

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**

« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри екології
агросфери та екологічного
контролю

_____ **Олена НАУМОВСЬКА**

« ____ » _____ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА**

на тему: “Вплив суб'єктів господарської діяльності та екологічний стан
р. Дніпро”

Спеціальність: _____ 101 «Екологія»

Освітня програма: _____ «Екологічний контроль та аудит»

Орієнтація освітньої програми: _____ освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

к.с.-г.н., доцент

Марина ЛАДИКА

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи:**

к.пед.н., доцент

Віта СТРОКАЛЬ

Виконала:

Анна БАЛАЦЕНКО

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри екології
агросфери та екологічного
контролю**

_____ **Наумовська О.І.**

« ____ » _____ **2025 р.**

ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Балаценко Анни Вячеславівни

Спеціальність 101 «Екологія»

Освітня програма «Екологічний контроль та аудит»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Вплив суб'єктів господарської діяльності та екологічний стан р. Дніпро»

Затверджена наказом від « 5 » 11 2024 р. №1979С

Термін подання завершеної роботи на кафедру:

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Аналіз праведних лабораторних аналізів на кількість семи важких металів по річці Дніпро.

Аналіз найбільших господарських об'єктів, що мають потенційний вплив на забруднення річки Дніпро. Аналіз можливих шляхів вирішення даної проблеми.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Обґрунтувати потенційні чинники впливу важких металів на хімічних та біологічний стани поверхневих вод, та їхній вплив на гідробіонтів у водних екосистемах.

2. Проаналізувати хімічний стан води для встановлення хімічного стану поверхневих вод р. Дніпро.

3. Розрахувати індекс забруднення води за показниками важких металів у поверхневих водах для визначення токсичності води для гідробіонтів.

4. Встановити взаємозв'язок між концентраціями важких металів у поверхневих водах за проведеними розрахунками кореляційного аналізу Пірсона.

5. Обґрунтувати заходи на покращення контролю важких металів та відновлення стану якості води.

Перелік графічного матеріалу: таблиці

Дата видачі завдання:

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Строкаль В.П.

Завдання прийняв до виконання: _____ Балащенко А.В.

Зміст

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 1 |
| РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖУВАННОГО ПИТАННЯ..... | 4 |
| 1.1. Роль важких металів у забрудненні компонентів довкілля | 4 |
| 1.1.1 Фізико-хімічні властивості іонів Cu та Zn та їхня роль для гідробіонтів..... | 6 |
| 1.1.2 Фізико-хімічні властивості іонів Ni та Cr та їхня роль для гідробіонтів..... | 10 |
| 1.1.3 Фізико-хімічні властивості іонів Fe та Pb та їхня роль для гідробіонтів..... | 13 |
| 1.1.4 Фізико-хімічні властивості іонів Mn та його роль для гідробіонтів | 15 |
| 1.2. Ризики забруднення водних ресурсів важкими металами для гідробіонтів | 16 |
| 1.2.1 Потенційні наслідки від забруднення важкими металами для гідробіонтів іонами Cu, Zn, Fe, Mn | 16 |
| 1.2.2 Потенційні наслідки від забруднення важкими металами для гідробіонтів іонами Cr, Ni, Pb..... | 19 |
| РОЗДІЛ 2: УМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 22 |
| 2.1.Характеристика місця дослідження та проб забору води | 22 |
| 2.2. Методи дослідження | 28 |
| РОЗДІЛ 3: РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 31 |
| 3.1. Аналіз результатів дослідження хімічних показників води..... | 31 |
| 3.2. Аналіз результатів дослідження важких металів у поверхневих водах | 33 |
| 3.2.1 Аналіз результатів аналітичних досліджень | 33 |
| 3.2.2 Аналіз результатів дослідження на ділянці селища Кийлів | 36 |
| 3.2.3 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Києва..... | 42 |
| 3.2.4 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Канів | 45 |
| 3.2.5 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Дніпро | 49 |
| 3.2.6 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Запоріжжя..... | 55 |
| 3.2.7 Рекомендації вирішення проблеми забруднення поверхневих вод важкими металами | 57 |
| ВИСНОВКИ..... | 61 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 63 |

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота виконано на 73 сторінках, враховуючи список використаних літератури, містить 7 таблиць з розрахунками та аналітичними даними. Використано 52 джерела.

Мета дослідження: оцінити хімічний стан та токсичність поверхневих вод важкими металами в межах Басейн р. Дніпро.

Об'єктом дослідження: аналіз показників хімічного стану вод та важких металів у воді.

Предмет дослідження: індикатори якісного стану води з р. Дніпро, зокрема хімічні показники та важкі метали у воді.

У 2025 році були проведені лабораторні аналізи по 5 містах України з високим рівнем господарської діяльності та урбаністичним впливом. Результати показали значні перевищення Cu по всім пробам та значними перевищенням в деяких містах по Mn та Fe. Найбільш забрудненою ділянкою є Канів, що знаходиться внизу Канівського водосховища, яке є одним із головних чинників по накопиченню важких металів на дні річки. Безпосередньо впливає геологічне походження ґрунтів, порід у Каневі та сільське господарство, що дає негативний вплив на забруднення води. Найменший показник по забрудненню серед 5 міст має Запоріжжя з пробом під назвою 5, що знаходиться після дамби. Це пов'язано з тим, що вода має менші концентрації завислих речовин і в тому числі важкі метали, аніж до дамби. Також, в Запоріжжі більш контрольовані викиди і більшість підприємств мають очисні споруди і закритий круг використання води на заводі, що перешкоджає надмірному забрудненню даними металами і тому для індустріального міста, показники могли бути набагато гірші.

Одними із найкращих рішень щодо врегулювання та очищення води на важкі метали є фіторемедіація. Даний спосіб є актуальним на великі площі та є дешевим по собівартості. Однак, він може бути недостатньо

ефективним на ділянках с високим вмістом забруднення, як наприклад Канів з 6.7 разів перевищення ГДК по Mn. Другим способом є контролювання скидів та періодична перевірка очисних споруд підприємств і фільтрів, так як є екологічний ризик у недостатній ефективності, герметичності та справності обладнання на підприємствах. Періодичний внутрішній екологічний аудит дасть певний екологічний контроль на підприємствах та алгоритм дій на перевірку кожного виробничого процесу принаймні на кожні півроку. Однак, на момент воєнного стану, є екологічний ризик руйнування цехів, особливо це стосується прифронтових міст як Запоріжжя та Дніпро, що призведе до додаткових точкових та дифузних джерел забруднення водних ресурсів, а також пошкодження дахів виробничих будівель і призведе до ненормованого викиду пилу та газів, що можуть мати важкі метали. Таким чином, через руйнування в воєнний стан є недостатнє фінансування, через нерентабельність у прифронтових містах і не всі невідповідності екологічного аудиту можливо буде усунути і даний фактор ускладнює екологічний контроль на підприємстві.

Ключові слова: Дніпро, забруднення, важкі метали, важка промисловість, воєнна діяльність.

ВСТУП

Актуальність теми: Важка промисловість в Україні має довгу історію виникнення та розвитку до сьогодення. Металургійні є однією із ключових галузей Східної частини України і до того є головним джерелом потрапляння важких металів у навколишнє середовище. Забруднення довкілля важкими металами є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності, оскільки ці елементи характеризуються високою токсичністю, стійкістю у навколишньому середовищі та здатністю до біоаккумуляції. До найпоширеніших важких металів-забруднювачів належать свинець (Pb), Манган (Mn), ртуть (Hg), мідь (Cu), цинк (Zn), нікель (Ni) та хром (Cr) та залізо (Fe). Особливу небезпеку становить здатність важких металів до накопичення в ґрунтах і водних екосистемах. У водних екосистемах важкі метали зумовлюють токсичну дію на гідробіоти, спричиняють порушення ланцюгів живлення та загрожують цілісності біоценозів. Ці елементи не піддаються біологічному розкладанню, що забезпечує їх тривале існування у довкіллі. Також небезпека важкими металами становить, глобальні тенденції зростання індустріалізації та урбанізації посилюють масштаби викидів металів у повітря, воду та ґрунт. Одна з найважливіших чинників є те що через транскордонний характер поширення забруднення дана проблема має міжнародний вимір і потребує комплексних заходів екологічної безпеки та моніторингу.

Повномасштабне Російське Вторгнення глобально нищить ті змінює екосистеми України і ріка Дніпро не є виключенням. Сотні БПЛА, ракети та інше забруднюють головну річку нашої держави мастилами, вибуховими речовинами та уламками, піднімаючи ГДК важким металів.

Дана робота має на меті поєднати два найвпливовіших чинника по забрудненню важкими металами і відслідкувати, як течія річки впливає на переміщення даного антропогенного чинника починаючи від Києва і

закінчуючи Дніпром. Наскільки реально впливає війна на розповсюдження одного з ключових ознак якості води.

Мета дослідження: оцінити хімічний стан та токсичність поверхневих вод важкими металами в межах Басейн р. Дніпро.

Об'єкт дослідження: аналіз показників хімічного стану вод та важких металів у воді.

Предмет дослідження: індикатори якісного стану води з р. Дніпро, зокрема хімічні показники та важкі метали у воді.

Завдання:

1. Обґрунтувати потенційні чинники впливу важких металів на хімічних та біологічний стани поверхневих вод, та їхній вплив на гідробіонтів у водних екосистемах.

2. Проаналізувати хімічний стан води для встановлення хімічного стану поверхневих вод р. Дніпро.

3. Розрахувати індекс забруднення води за показниками важких металів у поверхневих водах для визначення токсичності води для гідробіонтів.

4. Встановити взаємозв'язок між концентраціями важких металів у поверхневих водах за проведеними розрахунками кореляційного аналізу Пірсона.

5. Обґрунтувати заходи на покращення контролю важких металів та відновлення стану якості води.

Методи наукового дослідження: атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES), ІЗВ, індекс Пірсона.

Наукова новизна: проведено комплексний аналіз на простеження потоку розповсюдження найпопулярніших важких металів по поверхневих водах р. Дніпро на визначення впливу воєнних дій та антропогенних чинників для майбутньої розробки відновлення України й її водних екосистем.

Практичне значення: отримані результати дослідження можуть бути використанні для моніторингових досліджень в науковій сфері, для розробки програм відновлення водних екосистем на рівні управління, та для обізнаності населення в освітній сфері.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖУВАННОГО ПИТАННЯ

1.1. Роль важких металів у забрудненні компонентів довкілля

Термін «важкі метали» зазвичай використовується в екологічній літературі для позначення металів та металоїдів, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, токсичністю та негативним впливом на біоту. Термін мав різноманітні визначення, здебільшого з точки зору густини, відносної атомної маси та атомного номера. Ця різноманітність визначень викликала питання щодо номенклатури цих елементів. Включення металоїда As та неметалу Se до важких металів також є важливим питанням. Якщо ж брати хімічну точку зору на важкі метали то: Важкі метали – це гетерогенна група елементів, що різноманітні за своїми функціями та хімічними властивостями. Важкі метали в основному належать до перехідних елементів у Періодичній таблиці. Важкі метали – це елементи, питомо вагу яких перевищує 5 г/см^3 . Метали, щільність яких щонайменше в 5 разів перевищує щільність води, також визначаються як важкі метали. «Важкі метали» часто називають мікроелементами, оскільки вони існують у незначних концентраціях у біологічних системах. Важкі метали бувають або незамінними (Mo, Mn, Cu, Ni, Fe, Zn), або замінними (Cd, Ni, As, Hg, Pb). Замінні метали підтримують метаболізм організму людини, наприклад, Cu, необхідна для утворення гемоглобіну, вуглеводного обміну, але якщо вони присутні в надлишку, це викликає пошкодження клітин. Так само багато важких металів також є важливими для рослин, оскільки вони діють як кофактор, активують ферментативні реакції та демонструють пластичність, провідність і забезпечують стабільність катіонів [1, 2, 3].

Важкі метали класифікуються як «метали, що зустрічаються в природі та мають атомний номер більше 20». Вони є значним класом забруднювачів, що впливають на навколишнє середовище. Серйозною проблемою з культурними, екологічними та економічними наслідками є забруднення

навколишнього середовища важкими металами. Через токсичність, стійкість та біоаккумулятивну природу цих матеріалів дослідження важких металів в атмосфері є важливою частиною екологічних досліджень. Шкідливі слідові кількості металів становлять значну загрозу як для водних, так і для наземних екосистем. Після потрапляння як з природних, так і з антропогенних джерел, важкі метали забруднюють природні водні об'єкти, відкладення та ґрунти. Зрештою, під час вивержень вулканів та складних промислових викидів важкі метали, що потрапляють в атмосферу, часто повертаються в ґрунт і спричиняють забруднення води та ґрунту. Вони або накопичуються в біоті, або вилуговуються в ґрунтові води, оскільки важкі метали в атмосфері є незворотними. Забруднення біоти та ґрунтових вод потенційно шкідливими важкими металами має значний вплив на здоров'я населення. У річкових умовах ступінь забруднення важкими металами можна виміряти, спостерігаючи за концентраціями та розподілом цих елементів. Фізико-хімічні та кліматичні ефекти впливають на загальну динаміку та біогеохімічний кругообіг важких металів в атмосфері. Забруднення річки цими важкими металами може мати негативний вплив на екологічний баланс водного середовища, зі ступенем забруднення різноманітність водних організмів обмежується. Рибу у водній екосистемі можна використовувати для вивчення стану біоти. Через забруднювачі в харчовому ланцюзі організмів можна спостерігати шкідливий вплив, і аквакультура може загинути. Ці важкі метали є нейротоксинами для риб, що живуть у водному середовищі. Коли ці важкі метали потрапляють в організм риби, вони взаємодіють з нею, викликаючи біохімічну реакцію всередині неї, що ускладнює комунікацію риби з навколишнім середовищем [1, 2, 3, 4].

На жаль, дослідження річки Дніпро на забруднення важкими металами недостатньо розкрито та вивчено для загального аналізу стану річки. Одним із важливих факторів, що також розділяє період дослідження це воєнні дії в 2022 року, які безпосередньо впливають на розповсюдження

забруднення важкими металами. Недостатність наукових досліджень на цю тему до повномасштабного вторгнення та після не дає об'єктивно оцінити і розрахувати саме воєнний вплив на даний водний об'єкт.

1.1.1 Фізико-хімічні властивості іонів Cu та Zn та їхня роль для гідробіонтів

Самородний Cu зустрічається в багатьох місцях як основний мінерал у базальтових лавах, а також у вигляді відновлення з мідних сполук, таких як сульфіди, арсеніди, хлориди та карбонати. Cu зустрічається в поєднанні з багатьма мінералами, такими як халькозин, халькопірит, борніт, куприт, малахіт та азурит [6]. Cu легко розтягується, ліпиться та формується; вона стійка до корозії; та ефективно проводить тепло та електрику. Міцність і твердість помітно збільшуються при холодній обробці завдяки утворенню видовжених кристалів такої ж гранецентрованої кубічної структури, яка присутня в м'якшій відпаленій міді [6]. Як наслідок, Cu була важливою для первісних людей і продовжує залишатися матеріалом вибору для різноманітних побутових, промислових та високотехнологічних застосувань сьогодні [5]. Наразі Cu використовується в будівництві будівель, виробництві та передачі електроенергії, виробництві електронних виробів, а також у виробництві промислового обладнання та транспортних засобів. Мідна проводка та сантехніка є невід'ємною частиною побутової техніки, систем опалення та охолодження, а також телекомунікаційних ліній, що використовуються щодня в будинках та на підприємствах. Cu є важливим компонентом двигунів, проводки, радіаторів, роз'ємів, гальм та підшипників, що використовуються в автомобілях та вантажівках. Середній автомобіль містить 1,5 кілометра мідного дроту, а загальна кількість міді коливається від 20 кілограмів у невеликих автомобілях до 45 кілограмів у розкішних та гібридних автомобілях. Як і в давнину, Cu залишається

компонентом монет, що використовуються в багатьох країнах, але було виявлено багато нових способів її використання. Одним із новітніх застосувань Cu є її використання в поверхнях, яких часто торкаються (таких як латунні дверні ручки), де антимікробні властивості міді зменшують передачу мікробів та хвороб.

Cu зазвичай зустрічається у водних системах в результаті як природних, так і антропогенних джерел. Природні джерела Cu у водних системах включають геологічні відкладення, вулканічну активність, вивітрювання та ерозію гірських порід і ґрунтів. Антропогенні джерела Cu включають гірничодобувну діяльність, сільське господарство, металургію та електротехніку, шлам державних очисних споруд, використання пестицидів тощо. Основним джерелом Cu в водному середовищі є захисні покриття від обростання, що використовуються як покриття для корпусів суден, буїв та підводних поверхонь, а також як забруднювач з настилів, паль та деяких морських споруд, в яких використовувалася деревина, оброблена хромованим арсенатом міді (ССА) [7]. Видобуток та переробка Cu сприяють розвитку інфраструктури та створюють багато інвестиційних можливостей. Як наслідок, країни з високою індустріалізацією частіше стикаються із забрудненням від металургійних відходів. Близько половини антропогенних викидів As припадає на мідеплавильні заводи. Гірничодобувна промисловість, включаючи мідну, генерує понад 10 мільярдів тонн шлаків, пилу та аерозолів як побічні продукти, які забруднені металами та металоїдами, включаючи токсичні, такі як As, Cd, Hg та Pb. Захоронення відходів є найпоширенішим методом управління відходами. Такий підхід призводить до забруднення наземного та водного середовища важкими металами[9].

Cu є важливою поживною речовиною в низьких концентраціях, але є токсичною для водних організмів у вищих концентраціях. Окрім гострих наслідків, таких як смертність, хронічний вплив міді може призвести до негативного впливу на виживання, ріст, розмноження, а також до змін

функції мозку, активності ферментів, хімічного складу крові та метаболізму [7]. У водоймах видоутворення Cu сильно впливає на її здатність створювати токсичність. Cu є перехідним металом з трьома ступенями окиснення, а саме: Cu(0) (твердий метал), Cu(I) (іон міді) та Cu(II) (іон міді). Окислення Cu(I) до Cu(II) надає блакитного відтінку молюскам та ракоподібним завдяки наявності білка гемоціаніну. У складних формах Cu менш біодоступна та менш токсична, ніж вільна іонна форма Cu^{2+} . Різні ступені окиснення міді використовуються для розробки наночастинок з різними наборами відмінних властивостей. Високопровідна елементарна мідь (Cu(O) або nCu) може ініціювати перенесення електронів. Cu(I), що використовується в наночастинках Cu_2O , може перемикатися між Cu^+ та Cu^{2+} , тоді як Cu(II) може синтезуватися у формі наночастинок $\text{Cu}(\text{OH})_2$ та використовуватися як антимікробний засіб. Відповідно, виникає необхідність оцінити вивільнення іонів міді в морському середовищі, щоб проаналізувати токсичність та біодоступність, якщо вони накопичуються в середовищі, що містить водну біоту[10].

Цинк — це сріблясто-блакитно-сірий метал з порівняно низькою температурою плавлення та кипіння 420°C та 907°C відповідно. Хоча цинк крихкий за звичайної температури, він ковкий за 100°C і його легко прокатувати. Зазвичай він знаходиться в крихкій формі, але при нагріванні перетворюється на ковкий метал. Zn Близько $7,13 \text{ г/см}^3$, що робить його менш щільним, ніж залізо. Гексагональна форма, зі спотвореною гексагональною щільною упаковкою. Атоми мають шість найближчих сусідів з міжатомними відстанями близько 265,9 пм та 290,6 пм. Добре проводить електрику. Швидко реагує з повітрям, утворюючи тьмяно-сіре покриття оксиду цинку (захист від корозії). Реагує з галогенами, киснем, кислотами, лугами та аміаком, що позначає його як амфотерний метал. Захисний шар оксиду цинку забезпечує хорошу стійкість до корозії, особливо при використанні як цинкувального покриття[11].

На сьогодні Цинк досі поширений метал у промисловості і має багато напрямків використання. Цинк є четвертим за поширеністю металом у світі після сталі, алюмінію та міді та третім за поширеністю кольоровим металом. Найпоширенішим мінералом цинку є сфалерит, також відомий як цинкова суміш. Цей мінерал кристалізується з гідротермального розчину у вигляді чистого сульфїду цинку та міститься майже у всіх цинкових родовищах, що зараз видобуваються. Цинк часто видобувають разом зі свинцем, міддю, сріблом та іншими металами. Ефективність цинку в захисті сталі від корозії шляхом оцинкування добре відома, а здатність лити складні компоненти робить цинк незамінним у багатьох промислових та побутових товарах. Він також має важливі ринки в латунній та будівельній промисловості, а також у хімічній промисловості та є важливим поживним елементом. Загальний вміст металу в запасах/ресурсах цинку оцінюється в 36 мільйонів тонн [12]. Зараз все більше набирають популярність цинкові батареї як більш раціональна альтернативна літєвим батареям, так як є варіант їх перезаряджати. Вони добре підходять для стаціонарних застосувань накопичення енергії завдяки високій щільності енергії та низькій вартості.

1.1.2 Фізико-хімічні властивості іонів Ni та Cr та їхня роль для гідробіонтів

Хром – хімічний елемент із символом Cr. Він належить до 6-ї групи, періодичного номера 4 періодичної таблиці. Його атомний номер – 24. Хром – сталєво-сірий блискучий, крихкий, твердий метал з дуже високими температурами плавлення та кипіння. Він дуже стійкий до корозії завдяки своєму оксидному шару та зазвичай має ступені окиснення +3 та +6, причому Cr(VI) є сильним окислювачем та токсичним. Порошок металевого хрому є пожежонебезпечним. Усі сполуки хрому слід вважати високотоксичними. Сполуки хрому(VI) є високотоксичними та канцерогенними. Сполуки хрому(III) менш токсичні. Сполуки хрому є важливими забруднювачами. Нікель – це пластичний, феромагнітний метал з дещо нижчими температурами плавлення та кипіння, ніж хром. Він стійкий до корозії та хімічно менш хімічно активний порівняно з хромом, переважно зустрічаючись у ступені окиснення +2 у сполуках, але з деяким алергенним потенціалом. Ці фізичні та хімічні характеристики лежать в основі їх широкого використання в нержавіючих сталях, сплавах, гальванічних покриттях, каталізаторах, пігментах та інших промислових та споживчих виробках [23, 23, 25, 26, 27].

Основне сучасне використання нікелю – у виробництві нержавіючої сталі, де він підвищує стійкість до корозії, міцність та пластичність, що робить нержавіючу сталь ідеальною для кухонної техніки, медичних інструментів, будівельних матеріалів та автомобільних деталей. Нікелеві сплави також мають вирішальне значення в аерокосмічній та оборонній промисловості для виготовлення високоміцних, термостійких компонентів, таких як реактивні двигуни та турбіни. Крім того, нікель відіграє життєво важливу роль у технологіях накопичення енергії, зокрема в акумуляторах для електромобілів, таких як нікель-кадмієві та літій-іонні акумулятори, пропонуючи вищу щільність енергії та довший термін служби. Нікель використовується на хімічних заводах, у морській техніці (завдяки своїй

стійкості до корозії морської води) та в харчовій промисловості для обладнання завдяки своїм гігієнічним властивостям. Гальванічне покриття нікелем забезпечує блискуче, стійке до корозії покриття для численних споживчих товарів, включаючи електроніку, таку як ноутбуки та мобільні телефони [28, 29].

Хром переважно використовується для виробництва нержавіючої сталі та інших корозійностійких сплавів, зміцнюючи метал та запобігаючи іржі, як наприклад Ферохром. Він широко використовується в хромуванні, щоб забезпечити міцні, блискучі, корозійностійкі покриття для автомобільної обробки, інструментів та ювелірних виробів. Сполуки хрому важливі для дублення шкіри та як пігменти у барвниках та фарбах завдяки своїм яскравим кольорам. Промислове використання включає консервацію деревини за допомогою обробки на основі хрому для захисту від гниття та шкідників, а також у каталізаторах для хімічної обробки та боротьби із забрудненням. Оксид хрому використовується для екологічних застосувань, таких як очищення повітря та води, а також у екологічно чистих будівельних матеріалах для енергоефективних вікон та довговічних покриттів. Роль хрому у виробництві синтетичних рубінів для лазерів ще раз підкреслює його технологічне значення [25, 30].

Основними джерелами Ni є спалювання вугілля (є основним джерелом енергоносії і України і передусім використовується на Трипільській ТЕЦ) та інших копалин і промислові викиди – зокрема стоки гальванічних (Ni-рудники і хвостосховища видобутку дають кислотні стоки і змиви, що містять значні концентрації нікелю.) і металургійних підприємств (виробництво нержавіючих сталей і нікелевих сплавів, а також нікелеве гальванічне покриття спричиняють скидання відходів з Ni. Наприклад, стічні води електролізних цехів та плавильних комплексів містять розчинені солі нікелю). Природний шлях потрапляння у водні екосистеми є через вивітрювання та ерозію гірських порід і мінералів, що

містять нікель. Вулканічна активність також може вивільняти нікель у навколишнє середовище.

Хром природно міститься в земній корі (передусім у руді хроміту), але токсичну форму Cr(VI) головним чином створено людиною. Природними шляхами Cr потрапляє у воду через вивітрювання хромітів і ерозію гірських порід. Також, особливість Хрому є те, що його активно використовують у військовій діяльності для виготовлення боєприпасів.

Нікель і хром надходять у водойми різними шляхами, що охоплюють як стаціонарні, так і дифузні джерела:

- Стічні води підприємств: прямі викиди від металургійних, гальванічних, шкіряних і хімічних заводів несуть з собою розчини Ni і Cr. Наприклад, дослідження показують, що на господарсько-побутові стоки (очисні споруди, міські очисні станції) припадає понад 30 % загального Cr, а на металургійне виробництво – близько 25–30 %. Викиди з очищених і необроблених стоків значною мірою визначають концентрації металів у річках і ставках.
- Атмосферне випадання: у атмосферу постійно потрапляють частинки пилу з важкими металами – зокрема, Ni і Cr – при спалюванні палива, з викидами доменних печей, а також викидами транспорту. Ці частинки осідають на поверхні ґрунту та води, звідки розчиняються у потоках і річках. Атмосферне осідання, за оцінками, дає близько 6–10 % Cr у водних системах
- Ерозія та змив: забруднені ґрунти (наприклад, індустріальні відвали чи затоплені шламові сховища) під час дощів і паводків вимивають метали в водні шляхи. Особливо небезпечні зливи кислотних шахтних стоків (для Ni) та руйнування хвостосховищ (для Cr).
- Військові руйнування: бойові дії викликають невідоме руйнування інфраструктури (заводів, дамб, очисних споруд), що веде до раптового скиду накопичених токсичних речовин у довкілля. Відомо, що при руйнуванні гальванічних цехів, сховищ боєприпасів та іншої

інфраструктури значні обсяги хімікатів потрапляють у водойми . Крім того, при застосуванні боєприпасів і вибуху техніки викиди вибухових речовин і уламків, збагачених Cr, прямим чином змінюють якість води.

1.1.3 Фізико-хімічні властивості іонів Fe та Pb та їхня роль для гідробіонтів

Свинець, що зустрічається в земній корі природним чином, – це важкий блакитно-сірий метал, який блискучий у свіжорозрізаному вигляді. Він рідко зустрічається у чистому вигляді, а радше утворює комплекси з іншими елементами, утворюючи сполуки свинцю. Свинець, що міститься в руді з міддю, цинком та сріблом, зустрічається в мінеральній формі у вигляді галеніту (PbS), англезиту (PbSO₄) та церуситу (PbCO₃). Він легко ковкий, плавиться та може додаватися до інших металів для утворення сплавів. Стійкий до корозії на повітрі та у воді, він нелегко змішується з багатьма розчинниками, але реагує з гарячими кислотами, такими як азотна та сірчана. Він має 4 природні ізотопи, а також 17, отриманих експериментально, має здатність горіти блакитно-білим полум'ям. Порошкоподібний свинець проявляє пірофорність та виділяє токсичні пари при горінні [39].

Залізо, представлене хімічним символом Fe та атомним номером 26, – це метал, який відіграє центральну роль у сучасній цивілізації завдяки своїй поширеності, універсальним властивостям та широкому застосуванню. Це четвертий за поширеністю елемент у земній корі та широко поширений у Всесвіті. Ферум – це блискучий, сріблясто-сірий метал, який у чистому вигляді є ковким та пластичним. Він має густину близько 7,87 г/см³, температуру плавлення 1538°C та температуру кипіння приблизно 2862°C. Залізо існує в кількох алотропних формах з різними кристалічними структурами та властивостями, включаючи альфа-залізо (ферит), гамма-залізо (аустеніт) та дельта-залізо. Здатність металу переходити між цими

формами за різних температур та умов сприяє його універсальності, особливо у формуванні сталі та інших сплавів [40].

Основні джерела Свинцю та Феруму та шляхи потрапляння у водні екосистеми є антропогенними або природними. Металургійна промисловість – заводи з виплавки сталі та чавуну (доменні печі) генерують шлаки і стічні води з високим вмістом заліза. Гірничодобувна діяльність призводить до забруднення залізом видобутком і збагаченням залізних руд. Це супроводжуються кислотними шахтними водами та розмивами хвостів, насичених Fe. Також, корозія інфраструктури призводить до руйнування споруд, виділяючи розчинне залізо у воду. Природні джерела – залізо дуже поширене в земній корі і природно потрапляє у воду внаслідок вивітрювання гірських порід та ґрунтів. Однак антропогенні джерела забруднення переважають у зонах активної індустріалізації.

Плавлення свинцевих руд, рафінування, випуск шлаків та пилу з високим вмістом Pb, гальванічні та хімічні підприємства, такі як цехи з нанесення свинцевих покриттів, виробництво барвників, фарб та антидетонаторів, випускають стічні води з Pb. Транспорт історично був головним джерелом Pb через викиди тетраетилсвинцевого бензину та автодорожній пил. Сьогодні внесок зменшився, але відкладення Pb з минулих викидів разом з дорожнім пилом можуть змиватися до водостоків. Сільське господарство раніше використовувало деякі фунгіциди і мінеральні добрива, які містили свинець, але нині це незначний внесок у порівнянні з промисловими джерелами. Побутові джерела включають старі водопровідні труби, свинцеві припої і фарбу, які вивільняють Pb у питну воду, а також неперероблене побутове сміття та зливи від спалювання, що можуть додавати свинець. Природні джерела свинцю у довкіллі відносно рідкісні, він надходить через вивітрювання свинцевих руд і ґрунтів, але ці надходження значно менші, ніж антропогенні.

1.1.4 Фізико-хімічні властивості іонів Mn та його роль для гідробіонтів

Марганець — твердий, крихкий метал сріблясто-сірого кольору. Він має атомний номер 25 та атомну масу приблизно 54,94 г/моль. Його густина становить близько 7,43 г/см³, що робить його відносно щільним порівняно з багатьма іншими металами. Температура плавлення марганцю висока, близько 1244°C (2271°F), а температура кипіння – приблизно 2095°C (3803°F), що відображає його міцні металеві зв'язки та термостійкість. Хімічно марганець є достатньо хімічно активний і може проявляти кілька ступенів окиснення від +2 до +7, причому +2 та +4 є найпоширенішими. Він легко реагує з киснем, утворюючи різні оксиди марганцю, і розчиняється в кислотах, таких як хлоридна кислота, утворюючи солі марганцю. Хоча чистий марганець не є магнітним, він може проявляти магнітні властивості при сплавленні з іншими металами [31, 32].

Основні антропогенні викиди Mn пов'язані з гірничодобувною та металургійною діяльністю. При виплавці чавуну і сталі, виробництві феросплавів (ферромарганцю) і акумуляторів утворюються стоки, що містять марганець. Зокрема, Mn використовується при виготовленні батареї, скла, кераміки, добрив, піротехнічних виробів та очищувальних хімікатів. Унаслідок цього руди, шлами і стічні води цих підприємств можуть бути насичені сполуками Mn, які через водні стоки надходять у річки й озера. Якщо брати сільське господарство, то у ґрунт марганець вводиться із мінеральними добривами та фунгіцидами. Багато популярних фунгіцидів (наприклад, манкоцеб) містять солі Mn, які після обробки полів потрапляють до ґрунту й стають джерелом забруднення вод. Крім того, кормові добавки з Mn для худоби та мул з ферм збагачують легкодоступний марганець у навколишньому середовищі. Інтенсивне зрошення та ерозія полів зносить ці сполуки в річки та озера. Раніше марганець широко використовували як присадку до бензину (ММТ – метилциклопентадієніл марганцю трикарбоніл). Хоч сучасні використання ММТ обмежені, спалювання

викопного палива (вугілля, нафти) також вносить Mn в атмосферу й воду. Крім того, зношування автомобільних деталей і покриттів доріг, а також корозія металевих конструкцій можуть бути додатковим локальним джерелом Mn в стоки.

1.2. Ризики забруднення водних ресурсів важкими металами для гідробіонтів

1.2.1 Потенційні наслідки від забруднення важкими металами для гідробіонтів іонами Cu, Zn, Fe, Mn

Важкі метали мають певні спільні характеристики забруднення такі як біоаккумуляція в організмах, екологічні порушення через оксидативний стрес та зменшення біорізноманіття, а також ризиків для здоров'я людини, включаючи канцерогенність, нейротоксичність, серцево-судинні захворювання та пошкодження нирок через ковтання, контакт зі шкірою та інгаляційні шляхи.

Cu діє як потужний альгіцид, пригнічуючи первинне виробництво та призводячи до зменшення популяцій фітопланктону, що каскадно впливає на зоопланктон, рибу та бентосних безхребетних через оксидативний стрес та порушення розмноження. Вона посилює наслідки підкислення океану, збільшуючи кількість вільних іонів Cu^{2+} , підвищуючи токсичність за змін кліматичних умов та спричиняючи сублетальні наслідки, такі як погане плавання, пригнічення росту та зміни поведінки риби.

Таблиця 1.1. Вплив Cu^{2+} на групу органів риби

| Назва органу чи групи органів | Наслідки отруєння міді та морфологічні зміни |
|-------------------------------|--|
| Зябра | Основним місцем токсичності міді є зябра, де Cu^{2+} пошкоджує нижні епітеліальні тканини. Це призводить до порушення екстракції кисню, що спричиняє дихальні порушення та задуху. Вплив міді призводить до застійних явищ, потовщення капілярів та вакуолізації епітеліальних клітин. Зябра також страждають від порушення іонної регуляції, що впливає на осморегуляцію, а також викликають підвищення артеріального тиску, що спричиняє серцево-судинний колапс і смерть [11]. |
| Печінка | Печінка є органом, що найбільш чутливо реагує на накопичення міді, оскільки саме там відбувається процес детоксикації. Мідь спричиняє жировий метаморфоз та пошкодження клітин печінки. Роль печінки в детоксикації порушується розширенням синусоїдів, скупчення клітин крові та набряк, некрозом, викликаним іонами міді, що призводить до зниження метаболічної здатності [10, 11]. |
| Нирки | У нирках, що зазнали впливу міді, виникають набряк, застій та некроз тканин. Руйнування кровотворної тканини та порушення іонного балансу погіршують функції нирок, які є вирішальними для виділення та іонної регуляції у риби. Також, спостерігається гідропічна дегенерація, каналцева кровотеча, зморщування клубочків, пошкодження збірних проток та інтерстиціальна конгестія. |
| Фізіологічні процеси | Мідь порушує іонний баланс, порушуючи концентрацію іонів калію, натрію та хлориду в тканинах. Вона може пригнічувати здатність риби реагувати на гіпоксію, впливаючи на морфологію зябер та метаболічні функції. Порушення роботи нервової системи призводять до млявості, порушення координації та можливих неврологічних уражень. |
| Імунна система | Пов'язаний зі зниженням фагоцитарної функції макрофагів та зменшенням вироблення антитіл |
| Ендокринна система | Крім того, це може впливати на метаболізм глюкози та клітинну структуру риби. Вплив міді викликає підвищення рівня глюкози в крові, що призводить до пригнічення апетиту та, отже, до зменшення споживання їжі. Цей процес відбувається внаслідок гормональних змін, які збільшують метаболізм печінкового глікогену в глюкозу крові (глікогеноліз). Все це впливає на високий енергетичний попит, необхідний для метаболічної координації в печінці та, таким чином, підтримки процесу детоксикації з метою подолання хімічного стресу. |

Цинк має високу токсичну здатність на водне середовище. У природних водах при $\text{pH} \leq 8,5$ переважаючим видом є валентність $+2$. В естуарних водах при нейтральному pH переважаючим видом цинку є Zn^{2+} , тоді як при вищому pH ($\text{pH} \geq 8$) у відкритому морі основним видом стають

гідролізовані види $ZnOH^+$ та $Zn(OH)_2$. Поглинання та токсичність цинку зазвичай зменшуються зі збільшенням солоності, а також токсичність зазвичай зменшується зі зниженням рН, принаймні нижче рН 8 [18]. Риби особливо чутливі до токсичності цинку, що може призвести до порушення росту, розмноження та виживання. Хронічний вплив сублетальних рівнів цинку може спричинити пошкодження зябер, зниження поглинання кисню та зміну поведінки у риб. Безхребетні, такі як молюски та ракоподібні, також вразливі до токсичності цинку. Підвищений рівень цинку може перешкоджати їхньому росту, розмноженню та імунній функції. Устриці, наприклад, можуть накопичувати високий рівень цинку у своїх тканинах, що призводить до зниження росту та виживання [17]. Забруднення цинком може мати значний вплив на морські рослини та водорості. Коли рівень цинку перевищує природні концентрації, це може порушити фотосинтез і ріст цих організмів. Дослідження показали, що високий рівень цинку може зменшити вироблення хлорофілу, що призводить до зниження ефективності фотосинтезу та уповільнення темпів росту морських рослин, таких як морські трави та макроводорості. Хронічний вплив цинку може спричинити оксидативний стрес, фізіологічні порушення та зміни поведінки у риб, а також біоаккумуляцію в таких органах, як печінка та нирки.

Залізо є важливим мікроелементом, але при надлишку воно може негативно впливати на організми. Надмірне Fe утворює нерозчинні гідроксиди, що забруднюють дно й осаджуються на зябрах риб і поверхнях безхребетних, погіршуючи газообмін та живлення. Практичні дослідження показують зниження біомаси фітопланктону при значних збільшеннях Fe, хоча зазвичай прямого масового вимирання риб не відбувається.

Марганець – необхідний мікроелемент, але його надлишок токсичний. У риб надмір Mn викликає оксидативний стрес, ушкодження зябер, печінки та нервової системи. Експерименти показали, що при підвищеному Mn у воді личинки данію (*Danio rerio*) набувають постуральних дефектів і знижують рухливість. У дорослих риб він може порушувати розвиток та

поведінку, створюючи симптоми, подібні до хвороби Паркінсона. Летальні концентрації відносно високі: наприклад, 96-год LC_{50} для райдужної форелі становить $\approx 3,3$ мг/дм³. Але хронічні негативні ефекти (зниження росту, плодючості тощо) відзначаються при значно нижчих концентраціях. Як мікроелемент Mn потрібен для фотосинтезу (активує процеси фотосистеми). Однак при надлишку він гальмує ріст водоростей. Наприклад, водорість *Chlorella vulgaris* витримує без ефекту на ріст концентрації до $\sim 4,5$ мг/дм³ (NOEC). При вищих рівнях у зонах росту рослин починається пригнічення хлорофілоутворення та зниження продуктивності. У природних водоймах це може змінювати баланс екосистеми, сприяючи домінуванню хемотрофів або детоксикації екосистем.

1.2.2 Потенційні наслідки від забруднення важкими металами для гідробіонтів іонами Cr, Ni, Pb

Забруднення водних екосистем хромом (Cr), нікелем (Ni) та свинцем (Pb) має значний нейротоксичний вплив на водні організми, порушуючи функцію нейромедіаторів, викликаючи оксидативний стрес та погіршуючи фізіологію мозку та нервової системи. Свинець не є необхідним для організмів і високотоксичний навіть у низьких концентраціях. Біоаккумуляція свинцю призводить до нейротоксичності через перешкоджання синоптичній сигналізації, порушення іонних каналів та утворення активних форм кисню, що викликає нейронне запалення, когнітивні порушення та поведінкові аномалії у водних організмів. Вплив свинцю пов'язаний з нейротоксичністю розвитку та пригніченням ферментів, що впливає на функцію мозку. Він легко накопичується в тканинах риб і безхребетних. Хронічні ефекти проявляються при концентраціях у кілька десятків мкг/дм³: наприклад, у дослідях репродукція веслоногих рачків (*Daphnia magna*) знижувалася при ~ 30 мкг/л Pb, а у форелі помічали деформовані хребці при ~ 31 мкг/л (м'яка

вода). У водоймах з високим вмістом свинцю значно зменшується чисельність чутливих видів риб та безхребетних, а тварини вищих трофічних рівнів отримують отруєння через біоаккумуляцію Pb. За таких умов розриви харчових ланцюгів і загибель популяцій стають імовірними.

Ni та Cr є особливо небезпечними навіть у малих дозах до флори та фауни. Нікель і хром порушують життєві функції риб. Вплив нікелю (Ni) пошкоджує зяброві структури, впливаючи на дихальну функцію, та викликає неврологічні симптоми, такі як змінена поведінка, в тому та енцефалопатійні ефекти, порушуючи сигналізацію центральної нервової системи та внутрішньоклітинні системи вторинних месенджерів. Ni може проникати через гематоенцефалічний бар'єр, викликаючи набряк та запалення нервової тканини у водних тварин. За даними токсикологічних досліджень, LC₅₀ Ni для прісноводних риб становить кілька мг/дм³ (найчутливіші показники – біля 2,48 мг/дм³). Шестивалентний хром (Cr VI) пригнічує активність ацетилхолінестерази (AChE), ключового ферменту, що регулює нейротрансмісію, що призводить до накопичення ацетилхоліну в синапсах та спричиняє нейротоксичність і потенційний гострий холінергічний синдром у риб. Вплив Cr викликає оксидативний стрес, пошкодження нервової тканини, апоптоз і підвищення рівня гормонів стресу, що погіршує когнітивні функції у водних видів. Хром(III) для риб менш токсичний (LC₅₀ ~33–72 мг/дм³), проте Cr(VI) значно небезпечніший: його LC₅₀ для деяких видів прісноводних риб – 17,6–249 мг/дм³. При цьому Cr(VI) навіть у низьких дозах може викликати окислювальний стрес та пошкодження ДНК риб. Безхребетні особливо чутливі до Ni і Cr. Так, Ni-шок для дафній (*Daphnia magna*) становить близько 0,51 мг/дм³ (LC₅₀), а хром(III) у дозах 2–64 мг/дм³ вже спричиняє гостру токсичність для ракоподібних. Шестивалентний хром особливо небезпечний – його LC₅₀ для окремих дрібних безхребетних (наприклад, мокриць) може бути меншим за 0,1 мг/дм³ (67 мкг/дм³). Внаслідок високого рівня металів гине частина водних безхребетних, що знижує біомасу кормових організмів. Щодо флори,

то обидва метали пригнічують ріст та розвиток фототрофів. У досліді культура зеленої водорості показала помітне зниження росту при 50–100 мкг/дм³ Ni . Хром(VI) діє ще сильніше: концентрація всього ~10 мкг/дм³ призводить до інгібування росту таких видів, як зелені одноклітинні *Chlamydomonas* і ряска *Lemna minor* . У довготривалій перспективі це зменшує продуктивність екосистеми та може змінювати видове співвідношення водоростей у водоймі [29, 30].

РОЗДІЛ 2: УМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика місця дослідження та проб забору води

Дослідження проводилось в 6 точках України і в п'яти містах: Київ, Кийлів, Канів, Дніпро та Запоріжжя.

Перша проба була взята в селище Кийлів. Селище розташований у південно-західній частині Бориспільського району Київської області, на березі Дніпра, точніше Канівського водосховища. Координати: 50°08'24.9"N 30°53'09.2"E. Це перша точка забору води з Канівського Водосховища. Середня висота над рівнем моря становить близько 105 м. Типовий ландшафт тут сформований як комбінація лісостепової та заплавної зон, адже Київська область знаходиться на межі Полісся і лісостепу. У безпосередній близькості від Кийлова є ландшафтний заказник "Кілов-Рудяків", який включає заплавні острови Канівського водосховища, алювіальні відклади, замулені піски та торф'яністи ґрунти. Рельєф місцевості переважно рівнинний з піщаними терасами та заплавними лісами. Клімат у Кийлові є помірно континентальним, схожим на клімат усієї Київської області, з м'якою зимою та теплим літом. Середня температура в січні становить близько -6 а в липні – приблизно +19.5 У цій місцевості відзначається достатнє зволоження. Урбанізація тут відбувається переважно за рахунок трансформації сільськогосподарських земель та вивільнених виробничих територій під нове житлове будівництво з сучасною забудовою для міських мешканців. Щільність забудови складає близько 40%, а площа житлової зони приблизно 50% поселення. Кийлівський ландшафт значною мірою формується річковою системою Дніпра, точніше його частиною — Канівське водосховищем, яке розташоване безпосередньо поруч зі селом. Дніпро є найбільшою річкою в Україні, і його водні потоки утворюють на цій території широкі заплави, тераси та алювіальні відклади, що впливає на тип ландшафту.

Друга проба: Місце дослідження розташоване за координатами $50^{\circ}27'25.4''\text{N}$, $30^{\circ}31'47.7''\text{E}$, у межах м. Київ. Дослідна ділянка знаходиться в центральній частині міста, що характеризується високим рівнем урбанізації та значним антропогенним навантаженням. Територія має щільну житлову та транспортну інфраструктуру, що суттєво впливає на стан довкілля. Рельєф місцевості рівнинний із незначними перепадами висот, характерними для центральної частини Києва. Ґрунтовий покрив переважно порушений, значна частина поверхні зайнята дорожнім полотном, тротуарами та забудовою. Природні ґрунти збереглися лише фрагментарно в зелених зонах. Клімат території – помірно континентальний, із теплим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура становить близько $+9,5\dots+10,0$ °C, річна кількість опадів – приблизно 600–650 мм. Вітровий режим формується переважно західними та північно-західними вітрами. Екологічні умови місця дослідження визначаються впливом транспортних потоків, щільної житлової забудови та міських інженерних мереж. Поблизу можливе розташування дощових або господарсько-побутових колекторів, що можуть впливати на якість води та ґрунту. Також на стан довкілля можуть впливати зливові стоки, викиди автотранспорту та локальні джерела забруднення, характерні для великих міст. Досліджувана територія є типовою міською зоною із складними техногенними та екологічними умовами, що робить її показовою для вивчення впливу урбанізованого середовища на якість води на важкі метали.

Третя проба: Місце дослідження розташоване за координатами $49^{\circ}45'15.1''\text{N}$, $31^{\circ}28'43.9''\text{E}$ у межах міста Канів Черкаської області. Дослідна ділянка знаходиться у прибережній частині Дніпра, що зумовлює специфічні гідрологічні та екологічні умови території. Район характеризується поєднанням природних ландшафтів та урбанізованої забудови, що створює комплексний вплив на довкілля. Територія має хвилястий рельєф, характерний для Канівських дислокацій, із наявністю плавних схилів, терас та підвищень. Важливо зазначити геологічні умови. Ця територія є

прикладом дислокацій осадових порід, зім'ятих у складки, що утворюють лускаті структури, і є рідкісним геологічним феноменом. У геологічному розрізі Канівських гір представлені відклади різних геологічних періодів: від докембрійських кристалічних утворень до юрських, крейдових, палеогенових та інших. Це свідчить про складне геологічне минуле з різноманітними породами. Уздовж берегової зони поширені алювіальні ґрунти, місцями — піщані та супіщані відклади, які формуються внаслідок діяльності річки Дніпро. Зелені зони представлені прибережною рослинністю та фрагментами заплавної луки. Клімат досліджуваної території – помірно континентальний. Середньорічна температура становить близько +9 °С, з теплим вологим літом та помірно холодною зимою. Річна сума опадів коливається в межах 550–600 мм. У вітровому режимі переважають західні та північно-західні вітри, що впливають на розсіювання домішок у повітрі та їх перенесення до водної поверхні. Екологічні умови місця визначаються комбінованим впливом природних і техногенних факторів. Поблизу координат розташовані житлові квартали, транспортні мережі та рекреаційні ділянки, що створюють антропогенне навантаження на прибережну зону. Водночас річка Дніпро є потенційним приймачем зливових стоків, продуктів ерозії берегів, побутових відходів та можливих господарських скидів із міської території. У цьому районі також можливе надходження домішок із сільськогосподарських територій, що розташовані вище за течією, а також вплив гідрологічного режиму Канівського водосховища. Природні умови поєднуються з техногенними процесами, що робить територію важливою для оцінки стану водних ресурсів, прибережних екосистем та рівня антропогенного навантаження.

Четверта проба: Місце дослідження, розташоване за координатами 48°26'17.5"N, 35°04'19.7"E, знаходиться в межах м. Дніпро, на правобережній частині прибережної зони річки Дніпро. Територія характеризується високим рівнем урбанізації, наявністю промислових та транспортних об'єктів, що суттєво впливають на стан водного середовища.

Рельєф місцевості переважно рівнинний, з легким підвищенням у напрямку від річки до центру міста. Берегова лінія формує штучно укріплені ділянки (бетонні укріплення, набережні), характерні для міста Дніпро. У прибережній зоні можливе поєднання природних алювіальних ґрунтів із техногенно зміненими поверхнями. Річка Дніпро в межах міста є частиною Дніпровського каскаду водосховищ, а саме – долини Дніпровського (Запорізького) водосховища, що впливає на її гідрологічний режим. Характер течії уповільнений, тип живлення – змішаний, з переважаючою роллю водосховищного регулювання. Глибини в цій ділянці значні, течія слабка або майже відсутня, що сприяє накопиченню завислих речовин та важких металів у придонних шарах. Клімат території – помірно континентальний, з теплим і сухим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура становить близько +10–11 °С, річна кількість опадів – 450–500 мм. У вітровому режимі переважають північно-західні та південно-західні вітри, що впливають на перенесення пилу та домішок у межах міста. Екологічна ситуація в районі координат визначається комплексним впливом урбанізованого середовища та промислового комплексу міста Дніпро. Поблизу розташовані транспортні артерії, житлова забудова, злизові колектори та промислові об'єкти, характерні для великого індустріального центру. Потенційними джерелами забруднення води можуть бути злизові та господарсько-побутові стоки, відходи автотранспорту, винос урбанізованої поверхні після опадів, а також вплив промислових підприємств міста. Прибережна зона річки в цьому районі виконує як рекреаційні, так і господарські функції, що також впливає на стан водної екосистеми. Уповільнена течія та значні глибини сприяють накопиченню забруднювальних речовин, зокрема важких металів і нафтопродуктів, що є характерним для великих водосховищ у межах індустріальних міст.

П'ята проба Координати 47.8361258, 35.1028807 м. Запоріжжя, прибережна зона річки Дніпро / Запорізького водосховища (район

центральної частини міста, поблизу житлової та транспортної інфраструктури). Точка відбору проби розташована у межах урбанізованої території міста Запоріжжя, у прибережній зоні Дніпра. Район характеризується щільною міською забудовою, наявністю транспортних магістралей, зливових колекторів та підвищеним антропогенним навантаженням. Уздовж берегової лінії спостерігаються техногенні зміни: укріплені ділянки, бетонні схили та фрагменти рекреаційних зон. Гідрологічно точка належить до нижньої частини Дніпровського каскаду водосховищ. Течія уповільнена, що сприяє осіданню завислих речовин та накопиченню забруднювачів. У безпосередній близькості можуть розташовуватися злизові стоки, через які під час опадів у річку переносяться завислі речовини, нафтопродукти, дорожній пил та важкі метали. Рельєф у районі проби рівнинний. Прибережні ґрунти переважно алювіальні, із частковими техногенними включеннями. Вплив урбанізованої поверхні (асфальт, бетон) сприяє швидкому стіканню води та збільшенню концентрацій поллютантів у прибережній зоні. Екологічні умови точки визначаються поєднанням природних гідрологічних процесів та постійного техногенного впливу. Потенційні джерела забруднення включають транспортні викиди, змиви з дорожнього покриття, стоки із прилеглих житлових кварталів, промислові аерозолі та локальні несанкціоновані скиди. Територія є показовою для оцінки рівня урбанізаційного впливу на якість води у центральній частині Запоріжжя.

Шоста проба. Координати: *47.8530911 N, 35.0854648 E* м. Запоріжжя, прибережна зона річки Дніпро, у районі розташування Запорізької ГЕС та греблі (дамби). Точка відбору проби знаходиться нижче за течією від Запорізької ГЕС, що впливає на гідрологічні та екологічні характеристики водного середовища. Берегова лінія в цій ділянці частково укріплена, є техногенні споруди, бетонні береги та частково природна рослинність. Район характеризується підвищеним техногенним навантаженням через близькість промислових зон та штучну регуляцію рівня води дамбою.

Гідрологічні умови точки визначаються впливом роботи ГЕС: течія уповільнена, коливання рівня води відбуваються залежно від режиму роботи дамби, можливе застоювання води у прибережній зоні та накопичення завислих речовин. Це сприяє осіданню часточок ґрунту, органічних решток та потенційно шкідливих домішок, включно з важкими металами та нафтопродуктами. Антропогенне навантаження точки включає вплив зливових стоків, транспортної та промислової діяльності міста, а також можливий вплив регуляції води ГЕС на гідрохімію. Прибережна зона поєднує природні алювіальні ґрунти та техногенні зміни берегової лінії, що визначає особливості складу та якості води у даній ділянці.

Збір води був зроблений протягом 3 тижнів у вересні 2025 року. Мінімальний об'єм води складав 0.5л для подальшого дослідження в лабораторії та зберігався в холодильнику при температурі +5. Посудина являла собою пластикові пляшки для кращого зберігання. Фізико-хімічні показники відібраних проб води між собою не відрізнялися, окрім проби №4 з Дніпра. Вода була мутною, з явним цвітінням синьо-зелених водоростей, мала характерний запах. Інші проби не мали осаду та запаху.

Глибина забору води складала приблизно 0.5 метра від дна, окрім Києва, де глибина складала 1.5м. Місце забору проб переважно були піщані пляжі, як на Запоріжжі, Каневі, Кийлеві та Дніпрі. Проба №2 мала частково укріплена бетонними спорудами берегову лінію, що може впливати на акумуляцію важких металів. Мостів, заглиблень та інших потенційних об'єктів, що можуть спричинити накопичення на дні металів не виявлено. Течії були помірні, в Каневі та в другій пробі Запоріжжя течія була повільніше.

2.2. Методи дослідження

Дослідження проведено в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, акредитованій за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025.

Метою дослідження було визначення вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, у водних зразках для оцінки їх якості та відповідності нормативним стандартам.

Нормативні документи для методу визначання:

1. ДСТУ ISO 17294-1:2015. Якість води. Застосування мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS). Частина 1. Загальні настанови (ISO 17294-1:2004, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 24 с.

2. ДСТУ EN ISO 17294-2:2019. Якість води. Використання мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Частина 2. Визначення 62 елементів (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 40 с.

Метод визначання - атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та оперативністю, що робить його придатним для аналізу неорганічних речовин у водних зразках. Цей метод застосовують для визначення елементного складу зразків шляхом вимірювання інтенсивності світла, яке випромінюють збуджені елементи в плазмі. Зразок у вигляді аерозолі подається в індуктивно-зв'язану плазму, де він розпилюється і випаровується, а потім збуджені атоми випромінюють світло на специфічних довжинах хвиль, що дозволяє ідентифікувати та кількісно оцінити концентрацію елементів.

Принцип дії.

Випаровування та збудження: Рідкий зразок розпилюється на дрібні частинки, які потім подаються до плазмового пальника. Плазма: В плазмовому пальнику (зазвичай аргонівій плазмі) частинки зразка

нагріваються до високих температур, що призводить до випаровування і збудження атомів елементів.

Випромінювання: Збуджені атоми повертаються до свого основного стану, випромінюючи фотони світла на специфічних для кожного елемента довжинах хвиль.

Аналіз: Оптична система знаходить це випромінювання, вимірюючи інтенсивність спектральних ліній. Кількісне визначення: Інтенсивність випромінювання є пропорційною концентрації елемента у зразку, що дозволяє точно визначити його кількісний вміст.

Переваги

Висока чутливість: Метод дозволяє визначати елементи з низькими концентраціями, аж до $0,1 \text{ мкг/дм}^3$ ($0,001 \text{ мг/дм}^3$).

Широкий спектр аналізу: Можливість одночасно аналізувати велику кількість елементів (понад 60) за один аналіз.

Універсальність: Застосовується для аналізу різних типів зразків (рідких, твердих, газоподібних) після відповідної підготовки.

Висока швидкість: Результати аналізу можуть бути отримані за дуже короткий час, наприклад, за дві хвилини.

Відтворення: відносне стандартне відхилення $RSD \leq 1,5\%$;

Стабільність: відносне стандартне відхилення $RSD \leq 2,0\%$;

Межа виявлення типових елементів: (1-10) ppb (мкг/дм^3).

Робочий діапазон залежить від матриці та виявлених перешкод. У питній воді та відносно незабруднених водах межа кількісного визначення (LOQ) для більшості елементів знаходиться в межах від $0,002 \text{ мкг/дм}^3$ до $1,0 \text{ мкг/дм}^3$ (див. табл. 2.1). Робочий діапазон зазвичай охоплює концентрації від кількох нг/дм^3 до мг/дм^3 залежно від елемента та заданих вимог.

Таблиця 2.1. Межі виявлення важких металів у незабрудненій воді методом ІСР-АЕС

| Елемент | Межа визначення | | ГДК у поверхневих водах, мг/дм ³ * | Клас небезпеки* |
|---------|---------------------|--------------------|---|-----------------|
| | мкг/дм ³ | мг/дм ³ | | |
| | | | 1,0** | 3 |
| Cu | 1 | 0,001 | 0,03 | 2 |
| Pb | 0,2 | 0,0002 | 0.03 | 3 |
| Cr | 1 | 0,001 | Cr(3+) - 0,5 | 3 |
| | | | Cr(6+) - 0,05 | 3 |
| Zn | 1 | 0,001 | 1,0** | 3 |
| Mn | 3 | 0,003 | 0,1** | 3 |
| Fe | 1 | 0,001 | 0,3** | 3 |
| Ni | 1 | 0,001 | 0,1** | 3 |

*Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення (затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>

**для неорганічних сполук, у т. ч. перехідних елементів, з урахуванням валового вмісту усіх форм

Експерименти проводився протягом 2 днів, з урахуванням підготовки проб, а саме випаровування 200-400 мл воду на одну паралель для створення концентрованого залишку води.

РОЗДІЛ 3: РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Аналіз результатів дослідження хімічних показників води

Хімічні показники води були взяті за останній рік з відкритих джерел. Основні показники які були взяті це: ХСК, БСК, розчинений кисень та іони сульфатів, нітратів, нітритів та амонію.

Найбільше страждають з досліджених ділянок в Києві та в Дніпрі. Стабільно в столиці підвищенні Біологічне та Хімічне споживання кисню, аміак та фосфати, згідно порталу інтерактивних карт Чиста вода та Saveecobot [48, 49]. Підвищене хімічне споживання кисню (ХСК) та біохімічне споживання кисню (БСК) у річці Дніпро свідчать про значне забруднення води органічними та неорганічними речовинами. ХСК відображає кількість кисню, необхідного для хімічного окиснення як органічних, так і неорганічних сполук, тоді як БСК₅ відображає споживання кисню мікроорганізмами для розкладання органічних речовин. Підвищені значення ХСК (іноді до 49,5 мгО/дм³ при нормі 30 мгО/дм³) і БСК₅ (до 4,77 мгО₂/дм³ при нормі 3 мгО₂/дм³) означають надлишок забруднень, що призводить до зниження концентрації розчиненого кисню у воді, особливо у стоячих або малопроточних ділянках. Це створює стресові умови для водної гідробіоти, спричиняє гнильні процеси, зростання патогенних мікроорганізмів та загибель риб і інших водних організмів. Підвищене хімічне (ХСК) і біохімічне споживання кисню (БСК₅) прямо впливають на процес евтрофікації річки Дніпро. Збільшення БСК₅ свідчить про велику кількість органіки, яку мікроорганізми розкладають, використовуючи кисень. Це призводить до зниження розчиненого кисню у воді, особливо в літній період і у стоячих водах, що створює умови для гниття органічних залишків і замулення дна. Розмноження водоростей і синьо-зелених водоростей (цвітіння) при надлишку поживних речовин провокує подальше зниження кисню, оскільки після їх відмирання мікроорганізми активно споживають кисень для розкладу. Це створює замкнутий цикл, що погіршує

якість води, викликає загибель риби, знижує біорізноманіття та ускладнює екологічний баланс у річковій системі [36, 37].

Розчинений кисень у воді річки Дніпро є критично важливим для підтримання життя водної гідробіоти. Нормальний рівень розчиненого кисню у воді згідно ГДК має бути 4 мг/дм³. Підвищення рівня розчиненого кисню зазвичай відбувається у результаті активного фотосинтезу водоростей та водних рослин, особливо в періоди інтенсивного "цвітіння" води. Це може тимчасово покращувати умови для організмів, що потребують підвищеного рівня кисню, проте водночас свідчить про надлишок поживних речовин, що, у свою чергу, призводить до посилення процесів евтрофікації. Однак різкі коливання або занадто висока концентрація кисню можуть спричинити стрес для деяких водних організмів. Крім того, у нічний час чи при відмиранні водоростей відбувається різке зниження розчиненого кисню, що негативно впливає на рибу та інші види. В більшості ділянках відбору проб був значно підвищений рівень розчиненого кисню, таких як Київ, Дніпро, Запоріжжя.

Таблиця 3.1. Якісні показники води по ділянках проб за вересень 2025 р.

| № проби | Населений пункт | NO ₃ -іони | NO ₂ -іони | SO ₄ -іони | БСК ₅ мгО ₂ /дм ³ | Cl ⁻ іони | Розчинений кисень мгО ₂ /дм ³ | NH ₄ -іони |
|--------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|----------------------|---|-----------------------|
| мг/дм ³ | ГДК | 32 | 3.3 | 500 | 3 | 350 | 4 | 0.5 |
| 1 | Кийлів | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | Київ | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.63 | 0.06 | 1.75 | 0.34 |
| 3 | Канів | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.6 | 0.07 | 1.55 | 0.44 |
| 4 | Дніпро | 0.02 | 0.01 | 0.11 | 0.96 | 0.6 | 2.15 | 0.21 |
| 5 | Запоріжжя 1 | 0.03 | 0.01 | 0.13 | 0,9 | 0.12 | 2.22 | 0.25 |
| 6 | Запоріжжя 2 | 0.03 | 0.01 | 0.13 | 0.9 | 0.13 | 2.22 | 0.25 |

Показники за вересень місяць не перевищують норму, однак згідно даними з Saveecobot, середні дані достатньо високі по розчиненому кисню, наприклад у Дніпрі середній показник становить 8,08 мгО₂/л, що перевищує ГДК у два рази. Схожа ситуація і з Києвом та Запоріжжям. Також, БСК вище у два рази.

3.2. Аналіз результатів дослідження важких металів у поверхневих водах

3.2.1 Аналіз результатів аналітичних досліджень

Результати дослідження на спектрометрі наведено в таблиці нижче.

Згідно з результатами дослідження, найбільші перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за містами спостерігалися у Каневі та Києві, де 3–4 важких метали перевищували нормативні значення. Аналіз за окремими елементами показав, що найбільш проблемними є мідь та манган, оскільки в кожному пункті відбору проб спостерігалось значне перевищення концентрацій. Найнижчі показники забруднення зафіксовані у Запоріжжі (проба №5).

Таблиця 3.2. Результати дослідження проб на ICP-AES

| Назва та номер проби | Cu мг/дм ³ | Pb мг/дм ³ | Cr мг/дм ³ | Mn мг/дм ³ | Fe мг/дм ³ | Ni мг/дм ³ | Zn мг/дм ³ |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1.Кийлів | 0.11 | 0.021 | 0.00010 | 0.11 | 0.75 | 0.00010 | 0.11 |
| 2.Київ | 0.13 | 0.049 | 0.00011 | 0.18 | 0.39 | 0.00010 | 0.095 |
| 3.Канів | 0.11 | 0.025 | 0.00010 | 0.67 | 1.54 | 0.00010 | 0.093 |
| 4.Дніпро | 0.099 | 0.020 | 0.00012 | 0.37 | 0.33 | 0.00010 | 0.058 |
| 5.Запоріжжя 1 | 0.095 | 0.015 | 0.00011 | 0.31 | 0.12 | 0.00010 | 0.059 |
| 6.Запоріжжя 2 | 0.086 | 0.016 | 0.00012 | 0.32 | 0.40 | 0.00011 | 0.055 |

Для подальшої обробки інформації було розраховано ІЗВ «Індекс забруднення води». Це показник, який характеризує ступінь забруднення навколишнього середовища конкретним джерелом або речовиною. Він застосовується для оцінки впливу різних забруднювачів на екосистеми, допомагаючи встановити пріоритети у заходах з охорони природи та регулюванні викидів та скидів.

Таблиця 3.3. Результати ІЗВ

| ІЗВ | Cu мг/дм ³ | Pb мг/дм ³ | Cr мг/дм ³ | Mn мг/дм ³ | Fe мг/дм ³ | Ni мг/дм ³ | Zn мг/дм ³ |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1.Кийлів | 3,666667 | 0,7 | 0,002 | 1,1 | 2,5 | 0,001 | 0,11 |
| 2.Київ | 4,333333 | 1,633333 | 0,0022 | 1,8 | 1,3 | 0,001 | 0,095 |

| | | | | | | | |
|---------------|-----------------|----------|--------|------------|-----------------|--------|-------|
| 3.Канів | 3,666667 | 0,833333 | 0,002 | 6,7 | 5,133333 | 0,001 | 0,093 |
| 4.Дніпро | 3,3 | 0,666667 | 0,0024 | 3,7 | 1,1 | 0,001 | 0,058 |
| 5.Запоріжжя 1 | 3,166667 | 0,5 | 0,0022 | 3,1 | 0,4 | 0,001 | 0,059 |
| 6.Запоріжжя 2 | 2,866667 | 0,533333 | 0,0024 | 3,2 | 1,333333 | 0,0011 | 0,055 |

Червоним кольором виділено перевищення даного показника, що розраховувалися даною формулою:

Формула ІЗВ має вигляд:

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (3.1)$$

де $n = 6$ (кількість обов'язкових показників), C_i — середнє арифметичне значення концентрації i -го забруднювача

Якщо $I_{зм} < 1$ — вода відповідає нормі;

- $1 < I_{зм} < 2$ — слабе забруднення;
- $2 < I_{зм} < 5$ — помірне;
- > 5 — сильне забруднення.

Згідно даними результатами, сильне забруднення має Канів по двом характеристикам, це залізо та манган. Другим лідером по забрудненню є Київ, котрий має по кількості перевищень найбільше і найбільший показник забруднення по міді.

Наступним важливим показником в обробці даних є Кореляційний показник Пірсона, це один із базових статистичних методів, який часто застосовують для аналізу **взаємозв'язку між концентраціями забруднювачів** (наприклад, між вмістом різних важких металів у воді). Він часто використовується у наукових дослідженнях для виявлення ступеня

зв'язку між параметрами, наприклад, у екології, медицині, соціальних науках [55].

Він показує, **наскільки сильно два показники пов'язані між собою**.

Коефіцієнт Пірсона (r) має значення від **-1 до +1**:

- $r = +1$ → ідеальний прямий зв'язок (чим більше X, тим більше Y),
- $r = -1$ → ідеальний обернений зв'язок (чим більше X, тим менше Y),
- $r = 0$ → зв'язок відсутній.

Даний статистичний метод описано в ДСТУ ISO 5725-2:2005, що є діючим документом і є стандартом, що встановлює основний метод для статистичної обробки результатів вимірювань, зокрема для визначення **повторюваності** та **відтворюваності** стандартних методів вимірювання. Цей стандарт використовується для оцінки точності вимірювальних методів. Мета стандарту є надати статистичні інструменти для кількісної оцінки точності вимірювань, що є критично важливим для забезпечення якості результатів у багатьох галузях.

Таблиця 3.4. Результати кореляційного аналізу Пірсона

| Пірсона формула | Cu мг/дм ³ | Pb мг/дм ³ | Cr мг/дм ³ | Mn мг/дм ³ | Fe мг/дм ³ | Ni мг/дм ³ | Zn мг/дм ³ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cu мг/дм ³ | 0 | 0,91251 | 0,51118 | 0,20182 | 0,267706 | -0,60797 | 0,772933 |
| Pb мг/дм ³ | | 0 | 0,17729 | 0,21587 | 0,070588 | -0,32369 | 0,519042 |
| Cr мг/дм ³ | | | 0 | 0,10364 | -0,68604 | 0,547723 | -0,8463 |
| Mn мг/дм ³ | | | | 0 | 0,6455 | -0,01682 | -0,20242 |
| Fe мг/дм ³ | | | | | 0 | -0,18146 | 0,570228 |
| Ni мг/дм ³ | | | | | | 0 | -0,48071 |
| Zn мг/дм ³ | | | | | | | 0 |

Згідно з результатами аналізу спостерігається прямий лінійний і сильний кореляційний зв'язок між міддю та свинцем, а також між залізом і

манганом. Кореляція між залізом і манганом є логічною, оскільки ці елементи часто застосовуються у виготовленні феросплавів для металургійної промисловості. Потенційно пов'язані цинк та мідь. Висока кореляція Cu–Pb–Zn → характерна для гальванічних і металургійних процесів, а також для транспортних та комунальних стоків. Також, Cu–Pb–Zn -це типова кореляція для урбанізованих вод (зливові стоки, транспорт, дахові покриття). Негативна Cu–Ni → Ni може мати інше походження (наприклад, домішки у промислових водах або з підземних вод).

3.2.2 Аналіз результатів дослідження на ділянці селища Кийлів

Однією з головних причин підвищення показників в Кийлові є Створення Канівського водосховища та наявність антропогенного джерела з високим ризиком як Трипільська ТЕС.

Канівське водосховище створило штучний водний масив із численними островами, піщаними пляжами та заплавами лісами, особливо багатими на вербу, тополлю, дуб та вільху. Вода з річкової системи постачає значні запаси прісної води, що підтримує водні екосистеми і біорізноманіття регіону. Також у околицях Кийліва розташований ландшафтний заказник «Кілов-Рудяків», який розміщений на заплаві річки з усіма притаманними їй природними рисами — заболоченими ділянками, торф'яними та піщаними ґрунтами. Ці водні системи підсилюють формування рівнинного рельєфу з елементами заплавних лісів і луків, що є типовими для лісостепової зони.

Отже, на ландшафт Кийліва безпосередньо впливають річка Дніпро та її водосховище Канівське, які формують водно-болотні угіддя, заплави і тераси, забезпечуючи таким чином характерні природні умови для цієї території.

Канівське водосховище суттєво вплинуло на заплаву Кийлова, зокрема через підпірні явища і зміну гідрологічного режиму. Створення водосховища на Дніпрі призвело до підвищення рівня води у заплаві Кийлова, збільшення

площі затоплених і підтоплених земель. Такі зміни стали причиною перетворення типових річкових заплав у водно-болотні угіддя з новими водообмінними умовами. Зокрема дамба Проців–Кийлів, що утримує воду Канівського водосховища, є довгою (понад 19 км) і впливає на локальні гідрологічні процеси у цій ділянці, створюючи тривале затоплення та змінюючи природний водний режим річкової заплави. Через це спостерігаються явища підтоплення заплавлених територій, зміна типу ґрунтів, що переходять у більш водонасичені та торф'янисті. Таким чином, формування Канівського водосховища підтопило природну заплаву Кийлова, змінило місцеві біотопи і створило умови для ландшафтного заказника з характерними для водосховищ водними й болотними екосистемами. Цей вплив має як екологічний, так і соціально-економічний характер, зв'язаний із використанням водних ресурсів і охороною природної спадщини регіону[37, 39].

Створення Канівського водосховища спричиняє значні перевищення концентрацій важких металів у воді, що, у свою чергу, має істотний вплив на стан довкілля у районах Кийліва та Канева. Однак, селище знаходиться значно вище Каневу і на початковій точці Канівського водосховища, що означає, що течія переносить далі поллютанти по Дніпру.

Створення водосховища впливає на розподіл та накопичення важких металів, головним чином через зміни гідродинаміки, процесів седиментації та взаємодії органічних речовин. Водосховища, як правило, мають вищі концентрації важких металів у своїх відкладеннях порівняно з річками, які вони затримують, оскільки зважені осади, що містять метали, осідають та накопичуються в басейні водосховища. На концентрацію важких металів у донних відкладеннях впливає вміст органічної речовини, мулу та глини, які, як правило, зв'язують важкі метали та сприяють їх відкладенню. Гідрологічні режими у водосховищах, такі як коливання рівня води, впливають на просторовий розподіл важких металів, впливаючи на ерозію, перенесення осаду та схеми відкладення. У певні сезони ерозія навколишніх

ґрунтів із приєднаними важкими металами може збільшити приплив металів у водосховище. Динаміка межі осаду та води у водосховищах неодмінно сприяє мобілізації або утриманню слідів металів. Діяльність людини навколо водосховища може призвести до забруднення через точкові та неточкові скиди [46]. Накопичені важкі метали у водосховищах можуть становити екологічну та медичну небезпеку, особливо якщо вміст таких металів, як марганець (Mn) та залізо (Fe), перевищує стандарти якості води. Структури накопичення є складними та формуються взаємодією між характеристиками осаду, якістю органічної речовини та гідрологічними умовами.

Важкі метали, концентрація яких найчастіше зростає після створення водосховища, включають нікель (Ni), мідь (Cu), цинк (Zn) та свинець (Pb). Дослідження показують, що концентрації цих металів у відкладеннях водосховищ значно вищі – часто у 2–5 разів – ніж у початкових річкових відкладеннях. Зокрема, нікель, мідь, цинк та свинець демонструють найвище середнє збільшення та накопичення у донних відкладеннях водосховищ порівняно з річковими відкладеннями. Інші метали, такі як хром (Cr) та кадмій (Cd), також можуть бути присутніми, але зазвичай у нижчих концентраціях або іноді нижче меж виявлення, залежно від місцевих джерел забруднення та характеристик відкладень. На накопичення впливає вміст органічної речовини та дрібних частинок у відкладеннях водосховищ, які зв'язують ці метали. Коливання рівня води та цикли ерозії/ресуспензії відкладень також впливають на їх розподіл, але загалом водосховища діють як поглиначі, де ці важкі метали поступово накопичуються з часом.

Кийлів має перевищення Заліза в 2.5 рази та Мангану в 1.1 рази, що показує типову динаміку перевищення від наявності водосховища. До того ж, Канівське водосховище має найповільнішу течію. Тут формується глибокий муловий шар, де активно відбувається редукція оксидів мангану та заліза. Унаслідок цього Mn переходить у розчинну форму і накопичується у водній товщі.

Щодо підприємницької діяльності: за даними порталу ЄДРПОУ, у селищі Кийлів зареєстровано близько 14 компаній. Проте жодна з них не належить до промислових секторів, які могли б виступати основними джерелами забруднення довкілля. Однак, біля селища приблизно в 15-20км знаходиться одна з найбільших **ТЕС Трипільська**. Підприємство ілком може впливати на підвищені концентрації мангану й міді біля Кийлова, але щоб стверджувати, що вона – *основне* джерело, потрібно підтвердження з просторових і хімічних даних, але у відкритому доступі їх немає і до того ж це критична інфраструктура, яка повністю зруйнована 11 квітня 2024 року під час обстрілу по енергетичним об'єктам України з РФ. ТЕС зазнала масованого та комбінованого удару «Шахедами», крилатими ракетами з літаків Ту-95МС, «Кинджалами» з МіГ-31К та керованими ракетами з Су-3. Тому, про її вплив на даний етап достатньо сумнівний, однак не можна і проігнорувати, так як вона повноцінно працювала до 2024 року.

Щодо впливу на водні об'єкти, Трипільська ТЕС потенційно впливає на якість води в прилеглий зоні через можливе надходження забруднювачів із атмосферних викидів або скидання технологічних стоків, які можуть містити важкі метали, сірчисті сполуки, сірководень та інші хімічні забруднювачі. Це особливо актуально для водних ресурсів у водоймах, що знаходяться поруч з цією станцією, зокрема річками або водосховищами, що живлять район. Загалом, промислові об'єкти традиційно впливають на якість води через скидання вологи й токсичних речовин, що може призводити до забруднення, особливо у періоди ремонтів або аварійних ситуацій. Тому можна очікувати, що близькість Трипільської ТЕС до Кийлова потенційно спричиняє додаткові ризики забруднення водних ресурсів у регіоні. Основна сировина в Україні для ТЕС є вугілля і цей енергоносіє є найбільш неекологічним до навколишнього середовища, адже продукти згоряння мають великий список поллютантів, які потрапляють у воду, повітря і ґрунт. Вплив на водне середовище зумовлено вугільними шахтами та ТЕС, що скидають стічні води, які часто містять токсичні важкі метали (такі як ртуть,

миш'як, свинець, кадмій), поживні речовини та інші забруднювачі. Ці забруднювачі погіршують якість води, шкодять водним організмам і можуть забруднювати джерела питної води. Стічні води можуть містити фільтрати з вугільної золи, шкідливі для водних організмів. Вугільні електростанції використовують велику кількість річкової або озерної води для охолодження. Ця вода часто повертається до джерела за підвищеної температури, що знижує рівень розчиненого кисню та порушує екосистеми. Риб'яча ікра, личинки та чутливі водні види можуть постраждати, що потенційно може призвести до загибелі риби та зміни видового складу. Вугільна промисловість призводить до потрапляння важких металів у водні шляхи, накопичення їх у відкладеннях та біоті, що створює довгострокові токсичні ризики для водних харчових мереж та людей. Важкі метали з вугілля, які найбільше шкодять прісноводним організмам, це свинець (Pb), ртуть (Hg), миш'як (As), кадмій (Cd), мідь (Cu), нікель (Ni) та хром (Cr). Ці метали є токсичними навіть у низьких концентраціях і можуть біоакумулюватися у водних організмах, спричиняючи різні негативні наслідки. Серед виділених зразків, концентрації міді перевищують нормативні значення у всіх регіонах дослідження. Потрапляння Мангану, Заліза та Міді в Кийлів є вугілля. При неповному згорянні/фракціонуванні ці елементи концентруються у легких частинах, які легко переносяться вітром або змиваються під час дощу і таким чином потрапляють у Дніпро завдяки круговороту води. Один з основних чинників це поводження Mn у воді. Він мобілізується в анаеробних умовах. Якщо попел/шлакова маса потрапляє у донні відклади водосховища (або у стоячі затоки), манган може поступово переходити в розчинну форму при відновних умовах – це підсилює концентрації в пробах води і треба зазначити, що Канівське водосховище має мулисту структуру дна [47].

Дніпро являє собою буферну зону для збиття повітряної зброї рф для запобігання додатковому руйнуванню в містах та зниження ризику життя цивільного населення, особливо це стосується Києва. Основні метали,

концентрації яких перевищують нормативні значення, є базовими конструкційними матеріалами для виробництва озброєння та електронних компонентів. У частину з вибуховими речовинами часто можуть використовувати Cr. В уламках боєприпасів, конструкцій ракет/безпілотників та пошкодженої техніки найчастіше трапляються Fe (залізо/сталі) – як основна складова гільз, корпусів та конструкцій; Cu (міді) – в електропроводці, контактах, бронзі/латуні, штифтах, оболонках електроніки, так як має одну з найвищих електропровідності; Mn (марганець) – як легуючий елемент у сталях (підвищує міцність), а також у деяких сплавах та батареях. Ці метали можуть потрапляти у ґрунт, осади й воду як фракції окалини/частинки або у вигляді іонів після корозії/вивітрювання. Джерела металів у воді являють собою уламки корпусів і гільз, спалення паливно-мастильних матеріалів, руйнування промислових об'єктів/складів, батареї/електроніка з дронів і ракет. Даний вид забруднення є точковим, але згодом може стати і дифузним, адже течія перекосить політанти до низу.

Важливо зазначити ще одне важливе джерело забруднення для Кийліва – це вплив урбанізованого навантаження від Києва. Кийлів розташований нижче за течією від Києва, у межах Канівського водосховища.

Це означає, що всі стоки з мегаполіса Києва, його промзон, зливових колекторів, а також очищені й неочищені стічні води потрапляють у Дніпро до входу у водосховище, а далі течією частково акумулюються або переносяться до південних ділянок – у тому числі біля Кийлова. Це можна простежити по результатам аналізу, що чим ближче до кінця Канівського Водосховища, тим більше перевищення ГДК, Особливо це видно з Fe.

Таким чином, основними джерелами забруднення для селища Кийлів є наслідки діяльності Трипільської ТЕС, оскільки Кийлів розташований нижче за течією від Києва, у межах Канівського водосховища, яке формується від Київської ГЕС. Це свідчить про те, що стічні води мегаполіса Києва, включаючи промислові зони, злизові колектори, а також очищені та

неочищені стоки, надходять у Дніпро до входу у водосховище, після чого вони частково акумулюються або переносяться течією до південних ділянок, зокрема у район Кийлова. **Обстріли** мають найменшу роль в даному регіоні, особливо після Ураження Трипільської ТЕС і головним чинником є **навантаження від урбанізованого впливу Києва.**

3.2.3 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Києва

Київ єдиний серед досліджуваних територій має перевищення в чотирьох елементах важких металів і це є свинець і він вищий за норму в 1.63, що є достатньо високим для нього. Київ найбільше місто в Європі і одне з найбільших у Європі. Столиця має дуже щільну транспортну розв'язку і автомобільне навантаження, що є основним і найбільшим джерелом саме свинцю. Через швидкий приріст населення і автомобілізацію перевантаженість міських доріг є гострою проблемою. Особливо інтенсивний рух у години пік створює значні затори на центральних вулицях і магістралях. Затори мають значну роль у підвищенні розповсюженості свинцю в повітрі і біля водних об'єктів. До заборони в Україні свинцевовмістних бензинів для транспорту, даний важкий метал входить як антидетонатор у складі етилованої рідини (тетрала). При згорянні палива свинцеві сполуки переходять у газоподібний стан і викидаються у вигляді токсичних аерозолів та дрібнодисперсного пилу з вихлопними газами, що згодом може переноситься вітрами на великі відстані. У зимовий період даний пил осідає на сніг, що в кінцевому результаті при його розтанні потрапляє напряму в ґрунту та у ґрунтові води і таким чином переноситься у водні об'єкти. Це джерело забруднення має дифузний характер. За умов заторів і повільного руху концентрація вихлопних газів із свинцем різко зростає, оскільки двигуни працюють в режимі холостого ходу або малої швидкості, що погіршує якість згорання і збільшує токсичність викидів [48,49]

Київ має потужну виробничу базу, що дає сильне навантаження на природні ресурси міста і на річки в тому числі. Саме на забруднення важких металів впливає важка промисловість і одна з таких установ є ТЕС яких всього 6. Дарницька ТЕС має найбільший вплив серед енергоносіїв столиці і є одним із найбільших джерел екологічного забруднення міста. Вона забезпечує тепло для близько 8% житлової площі столиці, а також постачає енергію багатьом промисловим підприємствам, школам і медичним установам на лівобережжі. Значна частина токсичних відходів осідає в навколишньому середовищі, утворюючи пилові бурі, що спричиняють забруднення повітря та негативно впливають на здоров'я мешканців – зростає кількість хвороб дихальної системи, онкологічних захворювань та порушень нервової системи. Величезний золошлаковий відвал площею близько 14 га, розташований поруч із житловими районами, щодня продукує до 28 тонн пилу, який розноситься вітром на значні відстані [75,76]. Екологічна інспекція намагає контролювати вплив ТЕС, однак це не дає достатньої ефективності, особливо якщо ми беремо період з 2022 р., адже війна додає потужних руйнувань і важких точкових викидів з ТЕС. Другою причиною, є обмеження фінансування вирішення тих чи інших екологічних проблем, через нерентабельність з постійним руйнуванням. Наразі пріоритетними є фінансування заходів із захисту критичної інфраструктури та забезпечення її стабільної функціональності. Інші столичні ТЕС та ТЕЦ мають відносно менший екологічний вплив через менш інтенсивне використання вугілля або використання більш екологічних джерел, модернізацію обладнання і очищення викидів. Вони викидають менше токсичних речовин у повітря, а накопичення відходів не має настільки широкого масштабу. Однак, Видубицька ТЕЦ або ж ТЕЦ– 5 знаходиться найближче до Дніпра і тому її викиди напряму осідають у водні ресурси і швидкість розповсюдження поллютантів швидше чим у інших. Крім того, постійні обстріли та руйнування внаслідок російських повітряних ударів підвищують екологічний ризик потрапляння забруднювачів у ґрунт,

атмосферне повітря та підземні води. Водночас основним енергоресурсом для ТЕЦ є природний газ, який у порівнянні з вугіллям є більш екологічно чистим та менше спричиняє забруднення важкими металами, обмежуючись переважно викидами парникових газів та іншими атмосферними забруднювачами.

Одним з основних джерел викидів важких металів є металургійна діяльність і згідно КВЕДА в Києва зареєстровано 331 одна компанія, що пов'язана з обробною, виготовлення, зберіганням металевих виробів та металевої сировини. Різна обробка металів дає прямі викиди що містять оксиди або різні сплави металів. Особливу роль є шліфування металевих виробів, адже вона має металевий пил, що осідає на поверхню. В основному, на великих виробництвах даний пил збирають після його накопичення і можуть закинути на виплавку і таким чином мають б “безвідходне виробництво”. Однак, це не являється 100% ефективність і частина пилу залишиться на поверхні, потрапляючи у відкрите середовище. Важливим фактором та можливим екологічним ризиком є неочищення фільтрів очисних установ, що допомагають даний пил накопичувати в одному місці або ж його несправність, що може погіршувати якість атмосферного повітря робочого місця і розноситись даний пил за межі цехів, складів та відкритий ґрунт. Другий важливий екологічний ризик є негерметична покрівля підприємницьких установ, що можна зазначити як несанкціонований викид і дає додаткове навантаження на переніс даних викидів атмосферним повітрям і потрапляння у ґрунт і згодом до підземних вод. Погодні умови можуть ускладнити дану ситуацію, особливо на складі готової продукції, адже вони часто вкриті даною пилом і сильні зливи можуть вимивати даний пил на підлогу, що згодом буде переноситься по навколишньому середовищу. На жаль, воєнна агресія російської федерації призводить до руйнування промислових об'єктів, а обмежене фінансування ускладнює їх своєчасне відновлення та забезпечення належної герметичності. Важливим чинником є також тривала відсутність модернізації підприємств ще до

початку повномасштабного вторгнення, оскільки значна частина виробничих потужностей має десятирічну історію експлуатації та не проходила необхідних оновлень. Саме в Києві немає таких великих підприємств виготовлення металів як наприклад в Дніпрі або Запоріжжі, однак вони все ще є джерелом забруднення. Крім того, промислова зона Києва в районі Почайни розташована на відносно незначній відстані від русла Дніпра, що підвищує ймовірність надходження техногенних забруднювачів до водної системи.

Київ один з найбільш постраждалих міст саме по повітряним обстрілам, адже столиця України має одне з стратегічних значень у війни і рф стабільно кілька разів на місяць робить масовані. Більше 1000 дронів та 100 ракет різного виду були спрямовані саме на Київ і більшість з них намагались збивати над Дніпром, що спричинило забруднення як в Кийлові, але в десятки разів більше саме кількості забруднювачів. Таким чином, це чинить значний вплив на сучасний стан довкілля та діяльність відповідних систем.

Отже, основні забруднювачі Києва є транспорт, що дає таку ознаку для міста як підвищення рівня свинцю. Підприємства та збройна агресія має значний вплив на довкілля.

3.2.4 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Канів

Одним з ключових чинників підвищеного вмісту заліза та марганцю є виходи докембрійських порід Канівських дислокацій, які містять залізо та марганець природного походження. Ці породи легко піддаються вилуговуванню, особливо за зміни рН води, що може підвищувати природні фонові концентрації Mn і Fe і так як Канівське водосховище має дуже повільну течію та мулисте дно, то це ідеальні умови для накопичення даних важких металів і мідь у тому числі.

У Канівському регіоні залізні та марганцеві породи представлені насамперед залізо–марганцевими конкреціями, що є аутигенними

гідрооксидними структурами. До залізних мінералів у цих конкреціях входять гідрогематит, гідрогетит, гематит, фероксигіт, лепідокрокіт. Марганцеві мінерали представлені вернадитом, тодорокітом, бернеситом, рансьєїтом, криптомеланом, браунітом, вудрафітом, піролюзитом та рамделітом. Ці конкреції мають характерні форми – кулеподібні, плитчасті або гроноподібні, зі значним вмістом заліза (приблизно 15–16%) і марганцю (близько 16%). Зазвичай вони утворюють конкреції розміром від кількох міліметрів до кількох сантиметрів, складаються з ядра (з уламків порід або органогенних залишків) і рудної оболонки.

Важливим, хоча й менш очевидним, потенційним джерелом підвищеного вмісту цих металів є сільськогосподарська діяльність. У Черкаській області, включно з районом Канева, основними сільськогосподарськими культурами є зернові (пшениця, ячмінь, овес, жито), технічні культури (соняшник, соя, кукурудза), картопля, овочі та кормові культури. Наприклад, кукурудза, соняшник і соя займають найбільшу площу посівів, а також вирощують горох, квасолю, гречку, льон та інші. Такі культури потребують інтенсивного удобрення — особливо азотно–фосфорними й мікроелементними сумішами. Використання мінеральних добрив і пестицидів (мідьвмісні фунгіциди (бордоська рідина, купроксат)), які можуть містити ці метали як домішки, тим самим збагачуючи ними ґрунт. Внесення органічних добрив (гній, компост), в яких також можуть бути сліди металів. Зрошення водою з підвищеним вмістом металів може сприяти накопиченню Mn, Fe, Cu у верхньому шарі ґрунту. Внаслідок ерозії, змиву і поверхневого стоку велика частина металів потрапляє у водні об'єкти, викликаючи забруднення та порушення екосистем водних ресурсів. Такі властивості ґрунту, як рН, вміст органічної речовини та текстура, впливають на рухливість та біодоступність цих металів. Наприклад, нижчий рН (кислі умови) може збільшити розчинність металів, тим самим посилюючи їх вимивання у стічні води та ґрунтові води.

Ці два фактори відіграють роль забруднення сільським господарством у Каневі.

Як зазначалося у попередніх підрозділах, Канів розташований у нижній частині Канівського водосховища, що зумовлює інтенсивніше накопичення важких металів у донних відкладах. Подібно до ситуації у селищі Кийлів, Канів піддається урбаністичному навантаженню з боку Києва, що ускладнюється впливом Трипільської ТЕС, внаслідок чого спостерігається значне накопичення забруднювачів у водному середовищі.

Підприємницька діяльність в Каневі, порівняно з іншими зразками не така активна, тим не менш вона все ще відіграє певну роль у забрудненні. Особливість саме виробничих установ Канева є те що вони пов'язані з сільським господарством, ця сфера є одна з найпотужніших забруднювачів навколишнього середовища в цілому. ПРАТ Миронівська птахофабрика потенційно забруднює, так як стоки від птахофабрики можуть містити мікро-елементи (наприклад мідь, цинк) із кормів, добрив, відходів. Донні мулові чи тиллові води можуть впливати на прилеглі схили або поверхневі води/підземні горизонти. Завод може бути джерелом органічного навантаження, що сприяє нестачі кисню у воді – це у свою чергу може послабити фіксацію Fe і Mn у донних відкладах і сприяти їх мобілізації.

Друге потенційне підприємство ТОВ Завод «Канів–Солод», яке займається виробництвом солоду, борошномельно–круп'яної продукції, кормів для тварин. Виробництво кормів та солоду може містити домішки металів (наприклад цинк, мідь) як мікроелементи у кормових добавках. Вода, використана у виробництві, може містити залишкові речовини, які при неконтрольованому скиданні/зливів потрапляють у водойму. Відходи виробництва можуть накопичуватися у вигляді багів чи осадів – змив під час дощів чи танення снігу може транспортувати ці речовини в річку. Канів має достатньо кар'єрів по видобутку граніту, що може спричинити змив порід і мінералів, що містять метали (залізо, марганець, мідь), хоч це і не їх першочергова ціль. Канів немає відповідних підприємств, що займається

саме видобуванням даних мінералів з залізом та марганцю. Пил, відвал, змиви з ділянок видобутку можуть потрапляти в стоки та поверхневі води. Якщо поблизу є відкриті породи, то під час дощів може відбуватися вилуговування металів у водний стік.

Обстріли Канева порівняно низькі, якщо беремо такі місця на зразок як Київ, Дніпро та Запоріжжя. В основному, Канів грає транзитну роль в обстрілах, але все ж таки були випадки, коли ставалися влучання саме в місто.

Отже, головні причини таких високі показників забруднення є геологічні умови, змінений гідрологічний режим у вигляді Канівської ГЕС, що дає накопичення металів, діяльність у агросфері та навантаження від Києва і всі ці чинники дають такий тривожний результат, що дає поштовх до врегулювання забруднення і пошуків шляхів подолання.

3.2.5 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Дніпро

Основним техногенним джерелом забруднення в місті Дніпро є промисловий сектор, оскільки регіон належить до найбільших промислових центрів України, зокрема у галузях металургії та машинобудування. Незважаючи на це, Дніпро має нижчий рівень забруднення, аніж Канів. Це явище зумовлене переважно геологічними та природними умовами регіону. Місто розташоване в межах Придніпровського підняття (частина Українського щита). Породи переважно кристалічні граніти, гнейси, кварцити, що залягають на невеликій глибині (10–30 м). Поверхневий шар – лесовидні суглинки, піски, алювіальні відклади річки Дніпро. Якщо брати корисні копалини то Залізні руди знаходяться в Криворізько–Дніпровській зоні на південь від міста, а марганцеві руди – це Нікопольський басейн, але це вже ближче до Запоріжжя. Канів же має Канівські дислокації – дуже складній ділянці межі Українського щита та Дніпровсько–Донецької западини. Тут розломна зона, з інтенсивними тектонічними порушеннями, виходами на поверхню давніх порід: гранітів, вапняків, глин, пісковиків, мергелів (осадова порода, що може містити оксиди заліза). Ґрунти переважно суглинкові, важкі, з високим вмістом глинозему та заліза. У підземних водах підвищений природний вміст Fe, Mn – це давно фіксують у санітарно–гігієнічних дослідженнях Канівського району, як ми зазначали через полегшення вилуговування порід. Канів має багато заплачних ділянок, стариць, заток, де вода стоїть і відбувається редукція $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ та $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$, тобто розчинні форми. Тому високі концентрації міді, мангану та заліза в Каневі – це результат поєднання природних геологічних процесів і гідрохімічних умов, тоді як у Дніпрі домінує техногенне, але більш контрольоване забруднення, що менше проявляється у самій воді через геохімічну стабільність середовища.

Отже, техногенний вплив на Дніпро дає такі головні підприємства:

- ТОВ “Металургійний завод “Дніпросталь” (код ЄДПОУ 33718431) – діяльність: виробництво чавуну, сталі та феросплавів.
- ПрАТ “Дніпровський металургійний завод” (код ЄДПОУ 05393056) – один із найбільших металургійних заводів у місті.
- ТОВ “Дніпровський електро-механічний завод” (код ЄДПОУ 38599254) – металообробка металевих виробів.
- Українська промислова компанія “Інтерпайп” – трубна продукція, металообробка.

Це найбільші заводи саме міста Дніпра (Холдингу з Інтерпайпу в самому Дніпрі знаходиться тільки Нижньодніпровський трубопрокатний завод, інші два заводи в Нікополі та Самар)

ДМЗ або ж ПрАТ “Дніпровський металургійний завод” – одне з провідних металургійних підприємств України, засноване у 1885 році (перша доменна піч була запущена у травні 1887 року). Спочатку завод називався Олександрівським Південно–Російським заводом Брянського акціонерного товариства, у народі відомий як "Брянка". Підприємство стало важливим центром промислового розвитку та робочих місць у регіоні. Завод спеціалізується на виробництві чавуну, сталі і різноманітного прокату: сортового, фасонного, листового, а також спеціальних профілів для автомобільної, сільськогосподарської, вугільної та інших галузей промисловості. Основні виробничі підрозділи включають доменний цех, киснево–конвертерний цех, прокатні цехи, цех переробки металургійних відходів і фасонно–ливарний цех. Протягом своєї історії завод пройшов значні технологічні модернізації, впроваджував новітні методи виробництва сталі, такі як кисневий конвертер. На підприємстві традиційно застосовуються потужні металургійні агрегати, забезпечуючи великий обсяг виробництва. Завод має значний вплив на навколишнє середовище, зокрема через викиди важких металів у повітря і воду, що вимагає уваги до екологічних норм і модернізації очисних систем. Сьогодні ДМЗ залишається ключовим індустріальним об’єктом Дніпра й Європейського регіону,

підтримуючи важливу роль у металургійному комплексі країни з планами фінансових інвестицій у модернізацію та підвищення екологічної безпеки.

Таблиця 3.5. Потенційні екологічні ризики на підприємстві з КХЗ

| Процес | Назва екологічного ризику | Можливий наслідок |
|--------------------------|---|--|
| Коксохімічне виробництво | Недостатня герметичність коксової батареї | Наднормові викиди парникових газів, пилу, продуктів згоряння і тд. Осідання на ґрунт важких металів і продуктів згоряння і потрапляння в підземні води |
| Коксохімічне виробництво | Недостатнє очищення води | У разі відсутності на підприємстві замкнутого циклу використання води стічні води можуть скидатися безпосередньо в річку Дніпро як несанкціоновано, так і санкціоновано, або проходити через систему водовідведення. Проте побутові методи очищення води є недостатньо ефективними для такого рівня забруднення, що вимагає застосування спеціальних реагентів, наприклад, сульфату алюмінію, який утворює нерозчинні солі важких металів, зменшуючи їхню активність у водному середовищі. |
| Коксохімічне виробництво | Надмірна волога продукції | При надлишковій вологості з коксу, речовини вимиваються, потрапляючи у ливневі стоки і потім у річки При висиханні вологого коксу виділяються леткі фенольні сполуки та аміак. Вологий кокс при пересіванні утворює більше дрібної фракції (пилу), яку часто відносять до відходів 4 класу небезпеки. |

ДМЗ має достатньо хорошу екологічну політику і згідно відкритим джерелам, у них є станції для контролю атмосферних викидів. Однак, наявні дані не містять інформації щодо вмісту важких металів, так само як і відомостей про функціонування водоочисних споруд, на відміну від окремих промислових підприємств м. Запоріжжя. Виробництво чавуну є водомістким підприємством, адже сплави треба охолоджувати після розігріву більше 1000 градусів і ця вода зазвичай іде в спеціальні резервуари, очищується і використовуються по-новому і таким чином утворюється закритий цикл використання води. ДМЗ має коксохімічний цех, де коксується спеціальний вид вугілля. Даний кокс нагрівається до 1000

градусів у спеціальних коксових батареях і охолоджується водою. Коксохімічне виробництво являє собою одним із найнебезпечніших джерел важких металів, так як окрім досліджуваних важких металів, вугілля має ртуть та арсеній, який є надзвичайно небезпечним. Очисні споруди коксохімічного виробництва приймають промислові стічні води з цехів гасіння коксу, а також із систем відведення конденсатів та смоляних пасток. У воді після коксування фіксуються Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, а також органічні токсиканти (феноли, нафталін, аміак). При недостатній очистці ці метали з водою потрапляють у річки або в дренажні системи. Однак, згідно результатами аналізу, то підприємства Дніпра мають скоріше за все очисні споруди і принаймні на дані 7 металів показники перевищення не найгірші.

Технологія виробництва чавуну починається з подачі сировини в доменну піч – основний агрегат металургійного заводу. У піч завантажують залізну руду (агломерат, окатки), кокс як паливо і флюси (вапняк) для утворення шлаку. Основний процес – відновлення оксидів заліза шляхом хімічної реакції з відновними газами (антимоніоксидом CO, воднем H₂, вуглецем) при температурі близько 1500 °C. Паралельно з утворенням заліза відбувається науглецювання його – насичення вуглецем до 3,5–4,5%, що формує чавун. Далі чавун перетворюють на сталь за допомогою конвертерного процесу: чавун завантажують у киснево–конвертерну піч, продувають кисень, що окислює забруднення й домішки, перетворюючи чавун на більш чисту сталь. Після очищення в сталь додають легуючі елементи для отримання потрібного хімічного складу. Готову сталь розливають у заготовки (заготовки для прокату) і направляють у прокатні цехи, де виробляють металопрокат: листи, труби, кутики, швелери, балки тощо. Весь процес характеризується високими температурами, великим споживанням енергії та викидами забруднюючих речовин, зокрема пилу та газів із важкими металами.

Щодо екологічних ризиків важких металів у процесі виробництва чавуну включають забруднення повітря, вод і ґрунтів, накопичення

токсичних елементів у навколишньому середовищі, що створює потребу в суворому екологічному контролі та технологічних заходах для мінімізації цих впливів.

Основною продукцією ДМЗ є чавун та вироби на його основі, зокрема рейки, балки та інший металопрокат. Для внутрішніх технологічних потреб підприємство також використовує кокс. Водночас відсутні офіційні дані щодо функціонування коксового виробництва після втрати останньої шахти у Покровську, що ускладнює визначення джерел постачання сировини.

Інші виробництва мають схожу продукцію і підприємницьку діяльність. Металургійний завод «Дніпросталь» – наймолодше металургійне підприємство України, побудоване з нуля і введене в експлуатацію у 2012 році в місті Дніпро. Він є найбільшим електросталеплавильним комплексом Східної Європи з виробництва круглої сталевий заготовки, головною продукцією якого є:

- Кругла сталевий заготовка, яка відповідає міжнародним стандартам якості і використовується для трубного та колісного виробництва групи «Інтерпайп».
- Завод спеціалізується на виробництві близько 500 марок сталі, задовольняючи широкий спектр потреб промисловості.
- Продукція також поставляється на експорт до країн Європи.

Технологія заводу базується на «зеленій» металургії з використанням електродугових печей, що забезпечує мінімальні викиди CO₂ (250–300 кг на тонну сталі) у порівнянні з традиційними мартенівськими печами (до 2500 кг на тонну сталі). Водопостачання та газоочищення влаштовані за замкненим циклом, що мінімізує екологічне навантаження. Проектна потужність підприємства – 1,32 млн тон круглої сталевий заготовки на рік, при цьому реальний випуск зазвичай варіюється від 750 тис. до 1 млн тон. Завод важливий у регіональній економіці, проте залежить від наявності сировини, переважно металобрухту.

ТОВ “Дніпровський електро–механічний завод” (ДЕМЗ) спеціалізується на широкому спектрі виробництва у галузі металообробки та електромеханіки. Основна продукція та види діяльності включають:

- Виготовлення деталей з високими вимогами до точності і шорсткості поверхні, що застосовуються у різних галузях промисловості.
- Виробництво електричного обладнання, зокрема пристроїв локомотивної сигналізації (котушки приймальні, рукоятки пильності та інші елементи автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН).
- Виготовлення гідравлічного, пневматичного обладнання, насосів, компресорів.
- Виробництво кранів, клапанів, зубчастих передач, елементів механічних приводів.
- Виробництво підіймального, вантажно–розвантажувального устаткування, ручних електромеханічних і пневматичних інструментів.
- Виготовлення машин і устаткування для сільського, лісового господарства, а також для металургійної, добувної промисловості, будівництва.
- Кування, штампування, порошкова металургія, обробка металів та нанесення покриттів.
- Ремонт і технічне обслуговування машин, устаткування, електрообладнання.

Підприємство є комплексним виробником з широкою номенклатурою, орієнтованим на точне машинобудування та електромеханічні вироби, що використовуються у залізничному, транспортному, металургійному та інших секторах.

Таким чином, Дніпро має більш техногенний характер забруднення, аніж Канів і менш урбаністичний вплив ніж Київ. Підприємства мають ефективну екологічну політику і намагаються контролювати забруднення наскільки це можливо.

3.2.6 Аналіз результатів дослідження на ділянці міста Запоріжжя

Основний характер забруднення є техногенний, адже Запоріжжя як і Дніпро є одним із головних промислових регіонів України і на території дослідження локалізуються чимало підприємств важкої промисловості. Головне і найбільше підприємство Запоріжжя є Запоріжсталь. ПАТ «Запоріжсталь» є одним із найбільших забруднювачів річки Дніпро у Запоріжжі, особливо за рахунок промислових стічних вод, які не повністю очищуються і містять важкі метали та інші токсичні речовини. Скиди стічних вод після шламонакопичувача, так званої «червоної води», не відповідають санітарним нормам і забруднюють нижній б'єф річки на територіях Орджонікідзевського, Жовтневого і Комунарського районів. Крім того, шлаковий відвал «Чорна гора» Запоріжсталі, розмивається водами річки, що також є джерелом хімічного забруднення. Промислові відходи, що накопичуються на полігонах підприємства, потенційно вимиваються підземними водами і потрапляти в комунальне водопостачання Запоріжжя, створюючи ризики для якості питної води.

Як частина металургійного кластера міста, Дніпроспецсталь завод виробляє спеціальні сталі, що супроводжується скидами стічних вод, які містять токсичні речовини і важкі метали. Ці відходи потрапляють до річки, погіршуючи якість води та екологічний стан Дніпра. Промислові полігони, включно з тим, що обслуговує «Дніпроспецсталь», розташовані у зоні санітарної охорони поверхневих джерел водопостачання міста, що створює ризики забруднення питної води. Води, що накопичуються на полігонах, час від часу забруднюють ґрунтові та підземні води, які можуть потрапляти в питні водоводи. Разом з іншими заводами, такими як ПАТ «Запоріжсталь», «Запоріжферосплав» та «Запоріжжкокс», «Дніпроспецсталь» формує значне промислове навантаження на екосистему Дніпра в межах міста, особливо щодо викидів і стоків із важкими металами, що сприймаються як екологічна загроза для навколишнього середовища і населення.

Інші металургійні підприємства, як-от ПАТ «Український графіт», «Запорізький абразивний комбінат», «Запоріжжкокс», і «Запоріжвогнетрив», ПАТ «Запорізький феросплавний завод» також сприяють загальному ланцюгу забруднення. Особливо ЗФЗ небезпечний з точки зору забруднення важких металів, адже феросплави часто містять такі важкі метали, як Mn, Cr, V, Ni і тд. Як основа феросплавів йде залізо. Офіційно підприємство проводить реконструкції та заходи із зниження викидів, включаючи встановлення газоочисток для зменшення забруднення, частина забруднюючих речовин із стоків і викидів надходить у навколишнє середовище, потрапляючи до Дніпра. Це посилює хімічне та органічне забруднення води, а також погіршує екологічний стан річки.

Крім того, клімат Запоріжжя має потенційний вплив на розповсюдження та затримку важких металів у середовищі. Клімат Запоріжжя характеризується помірно континентальним типом з теплим літом та досить м'якою зимою. Середня річна температура повітря близько $+9,9^{\circ}\text{C}$, з літніми максимальними температурами, що часто перевищують $+30^{\circ}\text{C}$, та м'якими зимовими умовами із середньою температурою близько 0°C . Опади мають помірну кількість і розподіляються нерівномірно протягом року. Пилові бурі – звичне явище для Запоріжжя; разом із пилом піднімаються і частинки металів із поверхонь, шламів, шлаків, транспортних шляхів. Си, марганець і залізо можуть концентруватися у верхніх горизонтах ґрунтів, а під час дощу – частково змиватися у водойми. Теплий клімат також впливає на біологічну активність організмів у водних екосистемах, які залучені до процесів трансформації та накопичення металів, наприклад через біоаккумуляцію.

Бомбардування Запоріжжя є одним із найбільш руйнівним, порівнюючи з багатьма містами. Через його близькість до фронту, Запоріжжя обстрілюють більш руйнівною зброєю як КАБи і раніше С-300. Це дає неймовірну руйнівну силу і додає в навколишнє середовище додаткові забруднювачі, включаючи важкі метали

Таким чином, Запоріжжя має розвинутий металургійний сектор промисловості, що відповідає за таке певне навантаження на накопичення важких металів у водних екосистемах. Також, бомбардування та кліматичні аспекти грають важливу роль у цьому.

3.2.7 Рекомендації вирішення проблеми забруднення поверхневих вод важкими металами

Загальний аналіз отриманих даних свідчить про суттєве забруднення річки Дніпро важкими металами. Це обумовлює необхідність розроблення комплексної програми щодо зменшення надходження поллютантів або посилення контролю за їхнім потраплянням у водне середовище, аби запобігти розвитку критичних екологічних станів, зокрема деградації водних екосистем та негативного впливу на здоров'я населення. Раніше відсутні були детальні дослідження щодо вмісту важких металів у водах річки Дніпро, тому здійснити порівняння з попередніми показниками, навіть у близьких до пунктів відбору проб ділянках, неможливо. Таким чином, можна припустити, що повномасштабне вторгнення спричинило зміни у розподілі важких металів, зокрема міді, мангану та заліза, оскільки воєнні об'єкти потрапляють у річку та активно взаємодіють із водною товщею. Незважаючи на те, що Дніпро є прісноводною річкою, що певною мірою сповільнює реакцію заліза з водою через низький вміст солей і зменшену інтенсивність корозійних процесів, метали все одно інтенсивно осідають у донні відкладення, зокрема в межах Канівського водосховища

Біологічне видалення важких металів є більш привабливим, ніж інші традиційні методи, оскільки біологічні методи є економічно ефективними, екологічно чистими та ефективними при видаленні низьких концентрацій іонів важких металів зі стічних вод. Для видалення важких металів використовуються кілька біологічних агентів, таких як рослинна біомаса,

сільськогосподарські відходи, мікробна біомаса, зелені синтезовані наночастинки, фруктові відходи та біополімери. Живі організми, такі як бактерії, водорості та гриби, також відіграють дедалі більшу роль у видаленні важких металів. Деякі мікроби, такі як гриби, бактерії та водорості, поглинають важкі метали у свої клітини з навколишнього середовища. Повідомлялося, що різні види мікробів можуть перетворювати високотоксичний Cr (VI) на менш токсичний Cr (III). Мікроорганізми можуть легко поглинати Cr (III) у свої клітини, оскільки він має нижчу розчинність у воді та низькі токсикологічні властивості.

Згідно з результатами аналізу, Канів є найбільш забрудненим регіоном і один з потенційних чинників є геологічні умови, які мають певну специфіку у неможливості контролювати пряме забруднення води. В даному випадку одним із найкращих рішень проблеми є біологічні методи очищення (біоремедіація) важких металів. Вони базуються на застосуванні живих організмів – мікроорганізмів, грибів та рослин – для вилучення, накопичення або трансформації важких металів у навколишньому середовищі. Оскільки природне вилуговування мінералів неможливо точно контролювати, запропонований метод є відносно оптимальним, економічно ефективним та простим у застосуванні. Проте визначити точну кількість реагентів, необхідних для очищення Канівського водосховища, математично складно через розмір площі. Крім того, цей метод переважно ефективний уздовж берегової лінії Дніпра. Оптимальний спосіб, що підходить під велику площу є Фіторемедіація – використання рослин (фітоекстракція, фітостабілізація, фітоволатилізація). Рослини акумулюють метали в коріння, стеблах чи листках або перетворюють їх на менш токсичні форми. Цей метод екологічно безпечний та підходить для Канівського водосховища. Водночас необхідно розробити й впровадити ефективні механізми контролю над надходженням важких металів у водні екосистеми. З огляду на те, що одним із вагомих чинників їх потрапляння є інтенсивна сільськогосподарська діяльність, особливо застосування мінеральних добрив, пестицидів та

засобів захисту рослин, система моніторингу має охоплювати як джерела точкового забруднення, так і дифузні стоки з агроландшафтів. Забезпечення такого контролю є ключовим для зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси та збереження екологічної рівноваги у басейні Дніпра. Основні фактори, які можливо зробити для зниження концентрації важких металів це перехід на феромонні пастки, біопестициди, точне внесення добрив (раціональне або стале сільське господарство). Створення прибережних буферних смуг (смуги рослинності 20–50 м вздовж русла), які фільтрують стік. Контроль зберігання агрохімікатів і відпрацьованої тари (часто джерело Cu, Zn).

Щодо промислових центрів, таких як Дніпро, Запоріжжя, Київ, а також селища Кийлів, розташованого поблизу Трипільської ТЕС, оптимальним заходом є модернізація систем водоочищення. В Запоріжжі на підприємствах існують певні очищуючі споруди. ПрАТ 'Запоріжвогнетрив' мають спеціальні резервуари, де вся вода стікає по трубах у місце збору води і додається солі сульфатної кислоти, в основному сульфат алюмінію, що деактивує важкі метали і робить вільні іони металів у сполуки у нерозчинні солі. Також, ГОУ (Газові Очисні Установи) треба регулярно обслуговувати, можливо додати та модернізувати, це дозволить контролювати саме пил від металургійної діяльності, а саме фільтрувати і очищати забруднене повітря і мінімізувати їх викиди. Також, має бути вилучення змішаних шламів чорної металургії, ізоляція полігонів, нанесення шару глини та ґрунту. Встановлення зливозбірних систем для дощових стоків, щоб уникати вимивання металів у річку.

Для перевищення свинцю в Києві оптимальні варіанти є почати постійний контроль та періодичний моніторинг забруднення води та ґрунту на важкі метали. Зменшити забруднення потенційно досягнути озелененням транспортних магістралей (липою, туєю, вербою – добре поглинають Pb). Це є видом біоремедіацією. Контроль автосервісів та СТО, що зливають мастила і промивальні рідини у зливову мережу.

Щодо поводження з відходами, що утворюються внаслідок воєнних дій, їхнє належне управління наразі є ускладненим через активну фазу конфлікту. У таких умовах основною превентивною мірою є своєчасне вилучення уламків та їхнє зберігання у спеціально відведених місцях відповідно до вимог Закону України «Про управління відходами» (№2320–ІХ) з метою запобігання подальшому забрудненню навколишнього середовища. Якщо ґрунт сильно забруднений важким металами, то також вилучити верхній шар для запобігання просочення поллютанта у підземні води.

ВИСНОВКИ

Згідно результатами та аналізу дослідження, Дніпро значне потерпає від забруднення важкими металами по всіх точках відбору проб. Основними потенційними чинниками забруднення навколишнього середовища являють собою важка промисловість (виготовлення та обробка металургійних виробів, коксохімічне виробництво, вугільна енергетика), сільське господарство, геологічні умови та транспорт, урбанізація. Найсуттєвіший вплив має важка промисловість, яка є головним потенційним чинником на території трьох досліджуваних проб: Кийлів, Дніпро та Запоріжжя. По кількості потенційного впливу, найменше являє собою сільське господарство та геологічні умови, але серед досліджуваних територій, ці два чинники кількісно дають найвищі перевищення ГДК. Вплив на гідробіотів значний і потенційно порушують баланс водних екосистем. Найбільш небезпечний наслідок забруднення важкими металами являють собою біоаккумуляція та персистентність забруднювачів у воді, що ускладнює їх контроль та очищення

Загальний хімічний стан річки Дніпро задовільний, значних перевищень по семи якісних показників не виявлено. Важливо зазначити, що дані з відкритого простору взяті за один місяць в певні показники можуть мати потенційні незначні перевищення

Серед досліджуваних елементів металів, згідно Індексу Забруднення Води (ІЗВ), значні перевищення має купрум по всіх досліджуваних територій. Другий за розповсюдженості забруднювач є манган, який має перевищення по ГДК по всіх шести пробам, особливу увагу зазначено в Каневі, де даний метал перевищений майже в сім разів. Третій по розповсюдженості елемент є залізо, яке перевищено на п'яти ділянках із шести. Інші метали в межах норми, окрім свинцю, що має незначне перевищення в другій пробі з Києва.

Згідно результатами кореляційного аналізу Пірсона, найбільше прямих, лінійних зв'язків спостерігається в Zn. Серед визначених

потенційних прямих лінійних зв'язків в даному дослідженні має найбільше значення взаємозв'язок між Fe та Mn, так як найчастіше ці два елементи перевищені в парі.

Найбільш ефективними способами вирішення проблеми забруднення металами для даних ділянок дослідження є моніторинг та контроль якості води та ґрунтів, підвищення рівень очищення промислових стоків води та біологічні методи по типу фіторемедіації. Дані вирішення проблеми потенційно знизять рівень важких металів, особливо ефективним являють собою пряме очищення води на важких підприємствах. Фіторемедіація найбільш ефективна для ділянки дослідження в Каневі, через неможливість контролювати один із потенційних чинників забруднення як геологічні умови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ali H., Khan E. What are heavy metals? Long– standing controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’ – proposal of a comprehensive definition. *Toxicological & Environmental Chemistry*. 2018. Vol. 100, no. 1. P. 6–19. URL: <https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1413652>
2. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic / M. Balali– Mood et al. *Frontiers in Pharmacology*. 2021. Vol. 12. URL: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
3. Koller M., Saleh H. M. Introductory Chapter: Introducing Heavy Metals. *Heavy Metals*. 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.74783>
4. Sarkar R. Book Review: *Contemporary issues in early childhood education and care* by Nesrin Ozturk OzturkNesrin (ed.), Contemporary issues in early childhood education and care, IntechOpen: London, 2025; 234 pp.: ISBN 978–1–83769–781–6 (hbk), 978–1–83769–780–9 (online), DOI: 10.5772/intechopen.1004514, (open access). *Contemporary Issues in Early Childhood*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1177/14639491251395402>
5. Copper. *Britanica*.
URL: <https://www.britannica.com/science/copper>.
6. Aquatic Life Criteria – Copper. *United States Environment Protection Agency*. URL: https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-copper?utm_source=chatgpt.com#surface.
7. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low– cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review / K. H. Hama Aziz et al. *RSC Advances*. 2023. Vol. 13, no. 26. P. 17595–17610. URL: <https://doi.org/10.1039/d3ra00723e>
8. Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management / G. Izydorczyk et al. *Environmental Research*. 2021. Vol. 197. P. 111050. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111050>

9. Review of Copper and Copper Nanoparticle Toxicity in Fish / N. Malhotra et al. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, no. 6. P. 1126. URL: <https://doi.org/10.3390/nano10061126>
10. Copper toxicity in fish. *Fish pathology*. URL: <https://fishhistopathology.com/?p=2507>.
11. Zinc Industry: The unsung metal of the economy. *Care Rating: Professional Risk Opinion*. URL: <https://www.careratings.com/upload/NewsFiles/Studies/Zinc%20Industry.pdf>.
12. Zinc. *Britannica*. URL: <https://www.britannica.com/science/zinc>.
13. Advanced Materials for Zinc-Based Flow Battery: Development and Challenge / Z. Yuan et al. *Advanced Materials*. 2019. Vol. 31, no. 50. P. 1902025. URL: <https://doi.org/10.1002/adma.201902025>
14. Runoff rates and ecotoxicity of zinc induced by atmospheric corrosion / C. Karlén et al. *Science of The Total Environment*. 2001. Vol. 277, no. 1–3. P. 169–180. URL: [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(00\)00872-x](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(00)00872-x)
15. Noulas C., Tziouvalekas M., Karyotis T. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018. Vol. 49. P. 252–260. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
16. Sources of Zinc in the Environment. *Marine Biodiversity & Sustainability Learning Center*. URL: <https://www.marinebiodiversity.ca/zinc-the-hidden-metal-impacting-marine-ecosystems/>.
17. Zinc in freshwater. *Australian & New Zealand Guidelines for fresh & Marine Water quality*. URL: <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/zinc-2000>.
18. Quintaneiro C., Ranville J., Nogueira A. J. A. Effects of the essential metals copper and zinc in two freshwater detritivores species: Biochemical approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 118. P. 37–46. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.006>

19. Bioavailability and toxicity of trace metals (Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn) in sediment cores from the Shima River, South China / L. Gao et al. *Chemosphere*. 2018. Vol. 192. P. 31–42.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.110>
20. Impact of chemical composition on precipitate morphology in an additively manufactured nickel base superalloy / J. S. Zuback et al. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 798. P. 446–457.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.05.230>
21. Recent bioreduction of hexavalent chromium in wastewater treatment: A review / D. Pradhan et al. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2017. Vol. 55. P. 1–20.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.06.040>
22. Natural and anthropogenic sources of lead, zinc, and nickel in sediments of Lake Izabal, Guatemala / E. Hernández et al. *Journal of Environmental Sciences*. 2020. Vol. 96. P. 117–126.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.04.020>
23. Chromium. *Britannica*.
URL: <https://www.britannica.com/science/chromium>.
24. Chromium (Cr)–Properties, Applications. *AZoM*.
URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9081>
25. A review of chromium (Cr) epigenetic toxicity and health hazards / M. Iyer et al. *Science of The Total Environment*. 2023. P. 163483.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163483> (date of access: 13.11.2025).
26. The environmental health impacts of Russia’s war on Ukraine / D. Hryhorczuk et al. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2024. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>
27. Petrushka K., Petrushka I. ECOLOGICAL RISKS OF CHROMIUM CONTAMINATION IN UKRAINIAN SOILS AFFECTED BY MILITARY

ACTIVITY: SEM–EDS AND EPMA ANALYSIS. *Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, no. 3. P. 298–308. URL: <https://doi.org/10.23939/ep2025.03.298>

28. Nickel in freshwater and marine water. *Australian & New Zealand Guidelines for fresh & Marine Water quality*. URL: <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/nickel-2000#:~:text=Nickel%20is%20moderately%20toxic%20to,bind%20nickel%20outside%20the%20cell>.

29. Chromium :: freshwaters ecosystems | APIS. *APIS - Air Pollution Information System | APIS*. URL: <https://www.apis.ac.uk/chromium-freshwaters-ecosystems#:~:text=LC50%20values%20for%20freshwater%20invertebrates,WHO%201988>

30. Lead. *Chemical book*. URL: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9854174.htm.

31. Iron
Atom|Mechanic|Electric|Physical|Thermal|Properties. *EngineerCalculator – 500+|Free|Calculators|Data|Guides*. URL: <https://engineercalculator.com/chemical-element-properties-and-overview/iron-chemical-element-various-properties-and-overview/>

32. Manganese Facts, Symbol, Discovery, Properties, Everyday Uses. *Chemistry Learner*. URL: <https://www.chemistrylearner.com/manganese.html>

33. Manganese – Element information, properties and uses | Periodic Table. *Periodic Table – Royal Society of Chemistry*. URL: <https://periodic-table.rsc.org/element/25/manganese>

34. Великий Луг чи Каховське водосховище: сучасне бачення / упор. В.В. Колодежна, О.В. Василюк. – Чернівці: Друк Арт, 2025. – 128 с. – (Серія: «Метаморфози Великого Лугу». – вип. 2). ISBN 978–617–8501–03–7

35. Мішина Л. ГІДРОГРАФІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ річки ДНІПРО: минуле, сучасне, майбутнє : навч. посіб. Севастополь : ВІСН. ДЕРЖГІДРОГРАФІЇ, 2006. 14 с.

36. Карта забруднення Дніпра. *Чиста вода*.
URL: <https://texty.org.ua/water/>

37. Карта якості води в річка, озерах, водосховищах та лиманах України – офіційні дані: перевищення ГДК показників – SaveEcoBot. *Єдина в Україні екологічна система – SaveEcoBot*.
URL: <https://www.saveecobot.com/water-maps#9/50.6852/31.5088/water/river-3>

38. Ruofan W. Ecological state of protected massifs of the Dnipro reservoir cascade: theoretical analysis. *Taurian Scientific Herald*. 2024. No. 140. P. 464–577. URL: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.70>

39. Influence of the Dnipro cascade of reservoirs on the current geomorphogenesis of adjoining territories. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*. 2017. No. 17.
URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2017-17-06>

40. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-2:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності і відтворюваності стандартного методу вимірювання. Чинний від 2006–07–01. Вид. офіц. ДП «Укр. н.-д. і навч. центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)

41. Вишневський В. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ: ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ.
URL: <https://ekhsuir.kspu.edu/server/api/core/bitstreams/fbb2fa03-f146-405c-a224-0b96f61199e6/content>

42. РОЗРОБЛЕННЯ ПЛАНУ УПРАВЛІННЯ РАЙОНОМ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ДНІПРА В УКРАЇНІ: ФАЗА 1, КРОК 1 – ОПИС ХАРАКТЕРИСТИК РАЙОНУ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ / Ю. Набиванець та

ін. Київ : Водна Ініціатива Європ. Союзу Плюс для країн Сх. партнерства, 2019. 166 с.

43. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 27, No. 4 (2018), 1725–1734
[https://www.pjoes.com/pdf-76916-](https://www.pjoes.com/pdf-76916-24599?filename=Heavy+Metal+Transport+in.pdf)

[24599?filename=Heavy+Metal+Transport+in.pdf](https://www.pjoes.com/pdf-76916-24599?filename=Heavy+Metal+Transport+in.pdf)

44. Analysis and probabilistic health risk assessment of vertical heavy metal pollution in the water environment of reservoir in the west coast new area of Qingdao, China / W. Cheng et al. *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 362. P. 125021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125021>

45. Cieśła M., Gruca–Rokosz R. Fate of heavy metals in ecosystems of dam reservoirs: Transport, distribution and significance of the origin of organic matter. *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 361. P. 124811. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124811>

46. Souza V. A., Wasserman J. C. Distribution of heavy metals in sediments of a tropical reservoir in Brazil: Sources and fate. *Journal of South American Earth Sciences*. 2015. Vol. 63. P. 208–216. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.014>

47. Metals in water and fish near four coal–fired power plants and human risk assessment in Chungcheongnam– do, Korea / S. Park et al. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. Vol. 8. P. 100461. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100461>

48. ДОПОВІДЬ ПРО СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА КИЄВА ЗА 2021 РІК. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Regionalna-dopovid-Kyivska-mista-Kyueva-u-2021-rotsi.pdf>

49. Визначення масивів підземних вод в районі річкового басейну Дніпра, Україна / М. Шуттер та ін. Київ : Європ. Союз Водна Ініціатива Плюс для Сх. Партнерства (EUWI+): Результат 2 і 3, 2019. 120 с.

50. Сивий Мирослав С 34 Географія мінеральних ресурсів України : монографія / Мирослав Сивий, Ігор Паранько, Євген

51. Екологічний паспорт міста Дніпро. *Департамент транспорту та охорони навколишнього середовища Дніпропетровської міської ради.*

URL: <https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/Екологічний%20паспорт.PDF>.

52. Heavy Metal Contamination in the Aquatic Ecosystem: Toxicity and Its Remediation Using Eco-Friendly Approaches / V. Singh et al. *Toxics*. 2023.

Vol. 11, no. 2. P. 147. URL: <https://doi.org/10.3390/toxics11020147>