

Пілотні дослідження забруднення донних відкладень Каховського водосховища

Аналізи донних відкладень з річки Дніпро та зразків ґрунту із Запорізької області, Україна (скорочена версія)

Індржіх Петрлік, Нікола Єлінек, Марцела Чернохова, Мартін Скальський, Мартін Полак, Олексій Ангурець, Максим Куц

Dnipro – Prague | October 2024

Пілотні дослідження забруднення донних відкладень Каховського водосховища

Аналізи донних відкладень з річки Дніпро та зразків ґрунту із Запорізької області, Україна (скорочена версія)

Індржіх Петрлік та Нікола Єлінек, Arніка – Програма з токсичних речовин та відходів та IPEN – Робоча група з діоксинів, ПХД та відходів

Марцела Чернохова та Мартін Скальський, Арніка – Центр підтримки громадян

Мартін Полак – Dekonta

Олексій Ангурець, Максим Кущ – «Зелений світ», «Чисте повітря для України»»

Мовна версія: українська (скорочена версія), англійська

Український переклад: Вадим Прокопець

Фото: Майда Сламова, Павел Мотейл, Олексій Ангурець, Арніка

Графічний дизайн: Якуб Немечек

ISBN 978-80-88508-46-5

Опубліковано: 2024

Це дослідження було підготовлено за фінансової підтримки Програми сприяння перехідному періоду Міністерства закордонних справ Чеської Республіки.

IPEN та Arніка також висловлюють подяку за фінансову підтримку, надану урядом Швеції.

Донор фінансової підтримки не несе відповідальності за зміст документу та висновки, представлені в цьому дослідженні.

Зміст

	Скорочення	4
1	Вступ	5
2	Відбір проб та аналізи	6
2.1	Опис місць відбору проб	6
2.2	Відбір проб	9
2.3	Аналітичні методи	9
3	Результати та обговорення	10
3.1	Порівняння з лімітами забруднення для відновлення довкілля	13
3.2	Порівняння концентрацій забруднюючих речовин у пробах з донних відкладень з Дніпра та його приток у верхній течії та гирлі	13
3.3	Обговорення потенційних джерел забруднення	14
4	Висновки	15
5	Список використаних джерел	16

Скорочення

/ dm	*/* дм	В одиницях вимірювання скорочення походить від словосполучення «dry matter», що є аналогом українського позначення «сухої речовини»
Англійська	Українська	Пояснення
BDS		Системи біологічного виявлення
BEQ		Біоаналітичний еквівалент
BFRs	БАП	Бромовані антипірени (сповільнювачі горіння)
DBDPE	ДБДФЕ	Декабромодифеніл етан
DDD	ДДД	Дихлордифенілдіхлоретан
DDE	ДДЕ	Дихлордифенілдіхлоретилен
DDT	ДДТ	Дихлордифенілтрихлоретан
dl-PCBs	Дп ПХБ	Діоксиподібні поліхлоровані біфеніли
DMSO	ДМСО	Диметилсульфоксид
DP	ДП	Дехлоран плюс
ECF		Електрохімічне фторування
et al.	та ін.	Та інші
HBBz	ГББ	Гексабромбензол
HBCDs	ГБЦДД	Гексабромциклододекани
HCb	ГХБ	Гексахлорбензол
HCBD	ГХБД	Гексахлорбутадієн
HCH	ГХЦГ	Гексахлорциклогексан
IARC		Міжнародне агентство з дослідження раку
LOQ		Межа кількісного визначення
MCCPs	СХП	Середньоланцюгові хлоровані парафіни
MS		Мас-спектрометрія
NBFRs	нБАП	Нові бромовані антипірени
NECs	НЕС	Неполярні екстрактивні сполуки
NGO		Неурядова організація
OCPs	ХОП	Залишки хлорорганічних пестицидів
PAHs	ПАВ	Поліциклічні ароматичні вуглеводні
PBDEs	ПБДЕ	Полібромовані дифенілові ефіри
PCBs	ПХБ	Поліхлоровані біфеніли
PCDD/Fs	ПХДД/Ф	Поліхлоровані дібензо-п-діоксини і поліхлоровані дібензофурані
PCNs	ПХН	Поліхлоровані нафталіни
PeCB		Пентахлорбензол
PFASs	ПФАС	Пер- та поліфтороалкільні сполуки
PFHxS	ПФГС	Перфторгексансульфонат

PFOA	ПФОК	Перфтороктанова кислота
PFOS	ПФОСК	Перфтороктансульфонова кислота
POPs	СОЗ	Стійкі органічні забруднювачі
SCCPs	КХП	Коротколанцюгові хлоровані парафіни
TEQ		Токсична еквівалентність
USEPA		Агентство з охорони навколишнього середовища США
WHO	ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я

1. Вступ

Цей звіт є частиною більш масштабного проекту «Чисте повітря для України» (<https://cleanair.org.ua/>) – міжнародної довгострокової програми, започаткованої у 2017 році в Україні чеською неурядовою організацією Arnika у співпраці з українськими партнерськими організаціями Free Arduino (Івано-Франківськ) та «Зелений світ» (Дніпро). Програма переважно зосереджувалася на реалізацію заходів, пов'язаних з промисловим забрудненням повітря, але з лютого 2022 року також і з екологічною шкодою, спричиненою повномасштабним вторгненням (Angurets et al. 2023; Skalsky et al. 2023).

З самого початку війни Україна почала фіксувати збитки, завдані Росією. Попередній моніторинг впливу на довкілля свідчить про значну шкоду, завдану міському та сільському середовищу на широкій географічній території. Численні інциденти спричинили серйозне забруднення повітря (Zalakeviciute et al. 2022), води (Shumilova et al. 2023) і ґрунту (Solokha et al. 2023) та завдали серйозної шкоди багатьом екосистемам (Kireitseva et al. 2023). Для оцінки точного рівня завданої екологічної шкоди та визначення потреб у відновленні необхідне проведення масштабних польових оціночних робіт. Ліквідація екологічних наслідків має вирішальне значення не лише для безпеки українського суспільства, але також є важливою частиною майбутнього післявоєнного відновлення.

Руйнування дамби Каховського водосховища 6 червня 2023 року спричинило сильну повінь по всьому регіону, різко знизивши рівень води у водосховищі (див. фото 1.1). До кінця червня 2023 року 90% площі водосховища осушилося, оголивши 1 870 квадратних кілометрів дна колишнього водосховища (Stone, 2024; Vyshnevskiy et al. 2023). Для оцінки потенційного забруднення було відібрано одинадцять зразків донних відкладень, а також зразки ґрунту з вирв від ракетних ударів у Запоріжжі.

Відбір проб проводився у два етапи. Обидва етапи були виконані у 2023 році. Сім з одинадцяти проб донних відкладень були відібрані з дна річки Дніпро (одна з них – наносів з Дніпра в Херсоні), три – з Каховського водосховища, дві проби ґрунту з вирв від вибухів ракет у місті Запоріжжя та ще одна – з промислового району Запоріжжя.

За допомогою біоаналізатора DR CALUX в пробах були виявлені важкі метали, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), неполярні екстрактивні



Фото 1.1 Дно Каховського водосховища. (Автор: Майда Сламова)

сполуки (НПС), вуглеводні C10 – C40, ціаніди, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), гексахлорбензол (ГХБ), пентахлорбензол (ПХБ), гексахлорбутадиєн (ГХБД), залишки хлорорганічних пестицидів (ХОП), бромовані антипірени, дехлоран плюс (ДП), поліхлоровані нафталіни (ПХН), полі- та перфтороалкіловані речовини, хлоровані парафіни з коротким та середнім ланцюгом (КХП та СХП), а також діоксини (ПХДД/Ф) та діоксиноподібні поліхлоровані біфеніли (дп ПХБ). На другому етапі відбору проб – аналіз на вміст НПС, ціанідів, срібла, ПХДД/Ф та діоксиноподібних ПХБ за допомогою біоаналізатора DR CALUX не проводився.

Команда проекту «Чисте повітря для України» зосереджується на картографуванні та аналізі забруднення ґрунтів і донних відкладень, спричиненого військовими діями, а також історичним промисловим забрудненням. Дослідження Каховського водосховища є першою частиною довгострокового проекту, який триватиме до 2025 року в Дніпропетровській, Запорізькій та Харківській областях. Цей текст є частиною повного звіту «First research of the contamination of the sediments from Kakhovka reservoir – extended version», який був опублікований у жовтні 2024 року.

2. Відбір проб та аналізи

2.1 Опис місць відбору проб

Місця відбору проб позначені на картах на Рис. 2.1, а їхні зображення можна побачити також на Фото 2.1 – 2.7, що додаються до описів нижче за текстом.

2.1.1 Ділянка L1 та SED-U-2 Центральний міський пляж Запоріжжя

Центральний міський пляж є найбільшою зоною відпочинку в Запоріжжі і в минулому активно використовувався місцевими жителями протягом літнього сезону. Після падіння рівня води через вибух на Каховському

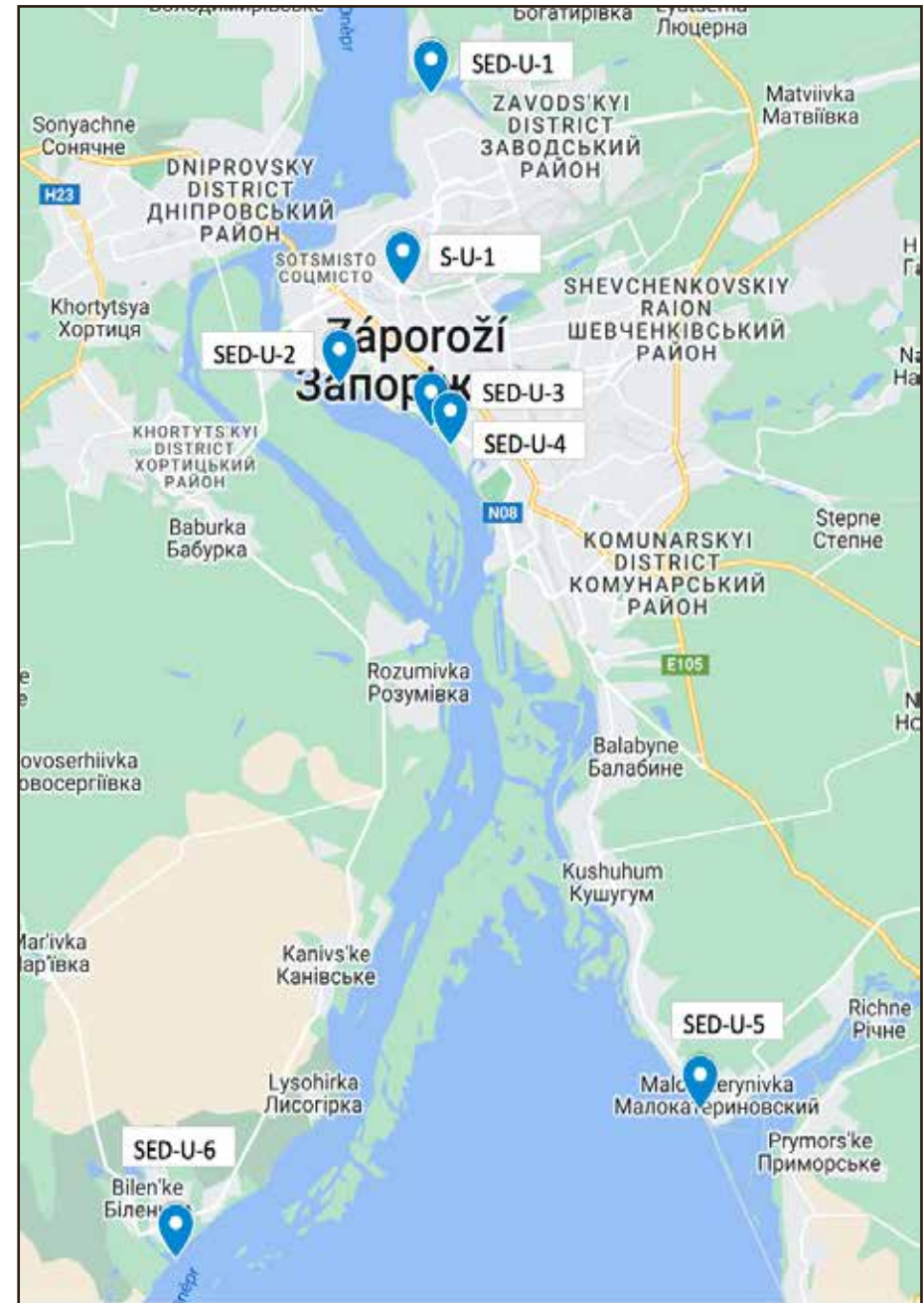


Рисунок 2.1: Карти місць відбору проб у Запорізькій області.



Фото 2.1: Ділянка L1- Центральний міський пляж Запоріжжя (Автор: Олексій Ангурець)

водосховищі поблизу пляжу виявилися оголеними чотири каналізаційні труби місцевого водоканалу. Неподалік також знаходиться Запорізька обласна інфекційна лікарня. Точно визначити всі підприємства, які скидають стічні води в цьому районі, неможливо, оскільки є велика підозра на незаконне підключення підприємств до місцевої каналізації. Зразок SED-U-2 був відібраний з тієї ж місцевості, але через наявність води в місці відбору проб не було можливості взяти зразок з того ж самого місця.

2.1.2 Ділянка L2 та SED-U-3 Запоріжжя, Суха Московка

Місце впадіння річки Суха Московка в річку Дніпро. Поруч знаходиться міський парк «Перемога». Річка Суха Московка протікає через промислові райони міста Запоріжжя, прилеглі до запорізьких промислових підприємств «Запоріжсталь» та «Дніпроспецсталь», які скидають у річку свої стічні води. Через це води Сухої Московки мають інтенсивний червоно-коричневий колір і високий рівень мінералізації.

2.1.3 Ділянка L3 Запорізький яхт-клуб

Ця ділянка на річці Дніпро, розташована на південній периферії міста. Тут є обладнана зона відпочинку з піщаним пляжем, потенційно чиста зона. Поруч знаходиться яхт-клуб та гребний канал. Неподалік, у зеленій зоні, зосереджені бази відпочинку. Тут є серйозний ризик забруднення стічними водами, що скидаються з міста Запоріжжя.

2.1.4 Ділянка L4 та SED-U-5, с. Малокатеринівка

Ділянка знаходиться в с. Малокатеринівка, поблизу залізничної станції Канкринівка, яка перестала працювати внаслідок повномасштабного російського вторгнення. Селище Малокатеринівка розташоване за 20 км на південь від міста Запоріжжя та за 13 км на північ від тимчасово окупованої Росією території, на лівому березі Каховського водосховища, біля впадіння в нього річки Конка. Зразки були відібрані з дна Каховського водосховища, осушеного після вибуху дамби, приблизно в 100 м від берега.

2.1.5 Вирва на майданчику K1 біля Оріхівського шосе, Запоріжжя

Вирва, утворена внаслідок падіння ракети С-300, випущеної російськими військами, знаходиться на південно-східній околиці Запоріжжя, поруч з трасою М-18 Харків-Сімферополь та її перетином з Оріхівським шосе. Ракетний удар припав на територію місцевого садового господарства. З дна вирви, що утворилася після вибуху, були відібрані зразки ґрунту. У вирві та поблизу неї були знайдені уламки ракети. Приблизна дата падіння ракети – 30.06.2023.



Фото 2.2: Ділянка K1- Вирва біля Орхівського шосе (Автор: Павел Мотейл)

2.1.6 Ділянка K2 Вирва у парку «Дубовка»

Вирва, утворена внаслідок падіння ракети С-300, випущеної російськими військами. Знаходиться в центральній частині міста Запоріжжя, поруч із парком «Дубовка» в зеленій зоні перед 9-поверховим житловим будинком. Поруч знаходиться автоцентр Skoda, який був зруйнований внаслідок обстрілу. Зразки ґрунту були відібрані з дна вирви, що утворилася після вибуху. У вирві та поблизу неї були залишки будівельних матеріалів, а також було помічено побутові відходи. Дата падіння ракети – 11.10.2022.

2.1.7 Ділянка СН – Херсон, Антонівка

Територія знаходиться в Херсоні, поблизу вул. Лугова, сел. Антонівка, приблизно за 400 метрів від корінного берега Дніпра, біля пляжу «Молодіжний». Ділянка знаходиться на більш широкому руслі річки, вкритому рослинністю. Місце відбору проб опинилося під водою під час повені після руйнування дамби.

2.1.8 Ділянка SED-U-1

Досліджувана ділянка розташована в Заводському районі м. Запоріжжя, а саме на вул. Лейтенанта Шмідта біля пляжу ім. Павла Кічкаса. Ця територія знаходиться в безпосередній близькості від річки Дніпро і характеризується промисловим оточенням у поєднанні з природним пляжним середовищем.

2.1.9 Ділянка S-U-1

Ця ділянка розташована в Заводському районі м. Запоріжжя, а саме на вул. Діагональній біля заправної станції «Енергоекспорт». Близькість до промислових підприємств підвищує ймовірність перенесення забруднюючих речовин вітром, що впливає на місцеву рослинність.

2.1.10 Ділянка SED-U-4

Досліджувана ділянка розташована у Запоріжжі на березі річки Дніпро, біля гіпермаркету будівельних матеріалів «Епіцентр». Ця територія поєднує природне прибережне середовище з комерційною діяльністю великого торговельного закладу.

2.1.11 Ділянка SED-U-6

Ділянка знаходиться поблизу села Біленьке, в прибережній зоні правого берега Каховського водосховища.



Фото 2.3: Ділянка СН у Херсоні, сел. Антонівка (Автор: Павел Мотейл)

2.2 Відбір проб

Перший етап відбору проб відбувся 14 липня 2023 року в Запоріжжі та 20 липня 2023 року в Херсоні і був проведений у співпраці з чеською компанією Dekonta. Другий етап відбору проб відбувся 27 та 28 жовтня 2023 року. Проби донних відкладень з річки Дніпро були відібрані як точкові проби. Всі зразки були відібрані за допомогою лопати з нержавіючої сталі з шару на глибині від 25 до 30 см від поверхні. Обидва зразки ґрунту з вирв також були відібрані лопатою з нержавіючої сталі з глибини від 15 до 20 см під поверхнею. Зразки були гомогенізовані і перевезені в поліетиленових пакетах Ziplock до лабораторії, де вони зберігалися в прохолодному середовищі.

2.3 Аналітичні методи

Хімічні аналізи були проведені в спеціалізованих лабораторіях. Важкі метали, ПАУ, НЕС та деякі ХОП були проаналізовані компанією Dekonta та Хіміко-технологічним університетом у Празі, Чеська Республіка. Діоксиноподібна активність¹ була визначена компанією BioDetection Systems в Амстердамі. Для ідентифікації у зразках забруднювачів, таких як ПХБ, ГХБ, ПФАС тощо були використані різні методи, включаючи газову хроматографію та мас-спектрометрію.

¹ Діоксиноподібна активність вимірює, як речовини імітують дію діоксинів. Використовуючи метод DR CALUX, зразки екстрагуються, очищаються і тестуються для визначення їх діоксиноподібної дії, а результати виражаються у вигляді біоаналітичних еквівалентів (BEQ).



Фото 2.4: Відбір проб у липні 2023. (Автор: Pavel Mothejl)

3. Результати та обговорення

Аналітичні методи коротко описані в розділі 2.3, результати наведені в таблиці 3.1. Більш детальні результати доступні у повному звіті «First research of the contamination of the sediments from Kakhovka reservoir – extended version», який був опублікований у жовтні 2024 року.

Найвищі рівні вмісту вуглеводнів $C_{10} - C_{40}$, миш'яку, ртуті, ПАУ, діоксиноподібних ПХБ та суми ДДТ були визначені у зразку донних відкладів з громадського пляжу Запоріжжя (L1). У пробі SED-U-3, як і в пробі L2, виявлено найвищі рівні сурми, миш'яку, кадмію, марганцю, селену, олова, цинку, молібдену і талію, а також значні кількості 7 похідних ПХБ, ГХБ, ПХБ, КХП ($C_{10}-C_{13}$) та СХП ($C_{14}-C_{17}$). Зразок L4 містив найвищий рівень сумарного вмісту ПФАС.

Зразок K2 з вирви показав найвищий рівень ГБЦДД (51,98 нг/г дм) і ГББ (0,662 нг/г дм), хоча ці рівні не викликають серйозного занепокоєння. K2 був єдиним зразком, в якому концентрація цих нБАП перевищувала межу кількісного визначення (LOQ). Рівні вмісту 6 нБАП та ПХН були нижчими за LOQ у зразках донних відкладень. Рівні ПБДЕ, ДП та ГХБД перевищували LOQ у пробах SED-U-2 та SED-U-3, SED-U-3 та SED-U-3 а також SED-U-4, відповідно.

У той час як у зразку відкладень L1 були виявлені найвищі рівні CO3 і ртуті серед досліджених зразків, в зразку L2 спостерігалися найвищі концентрації важких металів (таких як кадмій, хром, свинець, миш'як, нікель, мідь і олово).

Концентрації ПФАС у п'яти проаналізованих зразках донних відкладів у цьому дослідженні були загалом низькими, і лише в кількох випадках перевищували межу кількісного визначення (LOQ).² У наступних розділах ці результати порівнюються з встановленими законодавством лімітами (Розділ 3.1) та історичними даними по річці Дніпро (Розділ 3.2).

² Рівні вище LOQ вимірювали для наступних ПФАС: ПФОК, PFUnDA, PFDA, PFOS і HFPO-DA.

Таблиця 3.1: Зведені результати хімічних аналізів усіх проб із Запоріжжя та Херсона, а також їх порівняння з індикативними рівнями дезактивації, що використовуються в Чеській Республіці (Міндовкілля Чехії 2014).

Хімічні речовини	L1	L2	L3	L4	CH	K1	K2	Одиниці вимірювання	Індикативні рівні дезактивації
НЕС	16,330	718	272	490	354	–	–	мг/кг дм	
Вуглеводні $C_{10}-C_{40}$	20,705	2,350	<100	<100	<100	<100	<100	мг/кг дм	500
Ціаніди	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	–	–	мг/кг дм	22
Аценафтен	200	0.337	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	3,400
Аценафтілен	8.13	0.213	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	
Антрацен	22.4	0.583	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	17,000
Бенз(а)антрацен	78.7	0.816	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	0.15
Бенз(а)пірен	35.6	0.456	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	0.015
Бензо(б)флуорантен	47.3	1.06	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	0.15
Бензо(к)флуорантен	36.8	1.33	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	1.50
Дибензо(а,н)антрацен	1.73	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	0.015
Флуорен	1.2	0.31	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	2,300
Флуорантен	196	2.46	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	2,300
Хризен	75.8	1.34	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	210
Індено(1,2,3cd)пірен	5.98	0.162	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	0.15
Нафталін	5.65	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	3.60
Фенантрен	45.5	0.75	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	–
Пірен	130	2.2	<0.05	<0.05	<0.05	–	–	мг/кг дм	1,700
Бензо(g,h,i)перилен	4.45	0.151	<0.05	<0.05	<0.05				–
16 ПАУ	895.24	12.17	0	0	0	–	–	мг/кг дм	–
Сурма	1.44	5.83	<0.611	1.92	3.82	<0.10	0.88	мг/кг дм	31
Миш'як	7.41	24.5	<0.611	2.83	4.24	5.48	3.65	мг/кг дм	0.61
Барій	101	90.9	17.7	74.5	144	118	46	мг/кг дм	15,000
Берилій	0.744	<0.804	<0.611	<0.889	<0.515	1.012	0.197	мг/кг дм	160
Кадмій	0.299	10.5	0.484	1.31	0.113	0.602	7.554	мг/кг дм	70
Кобальт	6.15	6.75	0.793	3.8	3.48	9.28	8.75	мг/кг дм	23
Хром	26.5	256	14.2	40.4	20.9	39.1	35.5	мг/кг дм	0.29
Мідь	28.6	55.1	3.56	10	11.1	32.7	139	мг/кг дм	3,100
Свинець	23	171	8.73	14.4	12.8	15	56.9	мг/кг дм	400

Хімічні речовини	L1	L2	L3	L4	СН	K1	K2	Одиниці вимірювання	Індикативні рівні дезактивації
Марганець	402	1 820	126	805	222	367	151	мг/кг дм	1,800
Ртуть	9.99	0.379	<0.050	0.082	<0.050	0.335	0.125	мг/кг дм	10
Нікель	11.5	81.9	4.58	9.08	10.8	29.2	15	мг/кг дм	1,500
Селен	0.521	2.55	<0.611	<0.889	<0.515	0.11	0.31	мг/кг дм	390
Срібло	<1.33	<1.60	<1.22	<1.77	<1.03	–	–	мг/кг дм	390
Олово	5.4	10.5	2.16	5.64	2.79	4.73	28.3	мг/кг дм	47,000
Цинк						53.6	202	мг/кг дм	23,000
Молібден						0.335	2.878	мг/кг дм	390
Талій						0.173	0.09	мг/кг дм	
Титан						306	86.7	мг/кг дм	
ДДД	2,467	6.4	0.18	0.45	1.2	0.16	14.2	нг/г дм	2,000
ДДЕ	404	8.0	0.24	0.56	2.9	0.058	17.9	нг/г дм	1,400
ДДТ	<0.02	1.4	<0.02	<0.02	0.15	<0.02	32.6	нг/г дм	1,700
альфа–ГХЦГ	2.3	0.063	0.035	0.067	0.042	0.45	0.40	нг/г дм	77
бета– ГХЦГ	8.2	0.19	0.038	0.088	0.074	<0.02	0.98	нг/г дм	270
гама– ГХЦГ	9.1	0.041	0.031	0.039	<0.02	0.032	0.13	нг/г дм	520
ПХБ 28	<0.02	4.35	0.054	0.168	0.183	<0.02	0.036	нг/г дм	110
ПХБ 52	5.95	3.48	0.054	1.459	0.230	<0.02	0.092	нг/г дм	110
ПХБ 101	15.1	6.83	0.178	2.730	0.619	<0.02	0.213	нг/г дм	110
ПХБ 118	17.6	6.99	0.244	3.211	0.821	<0.02	0.269	нг/г дм	110
ПХБ 138	10.8	4.93	0.228	1.501	0.685	<0.02	0.339	нг/г дм	110
РСВ 153	6.08	3.68	0.189	0.944	0.486	<0.02	0.217	нг/г дм	110
ПХБ 180	1.69	1.12	0.044	0.159	0.113	<0.02	0.122	нг/г дм	110
7 похідних ПХБ	57.2	31.4	1.0	10.2	3.1	<0.02	1.3	нг/г дм	220
Гексахлорбензол (ГХБ)	2.29	10.8	0.172	0.188	0.059	<0.02	0.075	нг/г дм	300
Пентахлорбензол	1.03	3.31	0.047	0.066	<0.02	<0.02	0.061	нг/г дм	49,000
Гексахлорбутадиєн (ГХБД)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	нг/г дм	6,200
ПХДД/Ф – DR CALUX	6	10	3.6	1.4	1.1	<0.2	2.8	пг ВЕQ/г дм	4.5
Дп ПХБ – DR CALUX	29	3.7	3	0.43	0.59	0.24	0.71	пг ТЕQ/г дм	
Сума ПФАС	<LOQ	0.025	0.100	0.168	0.028	0.104	0.098	нг/г дм	–
Сума ПБДЕ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	нг/г дм	–
Сума ГХБД	<0.05	2.718	0.094	<0.05	4.339	0.000	51.98	нг/г дм	–
БТБФЕ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	–

Хімічні речовини	L1	L2	L3	L4	СН	K1	K2	Одиниці вимірювання	Індикативні рівні дезактивації
ДБДФЕ	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	нг/г дм	–
ГББ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.662	нг/г дм	–
ОВІND	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	нг/г дм	–
РВЕВ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	–
РВТ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	–
ДП	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	–
Сума ПХН	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	нг/г дм	–
КХП C ₁₀ –C ₁₃	<5	<5	<5	<5	<5	57.0	12.2	нг/г дм	–
СХП C ₁₄ –C ₁₇	<10	191	<10	<10	<10	<10	290	нг/г дм	–

	SED-U-1	S-U-1	SED-U-2	SED-U-3	SED-U-4	SED-U-5	SED-U-6	Одиниці вимірювання	Індикативні рівні дезактивації
НЕС	-	-	-	-	-	-	-	мг/кг дм	
Вуглеводні C ₁₀ -C ₄₀	<100	<100	578	4,243	4,827	115	<100	мг/кг дм	500
Ціаніди	-	-	-	-	-	-	-	мг/кг дм	22
Аценафтен	0.03	0.04	25.7	1.4	5.9	0.32	0.07	мг/кг дм	3,400
Аценафтілен	-	-	-	-	-	-	-	мг/кг дм	
Антрацен	0.00	0.02	4.7	0.41	1.6	0.04	0.11	мг/кг дм	17,000
Бенз(а)антрацен	0.00	0.09	11.0	1.9	4.7	0.16	0.40	мг/кг дм	0.15
Бенз(а)пірен	0.00	0.08	7.2	0.99	2.3	0.13	0.43	мг/кг дм	0.015
Бензо(б)флуорантен	0.00	0.11	9.9	1.8	4.1	0.20	0.40	мг/кг дм	0.15
Бензо(к)флуорантен	0.00	0.05	4.4	0.71	1.8	0.08	0.18	мг/кг дм	1.50
Дибензо(а,h)антрацен	0.00	0.01	1.1	0.15	0.61	0.02	0.05	мг/кг дм	0.015
Флуорен	0.01	0.05	18.3	1.8	3.5	0.03	0.31	мг/кг дм	2,300
Флуорантен	0.01	0.17	23.8	3.6	13.9	0.30	0.80	мг/кг дм	2,300
Хризен	0.00	0.09	12.0	1.4	5.4	0.13	0.31	мг/кг дм	210
Індено(1,2,3cd)пірен	0.00	0.03	5.2	0.49	0.78	0.04	0.27	мг/кг дм	0.15
Нафталін	0.00	0.04	28.3	2.1	5.7	0.25	0.09	мг/кг дм	3.60
Фенантрен	0.01	0.09	13.6	2.0	7.3	0.17	0.61	мг/кг дм	
Пірен	0.01	0.12	15.5	3.1	10.6	0.23	0.53	мг/кг дм	1,700
Бензо(g,h,i)перилен	0.00	0.07	4.9	0.51	1.5	0.06	0.43		
16 ПАУ	-	-	-	-	-	-	-	мг/кг дм	
Сурма	<0.1	0.21	0.53	1.4	1.7	0.21	<0.10	мг/кг дм	31
Миш'як	0.17	2.5	6.4	12.8	15.8	2.0	1.6	мг/кг дм	0.61
Барій	7.2	68.2	95.6	82.7	108	50.7	39.6	мг/кг дм	15,000
Берилій	<0.1	0.50	0.36	0.54	0.80	0.26	0.28	мг/кг дм	160
Кадмій	0.02	0.14	0.34	9.6	2.9	1.2	0.58	мг/кг дм	70
Кобальт	0.35	3.6	3.1	6.0	9.1	2.9	3.0	мг/кг дм	23
Хром	84.1	38.5	53.6	289.0	343	30.5	22.1	мг/кг дм	0.29
Мідь	0.63	13.5	16.7	58.4	57.0	10.3	10.6	мг/кг дм	3,100
Свинець	1.1	10.7	14.4	303	184	17.4	10.6	мг/кг дм	400
Марганець	29.4	694	1,166	967	1,597	403	286	мг/кг дм	1,800
Ртуть	<0.001	0.03	0.30	0.16	0.16	0.03	0.03	мг/кг дм	10
Нікель	2.7	13.7	18.7	98.6	84.7	11.3	11.5	мг/кг дм	1,500
Селен	<0.05	0.12	0.28	1.25	0.69	0.31	0.21	мг/кг дм	390
Срібло	-	-	-	-	-	-	-	мг/кг дм	390
Олово	<1	<1	1.4	6.9	9.4	1.0	<1	мг/кг дм	47,000

Цинк	2.9	38.6	61.0	1,264	589	98.1	48.9	мг/кг дм	23,000
Молібден	4.8	1.9	2.2	4.4	0.50	0.28	0.34	мг/кг дм	390
Талій	0.01	0.10	0.15	0.67	0.54	0.14	0.09	мг/кг дм	
Титан	22.6	184	450	809	2,012	132	147	мг/кг дм	
ДДД	<0.02	0.64	50.6	19.7	32.9	1.1	3.1	нг/г дм	2,000
ДДЕ	0.05	5.5	15.6	18.5	22.8	2.1	7.0	нг/г дм	1,400
ДДТ	<0.02	0.40	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	нг/г дм	1,700
альфа-ГХЦГ	<0.02	0.05	0.87	0.51	1.10	0.11	0.12	нг/г дм	77
бета- ГХЦГ	<0.02	0.08	0.84	0.48	2.6	0.09	0.12	нг/г дм	270
гама- ГХЦГ	<0.02	0.05	0.17	0.15	0.14	0.05	0.08	нг/г дм	520
ПХБ 28	0.02	0.13	6.2	14.4	8.6	0.44	0.23	нг/г дм	110
ПХБ 52	<0.02	0.17	3.3	45.5	16.2	0.24	0.33	нг/г дм	110
ПХБ 101	0.02	0.53	6.4	77.1	33.4	0.44	0.83	нг/г дм	110
ПХБ 118	0.02	0.58	6.9	78.8	26.4	0.85	0.80	нг/г дм	110
ПХБ 138	0.02	1.2	7.6	42.5	22.6	0.74	0.60	нг/г дм	110
РСВ 153	<0.02	0.76	5.7	27.0	15.1	0.54	0.54	нг/г дм	110
ПХБ 180	<0.02	0.29	3.3	3.7	4.4	0.23	0.21	нг/г дм	110
7 похідних ПХБ	0.09	3.6	39.3	289	126.7	3.5	3.5	нг/г дм	220
Гексахлорбензол (ГХБ)	0.03	0.19	0.94	74.3	32.5	1.1	0.31	нг/г дм	300
Пентахлорбензол	<0.02	0.13	0.27	14.9	9.2	0.24	0.06	нг/г дм	49,000
Гексахлорбутадиєн (ГХБД)	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0.04	<0.02	<0.02	нг/г дм	6,200
ПХДД/Ф – DR CALUX	-	-	-	-	-	-	-	пг BEQ/г дм	
Дп ПХБ – DR CALUX	-	-	-	-	-	-	-	пг TEQ/г дм	
Сума ПФАС	<LOQ	0.060	<LOQ	<LOQ	0.058	0.061	0.029	нг/г дм	
Сума ПБДЕ	<LOQ	<LOQ	0.19	2.91	<LOQ	<LOQ	<LOQ	нг/г дм	
Сума ГХБД	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	нг/г дм	
БТБФЕ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	
ДБДФЕ	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	нг/г дм	
ГББ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	
ОВІND	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	нг/г дм	
РВЕВ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	
РВТ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	нг/г дм	
ДП	<LOQ	0.03	0.05	<LOQ	<LOQ	0.04	<LOQ	нг/г дм	
Сума ПХН	-	-	-	-	-	-	-	нг/г дм	
КХП C ₁₀ -C ₁₃	21.80	<5	<5	<5	131	<5	<5	нг/г дм	
СХП C ₁₄ -C ₁₇	115	<10	<10	<10	611	<10	<10	нг/г дм	

3.1 Порівняння з лімітами забруднення для відновлення довкілля

Результати аналізів проб були оцінені з точки зору необхідності очищення донних відкладень або ґрунтів. Для цього ми використовували індикативні рівні забруднення з Методичних рекомендацій Міністерства навколишнього середовища Чеської Республіки (МЖР ČR 2014), які базуються на Регіональних рівнях скринінгу, встановлених USEPA для гірських порід (USEPA 2023).

Аналіз проб з Каховського водосховища показав значні проблеми із забрудненням. Зразок L1 в багатьох категоріях перевищував індикативні рівні забруднення для поліароматичних вуглеводнів (ПАУ), включаючи бенз(а)антрацен та бенз(а)пірен, у 500 та 2300 разів відповідно. У SED-U-2 також було виявлено підвищений вміст нафталіну, який перевищував гранично допустиму норму майже у 8 разів.

П'ять зразків донних відкладень перевищували порогові значення забруднення вуглеводнями, причому в SED-U-3 було виявлено перевищення гранично допустимого рівня для 7 похідних ПХБ (більш ніж у 41 раз). Вміст миш'яку був проблемним у десяти з чотирнадцяти проб, з концентраціями до 24,5 мг/кг, тоді як вміст хрому перевищував нормативи у всіх пробах, в діапазоні від 14,2 до 343 мг/кг. Підвищені рівні марганцю та ртуті були виявлені біля відповідних меж знезараження у пробах L2 та L1.

Діоксиноподібна активність, виміряна за допомогою тесту DR CALUX, показала, що рівні діоксинів у пробах L1 і L2 перевищували індикативну межу, причому в L1 були зафіксовані значення 6 пг ВЕQ/г дм, а в L2 – 10 пг ВЕQ/г дм. Підвищені концентрації ДДД (одного з продуктів розпаду ДДТ) були виявлені в пробі L1 та перевищували рівні знезараження. Отримані дані свідчать про необхідність знезараження донних відкладів, особливо в районах з високим вмістом ПАУ, ДДТ і важких металів, відповідно до індикативних рівнів, встановлених Міністерством охорони навколишнього середовища Чеської Республіки.

3.2 Порівняння концентрацій забруднюючих речовин у пробах з донних відкладень з Дніпра та його приток у верхній течії та гирлі

Зразки донних відкладів із Запоріжжя та Херсона (2023 р.) були порівняні з донними відкладами з Дніпра та гирла Бугу (2006-2008 рр.) (Burgess et al. 2011) та в Білорусі (2011–2012) (Nezhyba et al. 2012), що дозволило виявити значні відмінності у рівнях забруднюючих речовин. Найвищі значення НЕС були виявлені в Запоріжжі (16 330 мг/кг дм), що значно перевищує рівні в Херсоні (354 мг/кг дм) і Гатово (до 636 мг/кг дм). Протягом багатьох років концентрації металів у Запоріжжі були помітно підвищеними, особливо для миш'яку (24,5 мг/кг дм), кадмію (10,5 мг/кг дм) і ртуті (9,99 мг/кг дм), порівняно з референтною ділянкою «Дружний». Аналогічно, рівні миш'яку та міді також були значними в Херсоні. Вміст похідних ПХБ був вищим в Запоріжжі (289 нг/г дм) і Херсоні (3,137 нг/г дм), порівняно з Березинським і Дружним, причому значення в Запоріжжі були порівняними з Дніпром та гирлом Бугу. Концентрації свинцю досягли піку в Запоріжжі (303 мг/кг дм), перевищивши рівні в Білорусі та на Березинській референтній ділянці (5,5 мг/кг дм). Вміст гексахлорбензолу (ГХБ) був значно вищим у Запоріжжі (74,29 нг/г дм), ніж у Дружному, тоді як у Херсоні спостерігалися нижчі рівні ГХБ. Сума хлорорганічних пестицидів (ХОП) була більш ніж у 1000 разів вищою в Запоріжжі (до 2,895 нг/г дм) порівняно з Дружним, в основному через концентрації ДДТ, які були значно вищими в Запоріжжі та Херсоні, ніж у більшості білоруських зразків. Для гексахлорциклогексанів (ГХЦГ) у Запоріжжі спостерігалися вищі рівні (19,64 нг/г дм), ніж у Дружному (<0,70 нг/г дм). Вміст ПБДЕ в Запоріжжі був порівняним з Могильовом, але нижчим, ніж у Гатові та Жлобині. ГБЦДД були виявлені у вищих концентраціях як у Запоріжжі (2,72 нг/г дм), так і в Херсоні (4,34 нг/г дм) порівняно з усіма білоруськими зразками. Концентрації ПХДД/Ф + Дп ПХБ в Запоріжжі (до 35 пг ВЕQ/г дм) більш ніж у десять разів перевищували референтні значення і були подібні до рівнів у Гатово. Концентрації ПФАС у Запоріжжі (0,168 нг/г дм) були нижчими, ніж на Могильовських очисних спорудах, але вищими, ніж у Березинському та Дружному (Nezhyba et al. 2012).



Фото 3.1: Березинська референтна ділянка у верхній частині басейну Дніпра в Білорусі, де 20 серпня 2012 р. було відібрано пробу донних відкладів. (Автор: Індржіх Петрлік)



Фото 3.2: Скидання стічних вод з місцевої каналізаційної системи в річку Дніпро в Запоріжжі – біля ділянки L1 Центрального пляжу. (Автор: Майда Сламова)

Порівняння з дослідженнями інших річкових відкладень на ділянках, що постраждали від видобутку корисних копалин у Вірменії (Matoušková et al. 2023), та місцями, забрудненими CO₃ (Dvorská et al. 2007; Dvorska et al. 2023; Fuksa and Kužílek 2007) доступне в повній версії звіту.

3.3 Обговорення потенційних джерел забруднення

Концентрації ДДТ і ГХЦГ у зразку L1 вказують на близькість ділянки, сильно забрудненої цими застарілими пестицидами. Якщо ця ділянка ще не задокументована як склад застарілих пестицидів, то слід визначити осередок забруднення.

У 2007 році в Запорізькій та Херсонській областях було зареєстровано 224 та 100 об'єктів з непридатними пестицидами (Мінприроди 2007). Застарілі пестициди, що зберігалися на складах у Запорізькій області, також включали ДДТ. «За даними Мінагрополітики, у 1967 та 1968 роках в Україні було використано 8 470,6 тонн продуктів групи CO₃», з яких більшість становив ДДТ (Мінприроди, 2007).

Другий відбір проб виявив значну концентрацію ПХБ у зразку SED-U-3 (на ділянці L2), що може бути пов'язано з історичним забрудненням або забрудненням з промислових джерел.

Високі концентрації інших речовин у донних відкладеннях свідчать про те, що джерелом забруднення може бути важка промисловість – металургійна або машинобудівна. Підвищені концентрації миш'яку можуть бути пов'язані зі спалюванням вугілля або використанням матеріалів з високим вмістом миш'яку. Подальші дослідження в Запоріжжі також повинні зосередитися на цих джерелах.



Фото 3.3: Річка Дніпро біля села Біленьке. (Автор: Майда Сламова)

4. Висновки

Найвищі рівні вмісту вуглеводнів $C_{10}-C_{40}$, ртуті, ПАУ, діоксиноподібних ПХБ та суми ДДТ були виміряні у зразку донних відкладень з громадського пляжу Запоріжжя (позначений як L1). Рівні ДДТ, деяких ПАУ, миш'яку та ртуті в цій пробі вказують на необхідність знезараження даної території. Найвищий рівень ДДТ у цьому зразку можна порівняти з подібними значеннями, що спостерігаються в забруднених річкових відкладеннях з України, Чеської Республіки або Польщі, а також з відкладеннями з місць, забруднених виробництвом ДДТ. В цьому зразку було також визначено відносно високу концентрацію суми ГХЦГ. Ці результати вказують на серйозну проблему враховуючи, що зразок був відібраний з території, призначеної для громадського користування, а не з промислової зони.

У зразку L2 вміст деяких важких металів (особливо миш'як, кадмій, марганець і хром) становлять більшу проблему, ніж CO_2 . Концентрація ПХДД/Ф, виміряна за допомогою біологічного аналізу, також викликає занепокоєння. Все це свідчить про те, що накопичення забруднювачів тут більше пов'язане з промисловим впливом, ніж із застарілими пестицидами, що відрізняється від результатів по зразку L1.

Концентрація свинцю, нікелю та ПХБ була найвищою в пробі SED-U-3, тоді як у випадку хрому, титану, ГХБД, КХП ($C_{10}-C_{13}$) та СХП ($C_{14}-C_{17}$) – в пробі SED-U-4.

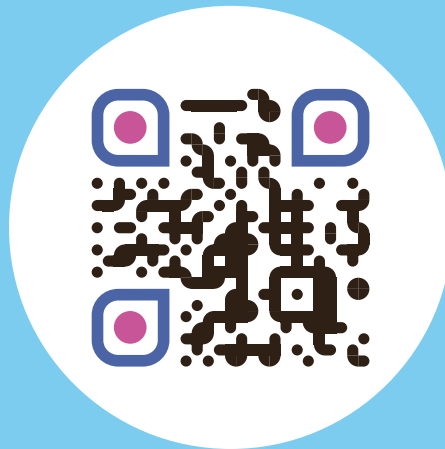
Найвищий рівень трьох ізомерів гексабромциклододекану (ГБЦДД) було виміряно у зразку з однієї з вирв. Цей бромований антипірен в основному використовувався в пінополістиролі для утеплення будівель. На місці відбору проб було виявлено певну кількість пінополістиролу, який вважається основним джерелом цього забруднювача. Однак визначені концентрації не є настільки високими, щоб це було приводом для занепокоєння.

Рівні вмісту ДДТ, 16 ПАУ та вуглеводнів $C_{10}-C_{40}$ у зразку донних відкладень річки Дніпро в Запоріжжі викликають найбільше занепокоєння з точки зору здоров'я населення серед усіх забруднювачів, виявлених у семи проаналізованих зразках.

5. Список використаних джерел

- Angurets O, Khazan P, Kolesnikova K et al. (2023) Environmental consequences of Russian war in Ukraine 2022.
- Burgess RM, Konovets IM, Kipnis LS et al. (2011) Distribution, magnitude and characterization of the toxicity of Ukrainian estuarine sediments *Mar Pollut Bull* 62:2442-2462 doi:10.1016/j.marpolbul.2011.08.023
- Dvorská A, Petrлік J, Kuncová H et al. (2007) Shrnutí problematiky bývalého skladu pesticidů v Klatovech-Lubech. Stav k červenci 2007 (Summary of the issue of the former pesticide storage in Klatovy-Luby. Situation as of July 2007). *Arnika – program Toxické látky a odpady*, Brno
- Dvorska A, Strakova, J., Brosche, S., Petrlik, J., Boontongmai, T., Bubphachat, N., Thowsakul, C., Teebthaisong, A., Saetang, P., and Jeungsmarn, P (2023) Environmental, Food and Human Body Burden of Dechlorane Plus in a Waste Recycling Area in Thailand: No Room for Exemptions. IPEN, Arnika, and EARTH, Gothenburg – Bangkok – Prague. doi:10.13140/RG.2.2.21758.15683
- Kireitseva, H., Demchyk, L., Paliy, O., & Kahukina, A. (2023). Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*, 80(2), 267-276.
- Matoušková K, Mach V, Grechko V et al. (2023) The price of gold: How gold mining affects pollution with heavy metals in Armenia doi:http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22870.83529/1
- MEPU (2007) Ukraine National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Project # GF/2732-03-4668 Enabling Activities for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs): National Implementation Plan for Ukraine. Ministry of Environmental Protection of Ukraine, Kyiv
- MŽP ČR (2014) Metodický pokyn MŽP Indikátory znečištění Věstník MŽP XIV:106-121
- Nezhyba J, Lobanov E, Petrlik J et al. (2012) Environmental sampling in Belarus (2011 -2012) Final report. *Arnika – Toxics and Waste Programme*, Minsk – Prague. doi:http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17451.57123/1
- Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., ... & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6(5), 578-586.
- Skalsky M, Labohy J, Hrnčiar M et al. (2023) Air pollution in Ukraine as seen from space: the effects of the war.
- Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., ... & Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122.
- Stone R (2024) Laid to waste *Science* (New York, NY) 383:18-23
- USEPA (2023) Regional Screening Levels. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>. Accessed 2023-12-15 2023
- Vyshnevskiy V, Shevchuk S, Komorin V et al. (2023) The destruction of the Kakhovka dam and its consequences *Water International* 48:631-647 doi:10.1080/02508060.2023.2247679
- Zalakeviciute R, Mejia D, Alvarez H, Bermeo X, Bonilla-Bedoya S, Rybarczyk Y, Lamb B. War Impact on Air Quality in Ukraine. *Sustainability*. 2022; 14(21):13832. <https://doi.org/10.3390/su142113832>

Arnika об'єднує людей, які прагнуть кращого навколишнього середовища. Ми віримо, що природне багатство – це не лише дар, а й обов'язок зберегти його для майбутнього. З моменту свого заснування Arnika стала однією з найважливіших екологічних організацій у Чеській Республіці. Ми будуємо свою діяльність на трьох стовпах: залучення громадськості, професійні аргументи та комунікація. З самого початку ми проводили громадські кампанії як у Чеській Республіці, так і за кордоном. Організація фокусується на охороні природи, токсичних речовинах і відходах, доступі до інформації та участі громадськості в прийнятті рішень.



Більше інформації: www.arnika.org/en