
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 550.4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ В РАЙОНІ РОЗТАШУВАННЯ ПІСКОВИХ МАЙДАНЧИКІВ БОРТНИЦЬКОЇ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ

Бойко О.В.¹, Лук'янова В.В.^{1,2}, Дерман В.А.¹, Туцький Д.Г.¹, Сорочинська О.Л.²
¹ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища» Національної академії наук України
пр. Академіка Палладіна, 34А, 03142, м. Київ
²Державний університет інфраструктури та технологій
вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ
igns@ukr.net, ellena06.84@ukr.net

Вплив антропогенного забруднення на ґрунтовий покрив є досить високим за сучасних умов розвитку людства. Особливу увагу займає проблема забруднення ґрунтового покриву важкими металами на територіях прилеглих до промислових підприємств, очисних споруд, автомагістралей та територій, що зазнали впливу військових дій.

Бортницька станція аерації у м.Києві є важливим стратегічним об'єктом, який забезпечує очистку стічних вод мегаполіса. Технічний стан піскових майданчиків, необхідність у збільшенні проектної потужності функціонування очисних споруд, недостатня площа для складування вловленого піску, а також відсутність в вітчизняних реаліях способів його безпечної утилізації, призводить до забруднення ґрунтового покриву важкими металами не лише території Бортницької станції аерації, але й прилеглої до неї місцевості. Це призводить до неконтрольованого забруднення металами ґрунтів прилеглих територій, наземних та підземних водних об'єктів.

В роботі проведено еколого-геохімічний моніторинг ґрунтів території, що прилягає до майданчику уловлювачів та складування піску Бортницької станції аерації. Отримані дані свідчать, що формування ґрунтового покриву в його межах відбувається, загалом, на техногенних відкладах і лише з південного боку від уловлювачів піску спостерігаються поверхневі відклади з вираженим гумусовим шаром, тим самим морфологічно відповідають ґрунтовому покриву.

Отримані результати геохімічного аналізу ґрунтів із врахуванням аналізу геохімічних формул, дають змогу дійти висновку, що показник забруднення за провідними елементами забруднення (Ag, Hg, Sn, Cu, Cd, Pb) у 2023-му та 2024-му роках практично ідентичний. Спостерігається незначне зменшення концентрацій. Вірогідно, ідентичність елементів забруднення в досліджуваних пробах свідчить про їх генетичний зв'язок, що і є, в свою чергу, чітким аргументом впливу відходів на прилеглу територію. Здійснено порівняльний аналіз санітарно-гігієнічної оцінки динаміки забруднення ґрунтів важкими металами за попередні «моніторингові» роки (2019-2024 р.). Аналіз показав, що за геохімічними показниками моніторингових досліджень спостерігається незначне покращення екологічної ситуації на територіях, які є прилеглими до піскових майданчиків БСА (порівняно з попередніми роками). *Ключові слова:* геохімія, забруднення ґрунтів важкими металами, ремедіація ґрунтів, еколого-геохімічний моніторинг, Бортницька станція аерації.

Results of ecological and geochemical monitoring of soil contamination with heavy metals in the area of sand sites of bortnychi aeration station. Boiko O., Lukianova V., Derman V., Tutskyi D., Sorochynska O.

The impact of anthropogenic pollution on the soil cover is quite high under the current conditions of human development. Of particular concern is the problem of heavy metal contamination of soil cover in areas adjacent to industrial enterprises, wastewater treatment plants, highways and areas affected by military operations.

The Bortnytsia Aeration Station in Kyiv is an important strategic facility that provides wastewater treatment for the metropolis. The technical condition of the sand areas, the need to increase the design capacity of the treatment facilities, insufficient area for storing captured sand, and the lack of safe disposal methods in the domestic realities lead to heavy metal contamination of the soil cover not only on the territory of the Bortnychi Aeration Station but also in the surrounding area. This leads to uncontrolled metal contamination of the soil of adjacent territories, surface and underground water bodies.

The study conducted ecological and geochemical monitoring of the soils of the territory adjacent to the site of sand traps and storage of the Bortnytsia Aeration Station. The data obtained indicate that the formation of the soil cover within its boundaries is generally based on anthropogenic sediments, and only to the south of the sand traps are surface sediments with a pronounced humus layer, thus morphologically corresponding to the soil cover.

The results of the geochemical analysis of soils, taking into account the analysis of geochemical formulas, allow us to conclude that the pollution indicator for the leading pollutants (Ag, Hg, Sn, Cu, Cd, Pb) in 2023 and 2024 is almost identical. There is a slight decrease in concentrations. It is likely that the identity of the pollution elements in the samples under study indicates their genetic link, which is, in turn, a clear argument for the impact of waste on the surrounding area.

A comparative analysis of the sanitary and hygienic assessment of the dynamics of soil contamination with heavy metals for the previous "monitoring" years (2019-2024) was carried out. The analysis showed that, according to the geochemical indicators of the monitoring studies, there is a slight improvement in the environmental situation in the areas adjacent to the BSA sand sites (compared to previous years). *Key words:* geochemistry, soil pollution with heavy metals, soil remediation, ecological and geochemical monitoring, Bortnychi aeration station.

Постановка проблеми. Бортницька станція аерації (БСА) – складний комплекс інженерних споруд, обладнання та комунікацій, призначений для повної біологічної очистки стічних вод. Будівництво станції проводилось по мірі розвитку та розбудови території Київської агломерації ще з 60-х років ХХ століття. Проектна потужність станції становить 1,8 млн.м³ на добу. Проте, на сьогоднішній день, фактична витрата стічних вод, що надходять на очистку перевищує проектно закладені потужності, що передусім пов'язано з стрімкою урбанізацією території міста Києва та прилеглих до нього населених пунктів.

Важливими спорудами в забезпеченні функціонування станції аерації є піскові майданчики, які призначені для зневоднення піску, що затримується в пісכולках. Пісок із піскових майданчиків двічі на рік завантажується на автотранспорт і вивозиться на майданчик складування піску для його подальшої передачі на утилізацію. Безпосередньо піскові майданчики та місця складування піску є потенційним джерелом забруднення прилеглих до них територій, оскільки осад, що потрапляє до майданчиків, з високою імовірністю може містити в своєму складі забруднюючі речовини, зокрема важкі метали. Це призводить до неконтрольованого забруднення ґрунтів, наземних та підземних водних об'єктів [1-2].

Враховуючи вищевикладене, виникає необхідність в проведенні детального еколого-геохімічного моніторингу забруднення ґрунтів важкими металами прилеглих, до піскових майданчиків, територій з метою якнайшвидшого усунення наслідків та мінімізації шкоди навколишньому середовищу та населенню.

Актуальність дослідження. Ґрунт є кінцевим накопичувачем практично всіх шкідливих речовин, які потрапляють у нього не лише через забруднення повітря та гідросфери, а й через недбалу хазяйські діяльність людини [3-5]. Тому актуальним постає питання вивчення геохімічних характеристик ґрунту, на який подіяла антропогенна діяльність людини.

Технічний стан піскових майданчиків, необхідність у збільшенні проектної потужності функціонування очисних споруд, недостатня площа для складування вловленого піску, а також відсутність в вітчизняних реаліях способів його безпечної утилізації, призводить до забруднення ґрунтового покриву важкими металами не лише території БСА, але й прилеглої до неї місцевості.

Визначення пріоритетних задач при обстеженні забруднених територій, а також оптимальних підходів для мінімізації негативного впливу на ґрунти і розробка організаційно-технічних методів їх ремедіації є доволі актуальним питанням, оскільки вже в найближчому майбутньому дана проблема може стати справжнім викликом для екологічного стану Київської агломерації.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою

даної статті є узагальнення результатів проведених моніторингових еколого-геохімічних дослідження на предмет забруднення важкими металами ґрунтів території, що прилягає до майданчику уловлювачів та складування піску БСА. В майбутньому, результати робіт допоможуть не тільки оцінити актуальний стан забруднення ґрунту в межах майданчиків вловлювання та складування піску, але й розробити методологічні та організаційно-технічні заходи, які дозволять мінімізувати можливий негативний вплив на прилеглі до них території.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, досвід еколого-геохімічного дослідження територій майданчиків вловлювання та складування піску і прилеглих до них територій важкими металами доволі обмежений [6-9].

Результати досліджень з оцінювання екологічного стану земель поблизу мулових полів № 1 і № 3 БСА на території Золочівської сільської громади Бориспільської району Київської області показали наявність у межах виокремлених поблизу мулових полів ділянок зафіксованого раніше підвищеного вмісту важких металів у ґрунтах, порівняно з фоновим, як за їх валовим вмістом, так і за вмістом рухомих форм [7, 9]. Проводилось дослідження екологічного стану накопичених осадів стічних вод м. Києва, де досліджувався хімічний склад, наявність поживних для сільськогосподарських культур речовин, чисельність мікроорганізмів та рівні забруднення важкими металами і радіонуклідами осадів стічних вод очисних споруд м. Київ [10, 11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблема забруднення ґрунту важкими металами в районі розташування піскових майданчиків та місць їх складування слабо вивчена, та тим самим, не висвітлена у сучасних наукових часописах та спеціалізованих видань.

На сьогодні, велика увага приділяється забрудненню сільськогосподарських угідь, які розташовані в районі мулових майданчиків (далі – карт). Проте, забруднення ґрунту від функціонування піскових майданчиків є не менш важливим, ніж від діяльності мулових карт. Саме тому це питання потребує детального вивчення та розробки, на підставі отриманих результатів досліджень, комплексу заходів, що спрямовані на мінімізацію, запобігання та уникнення подальшого забруднення геохімічного середовища.

Новизна. В роботі вперше визначено геохімічні характеристики ґрунтів забруднених важкими металами в районі піскових майданчиків БСА та визначено сумарний показник забруднення ґрунту (СПЗ), проведено моніторинг вмісту важких металів за період з 2019 по 2024рр.

Методологічне або загальнонаукове значення. В майбутньому, за результатами отриманими в статті та в наступні роки планується провести оцінку акту-

ального стану забруднення ґрунту в межах майданчиків вловлювання та складування піску, і розробити методологічні та організаційно-технічні заходи, які дозволять мінімізувати можливий негативний вплив на прилеглі до них території, а саме на ґрунти та підземні і наземні водні об'єкти.

Метрологічне забезпечення лабораторних робіт. Лабораторні дослідження проб ґрунтів були виконані в атестованій санітарно-промисловій лабораторії ТОВ «ДОВКІЛЛЯ». При вимірюванні застосовані такі основні засоби вимірювальної техніки: спектрофотометри DR-2800; атомно-абсорбційний АА8500; фотометр фотоелектричний КФК-3; ваги лабораторні важільні АДВ-200 № 452; ВЛР- 200; іонімір «Sension1».

Викладення основного матеріалу. З метою проведення еколого-геохімічного моніторингу забруднення ґрунтів важкими металами в районі піскових майданчиків БСА було проведено польові, лабораторні та камеральні роботи.

Відбір ґрунтів в межах майданчика уловлювачів піску з метою встановлення концентрації важких металів здійснювався у шести пунктах моніторингової мережі (рис. 1). Відбір проб ґрунту здійснювався за методикою [12].

Коротка характеристика місць відбору проб за результатами ландшафтного обстеження: результат ландшафтного обстеження майданчика, який є безпосередньо дотичним до розташування уловлювачів піску показав, що формування ґрунто-

вого покриву в його межах відбувається, загалом, на техногенних відкладах і лише з південного боку від уловлювачів піску спостерігаються поверхневі відклади з вираженим гумусовим шаром, тим самим морфологічно відповідають ґрунтовому покриву. На захід від карт-уловлювачів, під час обстеження, спостерігались відвали виловленого піску значних об'ємів, які були раніше створені та підготовлені для подальшої утилізації. На самих відвалах піску, як і навколо уловлювачів ґрунтовий покрив ще не сформований, лише локально в деяких місцях спостерігається малопотужний (2-4 см) шар супіску з органічними рештками, який являє собою майбутній гумусовий шар.

У зв'язку з поліелементним характером забруднення поверхневих відкладів важкими металами, для визначення рівнів забруднення ґрунтів хімічними елементами застосовувалась методика сумарного показника забруднення (СПЗ або Z_c) згідно [13, 14]. Дана методика передбачає розрахунок сумарного показника (Z_c) рівня техногенного забруднення ґрунту хімічними елементами відносно їх фонового вмісту в ґрунтах (C_f) з метою подальшого порівняння цього показника із шкалою рівнів забруднення, а саме: $Z_c=8-16$ од. – допустимий; $Z_c=16-32$ од. – помірно-небезпечний; $Z_c=32-128$ од. – небезпечний; $Z_c=$ більше 128 од. – надзвичайно небезпечний.

У свою чергу, сумарний показник забруднення (Z_c) розраховувався за формулою:



Рис. 1. Розташування географічних координат контрольних точок мережі моніторингу відносно місцезнаходження об'єкта

$$Z_c = \sum C_i / C_\phi - (n-1), \quad (1)$$

де, C_i – вміст хімічного елемента в пробі;

C_ϕ – фоновий вміст хімічного елемента;

n – кількість хімічних елементів в пробі з аномальним вмістом ($C_i/C_\phi > 2$).

З метою надання геохімічної характеристики поверхневим відкладам відібрані проби були проаналізовані наближено кількісним спектральним та

атомно-адсорбційними аналізами. Отримані дані наведено у таблиці 1.

Із табл. 1 видно, що за результатами аналітичних досліджених проб ґрунтів із 32 досліджуваних елементів тільки Ag, Hg, Sn, Cd і в поодиноких пробах Cu, Pb, Ba утворюють аномальні концентрації ($C_i > 2 C_\phi$). Половина із цих елементів відносяться до I-го (Hg, Cd, Zn, Pb) та II-го (Cu) класів небезпеки. Аномальні концентрації таких елементів як Hg, Ag,

Таблиця 1

**Результати дослідження концентрацій хімічних елементів в пробах ґрунтів
в районі майданчика уловлювачів піску.**

№ п.п.	№ проби	Місце відбору та матеріал проби	Хімічні елементи в мг/кг									
			Ti	Mn	P	V	Zr	Ba	Cr	Ga	Zn	Ni
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<u>1</u>	<u>1</u>	Ґрунт піщаний	4192	510	710	71	250	575	52	4	62	18
<u>2</u>	<u>2</u>	Ґрунт піщаний	4455	480	665	62	242	650	47	3	57	21
<u>3</u>	<u>3</u>	Ґрунт піщаний	3485	390	325	54	273	507	72	2	47	14
<u>4</u>	<u>4</u>	Ґрунт піщаний	5190	425	345	37	345	490	48	4	49	14
<u>5</u>	<u>5</u>	Ґрунт піщаний	4990	540	540	61	310	395	69	3	81	13
<u>6</u>	<u>6</u>	Ґрунт піщаний	4590	510	570	54	315	400	66	4	80	11
Середній вміст:			4484	476	526	53	289,2	503	59	3,3	62,6	15,2
Кк*** (відносно фону):			0,99	1,19	0,66	1,41	0,83	1,68	1,18	0,55	1,0	0,76
Фон ґрунтів району робіт:			4500	400	800	40	350	300	50	6,0	60	20
ГДК ґрунтів сільськогосподарського призначення (в країнах Європи):				1500 (300)		150 (50)			100 (100)		110 (300)	100 (50)
№ п.п.	№ проби	Місце відбору та матеріал проби	Хімічні елементи в мг/кг									
			Cu	Co	Pb	Sn	Ag	Mo	Ge	Nb	Y	Yb
1	2	3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<u>1</u>	<u>1</u>	Ґрунт піщаний	33	7	13	4	0,05	1	<1,2	17	15	2,2
<u>2</u>	<u>2</u>	Ґрунт піщаний	35	8	15	5	0,04	1	<1,2	14	12	2,1
<u>3</u>	<u>3</u>	Ґрунт піщаний	29	6	12	5	0,04	1	<1,2	18	11	2,2
<u>4</u>	<u>4</u>	Ґрунт піщаний	33	2	15	2	0,04	1,1	<1,2	18	13	2,0
<u>5</u>	<u>5</u>	Ґрунт піщаний	34	3	28	2	0,09	1,2	<1,2	21	17	2,7
<u>6</u>	<u>6</u>	Ґрунт піщаний	41	2	30	3	0,08	1,3	<1,2	21	17	2,8
Середній вміст:			34,2	4,7	18,8	3,5	0,057	1,1	<1,2	18,2	14,2	2,33
Кк*** (відносно фону):			1,71	0,58	1,26	1,75	1,89	0,73	1,0	1,21	0,94	1,55
Фон ґрунтів району робіт:			20	8,0	15	2,0	0,03	1,5	1,0	15	15	1,5
ГДК ґрунтів сільськогосподарського призначення (в країнах Європи):			32 (100)	50	32 (100)	50		5				

Закінчення табл. 1

№ п.п.	№ проби	Місце відбору та матеріал проби	Хімічні елементи в мг/кг												СПЗ**
			La	Ce	Sc	Li	Sr	Cd*	Hg*	Be	As	Au	U	Sb	
1	2	3	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
<u>1</u>	<u>1</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<30	<40	<10	25	187	0,3	0,1	<3	<50	<5	<50	<20	3,86
<u>2</u>	<u>2</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<30	<40	<10	25	141	0,3	0,06	<3	<50	<5	<50	<20	3,66
<u>3</u>	<u>3</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<30	<40	<10	26	106	0,4	0,05	<3	<50	<5	<50	<20	2,5
<u>4</u>	<u>4</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<20	<30	<10	26	122	0,4	0,08	<3	<50	<5	<50	<20	2,29
<u>5</u>	<u>5</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<20	<30	<10	28	151	0,9	0,08	<3	<50	<5	<50	<20	5,1
<u>6</u>	<u>6</u>	<i>Грунт піщаний</i>	<20	<30	<10	29	164	1,1	0,09	<3	<50	<5	<50	<20	8,49
<i>Середній вміст:</i>			<20	<30	<10	26,5	145,2	0,57	0,077	<3	<50	<5	<50	<20	2,2
<i>Кк*** (відносно фону):</i>			1,0	1,0	1,0	1,77	1,45	1,13	2,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
<i>Фон ґрунтів району робіт:</i>			25	30	8,0	15	100	0,5	0,035	2,0	<50	<5	<50	<20	
<i>ГДК ґрунтів сільськогосподарського призначення (в крайних Європі):</i>								4 (3)	2,1	(10) **	10 (20)			4,5 (5)	

Примітки:

* – визначення хімічних елементів виконано атомно-адсорбційним аналізом;

** – сумарний показник забруднення ґрунту (СПЗ) розраховується тільки для проб з аномальним вмістом хімічних елементів за формулою: $Z_c = \sum C_i / C_{\phi} - (n - 1)$, де C_i – вміст хімічного елементу в пробі, C_{ϕ} – фоновий вміст хімічного елементу в ґрунтах; n – кількість хімічних елементів в пробі з аномальним вмістом ($C_i/C_{\phi} > 2$); 8-16 – допустимий рівень забруднення; 16-32 – помірно-небезпечний рівень; 32-128 – небезпечний рівень;

*** – коефіцієнт концентрації хімічного елементу (Кк) – це відношення його середнього вмісту в ґрунті (C_i) до його фоновому вмісту (C_{ϕ}), ($KK = C_i/C_{\phi}$);

1 – жирним шрифтом виділені аномальні вмісти елементів, концентрація яких перевищує фоновий вміст в ґрунтах району робіт більше ніж у 2 рази.

Sn можна спостерігати у 50% проб – це провідні елементи забруднення (елементи-індикатори). В свою чергу, аномальні концентрації таких елементів, як Cd, Pb, Cu зустрічаються лише в поодиноких пробах (25% проб і менше) – це супутні елементи забруднення.

Концентрація Hg у відібраних літохімічних пробах коливається від 0,05 до 0,1 мг/кг при середньому значенні в 0,077 мг/кг, що в 2,19 рази перевищує фонове значення для ґрунтів району робіт – 0,035 мг/кг, та перевищує ГДК для ґрунтів сільськогосподарського призначення – 2,1 мг/кг.

Концентрація Ag у відібраних пробах коливається від 0,04 до 0,09 мг/кг при середньому значенні в 0,057 мг/кг, що в 1,89 разів перевищує фонове значення для ґрунтів району робіт – 0,03 мг/кг.

Концентрація Sn у відібраних пробах коливається від 2 до 5 мг/кг при середньому значенні в 3,5 мг/кг, що в 1,75 разів перевищує фонове значення для ґрунтів району робіт – 2 мг/кг.

Вміст Cd, в свою чергу, коливається від 0,3 до 1,1 мг/кг при середньому значенні в 0,57 мг/кг, що практично в 1,13 разів перевищує фонове значення – 0,5 мг/кг при ГДК в 4 мг/кг.

Вміст Cu коливається від 29 до 41 мг/кг при середньому значенні в 34,2 мг/кг, що практично в 1,71 разів перевищує фонове значення – 20 мг/кг при ГДК в 32 мг/кг.

Концентрація Pb варіюється від 12 до 30 мг/кг при середньому значенні в 18,8 мг/кг, що в 1,26 разів перевищує фонове значення – 15 мг/кг при ГДК в 32 мг/кг.

В свою чергу, вміст Ba у пробах коливається від 495 до 650 мг/кг при середньому значенні в 503 мг/кг. Перевищення – в 1,68 разів при фоновому значенні в 300 мг/кг.

Крім того, можна спостерігати, що максимальні концентрації елементів-індикаторів в ґрунтах виявлені в точках відбору проб № 5 та № 6. Дані контрольні пункти знаходяться на ґрунтовій «накатаній» дорозі, через яку, власне, і вивозяться спецтехнікою відходи з піскових майданчиків.

Отже, геохімічне забруднення досліджуваних проб (2024 рік) можна відобразити у вигляді упорядкованого ряду хімічних елементів (за середньою концентрацією):

$$Ag_{1,89} - Hg_{2,19} - Sn_{1,75} - Cu_{1,71} - Cd_{1,13} - Pb_{1,26} \quad (2)$$

Беручи до уваги дослідження за 2023 рік, показник геохімічного забруднення досліджуваних проб має наступний вигляд:

$$Ag_{2,0} - Hg_{2,22} - Sn_{1,9} - Cu_{1,73} - Cd_{1,2} - Pb_{1,29}$$

Результати порівняння середніх концентрацій провідних хімічних елементів (Ag, Hg, Sn, Cu, Cd, Pb) за поточний та попередні (2019 – 2024) роки проведення моніторингових робіт.

Таблиця 2

Динаміка зміни концентрацій основних хімічних елементів-забруднювачів в ґрунтах прилеглих територій до майданчика уловлювачів піску БСА за 2019-2024 роки

№	Хімічний елемент	Фоновий вміст у ґрунтах району робіт	Середній вміст хімічних елементів в мг/кг						Динаміка забруднення
			По роках (середнє значення)						
			2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік	2024 рік	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Hg	0,035	0,11	0,1	0,08	0,078	0,078	0,077	Зменшення
2	Cd	0,5	1,1	0,9	0,7	0,62	0,6	0,57	Зменшення
3	Cu	20	40	36	36	35,8	34,5	34,2	Зменшення
4	Sn	2	4	3,8	4,2	4,2	3,8	3,5	Зменшення
5	Pb	15	25	24	21	20,2	19,3	18,8	Зменшення
6	Zn	60	116	96	71	67	66,5	62,6	Зменшення
7	Ag	0,03	0,24	0,12	0,08	0,063	0,061	0,057	Зменшення
8	Cr	50	60	54	60	60	58,5	59,0	Практично без змін

Із табл. 2 видно, що середня концентрація провідних елементів забруднення в ґрунтах біля уловлювачів піску має тенденцію до зменшення. Дане зменшення незначне, але воно свідчить про стабілізацію процесу забруднення. Порівняння даних результатів дозволяє спрогнозувати динаміку негативного впливу функціонування піскових майданчиків на прилеглу територію.

Висновки. Підсумовуючи отримані результати геохімічного аналізу ґрунтів та враховуючи аналіз геохімічних формул, можна дійти висновку, що показник забруднення за провідними елементами забруднення (Ag, Hg, Sn, Cu, Cd, Pb) у 2023-му та 2024-му роках практично ідентичний. Спостерігається незначне зменшення концентрацій. На думку авторів, ідентичність елементів забруднення в досліджуваних пробах свідчить про їх генетичний зв'язок, що і є, в свою чергу, чітким аргументом впливу відходів БСА на прилеглу територію. Зауважимо, що найбільш ймовірними варіантами потрапляння важких металів із виловленого піску до ґрунтів прилеглої території є вітрова ерозія відвалів та механічне пере-

міщення виловленого піску з метою його подальшого вивезення та утилізації.

За результатами розрахунку СПЗ в досліджуваних пробах його значення коливалось від 2,29 до 8,49 од. при середньому значенні в 2,2 од., що відповідає допустимому рівню забруднення – до 16 од. (див. примітки табл. 1).

Отже, виходячи із вищенаведеного, можна дійти висновку, що негативний екологічний вплив уловлювачів піску БСА та відвалів на ґрунти прилеглих територій відповідає допустимому рівню забруднення.

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані в статті результати можуть бути основою для розроблення регіональних природоохоронних програм, спрямованих на зменшення рівня антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, а також порівняльної оцінки техногенного навантаження на ґрунти України та для розробки методологічних та організаційно-технічних заходів, які дозволять мінімізувати можливий негативний вплив на прилеглі до мулових майданчиків території.

Література

1. Л. О. Горбатюк, О. О. Пасічна, О. М. Арсан та ін. Особливості акумуляції фосфору гідрофітами водойм в районі Бортницької станції аерації (м. Київ). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія* / за ред. М. М. Барна, К. С. Волков, В. В. Грубінко [та ін.]. Тернопіль: ТНПУ, 2014. – Вип. 1 (58). С. 20–25.
2. Yatsiuk M., Shevchenko A., Bozhenko R., Lyutnitsky S. The effects of silt fields of Bortnytska aeration station on ecological state of land and water in the adjacent areas. *Land Reclamation and Water Management*. 2021. № 2. P. 114 – 128. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-292>.
3. Delehan-Kokaiko, S., Slabkiy, G., Lukianova, V., & Anpilova, Y. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. 34(2). С. 43–52. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52>
4. Наконечний І.В., Літвак О.А., Літвак С.М., Маринець О.М. Аналіз чинників, що впливають на процес біоре mediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Екологічні науки* № 4(49). 2023. С. 114-122. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.15>
5. Кривицька І.А. Вплив підприємства машинобудівельного профілю на екологічний стан ґрунтового покриття суміжних територій. *Екологічні науки* № 2(25), 2019. С. 89-93 <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-13>

6. Методи геоморфологічних досліджень: навч. посібник / Галина Байрак. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2018. 292 с.
7. Методи геоекологічних досліджень: навчально-методичний посібник. Войтків Петро, Іванов Євген Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2022. 106 с.
8. Рибалова О.В., Мацак А.О., Курочка М.О. Екологічна небезпека забруднення ґрунтів важкими металами. *The 5th International scientific and practical conference "Innovative development of science, technology and education" (February 15-17, 2024)* Perfect Publishing, Vancouver, Canada, 2024. p. 239 – 248
9. Клос В.Р. та ін. Звіт за темою: «Моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами на майданчику уловлювачів піску Бортницької станції аерації», ТОВ «ГЕОТЕХНОЛОГІЇ», Київ, 2020 р.
10. М.В. Яцюк, А.М. Шевченко, Р.П. Боженко, С.М. Лютицький Вплив мулових полів Бортницької станції аерації на екологічний стан земельних і водних ресурсів прилеглих територій. *Меліорація і водне господарство* 2021. № 2. с. 114-128 <https://doi.org/10.31073/mivg202102-292>
11. Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Нікітіна О.В., Гурський І.М. Оцінка стану міських ґрунтів як засіб збереження екологічної стабільності урбоєкосистеми. *Екологічні науки* № 1(46). 2023. с. 139-143 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.23>
12. Про затвердження Інструкції з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами, Наказ ДСНС від 19.01.2016 № 30 <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16#Text>
13. О. О. Гололобова Оцінка поліелементного забруднення ґрунтів територій різного рівня антропогенного навантаження. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 1-2, 2011. с. 118-124
14. Гуцуляк В. М. Ландшафтна екологія. Геохімічний аспект: Навч. посібн. – 2-ге вид. – Ч.: ТОВ, Видавництво «Наші книги», 2010. 312с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 14.07.2025

Дата прийняття до друку рукопису після рецензування: 28.08.2025

Дата публікації: