

**Грищенко О. М., к.с.-г.н., учений секретар, ORCID: 0000-0002-1241-7183, Паламарчук Р. П., в.о. генерального директора, ORCID: 0000-0002-5965-1305 (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, grischenkoel@ukr.net), Мельник М. А., к.с.-г.н., в.о. директора, ORCID: 0009-0001-7811-3107 (Херсонська філія Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Херсон), Жученко С. І., к.с.-г.н., директор, ORCID:0009-0006-2632-9666 (Дніпропетровська філія Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Дніпро), Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.m.voznyuk@nuwm.edu.ua)**

### **ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ПІДТОПЛЕННЯ ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС**

У статті висвітлено екологічну небезпеку підтоплення земель сільськогосподарського призначення внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС. Наведено результати експериментальних досліджень вмісту рухомих сполук важких металів у десяти пробах ґрунту, пробі мулу та намулу відібраних на території Херсонського та Бериславського районів Херсонської області.

За результатами проведених досліджень встановлено перевищення ГДК рухомих сполук свинцю у 4 пробах ґрунту (від 1,04 до 2,9 рази), пробах намулу (у 1,04 рази) та мулу (у 4,2 рази), кадмію – в одній пробі ґрунту (у 1,07 рази) та мулу (у 1,01 рази), нікелю та цинку – у пробі мулу (у 1,03 та 1,01 рази відповідно). За вмістом міді, марганцю та кобальту та перевищень гранично допустимих концентрацій у зразках ґрунту, намулу та мулу не виявлено.

Найвищий ступінь забруднення рухомими сполуками свинцю та кадмію виявлено в пробах ґрунту 2 та 11 відібраних на території с. Тягинка Бериславського району та с. Чернобаївка Херсонського району.

**Зразок ґрунту і намулу, які було відібрано з однієї ділянки, мали ідентичний вміст свинцю та приблизно однаковий вмістом рухомих сполук кадмію, міді та марганцю. Зразок намулу у порівнянні з ґрунтом, характеризувався більшим вмістом рухомих сполук цинку, заліза та нікелю. У зразку мулу (відібраний на території с. Тягинка Тягинська ТГ Бериславський р-н, Херсонська обл.) відмічено перевищення гранично допустимої концентрації за вмістом свинцю (у 4,2 рази) та незначні перевищення за вмістом рухомих сполук кадмію, цинку та нікелю. Намул та мул містять вищий вміст забруднювачів ніж у ґрунтові зразки. Можемо припустити, що вони переміщуючись з потоком води внаслідок руйнування Каховської ГЕС, можуть призвести до забруднення ґрунтів на підтоплених територіях.**

**За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність між умістом всіх рухомих сполук досліджуваних важких металів за винятком сполук марганцю.**

***Ключові слова:* руйнування греблі Каховської ГЕС; ґрунт; мул; намул; забруднювачі; важкі метали; рухомі сполуки; свинець; кадмій; залізо; магній; цинк; кобальт; мідь; нікель; клас небезпеки; ГДК.**

**Постановка проблеми.** Підірвавши греблю Каховської ГЕС, російські окупанти спричинили найбільшу на нашому континенті з часів Чорнобильської трагедії техногенну катастрофу [1], яка ще багато років буде впливати на життя Півдня України та матиме катастрофічні наслідки для екології та сільського господарства.

Каховська ГЕС була однією із найбільших гідротехнічних споруд у Європі. Площа Каховського водосховища 2155 кілометрів квадратних, об'ємом води майже 19 кілометрів кубічних [2]. Внаслідок підриву почалося потужне неконтрольоване виливання води з Каховського водосховища з масштабним затопленням як правого, так і значної частини лівого берега Дніпра. Зона трагедії охоплює щонайменше 5 тис. км<sup>2</sup>, які були затоплені чи осушені [3]. Також, за даними науковців, прорив дамби призвів до змивання верхнього родючого шару ґрунту, виникнення ерозійних процесів та замулення [4].

Разом із потоком води може рухатися не тільки ґрунт, а й мул та різні небезпечні речовини. За даними науковців, мули та донні відкладення Каховського водосховища містять різні забруднювачі

органічного та неорганічного походження [5–11], у тому числі і важкі метали [12], які десятиліттями потрапляли у водойму з викидами промислових підприємств. Внаслідок руйнування гідроелектростанції мули та донні відклади можуть становити значну небезпеку для здоров'я людей на підтоплених територіях. Також через підрив Каховської ГЕС затоплено щонайменше 32 заправні станції, склади з отрутохімікатами, промислові підприємства та нафтопереробні заводи, що призвело до витоку хімікатів, нафти та бензину. Крім того, внаслідок затоплення, до води потрапили токсини з вигрібних ям, каналізації, смітників, кладовищ та могильників. З потоком води забруднювачі могли поширитись вниз за течією Дніпра. Так, за даними супутникових спостережень, щонайменше 150 тонн моторного мастила витекло у воду в перші дні катастрофи. На думку науковців, навіть незначна кількості хімікатів, які потрапили у воду, може призвести до забруднення ґрунтового покриву та зробити його непридатним для вирощування сільськогосподарської продукції без належного відновлення [13]. Тому особливої уваги потребує вивчення стану підтоплених ґрунтів земель сільськогосподарського призначення на вміст токсикантів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження важких металів у водоймищах Дніпра відбуваються впродовж тривалого часу та дають змогу встановити основні закономірності їх міграції й розподілу в системі «вода – завись – донні відклади». Значну увагу науковці під час вивчення водних об'єктів приділяють мулам та донним відкладам, оскільки вони безпосередньо беруть участь у формуванні складу води завдяки процесам адсорбції, десорбції, дифузії різноманітних хімічних речовин, а також важких металів та їх сполук зокрема [14]. Цій темі присвячено роботи вітчизняних науковців, а саме: О. Федоненка [15], В. Зацерковного [10], Ю. Войтюк [12], П. Линник [14], Є. Обухова [16] тощо.

За даними В. Зацерковного [10] та Є. Обухова [16], Каховське водосховище зазнавало значного техногенного навантаження та акумулювало не лише запаси води, але й усі забруднення, що надходили із площі водозбору. Води, мули та донні відклади водосховища були забруднені біогенними, органічними і поверхнево-активними речовинами, нафтопродуктами, фенолами, пестицидами, важкими металами тощо. Серед водосховищ Дніпра найбільшу кількість важких металів (Fe, Cd, Pb, Cr, Zn,

Mg, Ni, Cu, Mn та ін.) містили саме донні відклади та мули Каховського водосховища. Підтоплення земель сільськогосподарського призначення, водами, що несуть забруднені мули та донні відклади, призводить не лише до трансформації та деградації ґрунтового покриву, але й до їх забруднення важкими металами, нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами.

**Мета і завдання дослідження.** Метою досліджень було визначення еколого-токсикологічного стану територій, що зазнали підтоплення внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС.

**Об'єктом досліджень** слугували 10 проб ґрунту та по 1 пробі намулу та мулу, відібраних з територій Херсонського та Бериславського районів Херсонської області (табл. 1).

Лабораторний аналіз відібраних проб проводили в акредитованій лабораторії (за стандартом ISO/IEC-17025:2017) Дніпропетровської філії ДУ «Держґрунтохорона». Вміст рухомих сполук важких металів визначали відповідно до ДСТУ 4770:1-7,9:2007 [17-24].

Таблиця 1

Місця відбору проб для досліджень

№ проби	Кадастровий номер	Місце відбору	Примітка
1	6520387300:02:001:0033	с. Ульянівка Дар'ївська ТГ Херсонський р-н	проба ґрунту
2	6520687100:02:001:0259	с. Тягинка Тягинська ТГ Бериславський р-н	проба ґрунту
3	6520382000:04:001:0156	с. Інгулець Дар'ївська ТГ Херсонський р-н.	проба ґрунту
4	6520382000:07:008:0005	с. Інгулець Дар'ївська ТГ Херсонський р-н	проба ґрунту
5	6520382000:01:001:0166	с. Інгулець Дар'ївська ТГ Херсонський р-н	проба ґрунту
6	6520387300:03:001:0132	с. Ульянівка Дар'ївська ТГ Херсонський р-н.	проба ґрунту
7	6520955700:07:023:0002	с. Зелений Гай Калинівська ТГ Бериславський р-н	проба ґрунту
8	6520980500:08:029:0007	с. Благодатівка Калинівська ТГ Бериславський р-н	проба ґрунту
9	6520980500:08:029:0007	с. Благодатівка Калинівська ТГ Бериславський р-н	проба намулення
10	6520687100:01:014:0021	с. Тягинка Тягинська ТГ Бериславський р-н	проба мулу



## продовження табл. 1

11	6520387500:01:156:0018	с. Чернобаївка Чернобаївська ТГ Херсонський р-н	проба ґрунту
12	6520980500:08:026:0006	с. Благодатівка Калинівська ТГ Бериславський р-н	проба ґрунту

Оцінку еколого-токсикологічного стану ґрунтів за вмістом важких металів та встановлення придатності земельних ділянок для вирощування сільськогосподарської продукції проводили шляхом порівняння їх вмісту з гранично допустимою концентрацією (ГДК) [25] та групуванням ґрунтів за вмістом рухомих форм елементів забруднювачів [26].

Розрахунки кореляційних взаємозв'язків проводили методом кореляційного аналізу за такою градацією: коефіцієнт кореляції ( $r$ ) менше 0,3 – залежність слабка, від 0,3 до 0,7 – середня, вище 0,7 – сильна (перевищує критичне значення).

Статистичну обробку отриманих результатів проводили в пакеті програм Microsoft Office Excel та Statistika 6.0.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** За результатами проведених досліджень встановлено, що вміст рухомих сполук свинцю у відібраних пробах варіював від 1,52 до 24,91 мг/кг ґрунту. Перевищення ГДК вмісту свинцю виявлено в чотирьох пробах ґрунту (2, 7, 8 та 11) – від 1,04 до 2,9 раза, у пробі намулу (9) – у 1,04 раза та пробі мулу (10) – в 4,2 раза.

Також відмічено високий ступінь забруднення ґрунту рухомими сполуками свинцю на ділянці 4, підвищений – на ділянках 5 та 6, середній – на ділянці 3 та помірний ступінь забруднення – на ділянках 1 та 12. Найвищий ступінь забруднення рухомими сполуками свинцю виявлено в пробах ґрунту 2 та 11, відібраних на території с. Тягинка Бериславського району та с. Чернобаївка Херсонського району (табл. 2, рис. 1).

Зазначений показник є одним з найбільш варіабельних показників. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив 94,9% (без урахування мулу – 82,4%).

Вміст рухомих сполук цинку у відібраних пробах варіював від 0,41 до 23,12 мг/кг ґрунту. Незначне перевищення ГДК відмічено в пробі мулу (10) – у 1,01 рази. Показник у зазначеній пробі у 12,6 раза перевищує середній показник зафіксований на інших досліджуваних ділянках (табл. 2, рис. 2). Також відмічено слабе забруднення

ґрунту рухомими сполуками цинку на ділянці 4.

Встановлено, що вміст рухомих сполук цинку є найбільш варіабельним серед досліджуваних показників. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив 174,7% (без урахування мулу – 76,9%).

Таблиця 2

Уміст рухомих сполук важких металів I класу небезпеки у пробах ґрунту (мулу, намулу) відібраних на територіях Херсонського та Бериславського районів Херсонської області

№ проби	Свинець, мг/кг ґрунту		Цинк, мг/кг ґрунту		Кадмій, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК
1	1,52	25,3	0,95	4,1	0,11	15,7
2	<b>12,51*</b>	208,5	5,31	23,1	<b>0,75*</b>	107,1
3	2,37	39,5	0,70	3,0	0,07	10,0
4	3,97	66,2	3,39	14,7	0,07	10,0
5	3,89	64,8	1,75	7,6	0,03	4,1
6	3,35	55,8	0,41	1,8	0,03	4,3
7	<b>7,10*</b>	118,3	2,13	9,3	0,27	38,6
8	<b>6,21*</b>	103,5	1,21	5,3	0,09	12,9
9	<b>6,21*</b>	103,5	1,51	6,6	0,07	10,0
10	<b>24,91*</b>	415,2	<b>23,12*</b>	100,5	<b>0,71*</b>	101,4
11	<b>17,68*</b>	294,7	1,54	6,7	0,14	20,0
12	1,66	27,7	1,18	5,2	0,14	20,0
<b>Середнє значення</b>	<b>7,62*</b>	<b>126,9</b>	<b>3,60</b>	<b>15,6</b>	<b>0,21</b>	<b>29,5</b>
<b>Стандартна помилка</b>	<b>2,09</b>		<b>1,81</b>		<b>0,07</b>	
<b>Середньоквадратичне відхилення</b>	<b>7,22</b>		<b>6,29</b>		<b>0,25</b>	
<b>Коефіцієнт варіації</b>	<b>94,9/ 82,4**</b>		<b>174,7/ 76,9**</b>		<b>5,22</b>	
<b>Min</b>	<b>1,52</b>		<b>0,41</b>		<b>0,03</b>	
<b>Max</b>	<b>24,91</b>		<b>23,12</b>		<b>0,75</b>	
<b>НІР<sub>0,5</sub></b>	<b>4,59</b>		<b>4,00</b>		<b>0,16</b>	

\*показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук свинцю – 6 мг/кг ґрунту, цинку – 23 мг/кг ґрунту, кадмію – 0,7 мг/кг ґрунту [25]).

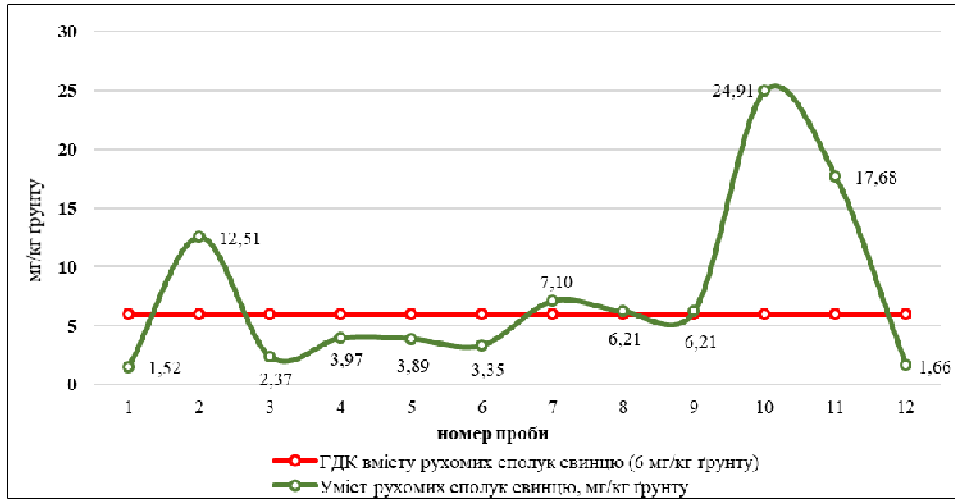


Рис. 1. Уміст рухомих сполук свинцю

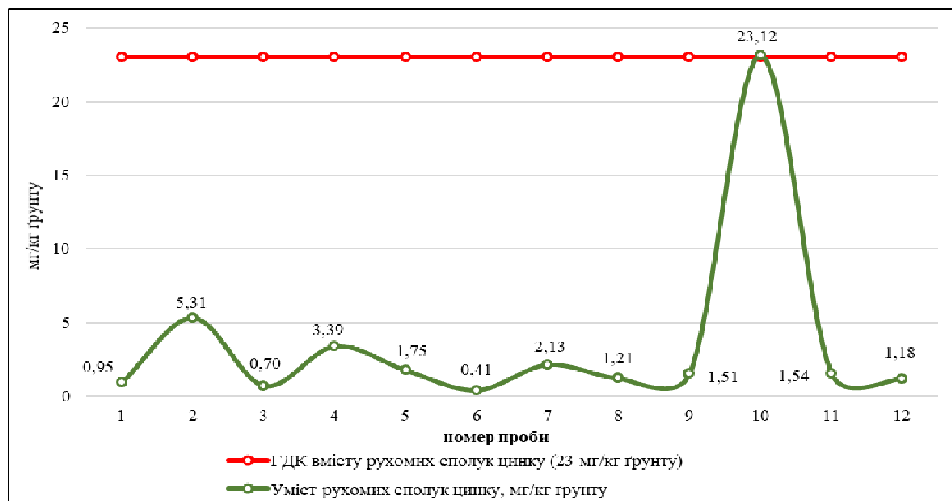


Рис. 2. Уміст рухомих сполук цинку

Дослідженнями встановлено, що вміст рухомих сполук кадмію у відібраних пробах варіював від 0,03 до 0,75 мг/кг ґрунту. Незначне перевищення ГДК відмічено в одній пробі ґрунту (2) – у 1,07 раза та пробі мулу (10) – 1,01 раза. Слід відмітити, що на ділянках 1, 11 та 12 виявлено слабе забруднення елементом, на ділянці 7 – помірне. Найвищий ступінь забруднення рухомими сполуками кадмію виявлено в пробі 2, відібраній на території с. Тягинка Бериславського району. Показник у зазначеній пробі у 3,6 раза

перевищує середній показник зафіксований на інших досліджуваних ділянках (без врахування мулу) (табл. 2, рис. 3).

Вміст рухомих сполук кадмію є найменш варіабельним показником, а коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив – 5,22%.

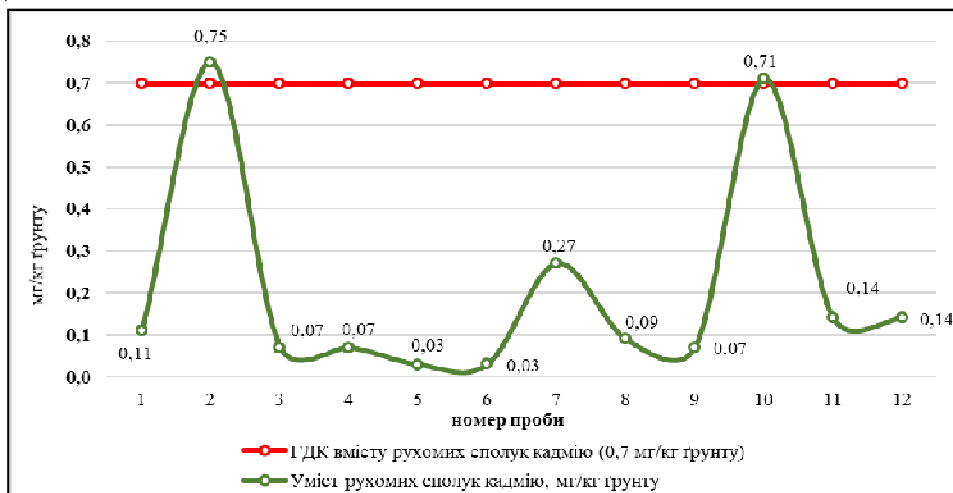


Рис. 3. Уміст рухомих сполук кадмію в зразках ґрунту

Вміст рухомих сполук міді у досліджуваних пробах варіював від 0,06 до 1,26 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом міді не виявлено. На ділянці 10 (проба мулу) відмічено слабе забруднення за вмістом елементу, а показник у зазначеній пробі у 7,9 раза перевищує середній показник зафіксований на інших досліджуваних ділянках (табл. 3, рис. 4).

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук магнію у відібраних пробах становив 155,8% (146,4% без врахування мулу) та був одним з найбільш варіабельних.

Таблиця 3

Уміст рухомих сполук важких металів II класу небезпеки у пробах ґрунту (мулу, намулу) відібраних на територіях Херсонського та Бериславського районів Херсонської області

№ проби	Мідь, мг/кг ґрунту		Нікель, мг/кг ґрунту		Кобальт, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК
1	0,06	2,0	0,06	1,5	0,03	0,6
2	0,84	28,0	3,90	97,5	3,36	67,2



продовження табл. 3

3	0,09	3,0	1,12	28,0	0,09	1,8
4	0,11	3,7	0,72	18,0	0,16	3,2
5	0,10	3,3	0,70	17,5	0,01	0,2
6	0,08	2,7	0,64	16,0	0,10	2,0
7	0,08	2,7	1,64	41,0	1,00	20,0
8	0,06	2,0	0,58	14,5	0,59	11,8
9	0,10	3,3	0,73	18,3	0,42	8,4
10	1,26	42,0	4,13*	103,3	2,85	57,0
11	0,09	3,0	0,38	9,5	0,09	1,8
12	0,10	3,3	0,63	15,8	0,09	1,8
<b>Середнє значення</b>	<b>0,25</b>	<b>8,3</b>	<b>1,27</b>	<b>31,7</b>	<b>0,73</b>	<b>14,7</b>
<b>Стандартна помилка</b>	<b>0,11</b>		<b>0,39</b>		<b>0,33</b>	
<b>Середньоквадратичне відхилення</b>	<b>0,39</b>		<b>1,34</b>		<b>1,15</b>	
<b>Коефіцієнт варіації</b>	<b>155,8/ 146,4*</b>		<b>105,5/ 102,9*</b>		<b>157,1</b>	
<b>Min</b>	<b>0,06</b>		<b>0,06</b>		<b>0,01</b>	
<b>Max</b>	<b>1,26</b>		<b>4,13</b>		<b>3,36</b>	
<b>НІР<sub>0,5</sub></b>	<b>0,25</b>		<b>0,85</b>		<b>0,73</b>	

\*показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук міді – 3 мг/кг ґрунту, нікелю – 4 мг/кг ґрунту, кобальту – 5 мг/кг ґрунту [25]).

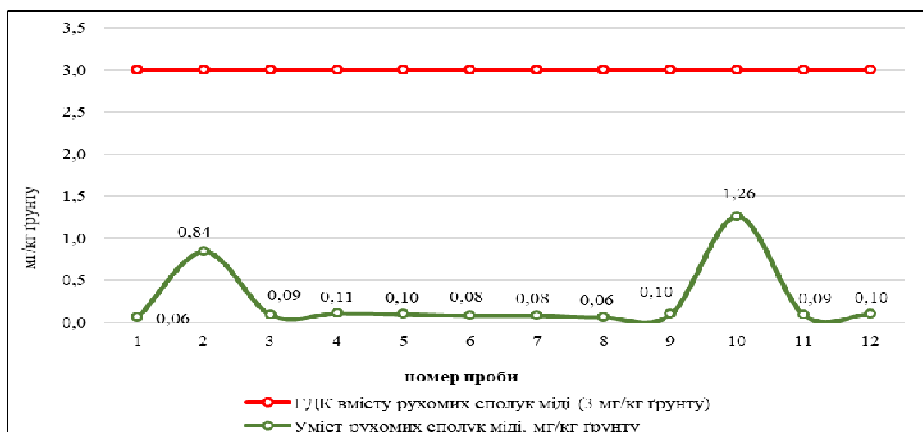


Рис. 4. Уміст рухомих сполук міді

Вміст рухомих сполук нікелю у досліджуваних пробах варіював від 0,06 до 4,13 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом нікелю у пробах ґрунту та намулу не виявлено. Слід зазначити, що у пробі 2 вміст елементу був практично на рівні ГДК, а показник у зазначеній пробі у 5,4 раза перевищував середній показник зафіксований у інших досліджуваних пробах ґрунту та намулу (табл. 3, рис. 5). У пробі мулу вміст рухомих сполук нікелю у 1,03 раза перевищував ГДК.

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук нікелю у відібраних пробах становив 105,5% (102,9% без врахування мулу).

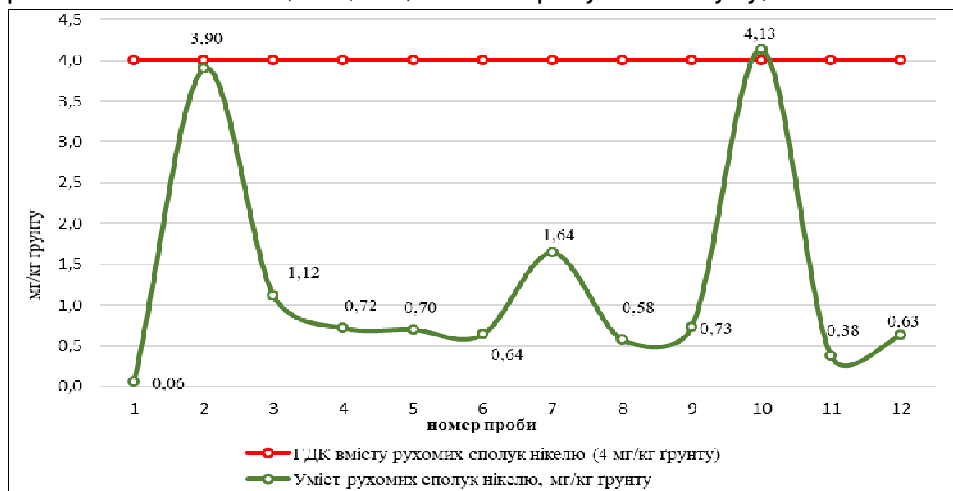


Рис. 5. Уміст рухомих сполук нікелю

За результатами досліджень, вміст рухомих сполук кобальту у досліджуваних пробах варіював від 0,01 до 3,36 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом кобальту у пробах ґрунту, намулу та мулу не виявлено. Також відмічено дуже високий ступінь забруднення ґрунту рухомими сполуками кобальту на ділянці 2, високий – на ділянці 10 (мул) та помірний ступінь забруднення – на ділянці 7. Слід зазначити, що у пробі 2 вміст елементу у 12,9 раза перевищував середній показник зафіксований у інших досліджуваних пробах ґрунту та намулу, у пробі 10 (мул) – у 11 раза (табл. 3, рис. 6).

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук кобальту у відібраних пробах становив 157,1% та був одним з найбільш варіабельних.

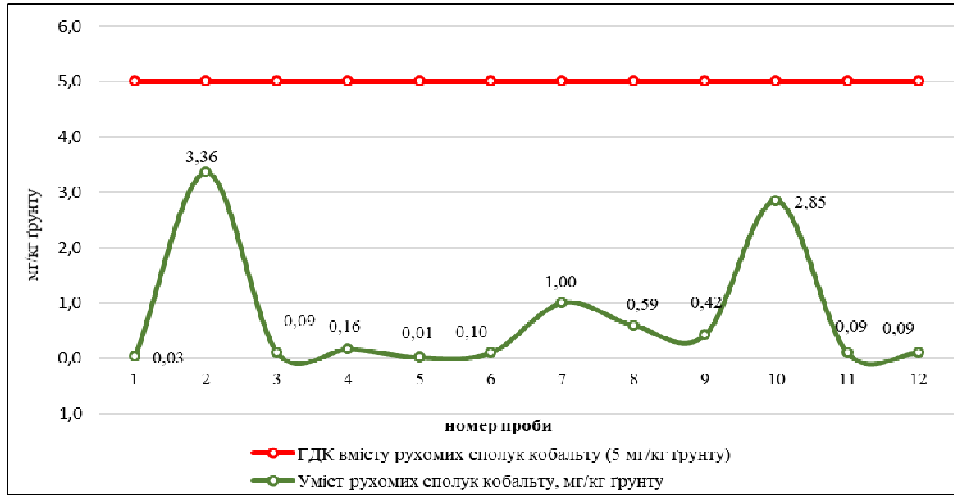


Рис. 6. Уміст рухомих сполук кобальту

Уміст рухомих сполук заліза у відібраних пробах варіював від 0,21 до 3,14 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст заліза виявлено в пробах 2 (ґрунт) та 10 (мул). У зазначених пробах вміст елементу у 5,4 рази перевищував середній показник зафіксований у інших досліджуваних пробах ґрунту та намулу. ГДК вмісту заліза не нормується (табл. 4, рис. 7). Коефіцієнт варіації показників склав 105,2%.

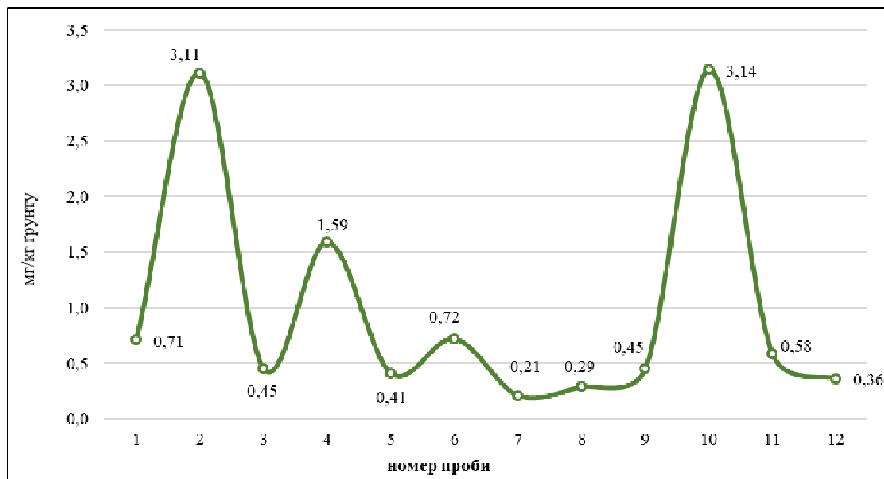


Рис. 7. Уміст рухомих сполук заліза

Таблиця 4

Уміст рухомих сполук важких металів III класу небезпеки у пробах ґрунту (мулу, намулу) відібраних на територіях Херсонського та Бериславського районів Херсонської області

№ проби	Залізо, мг/кг ґрунту	Марганець, мг/кг ґрунту	
		вміст	% до ГДК
1	0,71	47,02	33,59
2	3,11	28,27	20,19
3	0,45	33,00	23,57
4	1,59	63,10	45,07
5	0,41	56,48	40,34
6	0,72	17,60	12,57
7	0,21	26,83	19,16
8	0,29	53,92	38,51
9	0,45	50,23	35,88
10	3,14	50,85	36,32
11	0,58	46,57	33,26
12	0,36	49,29	35,21
<b>Середнє значення</b>	<b>1,00</b>	<b>43,60</b>	<b>31,14</b>
<b>Стандартна помилка</b>	<b>0,30</b>	<b>4,00</b>	
<b>Середньоквадратичне відхилення</b>	<b>1,05</b>	<b>13,84</b>	
<b>Коефіцієнт варіації</b>	<b>105,2</b>	<b>31,7</b>	
<b>Min</b>	<b>0,21</b>	<b>17,60</b>	
<b>Max</b>	<b>3,14</b>	<b>63,10</b>	
<b>НІР<sub>0,5</sub></b>	<b>0,67</b>	<b>8,79</b>	

\*Показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук марганцю – 140 мг/кг ґрунту, ГДК заліза – не нормується [25]).

Вміст рухомих сполук марганцю у досліджуваних пробах варіював від 17,6 до 63,1 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом марганцю не виявлено, проте проби 4, 5, 8–10 характеризувались слабким забрудненням (табл. 3, рис. 7).

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук марганцю у відібраних пробах становив 31,7% та був одним з найменш варіабельних.

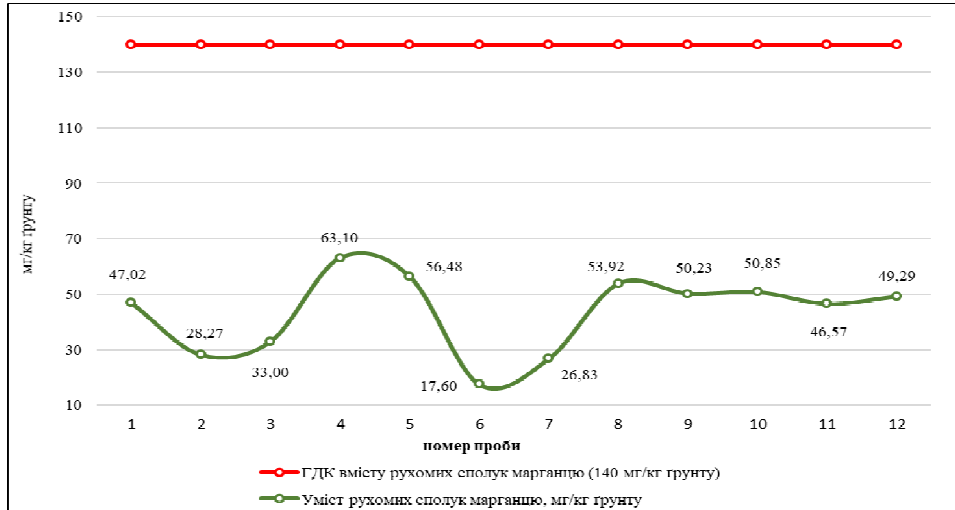


Рис. 7. Уміст рухомих сполук марганцю

За результатами проведених досліджень встановлено, що зразки 8 (ґрунт) та 9 (намулення), які було відібрані з однієї ділянки, мали ідентичний вміст свинцю та приблизно однаковий вмістом рухомих сполук кадмію, міді та марганцю. Зразок намулу у порівнянні з ґрунтом, характеризувався більшим вмістом рухомих сполук цинку, заліза та нікелю.

Слід зазначити що у зразку мулу відібраного на території с. Тягинка Тягинська ТГ Бериславський р-н Херсонська обл. відмічено перевищення гранично допустимої концентрації за вмістом свинцю (у 4,2 раза) та незначні перевищення за вмістом рухомих сполук кадмію, цинку та нікелю.

Як у намулах так і у мулах відібраних земель сільськогосподарського призначення відмічено вищий вміст забруднювачів ніж у ґрунтових зразках. Тому можемо припустити, що мул та намули, які переміщувались з потоком води внаслідок руйнування Каховської ГЕС, можуть призвести до забруднення ґрунтів на підтоплених територіях.

За результатами досліджень вмісту рухомих сполук важких металів у відібраних пробах ґрунту, намулу та мулу, встановлено кореляційні зв'язки між їх умістом (табл. 5).

Таблиця 5

Кореляції між умістом рухомих сполук важких металів у пробах ґрунту (мулу, намулу) відібраних на територіях Херсонського та Бериславського районів Херсонської області

Ознака	Свинець	Кадмій	Цинк	Мідь	Манган	Залізо	Нікель	Кобальт
Свинець	1							
Кадмій	0,73	1						
Цинк	0,80	0,75	1					
Мідь	0,78	0,93	0,91	1				
Манган	0,05	-0,20	0,17	0,04	1			
Залізо	0,66	0,88	0,77	0,92	-0,02	1		
Нікель	0,69	0,96	0,79	0,94	-0,23	0,87	1	
Кобальт	0,68	0,98	0,71	0,91	-0,22	0,87	0,97	1

У результаті проведених досліджень встановлено, що взаємозв'язок між вмістом рухомих сполук:

**свинцю** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від 0,05 до 0,80. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом цинку та міді ( $r = 0,80$  та  $0,78$  відповідно); слабший позитивний взаємозв'язок – з умістом кадмію ( $r = 0,73$ ). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = 0,05$ );

**кадмію** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,20$  до  $0,98$ . Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом кобальту, нікелю та міді ( $r = 0,99$ ;  $0,96$  та  $0,93$  відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом заліза цинку та свинцю ( $r = 0,88$ ;  $0,75$  та  $0,73$  відповідно); найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = -0,20$ );

**цинку** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $0,17$  до  $0,91$ . Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом цинку та вмістом міді та свинцю ( $r = 0,91$  та  $0,80$  відповідно); дещо слабший позитивний взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю, заліза, кадмію та кобальту ( $r = 0,79$ ;  $0,77$ ;  $0,75$  та  $0,71$  відповідно). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = 0,17$ );

**міді** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,04$  до  $0,94$ . Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом нікелю, кадмію, заліза, цинку та кобальту ( $r = 0,94$ ;  $0,93$ ;  $0,92$ ;  $0,91$  та  $0,91$  відповідно), дещо слабший позитивний зв'язок – з вмістом свинцю ( $r = 0,78$ ). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = -0,04$ );

**марганцю** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,23$  до  $0,17$ . З усіма рухомими сполуками важких металів встановлено слабку позитивну та негативну залежність;

**заліза** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,02$  до  $0,92$ . Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом заліза та вмістом: міді, кадмію, нікелю та кобальту ( $r = 0,92$ ;  $0,88$ ;  $0,87$  та  $0,87$  відповідно); дещо слабший позитивний взаємозв'язок цього показника виявлено з вмістом цинку ( $r = 0,77$ ). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = -0,02$ );

**нікелю** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,23$  до  $0,97$ . Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом кобальту, кадмію та міді ( $r = 0,97$ ;  $0,96$  та  $0,94$  відповідно), дещо слабший взаємозв'язок – з вмістом заліза та цинку ( $r = 0,87$  та  $0,79$  відповідно). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = -0,23$ );

**кобальту** та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від  $-0,22$  до  $0,98$ . Найтіснішу позитивну залежність показника відмічено з умістом кадмію та нікелю ( $r = 0,98$ ), дещо слабшу – з вмістом міді та заліза ( $r = 0,91$  та  $0,87$  відповідно). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем ( $r = -0,22$ ).

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено перевищення ГДК рухомих сполук свинцю у 4 пробах ґрунту (від 1,04 до 2,9 раза), пробах намулу (у 1,04 раза) та мулу (у 4,2 раза), кадмію – в одній пробі ґрунту (у 1,07 раза) та мулу (у 1,01 раза), нікелю та цинку – у пробі мулу (у 1,03 та 1,01 раза відповідно). За вмістом міді, марганцю та кобальту та перевищень гранично допустимих концентрацій у зразках ґрунту, намулу та мулу не виявлено.

Найвищий ступінь забруднення рухомими сполуками свинцю та кадмію виявлено в пробах ґрунту 2 та 11 відібраних на території с. Тягинка Бериславського району та с. Чернобаївка Херсонського району.

Зразок ґрунту і намулу, які було відібрано з однієї ділянки, мали ідентичний вміст свинцю та приблизно однаковий вмістом рухомих сполук кадмію, міді та марганцю. Зразок намулу у порівнянні з ґрунтом, характеризувався більшим вмістом рухомих сполук цинку, заліза та нікелю. У зразку мулу (відібраний на території с. Тягинка Тягинська ТГ Бериславський р-н. Херсонська обл.) відмічено перевищення гранично допустимої концентрації за вмістом свинцю (у 4,2 раза) та незначні перевищення за вмістом рухомих сполук кадмію, цинку та нікелю. Намул та мул містять вищий вміст забруднювачів ніж у ґрунтові зразки. Можемо припустити, що вони, переміщуючись з потоком води внаслідок руйнування Каховської ГЕС, можуть призвести до забруднення ґрунтів на підтоплених територіях.

За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність між вмістом всіх рухомих сполук досліджуваних важких металів за винятком сполук марганцю.

1. Підрив Каховської ГЕС: В «Укргідроенерго» попередньо оцінили втрати. URL: <https://news.vn.ua/pidryv-kakhovskoi-hes-v-ukrhydroenerhopperedno-otsinyly-vtraty/>. (дата звернення: 12.10.2023).
2. Каховське водосховище. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Каховське\\_водосховище](https://uk.wikipedia.org/wiki/Каховське_водосховище). (дата звернення: 12.10.2023).
3. Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>. (дата звернення: 12.10.2023).
4. Що чекає Південь України після руйнування Каховського водосховища. URL: <https://grivna.ua/publikatsii/sho-chekae-pivden-ukrayini-pislya-ruynuvannya-kahovskogo-vodoshovisha-06062023-100919>. (дата звернення: 12.10.2023).
5. Мул з дна Каховської ГЕС є небезпечним. URL: <https://ctrcenter.org/uk/mul-z-dna-kahovskoyi-ges-ye-nebezpechnum>. (дата звернення: 12.10.2023).
6. Катастрофа з глибин. Екологи попередили про несподіваний і небезпечний наслідок підриву Каховської ГЕС. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/popscience/pidriv-kahovskoji-ges-eksperti-rozpovili-pro-nespodivani-ta-zhahlivi-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50330424.html>. (дата звернення: 12.10.2023).
7. Знищення Каховської ГЕС: три глобальні загрози для людей, економіки та природи. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/znyschennya-kakhovskoyi-hes-naslidky-zahrozy/32484191.html>. (дата звернення: 12.10.2023).
8. Важкі метали з Каховського водосховища будуть у нас на сніданок? URL: <https://labprice.ua/nauka-dopomagae-tobi/vazhki-metaly-z-kahovskogo-vodoshovyshha-budut-u-nas-na-snidanok/>. (дата звернення: 12.10.2023).
9. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні





положення та їхнє практичне застосування : монографія. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. С. 107–124. **10.** Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Тішаєв І. В., Казанюк Т. А. Використання технологій геоінформаційних систем та дистанційне зондування землі для моніторингу водних об'єктів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1 (33). С. 78–88. **11.** Сухарев С. М. Визначення деяких важких металів у донних відкладах річки Боржава методом атомно-абсорбційної спектроскопії. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Хімія*. 2015. № 1 (33). С. 45–49. **12.** Войтюк Ю. Ю. та ін. Вміст та форми знаходження важких металів у донних відкладах в зоні впливу промислових джерел забруднення. *Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Геологія. Географія*. 2014. № 16. С. 208–214. **13.** Підрив Каховської ГЕС: у Greenpeace повідомили про затоплення 32 об'єктів з хімікатами, нафтою та бензином. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/pidriv-kahovskojji-ges-greenpeace-ocinili-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50332171.html>. (дата звернення: 12.10.2023). **14.** Линник П. М., Малиновська Л. О., Зубенко І. Б., Зубко О. В. Важкі метали у водоймах Дніпра: форми міграції та їх трансформація під впливом комплексоутворення й адсорбції. URL: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx/alm7.rar?id=33b9cc7f-2130-49cc-b389-dbdcbf54ea74>. (дата звернення: 12.10.2023). **15.** Федоненко О. В., Єсіпова Н. Б., Шарамок Т. С., Маренков О. М. Гідроекологічний стан Каховського водосховища. URL: [https://www.researchgate.net/publication/323015807\\_Gidroekologicnij\\_stan\\_Kahovskogo\\_vodoshovisa](https://www.researchgate.net/publication/323015807_Gidroekologicnij_stan_Kahovskogo_vodoshovisa). (дата звернення: 12.10.2023). **16.** Обухов Є. В. Каховському водосховищу – 55 років. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 119–125. **17.** ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **18.** ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **19.** ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **20.** ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **21.** ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної

спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **22.** ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2008. 4 с. **23.** ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **24.** ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **25.** Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова від 17.12.2021 р. *Урядовий кур'єр*. 2021. № 243. **26.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. К., 2019. 108 с.

## REFERENCES:

1. Pidryv Kakhovskoi HES: V «Ukrhydroenerho» poperedno otsynyly vtraty. URL: <https://news.vn.ua/pidryv-kakhovskoi-hes-v-ukrhydroenerho-poperedno-otsynyly-vtraty/>. (data zvernennia: 12.10.2023). 2. Kakhovske vodoshkovyshche. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Kakhovske\\_vodoshkovyshche](https://uk.wikipedia.org/wiki/Kakhovske_vodoshkovyshche). (data zvernennia: 12.10.2023). 3. Pidryv Kakhovskoi HES: chotyry katehorii naslidkiv ta plan podalshykh dii. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>. (data zvernennia: 12.10.2023). 4. Shcho chekaie Pivden Ukrainy pislia ruynuvannia Kakhovskoho vodoshkovyshcha. URL: <https://grivna.ua/publikatsii/sho-chekaie-pivden-ukrayini-pislya-ruynuvannya-kahovskogo-vodoshovisha-06062023-100919>. (data zvernennia: 12.10.2023). 5. Mul z dna Kakhovskoi HES ye nebezpechnym. URL: <https://ctrcenter.org/uk/mul-z-dna-kahovskoyi-ges-ye-nebezpechnym>. (data zvernennia: 12.10.2023). 6. Katastrofa z hlybyn. Ekolohy poperedyly pro nespodivanyi i nebezpechni naslidok pidryvu Kakhovskoi HES. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/popscience/pidriv-kahovskoji-ges-eksperti-rozpovili-pro-nespodivani-ta-zhahlivi-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50330424.html>. (data zvernennia: 12.10.2023). 7. Znyshchennia Kakhovskoi HES: try hlobalni zahrozy dlia liudei, ekonomiky ta pryrody. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/znyshchennya-kakhovskoyi-hes-naslidky-zahrozy/32484191.html>. (data zvernennia: 12.10.2023). 8. Vazhki metaly z



Kakhovskoho vodoskhovyshcha budut u nas na snidanok? URL: <https://labprice.ua/nauka-dopomagae-tobi/vazhki-metaly-z-kahovskogo-vodoskhovyshcha-budut-u-nas-na-snidanok/>. (data zvernennia: 12.10.2023).

**9.** Dudnyk S. V., Yevtushenko M. Yu. Vodna toksykolohiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia : monohrafiia. Kyiv : Vyd-vo Ukrainського fitosotsiologichnoho tsentru, 2013. S. 107–124. **10.** Zatserkovnyi V. I., Oberemok N. V., Tishaiev I. V., Kazaniuk T. A. Vykorystannia tekhnolohii heoinformatsiinykh system ta dystantsiine zonduvannia zemli dlia monitorynhu vodnykh ob'ektiv. *Naukoiemni tekhnolohii*. 2017. № 1 (33). S. 78–88. **11.** Sukharev S. M. Vyznachennia deiakyykh vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh richky Borzhava metodom atomno-absorbtsiinoi spektroskopii. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Ser. Khimiia*. 2015. № 1 (33). S. 45–49. **12.** Voitiuk Yu. Yu. ta in. Vmist ta formy znakhodzhennia vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh v zoni vplyvu promyslovykh dzherel zabrudnennia. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Ser. Heolohiia. Heohrafiia*. 2014. № 16. S. 208–214. **13.** Pidryv Kakhovskoi HES: u Greenpeace povidomyly pro zatoplennia 32 ob'ektiv z khimikatamy, naftoiu ta benzynom. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/pidriv-kahovskoji-ges-greenpeace-ocinili-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50332171.html>. (data zvernennia: 12.10.2023). **14.** Lynnyk P. M., Malynovska L. O., Zubenko I. B., Zubko O. V. Vazhki metaly u vodoimakh Dnipra: formy mihratsii ta yikh transformatsiia pid vplyvom kompleksoutvorennia y adsorbtsii. URL: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx/alm7.rar?id=33b9cc7f-2130-49cc-b389-dbdcbf54ea74>. (data zvernennia: 12.10.2023). **15.** Fedonenko O. V., Yesipova N. B., Sharamok T. S., Marenkov O. M. Hidroekologichnyi stan Kakhovskoho vodoskhovyshcha. URL: [https://www.researchgate.net/publication/323015807\\_Gidroekologicnij\\_stan\\_Kahovskogo\\_vodoshovisa](https://www.researchgate.net/publication/323015807_Gidroekologicnij_stan_Kahovskogo_vodoshovisa). (data zvernennia: 12.10.2023). **16.** Obukhov Ye. V. Kakhovskomu vodoskhovyshchu – 55 rokiv. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*. 2012. № 10. S. 119–125. **17.** DSTU 4770.1:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marhantsiu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashysi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **18.** DSTU 4770.2:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashysi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **19.** DSTU 4770.3:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiiu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashysi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **20.** DSTU 4770.4:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk zaliza v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashysi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi

спектрофотометрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **21**. DSTU 4770.5:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **22**. DSTU 4770.6:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2008. 4 s. **23**. DSTU 4770.7:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk nikeliu v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **24**. DSTU 4770.9:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **25**. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn : Postanova vid 17.12.2021 r. *Uriadovyi kurier*. 2021. № 243. **26**. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. K., 2019. 108 s.

---

**Hryshchenko O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific Secretary, Palamarchuk R. P., Acting General Director (State institution "Institute of Soil Protection of Ukraine", Kyiv), Melnyk M. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Acting Director (Kherson Branch of the State Institution "Institute of Soil Protection of Ukraine", Kherson), Zhuchenko S. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director (Dnipropetrovsk Branch of the State Institution "Institute of Soil Protection of Ukraine", Dnipro), Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, n.m.voznyuk@nuwm.edu.ua)**

## **ENVIRONMENTAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LANDS IN THE KHERSON REGION WHICH WERE FLOODED AS A RESULT OF THE DESTRUCTION OF KAKHOVKA HPP**

**The article highlights the ecological danger of flooding of agricultural land as a result of the destruction of the Kakhovka HPP**

dam. The results of experimental studies of the content of mobile compounds of heavy metals in ten soil samples, silt and silt samples taken in the territory of the Kherson and Beryslav districts of the Kherson region are given.

Based on the results of the research, it was established that the maximum limit of mobile lead compounds was exceeded in 4 soil samples (from 1.04 to 2.9 times), silt samples (by 1.04 times) and silt (by 4.2 times), cadmium – by per soil sample (1.07 times) and sludge (1.01 times), nickel and zinc – in a sludge sample (1.03 and 1.01 times, respectively). According to the content of copper, manganese and cobalt and exceeding the maximum allowable concentrations in the samples of soil, silt and silt were not detected.

The highest degree of contamination with mobile compounds of lead and cadmium was found in soil samples 2 and 11 taken on the territory of the village. Tyaginka of Beryslav district and village Chornobaivka, Kherson district.

A sample of soil and silt, which was taken from the same site, had an identical content of lead and approximately the same content of mobile compounds of cadmium, copper and manganese. Compared to the soil, the silt sample was characterized by a higher content of mobile compounds of zinc, iron, and nickel. In a sample of sludge (taken from the territory of the village of Tiahynka, Tiahynka TC, Beryslav district, Kherson region), an excess of the maximum permissible concentration in terms of lead content (by 4.2 times) and slight excesses in the content of mobile compounds of cadmium, zinc and nickel. Silt and silt contain a higher content of pollutants than soil samples. We can assume that they, moving with the flow of water as a result of the destruction of the Kakhovka HPP, can lead to soil pollution in flooded areas.

According to the results of the correlation analysis, an extremely strong dependence was established between the content of all mobile compounds of the investigated heavy metals, with the exception of manganese compounds.

**Keywords:** destruction of the dam of the Kakhovka HPP; soil; silt; alluvium; pollutants; heavy metals; mobile compounds; lead; cadmium; iron; magnesium; zinc; cobalt; copper; nickel; danger class; MPC.