

© Л.М. Рудаков¹

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

ДНІПРОВСЬКЕ ХВОСТОСХОВИЩЕ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНА НЕБЕЗПЕКА, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ І ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

© L. Rudakov¹

¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

DNIPROVSKE TAILING DUMP: HISTORY, CURRENT HAZARDS, CONTROL METHODS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION MEASURES

Мета. Спираючись на передумови створення, історію формування захисних дамб і наповнення «Дніпровського» хвостосховища радіоактивними відходами (РАВ), опрацьовувати і критично переосмислити потенційний негативний вплив, який може завдати навколишньому середовищу цей техногенний об'єкт та запропонувати шляхи підвищення рівня екологічної безпеки під час його подальшої рекультивациі.

Методика дослідження. Комплексне вивчення архівних матеріалів із застосуванням методу критичного аналізу наукової і методичної літератури та практичних розробок з вивчення будови і непорушності (сталості) конструктивних параметрів і розмірів захисних (огороджуючих) дамб і перекриваючих порід. Порівняльний аналіз якісного складу поверхневих вод річки Дніпро у різних гідрологічних створах. Отримані результати було опрацьовано за допомогою програмних комплексів із застосуванням ЕОМ.

Результати дослідження. Досліджено та представлено будову і конструктивні розміри захисних дамб і перекриваючих порід. Виявлена можливість накопичення, міграції та розвантаження із чаші хвостосховища атмосферної води забрудненої радіоактивними речовинами в основі та підваліні захисних ґрунтових дамб з наступним її перетоком і забрудненням поверхневих вод річки Дніпро.

Наукова новизна. Вперше проведено порівняльний аналіз якісного складу поверхневих вод річки Дніпро в двох створах, вище і нижче за течією від хвостосховища РАВ, що дозволило відслідкувати динаміку зміни вмісту сульфатів у дніпровській воді. Встановлено, що у більшості випадків поверхневі води р. Дніпро після проходження вздовж хвостосховища за течією мають вищі показники забруднення по сульфатам. Це може свідчити про вірність теорії розвантаження підземних вод що пройшли крізь РАВ і надійшли в поверхневі води річки Дніпро.

Практичне значення. Хімічні сполуки і радіонукліди накопичені в хвостосховищі та їх водна міграція несе загрозу забруднення не тільки підземних, а й поверхневих вод. Запропоновані шляхи і способи розв'язання проблеми поводження з радіоактивними відходами для запобігання їх розповсюдження і мінімізації негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: Дніпровське хвостосховище, радіоактивні відходи, захисна дамба, поверхневі водні об'єкти, техногенне навантаження, екологічна безпека.

Вступ. На території міста Кам'янське (колишня назва – Дніпродзержинськ) і поруч з ним розташовані великі металургійні, коксохімічні і інші хімічні підприємства. Мільйони тон промислових відходів розміщені в накопичувачах, відвалах підприємств і на міському звалищі та негативно впливають на навколишнє середовище. Разом з тим, найбільш актуальною є проблема радіоактивного забруднення міста Кам'янське та Дніпропетровської області, яка виникла внаслідок тривалої переробки урановмісних руд на виробничому об'єднанні «Придніпровський хімічний завод» з 1948 по 1991 рр. [1, 2]. За період роботи підприємства було утворено 9

сховищ радіоактивних відходів (РАВ), в яких зосереджено близько 36 млн т РАВ уранового виробництва загальною активністю близько $2,775 \times 10^{14}$ Беккерель. Одне із них «Дніпровське» було в експлуатації з 1954 р. по 1968 р. [3].

Хвостосховище «Дніпровське» розміщене в заплаві на правому березі річки Дніпро в підпорі Дніпровського водосховища Запорізької ГЕС на відстані 116,2 км і на 13,5 км нижче від Середньодніпровської ГЕС Кам'янського (раніше Дніпродзержинського) водосховища. Гідрографічна мережа цієї місцевості згідно карти Шуберта (рис. 1) була представлена невеликими річками Желтуха (ліва притока р. Коноплянка) та Борзійка і Хрещата (праві притоки Дніпра) [4].



Рис. 1. Фрагмент триверстової топографічної карти Шуберта з нанесеним контуром (червона лінія) хвостосховища РАВ «Дніпровське» (за матеріалами зйомки 1875–1888 рр.) [5]

З півдня і заходу уздовж хвостосховища протікає р. Коноплянка, що впадає в ріку Дніпро. З півночі до хвостосховища прилягають відстійники Дніпровського (раніше Дніпродзержинського) коксохімічного заводу (ДКХЗ), зі сходу – відстійник металургійного комбінату «Камет-Сталь» (раніше Дніпродзержинський металургійний комбінат – ДМКД) і шламові відвали ДКХЗ.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Порівнюючи нинішній стан території промислової зони м. Кам'янське (рис. 2) з картами 100 річної давнини за допомогою сервісу Google Earth Pro визначено, що площа заводів разом з місцями відведеними під відходи займає 23,48 км². Площа РАВ складає 0,73 км², відходів вугільних відвалів – 0,71 км² і шламів – 1,9 км². При цьому частка площі РАВ складає 3,11% від загальної площі промислової зони і 21,9% від площі що знаходиться під усіма видами відходів, а шкода від РАВ значно перевищує негативні наслідки від всіх відходів [6–10].

Таким чином детальний аналіз будови і всебічне дослідження хвостосховища «Дніпровське» є актуальним питанням з точки зору зменшення його шкідливої дії на довкілля [11, 12].

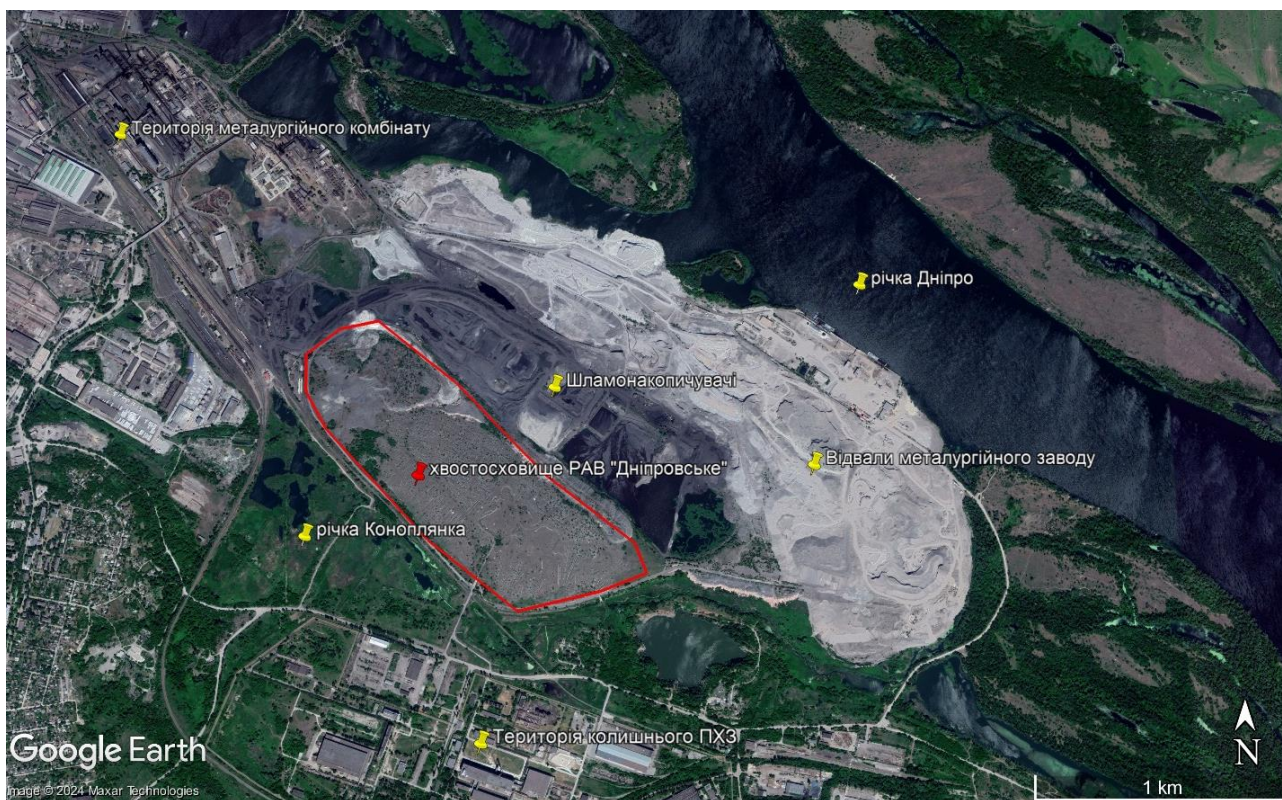


Рис. 2. Сучасний стан хвостосховища «Дніпровське» (точка РАВ: N48⁰30', E34⁰40'; орієнтування знімку на північ) за даними інтернет-порталу *Google Earth Pro*

Мета статті. Спираючись на передумови створення, історію формування захисних дамб і наповнення «Дніпровського» хвостосховища радіоактивними відходами (РАВ), опрацьовувати і критично переосмислити потенційний негативний вплив, який може завдати навколишньому середовищу цей техногенний об'єкт та запропонувати шляхи підвищення рівня екологічної безпеки під час його подальшої рекультивациї.

Обґрунтування вживання і опис вибраної авторами методики. Проаналізовані публікації охоплюють історичні дослідження, конструктивні особливості влаштування «Дніпровського» хвостосховища та його вплив на навколишнє середовище. Критичний огляд сучасних результатів досліджень спрямований на всебічний пошук шляхів, методів і заходів з налагодження достовірної системи моніторингу і підвищення рівня екологічної безпеки хвостосховища РАВ під час подальшої експлуатації і рекультивациї.

Для оцінки можливого виносу РАВ з Дніпровського хвостосховища через підземні води в річку Дніпро застосовано ретроспективний аналіз даних моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України Державного агентства водних ресурсів (далі – ДАВР) України [13] за період з січня 2020 р. по лютий 2023 р. Інформацію про екологічний стан річки запозичено з інтерактивної карти «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України» [14], яка розміщена на офіційному веб-сайті Держводагенства України та даними програми державного моніторингу вод, які опубліковані Держводагенством на Порталі відкритих даних [14].

Отримані результати було опрацьовано за допомогою програмних комплексів із застосуванням ЕОМ (MS Office Excel).

Виклад основного матеріалу дослідження. Хвостосховище було побудоване на правій заболоченій заплаві р. Дніпро з висотними відмітками 51–53 м у міжріччі Дніпро – Коноплянка і фактично схоронило малі річки Желтуха, Борзійка і Хрещата (див. рис. 1). За будовою хвостосховище відноситься до рівнинно-наливного типу та споруджено шляхом створення котловану до відмітки 48 м та насипом замкнутого контуру захисних дамб. Протяжність периметру цих дамб – 3,99 км, площа чаші хвостосховища за різними джерелами коливається в межах 0,73–0,76 км². Дамба зведена на алювіальних пісках і суглинках і в процесі експлуатації хвостосховища нарощувалася, змінюючись в поперечному перерізі.

Складування відходів переробки уранової сировини в хвостосховище проводилося з 1954 по 1968 р. способом гідронамиву. В результаті в ньому на сьогодні заскладовано приблизно 12 млн т (5,8 млн м³) відходів переробки уранових руд.

Абсолютна відмітка гребеня дамби до 1959 року складала 57,45 м, потім після нарощування досягла 61,3–64,2 м. Висота дамб змінюється від 6,0 до 11,8 м, ширина по гребню 5–35 м, ширина по основі – близько 80 м. У даний час східна і північно-східна ділянка захисної дамби хвостосховища протяжністю до 1600 м засипана шаром відходів коксохімічного виробництва потужністю 7–22 м.

В 1976–1980 рр. Дніпровське хвостосховище засипано шаром фосфогіпсу товщиною від 1–5 м поблизу дамб до 19 м в центральній і східній частині чаші, який запобігає надходженню в атмосферне повітря радіоактивних речовин при вітровому рознесенні пилу (рис. 3). Відсипання фосфогіпсу припинене в 1989 р.; північно-західна частина території хвостосховища засипана вуглистими шлаками та відходами металургійного комбінату без проекту [1].



Рис. 3. Аерофотозйомка хвостосховища «Дніпровське», 1977 рік

Зараз, за даними [2], північно-східна ділянка дамби має двоярусний профіль. В даний час східна і північно-східна ділянки дамби загальною протяжністю близько 1600 м похована під відвалом шлаку ДКХЗ. Абсолютні відмітки гребеня змінюються в межах 63,5–64,0 м, берми – 61,1–61,3 м. Ширина дамб по гребеню досягає 10 м; за бермою – 30 м. По гребеню дамби проходить автошлях з бетонним покриттям.

Західна ділянка дамби – двоярусного профілю, з абсолютними відмітками гребеня 62,27–64,42 м. Ширина гребеня змінюється від 9 до 18 м. Абсолютні відмітки поверхні берми – 60,15–61,3 м, її ширина варіює від 18 до 30 м. По бермі прокладена залізнична колія, по гребеню дамби – забетоноване полотно автошляху.

Південна ділянка дамби характеризується двох- і троярусним профілем. Абсолютні відмітки гребеня змінюються від 60,15 до 62,8 м, берм – від 54,6 до 59,4 м. Ширина гребеня 4–10 м, берм – від 3 до 10 м. По бермі дамби була прокладена гілка залізниці, яка зараз розібрана, рейки та шпали вилучені, але гранітно-щебеневий баласт залишився.

В основі хвостосховища лежать алювіальні відкладення загальною потужністю від 1,3 до 15,5 м, що залягають на нерівній поверхні кристалічних порід. До складу алювіальної товщі входять гумусовані мулуваті супіски та суглинки потужністю 0,1–3,3 м, що поширені на більшій частині природної поверхні та різнозернисті піски потужністю 1,3–15,3 м. Під алювіальною товщею залягають кристалічні породи, представлені гранітами.

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю техногенного горизонту шламових вод у чаші хвостосховища та гідравлічно пов'язаного з ним водоносного комплексу, поширеного в алювіальних пісках і тріщинуватій зоні кристалічних порід. Середня потужність товщі РАВ в хвостосховищі становить 8,0 м. Радіоактивні відходи підстилаються природними ґрунтами, представленими алювіальними суглинками та пісками. За фізичними властивостями радіоактивні відходи класифікуються переважно як водонасичені супіски, текучої консистенції. Для товщі РАВ характерна шарувата будова з чергуванням різних літологічних прошарків (супіски, суглинки, піски) різного кольору (від білого та світло-сірого до темно-бурого та чорного) та різної консистенції (від твердої до текучої).

Радіоактивні відходи характеризуються високим ступенем водонасичення (80-100% обсягу шпарин). За фізичними властивостями та умовами, в яких вони сформувалися, радіоактивні відходи близькі до мулів. Для них характерні шарувата текстура, тиксотропні властивості, липкість, приховано-текуча консистенція (перехід у текучий стан при порушенні природного складання без зміни вологості), що свідчить про переважання тиксотропно-коагуляційних структурних зв'язків між частинками з переважним розміром 0,05–0,005 мм.

Основу хімічного складу РАВ складають сульфати, оксиди кальцію та кремнію (кварц). Хімічний склад РАВ сформований мінеральним складом вихідної уранової руди (кварц, польові шпати, гідроліти, каолінит) у поєднанні з реагентами та продуктами нейтралізації (сірчана та азотна кислота, вапно).

Статус хвостосховища, як об'єкту підвищеної екологічної небезпеки, спонукав до різноманітних досліджень, починаючи з моменту експлуатації до

теперішнього стану зберігання відходів. Були проведені численні науково-практичні роботи, які мали за мету підвищення технічної та екологічної безпеки, але, у зв'язку з ліквідацією виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» та створення на його базі державного підприємства «Бар'єр», багато матеріалів, в тому числі й конструкторська та виробнича документація по цьому об'єкту – втрачені. Тому на початку 2000-х років відновилися дослідження стану хвостосховища «Дніпровське», в яких брали участь багато як наукових, так і комерційних організацій.

В 2012 році у Заключному звіті «Передпроектні роботи для розробки ГЕО оптимальних варіантів здійснення заходів на хвостосховищі «Дніпровське» [5] наведено огляд вихідних даних щодо стану хвостосховища та прилеглої території. Окрему цінність в цьому звіті представляє перелік посилань, в якому наведено майже усі роботи, що здійснювалися на об'єкті починаючи з 2000 року. В роботі [3] показано, що існує досить велика кількість інформації, котра отримана внаслідок дослідження свердловин, пробурених в межах хвостосховища, на огорожуючих дамбах та на прилеглій території. В результаті відбору зразків ґрунту, повітря та підземних вод виконані чисельні моделювання процесів забруднення компонентів довкілля радіонуклідами та іншими речовинами.

Вивченням технічного стану огорожуючих дамб на хвостосховищі «Дніпровське» приділяється підвищена увага у зв'язку з тривалим терміном існування небезпечного об'єкту.

Так, у 2000 р. ДП «УкрНДПВІпромтехнології» розроблено програму першочергових робіт з ліквідації відкритих радіоактивних виходів на хвостосховищі «Дніпровське» [6, 7], згідно якої планувалося проведення інженерно-геологічних досліджень, інженерно-геофізичних досліджень в складі методів природного поля, вертикального електричного зондування та оцінки сейсмічного впливу вибухів для виявлення ділянок фільтрації рідин з хвостосховища та створення мережі спостережних свердловин. Але результатів реалізації цієї програми у вільному доступі не виявлено.

В рамках проекту «Невідкладні роботи на захисних спорудах...» у 2000 р. було розроблено технічні рішення щодо створення мережі спостережних свердловин на хвостосховищі «Дніпровське» [8]. Передбачалося буріння 11 свердловин по гребеню дамби та 70 свердловин в чаші хвостосховища і за його межами. Ці заходи реалізовані лише частково.

У 2001 р. у «Робочому проекті з укріплення дамби на хвостосховищі «Дніпровське» відмічалось, що південно-східна частина дамби за інженерно-геологічною будовою найбільш несприятлива, оскільки тут виявлені лінзи недоущільнених ґрунтів та розвиваються небезпечні інженерно-геологічні процеси – суфозія, просідання, промоїни тощо [9]. Проектом запропоновано та виконано проведення накидку кам'яного матеріалу на відкоси дамби.

У 2009 р. було облаштовано 10 додаткових спостережних свердловин в тілі захисних дамб, також були встановлені деформаційні марки (поверхневі марки – ПМ) в кількості 30 одиниць для спостереження за вертикальними та горизонтальними зміщеннями в дамбі [10].

У 2011 р. ДП «УкрНДПВІпромтехнології» проведено інструментальний контроль за станом захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Об'єктами контролю були спостережні гідрогеологічні свердловини та ґрунтові геодезичні знаки ПМ, встановлені в південній, західній та північно-західній ділянках огорожуючої дамби [11]. В результаті робіт отримано вихідну інформацію щодо параметрів контрольно-вимірювальної апаратури, котрі мають використовуватися при подальших спостереженнях [15–18].

В 2016 році проведені дослідження з оцінки ризику аварії та виконано розрахунок можливого процесу руйнування ґрунтової греблі даного хвостосховища [10]. В 2023 році виконано дослідження стійкості огорожувальних дамб як елементів екологічної безпеки хвостосховища [19]. За результатами досліджень встановлено, що коефіцієнти стійкості змінюються в межах від $k_s=1,37$ до 4,76. Порівняння цих показників з аналогічними параметрами визначеними у 2016 р. [10] засвідчують тенденцію зниження коефіцієнтів стійкості укосів внаслідок водонасичення та підвищення рівня ґрунтових вод.

Стосовно якості води слід зазначити, що загалом хімічний та радіонуклідний склад води характеризується значним перевищенням фонових показників, властивих природним водам. Допустимі концентрації більшості хімічних компонентів та всіх радіонуклідів перевищено на один – два порядки, що свідчить про проходження процесу вилуговування хімічних сполук і радіонуклідів з твердих радіоактивних відходів та їх водної міграції [3, 13].

В районі хвостосховища утворилися ореоли забруднення підземних вод в результаті водної міграції хімічних компонентів і радіонуклідів. Ореол забруднення досягає річок Коноплянки та Дніпра, де відбувається розвантаження забруднених підземних вод у поверхневі води. Крім того, в результаті міграції радіонуклідів з товщі РАВ в природних ґрунтах утворилася зона радіоактивного забруднення середньою потужністю близько 3 м під хвостосховищем. Для цієї зони характерні потужність експозиційної дози випромінювання α -випромінювання понад 60 мкР/год та високі питомі активності радіонуклідів, що становлять у середньому 11-102% від вихідної питомої активності у товщі РАВ.

Так, за даними попередніх екологічних досліджень та результатів математичного моделювання, отриманих Інститутом геологічних наук НАН України та Українським Державним інститутом мінеральних ресурсів у 1997–1998 рр., було встановлено, що Дніпровське хвостосховище є джерелом хімічного та радіонуклідного забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод [14].

В 2023 році також проведені аналогічні дослідження із прогностичної оцінки впливу хвостосховищ уранової руди на забруднення поверхневих вод [20]. Розрахунки, виконані за допомогою адвекційно-дисперсійної моделі для моделювання переносу ^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra і ^{210}Pb показали, що серед чотирьох радіонуклідів найбільші ризики сьогодні становить уран, концентрація якого у воді річки Коноплянки в результаті підземного стоку в кілька разів перевищує фонове значення. Також автори наголошують, що у наступні 50 років потоки радіонуклідів збільшаться в 1,3–3,7 рази для всіх ізотопів. Така ситуація потребує розробки і вдосконалення гідрологічного, гідрогеологічного та інженерно-

геологічного моніторингу на цьому небезпечному об'єкті з метою підтримки його радіаційної безпеки.

Для аналізу стану поверхневих вод Дніпра в нинішній час, на предмет розвантаження забруднених підземних вод хвостосховища, виконано порівняння якості води вище і нижче за течією від хвостосховища. В якості порівняння були взяті дані по двох створах (постах) спостережень на р. Дніпро:

- 1) 462 км, біля смт. Аули, питний водозабір міст Дніпро і Кам'янське;
- 2) 420 км, м. Дніпро, правий берег, Кайдакський питний водозабір.

При цьому до уваги взято показник саме по сульфатам, оскільки інформація по радіоактивним компонентам відсутня. Сульфати складають основу хімічного складу РАВ і, напевне, їх можна прийняти в якості маркера забруднення. Динаміка зміни вмісту сульфатів у дніпровській воді за останні три роки по двох створах представлена на рис. 4.

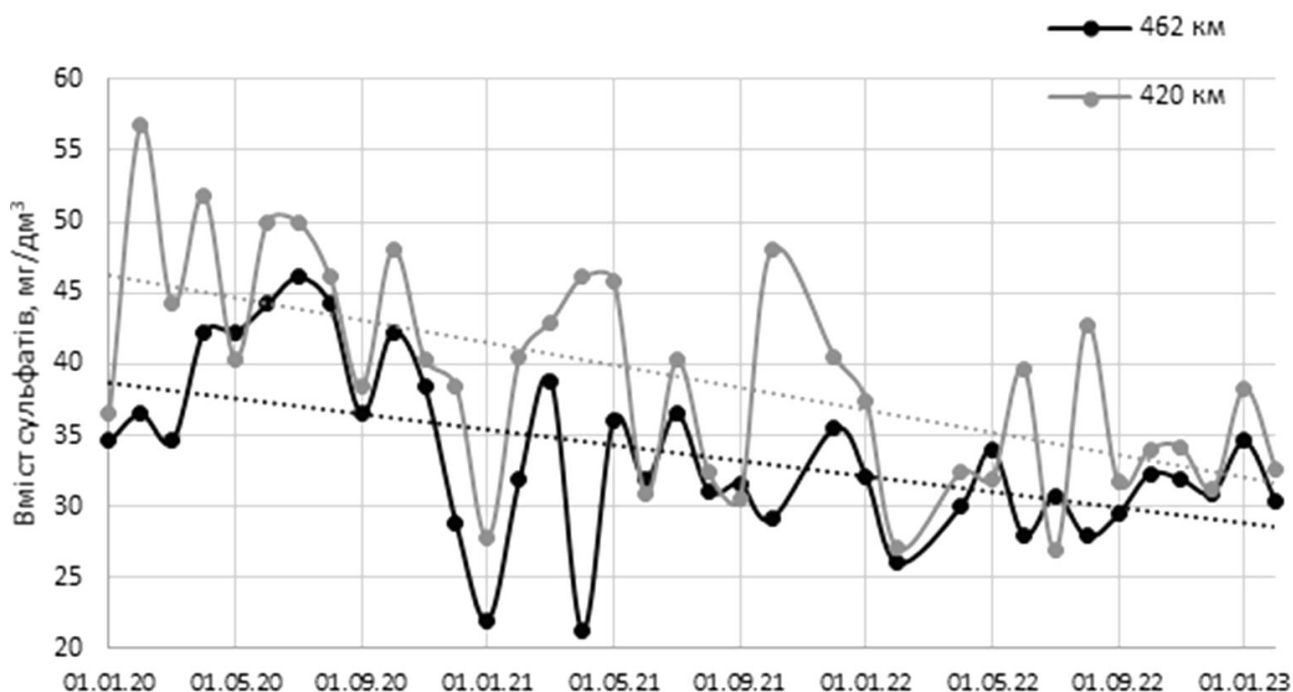


Рис. 4. Динаміка зміни вмісту сульфатів у дніпровській воді

Аналіз рис. 4 вказує на те, що у всіх розглянутих випадках гранично-допустимі величини (ГДК) норми не перевищені. ГДК гідрохімічних показників по сульфатам згідно [18] для водних об'єктів рибогосподарського призначення складають 100 мг/дм^3 , а для господарсько-побутового використання – 500 мг/дм^3 . В розглянутих обох створах прослідковується тренд до зниження вмісту сульфатів у воді за останні три роки.

В переважачій кількості випадків поверхневі води р. Дніпро після проходження вздовж хвостосховища нижче за течією мають вищі показники забруднення по сульфатам. Це засвідчує вірність теорії розвантаження підземних вод що пройшли через хвостосховище і надійшли в поверхневі води річки Дніпро. Із загальної тенденції випадають декілька випадків, коли концентрація сульфатів у

верхньому створі була вище ніж у нижньому створі. Одне з таких відхилень в травні найбільш вірогідно пов'язане з різними контрольними датами забору води для аналізу (в верхньому створі 05.05.2022 р., а в нижньому 25.05.22р.) при цьому між вказаними термінами випали атмосферні опади шаром більше 25 мм [19], тому за рахунок суттєвого розбавлення концентрація сульфатів в нижньому створі знизилась. Інші відхилення можуть бути пов'язані з господарською діяльністю на водозборі річки [20] і змінами гідрологічного режиму [21], адже джерелом надходження сульфатів в дніпровську воду на ділянці між двома створами є декілька підприємств хімічної і металургійної промисловості, відходи яких також насичені сульфатвміщуючими іонами, тому це питання потребує додаткового вивчення.

З метою розв'язання зазначеної проблеми подальшого поведження з радіоактивними відходами слід застосовувати комплексний підхід, який буде враховувати законодавчі, наукові, проектні, експлуатаційні, організаційні та ін. заходи впливу. Звісно, що кожен захід матиме свої масштаби, черговість, терміни і критерії важливості. Певні кроки в цьому напрямку зроблені на законодавчому рівні і висвітлені в Стратегії поведження з радіоактивними відходами в Україні [18]. Деякі з них зображені на рис. 5.



Рис. 5. Шляхи і способи розв'язання проблеми поведження з радіоактивними відходами

Висновки. Аналіз результатів дослідження показує, що «Дніпровське» хвостосховище залишається одним з найнебезпечніших техногенних об'єктів у межах Дніпропетровської області, який вкрай негативно впливає на всі компоненти навколишнього природного середовища. Тривалий вплив хвостосховища РАВ значно погіршує екологічний стан поверхневих і підземних вод річок Коноплянка і Дніпро. Склад та властивості радіоактивних відходів, а також умови їх зберігання, сприяють подальшому зростанню масштабів радіоактивного та хімічного забруднення. Першочерговими задачами залишаються необхідність налагодження комплексної системи моніторингу за хімічним складом і рівнями ґрунтових вод на об'єкті, а також постійна оцінка технічного стану, стійкості і надійності безпечної експлуатації огорожувальних ґрунтових дамб хвостосховища з використанням різних методів і технічних засобів спостереження. В подальшому для запобігання зростанню масштабів забруднення довкілля потрібне проведення спеціальних заходів, що включають ліквідацію джерел забруднення, ізоляцію відходів та їх перепоховання, інженерно-технічні рішення з рекультивації та підвищення рівня надійності роботи огорожувальних споруд і поверхневого покриття хвостосховища.

Перелік посилань

1. Shmatkov, G., Korovin, V., Koshik, Yu., Ryaboshapka, S., & Shestak, Yu. (2001). Radioactive contamination of city territory due to work of uranium-processing plant and the ways of its solution. *Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*, 1215–1219. <https://doi.org/10.1016/b978-044450699-3/50036-7>
2. Shmatkov, G., Seminec, G., & Korovin, Yu. (2000). Complex Approach to the Problem of Radioactive Pollution of City Territory *14 Int. Congress of chemical and Process Engineering, Prague, Aug. 27-31 2000. Set of Summaries*, 4, 289.
3. Korovin, V., Korovin, Yu., Laszkiewicz, G., Lee, L., Koshik, Yu., Shmatko, G., Semenets, G., & Merkulov, V. (2001). *Problem of radioactive pollution as a result of Uranium ores processing*
4. КАРТИ ТРИВЕРСТОВКИ з прив'язкою для GPS (n.d.). <http://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-trexverstovki-s-privyazkoj-dlya-gps>
5. *Заключний звіт: «Предпроектні роботи для розробки ТЕО обґрунтування оптимальних варіантів здійснення заходів на хвостосховищі «Дніпровське».* (2012). ДП «УкрНДППромтехнології». Жовті Води.
6. *Програма першочергових робіт з ліквідації відкритих радіоактивних виходів на поверхні хвостосховищ ДП «ПХЗ» для запобігання міграції РАВ у річку Коноплянка (Хвостосховище «Д»).* (2000). ДП «УкрНДППромтехнології».
7. *Програма виходу з екологічної кризи м. Дніпродзержинська на 2000-2005 роки.* (2000). Інститут проблем природокористування та екології НАН України.
8. *Невідкладні роботи на захисних спорудах сховищ радіоактивних відходів переробки уранових руд Державного підприємства «Придніпровський хімічний завод». Хвостосховище «Дніпровське». Технічні рішення щодо створення мережі наглядових свердловин.* (2000). ДП «УкрНДППромтехнології».
9. *Робочий проект «Невідкладні роботи зі зміцнення греблі на хвостосховищі радіоактивних відходів «Дніпровське» Придніпровського хімічного заводу у м. Дніпродзержинську». Том 1 – Технологічні рішення.* (2001). «УкрНДППромтехнології».
10. *Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт.* (2016). ТОВ «УТБ-2».

11. Гапіч, Г.В., Пікареня, Д.С., Рудаков, Л.М., Максимова, Н.М., & Макарова, Т.К. (2019), Оцінка ризику аварії та розрахунок процесу руйнування ґрунтової греблі хвостосховища, *Комунальне господарство міст (Серія «Технічні науки та архітектура»)*, 3(156), 99–104. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-3-156-99-104>
12. Voitsekhovitch, O., Soroka, Y., & Lavrova, T. (2006). Uranium mining and ore processing in Ukraine – radioecological effects on the Dnipro River Water Ecosystem and human health. *Radionuclides in the Environment – Int. Conf. On Isotopes in Env. Studies*, 206–214. [https://doi.org/10.1016/s1569-4860\(05\)08014-9](https://doi.org/10.1016/s1569-4860(05)08014-9)
13. Державне агентство водних ресурсів України. Держводагенство. Офіційний вебсайт. (n.d.). <https://www.davr.gov.ua/>.
14. *МОНІТОРИНГ ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ* (n.d.). Державне агентство водних ресурсів України <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>
15. Rudakov, L., Napich, H., Orlinska, O., Pikarenia, D., Kovalenko, V., Chushkina, I., & Zaporozhchenko, V. (2020). Problems of technical exploitation and ecological safety of hydrotechnical facilities of irrigation systems. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 776–788. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112070>
16. Ромащенко, М.І., Рокочинський, А.М., Галік, О.І., & Савчук, Г.І. (2008). Сучасні зміни клімату та їх прояви від глобального до регіонального рівнів, 65–79.
17. Вишневський, В.І. (2001). Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусі. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 249, 89–105.
18. *РОЗПОРЯДЖЕННЯ від 19 серпня 2009 р. N 990-р Київ Про схвалення Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні* (2009). Кабінет Міністрів України <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990-2009-%D1%80#Text>
19. Tymoshchuk, V., Rudakov, L., Pikarenia, D., Orlinska, O., & Napich, H. (2023). Analyzing stability of protective structures as the elements of geotechnical tailing pond safety. *Mining of Mineral Deposits*, 17(4), 116–122. <https://doi.org/10.33271/mining17.04.116>
20. Rudakov, D., Pikarenia, D., Orlinska, O., Rudakov, L., Napich, H. (2023). A predictive assessment of the uranium ore tailings impact on surface water contamination: Case study of the city of Kamianske, Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity*, 268–269(2023), 107246. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107246>
21. Tymoshchuk, V., Tishkov, V., & Soroka, Y. (2018). Hydro and geomechanical stability assessment of the Bund wall bottom slope of the Dniprovsk tailing dump. *Mining of Mineral Deposits*, 12(1), 39–47. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.039>

ABSTRACT

Purpose. Based on the prerequisites for its creation, the history of the formation of protective dams and the filling of the “Dniprovsk” tailing dump with radioactive waste, to study and critically rethink the potential negative impact that this man-made facility may cause to the environment and to propose ways to improve the level of environmental safety during its further remediation.

Research methodology. A comprehensive study of archival materials using the method of critical analysis of scientific and methodological literature and practical developments to study the structure and stability of structural parameters and dimensions of protective (enclosing) dams and overlying rocks. Comparative analysis of the qualitative composition of the Dnipro River surface water in different hydrological sections. The results were processed using computer software systems.

Research results. The structure and structural dimensions of protective dams and overlying rocks are investigated and presented. The possibility of accumulation, migration and unloading of atmospheric water contaminated with radioactive substances in the base and foundation of protective soil dams from the tailing pit with its subsequent overflow and contamination of the Dnipro River surface waters was revealed.

Originality. For the first time, a comparative analysis of the quality composition of surface waters of the Dnipro River in two channels, upstream and downstream of the radioactive waste tailing pond, was carried out, which made it possible to track the dynamics of changes in the sulfate content in the Dnipro water. It was found that in most cases, the Dnipro River surface water after passing along the tailing pond downstream has higher sulfate contamination. This may indicate the correctness of the theory of unloading groundwater that has passed through radioactive waste and entered the surface waters of the Dnipro River.

Practical implications. Chemical compounds and radionuclides accumulated in the tailing pond and their water migration pose a threat of contamination of not only groundwater but also surface water. Ways and means of solving the problem of radioactive waste management are proposed to prevent its spread and minimize the negative impact on the environment.

Keywords: *Dniprovske tailing dump, radioactive waste, protective dam, surface water bodies, technogenic load, environmental safety.*