiv region, where active hostilities took place. The soil cover of the research area is represented by chernozem soils of the forest-steppe zone.

As a result of analytical studies, it was established that the impact of artillery and air strikes on the ground cover is purely negative. Eruptions formed as a result of these effects require reclamation, and in any case can accumulate moisture, reduce the plowed area on the field. In addition, the soil scattered by the explosion of air bombs and shells around the crater, under the influence of precipitation and in the process of plowing, will eventually mix with the upper fertile layer, which will lead to its weighting, and as a result, the air-water balance will deteriorate, which will lead to the loss fertility. According to the results of determining the total pollution index Z_c by the content of heavy metals, one artillery shot of 82-mm caliber led to an acceptable level of man-made pollution of the land; 120-mm caliber – from permissible to moderately dangerous and dangerous degrees; 152-155 mm – permissible and moderately dangerous; dropping an aerial bomb weighing 100 kg – moderately dangerous and dangerous degree. In places where diesel fuel was spilled, the content of heavy metals rose to a moderately dangerous level, technical acids – to an extremely dangerous level of man-made land pollution.

Key words: military actions, soil cover, results of analytical studies, granulometric composition, trace elements.