

## ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ДАМБИ ХВОСТОСХОВИЩА «ДНІПРОВСЬКЕ» ГЕОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Пікареня Д. С., Орлінська О. В., Рудаков Л. М.

### ВСТУП

Хвостосховище «Дніпровське» є одним з об'єктів накопичення радіоактивних відходів колишнього Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське Дніпропетровської області). Воно розміщене в заплаві р. Дніпро на правому березі на відстані приблизно 10 км вниз за течією від греблі Середньодніпровського водосховища. З півдня і заходу уздовж хвостосховища протікає р. Коноплянка, що впадає в р. Дніпро. Складування відходів переробки уранової сировини Придніпровським хімічним заводом (нині не працює) в хвостосховище проводилося з 1954 по 1968 р. способом гідронамиву. В результаті в ньому на сьогодні закладено біля 12 млн.т. відходів переробки уранових руд із загальною оціночною активністю приблизно  $1,4 \cdot 10^{15}$  Бк.

Дослідження, що проводилися в цьому районі багатьма колективами показують, що відбувається постійна фільтрація забруднених радіаційних розчинів з хвостосховища, які забруднюють ґрунти, рослини на прилеглих територіях, а також донні відкладення в р. Коноплянка.

Отже, вивчення технічного стану дамб та визначення шляхів міграції рідини є дуже актуальною науковою та практичною задачею.

### 1. Характеристика об'єкту дослідження

За будовою хвостосховище відноситься до рівнинно-наливного типу та було створено шляхом споруди замкнутого контуру захисних дамб, протяжність периметру яких біля 4 км. Дамби зведені на алювіальних пісках і суглинках і в процесі експлуатації хвостосховища нарощувалися. Тіло дамб складає різnorідний матеріал – від відходів коксохімічного виробництва (вуглисті шлаки, піски, супіски) і будівельного сміття (уламки цегли, цементний пил) до пилюватих і дрібних пісків і лесових суглинків і супісків. Протифільтраційні елементи, як в тілі дамби, так і в підставі чаші не закладені. Поверхня хвостосховища не спланована, поверхневий стік не організований. На низовому укосі дамби утворилися численні дрібні вимоїни, у її південній частині спостерігається просідання гребеня. Це свідчить про розвиток ерозійних процесів на поверхні дамби, які при одночасному підйомі рівня вод техногенного водоносного горизонту і розвитку суфозії, можуть призвести до її руйнування.

Складування відходів переробки уранової сировини в хвостосховище проводилося з 1954 по 1968 р. способом гідронамиву. В результаті в ньому на сьогодні закладовано приблизно 12 млн. т (5,8 млн. м<sup>3</sup>) 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 гребеню 5–35 м, ширина по підставі – 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.

Хвостосховище в 1976–1989 р. перекрите шаром фосфогіпсу товщиною від 1-5 м поблизу дамб до 19 м в центральній і східній частині чаші, який запобігає надходженню в атмосферну радіоактивних речовин при вітровому пилінні.

З півночі до хвостосховища прилягають відстійники коксохімічного виробництва, зі сходу – відстійник металургійного виробництва ПрАТ «Камет-Сталь», північно-західна частина території хвостосховища засипана вуглистими шлаками та відходами металургійного виробництва без проекту (рис. 1).

Статус хвостосховища як об'єкту підвищеної небезпеки спонукав до різноманітних досліджень усіх боків його існування, починаючи з моменту експлуатації до теперішнього стану зберігання відходів. Було проведені численні науково-практичні роботи, які мали за мету підвищення технічної та екологічної безпеки, але в 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 було втрачено.



**Рис. 1. Сучасний стан хвостосховища «Дніпровське» за даними інтернет-порталу Google Earth**

На початку 2000-х років відновилися дослідження стану хвостосховища «Дніпровське», в яких брали участь багато як наукових, так й комерційних організацій. Головною організацією, що курирувала роботи по хвостосховищу, є Український науково-дослідний та проєктно-вишукувальний інститут промислової технології (ДП «УкрНДПВПТ», м. Жовті Води Дніпропетровської обл.). В 2022 році у звіті<sup>1</sup> наведено огляд результатів робіт попередників щодо стану хвостосховища та оточуючої території. Показано, що існує досить велика кількість інформації, котра отримана як зі свердловин, пробурених в межах хвостосховища, на огорожуючих дамбах та на оточуючої території, так й в результаті опробування ґрунтів, повітря та підземних вод, а також моделювання процесів забруднення компонентів довкілля радіонуклідами та іншими речовинами. Але ця інформація розосереджена по різних джерелах з різними ступенем доступності, дещо дублює одне одну та потребує комплексного узагальнення та аналізу.

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

Як показано у звіті,<sup>2</sup> у 2000 році ДП «УкрНДПВПТ» розроблено програму першочергових робіт з ліквідації відкритих радіоактивних виходів на хвостосховищі «Дніпровське», 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. Результаті реалізації цієї програми авторам не відомі.

За даними,<sup>3</sup> у 2000 році в рамках проєкту «Невідкладні роботи на захисних спорудах...» було розроблено технічні рішення щодо створення мережі спостережних свердловин на хвостосховищі «Дніпровське». Передбачалося буріння 11 свердловин по гребеню дамби та 70 свердловин в чаші хвостосховища та за його межами. Частково ці заходи реалізовані.

---

<sup>1</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

<sup>2</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

<sup>3</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

У 2001 році, за даними,<sup>4</sup> у Робочому проекті з укріплення дамби на хвостосховищі «Дніпровське» відмічалось, що південно-східна частина дамби за інженерно-геологічною будовою найбільш несприятлива, оскільки тут відмічаються лінзи недоущільнених ґрунтів та розвиваються небезпечні процеси – суфозія, просідання, промоїни. Було запропоновано провести накидку кам'яного матеріалу на відкоси дамби. Ці роботи виконані.

У 2009 р. було облаштовано 10 додаткових спостережних свердловин в тілі захисних дамб<sup>5</sup>, також були встановлені деформаційні марки (поверхневі марки – ПМ) в кількості 30 одиниць для спостереження за вертикальними та горизонтальними зміщеннями в дамбі.

У 2011 р. ДП «УкрНДПВПТ» проведено інструментальний контроль за станом захисних споруд хвостосховища «Дніпровське», про що згадується у звіті<sup>6</sup>. Об'єктами контролю були спостережні гідрогеологічні свердловини та ґрунтові геодезичні знаки (поверхневі марки), встановлені в південній, західній та північно-західній ділянках огорожуючої дамби. В результаті було отримано вихідну інформацію щодо параметрів контрольовано-виміральної апаратури, котрі мають використовуватися при подальших спостереженнях.

У 2016 р. ТОВ «УТБ-2» провела інструментальний контроль стану захисних споруд<sup>7</sup>. По результатах встановлено, що дамба знаходиться у стабільному стані, рівень коливання води у спостережних свердловинах незначний, а ділянок обводнення дамби не виявлено. В якості рекомендацій було відмічена необхідність виконати розрахунок стійкості дамби.

Наприкінці 2016 р. ТОВ «ЦРЕМ» під керівництвом професорів Орлінської О.В. і Пікарєні Д.С. були виконані дослідження «Проведення інструментального геофізичного та лабораторного обстеження дамби хвостосховища «Дніпровське» та розрахунок стійкості низового укосу дамби в рамках провадження ліцензійної діяльності ДП «Бар'єр»<sup>8</sup>. В результаті застосування геофізичного електророзвідувального методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) на

---

<sup>4</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

<sup>5</sup> Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт. ТОВ «УТБ-2», м. Кам'янське, 2016, 37 с.

<sup>6</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

<sup>7</sup> Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт. ТОВ «УТБ-2», м. Кам'янське, 2016, 37 с.

<sup>8</sup> Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікарєня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.

південно-східній дамбі хвостосховища виявлено дві зони з підвищеним рівнем стояння ґрунтових вод довжиною 60 м та 380 м. На південно-західній частині дамби також виявлені дві аналогічних зони довжиною 40 м та 20 м. В цих зонах було проведено інженерно-геологічне буріння 15 свердловин з відбором керну та лабораторним аналізом фізико-механічних властивостей порід. Лабораторні дані використані для оцінки гідрогеомеханічної стійкості низового відкосу огорожуючої дамби хвостосховища «Дніпровське». В результаті розрахунків встановлено, що значення коефіцієнту стійкості південно-східної частини дамби знаходяться в межах 1,78–3,02, що перевищує мінімальну критичну величину 1,2, тобто дамба має значний запас стійкості.

Аналіз робіт по дамбі хвостосховища «Дніпровське» показують, що основна увага приділялася південній частині хвостосховища, а саме південно-східній та південно-західній ділянкам огорожуючої дамби. І це зрозуміло, оскільки саме ці частини несуть небезпеку забруднення природними радіонуклідами річки Коноплянки та заплавних ґрунтів. Північна частина дамби завдяки її похованню під багатометровою товщею металургійних вугільних шлаків та фосфогіпсу вважалася стійкою та безпечною. Але після того, як почали розроблятися вугільні шламонакопичувачі, виникли небезпечні інженерно-геологічні явища – обвали, зсуви та розтріскування потужного шару фосфогіпсу, що становить небезпеку існування захисного покриття радіоактивних відходів. Ці процеси посилювалися у 2019–2022 роках та викликали серйозне занепокоєння з боку як експлуатантів хвостосховища, так й контролюючих органів (рис. 2). Саме тому виникла необхідність обстеження повного периметру захисної дамби та оцінки її гідрогеомеханічної стійкості.



**Рис. 2. Прояви небезпечних інженерно-геологічних явищ – обвали, зсуви та розтріскування потужного шару фосфогіпсу на північній дамбі**

## 2. Дослідження технічного стану дамб хвостосховища

У 2022 року проведена оцінка стійкості огороджуючих дамб хвостосховища «Дніпровське» в межах земельного відводу. Згідно з програмою виконувалися геофізичні дослідження із залученням електророзвідувальних методів природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) по гребню огороджуючих дамб за мережею спостереження 3х3 метри та вертикального електричного зондування (ВЕЗ). Результатом застосування цих методів стало виділення у плані ділянок зменшення щільності потоку імпульсів ПЕМПЗ, їх інтерпретація, визначення глибини рівнів ґрунтових вод у дамбі.

Зупинимось коротко на сугі вказаних методів.

Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) відноситься до групи електророзвідувальних геофізичних методів. Його застосування рекомендовано нормативними геологорозвідувальними документами, також він залучається при проведенні інженерно-геологічних вишукувань, що знайшло відображення у Державних будівельних нормах ДБН А.2.1-1-2014<sup>9</sup>.

Метод заснований на реєстрації природного імпульсного електромагнітного випромінювання Землі, яке складається з трьох джерел: зовнішнього – сонячна радіація і космічні поля; внутрішнього – обумовлюється геологічними процесами під або безпосередньо на денній поверхні; техногенного – різного роду промислові і побутові випромінювання. Діапазон частот такого інтегрального імпульсного електромагнітного поля від перших герц до мега- і навіть гігагерц. Природне імпульсне електромагнітне поле, що генерується саме внутрішніми джерелами, використовується з метою вивчення геологічних особливостей територій.

Відомо досить багато процесів і явищ, в результаті або протягом яких виникає електромагнітне випромінювання або електромагнітна емісія (застосовуються обидва терміни). Одним з них є п'єзоелектричний ефект мінералів і гірських порід. Іншим досить потужним джерелом служать тектонічні напруги масиву гірських порід, особливо на рівні тисків, що передують утворенню тріщин. Третім значущим джерелом виступають різні електричні і електрохімічні процеси в породних масивах (зміни подвійного електричного шару, електронна емісія при русі розчинів, хімічні перетворення мінералів і порід). В результаті перерахованих процесів утворюється стрибкоподібний сплеск електромагнітного випромінювання, який і називається імпульсом електромагнітного поля. Він характеризується різким збільшенням амплітуди і енергії випромінювання і дуже коротким (мілі- і мікросекунди) часом прояву. Частота проходження імпульсів ПЕМПЗ від перших герц до 20 кілогерц, цим поле ПЕМПЗ відрізняється від атмосферних і техногенних джерел. В поле ПЕМПЗ відсутня будь-яка періодичність,

---

<sup>9</sup> ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2014 р.

характерна для техногенних випромінювачів, що служить для розділення цих джерел.<sup>10</sup>

Експериментальними дослідженнями різних авторів встановлено, що при стисненні кристалічних порід зростає кількість, енергія і амплітуда імпульсів ШЕМПЗ, які перед початком крихких деформацій досягають максимуму. Як тільки настає фаза руйнування (утворення тріщин), кількість імпульсів різко (вертикально) зменшується аж до нуля і потім незначно зростає до деякого рівня, на якому і залишається.

Електромагнітне випромінювання має здатність поширюватися в твердих породах на значну відстань від джерела, при цьому його амплітуда і енергія змінюється досить слабо. Якщо ж на шляху поширення електромагнітного випромінювання зустрічається ділянки замочування порід або зона порожнечі (обводнені і сухі тріщини і т.п.), то інтенсивність випромінювання дуже різко зменшується, а при потужній зоні воно взагалі розсіюється або поглинається. Завдяки цій особливості можна виділяти ділянки, які мають різну щільність потоку електромагнітних імпульсів, тобто кількості імпульсів за одиницю часу.

Ідея застосування методу ШЕМПЗ з метою проведення даного дослідження наступна: імпульсне електромагнітне поле генерується к кристалічних породах Українського щита. Якщо на шляху його розповсюдження зустрічаються обводнені ділянки порід, то його рівень та кількість імпульсів має зменшуватися. Теж саме буде проявлятися у тріщинуватих породах, до яких можна віднести насипні техногенні ґрунти. Розрізнити зони обводнення та техногенні ґрунти можна за допомогою інших методів<sup>11</sup>.

Для досліджень застосовувався прилад «СІМЕІЗ» (мікропроцесорний індикатор електромагнітного поля - МІЕМП 14/4), який призначений для вивчення ШЕМПЗ, а також електромагнітного поля техногенного походження в лабораторних і польових умовах (рис. 3).

Дамба на хвостосховищі була умовно поділена на дві частини північну і південну, які мають різну будову, склад, функції та екологічну значущість. Якщо північна дамба відокремлює площу відводу хвостосховища від техногенних об'єктів інших підприємств, то південна дамба є опорною і захисною від відходів для прилеглих до хвостосховища територій. Це в першу чергу стосується долини р. Коноплянка, куди можуть потрапляти фільтрати зі хвостосховища при неналежному технічному стані південної дамби, тому цій частині дамби було приділено найбільшу увагу під час досліджень. Тут польові роботи проводились тільки у профільно-площинному варіанті. Вздовж дамби закладались 4 профілі з відстанню між

---

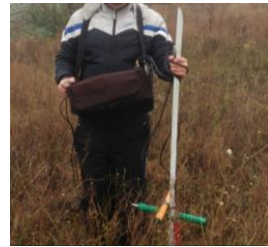
<sup>10</sup> Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine / Н. Нاپич et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 2. P. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>

<sup>11</sup> Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine / Н. Нاپич et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 2. P. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>

ними 3 м, точки спостережень на них розташовувались теж через 3 м, тобто по квадратній мережі. Така квадратна мережа є оптимальною для виконання будь-яких геофізичних робіт.



а



б

**Рис. 3. Зовнішній вигляд приладу МІЕМП-14/4 (а) та споряджена апаратура (б) у складі власне приладу та вимірювальної штанги з трьома антенами**

Північна дамба досліджувалась також у профільно-площинному варіанті, як і при дослідженнях на південній частині дамби.

В ході проведення польових робіт на греблі виділялися прямолінійні ділянки так, щоб початок і кінець профілів знаходилися в межах бачення). Це пов'язане з особливостями побудови карт і застосовано для того, щоб уникнути додавання зайвої інформації під час інтерполяції. Координати початку і кінця профілів, свердловин і поверхневих марок (ПМ), що потрапляли у ділянки та які були пробурені і встановлені в інші роки, фіксувалися GPS. Всі ці координати потім співставлялися і коректувалися високоточними геодезичними вимірюваннями

Обробка результатів досліджень здійснювалась шляхом складання для кожної ділянки карт щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ для кожної антени у програмному середовищі Surfer. Для побудови карт використаний метод триангуляції з лінійною інтерполяцією за квадратною вузловою мережею.

В основу інтерпретації карт покладена відмічена вище особливість поля ПЕМПЗ, а саме – зменшення щільності потоку імпульсів магнітної складової електромагнітного поля у ділянках, які розущільнені, тріщинуваті або обводнені. Додатково використовується вигляд рисунку поля ПЕМПЗ. Так, для суцільних, монолітних порід та матеріалів характерне дуже диференційоване поле, з великою кількістю ізоліній та великим розмахом (амплітудою) значень. Для тріщинуватих ділянок рисунок поля більш витриманий, але також диференційований, хоча у меншому ступеню. Обводнені ж ділянки мають спокійний, «розмитий» рисунок поля, з невеликою кількістю ізоліній, значення яких знаходяться на низьких рівнях.



Для кожної ділянки досліджень та для даних, отриманих з кожної антени побудовані карти щільності потоку імпульсів магнітної складової природного імпульсного електромагнітного поля Землі, приклад таких карт наданий на рис. 4. За методикою та принципами інтерпретації зйомки ПЕМПЗ, наведеними вище, виділені зони названі аномальними, в яких діагностується розуцільнення та обводнення матеріалів, з яких складена дамба. Усього виділено 33 зони, їх розташування показано на рис. 5.

Після виділення аномальних зон метод ПЕМПЗ у найбільш характерних точках проведені дослідження ВЕЗ.

Метод вертикального електричного зондування (ВЕЗ) є одним з найбільш поширених електророзвідувальних методів. Однією з основних вимог до його застосування є контрастність за фізичними властивостями об'єкту вивчення відносно вміщуючого середовища, тобто, об'єкт (тіло, шар, пласт та ін.), що вивчається, повинен помітно (бажано у декілька разів) відрізнятися по питомому електричному опору від вміщуючих порід.

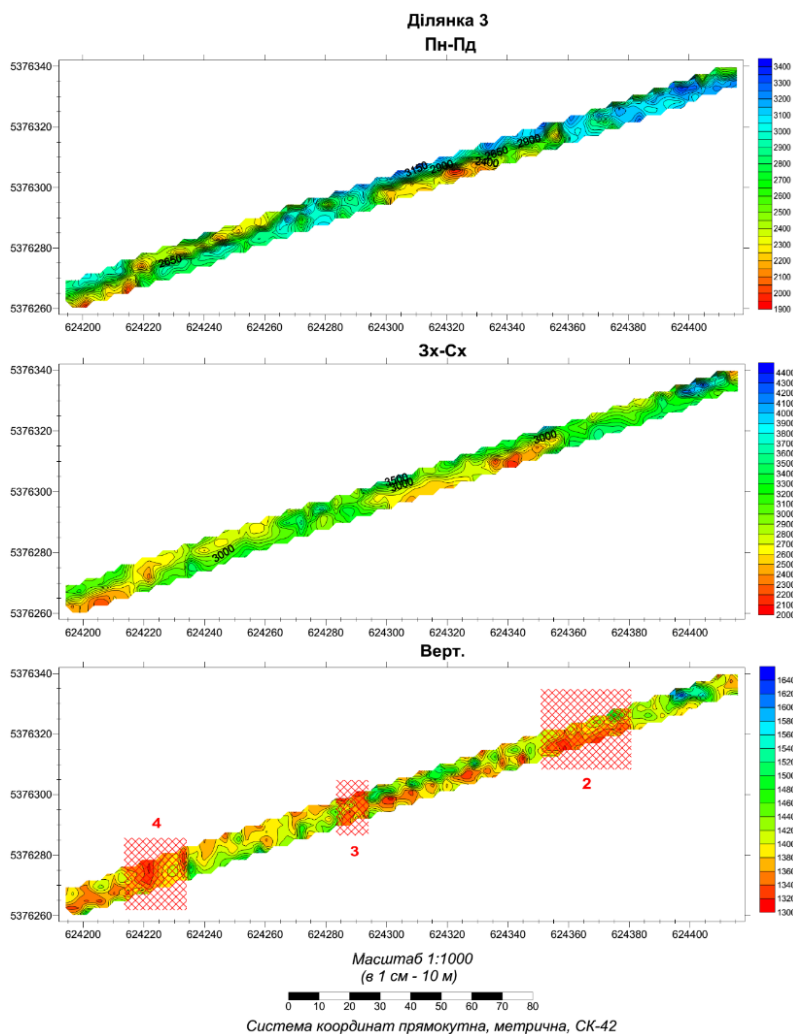
ВЕЗ прийнято використовувати для вивчення горизонтально-шаруватих середовищ з невеликими кутами нахилу меж (до 15–20 градусів).

Методика досліджень. На поверхні землі збирається симетрична електророзвідувальна установка типу Шлюмберже, яка складається з двох живлячих електродів і двох приймальних (рис. 6). В якості електродів застосовуються металеві штирі, які забиваються у ґрунт на глибину до 20 см. Половинна відстань між живлячими електродами А і В (рознос АВ/2) складає 3 м, 4,5 м, 6 м, 9 м, 15 м, між приймальними електродами М і N (рознос MN) – 1 м.

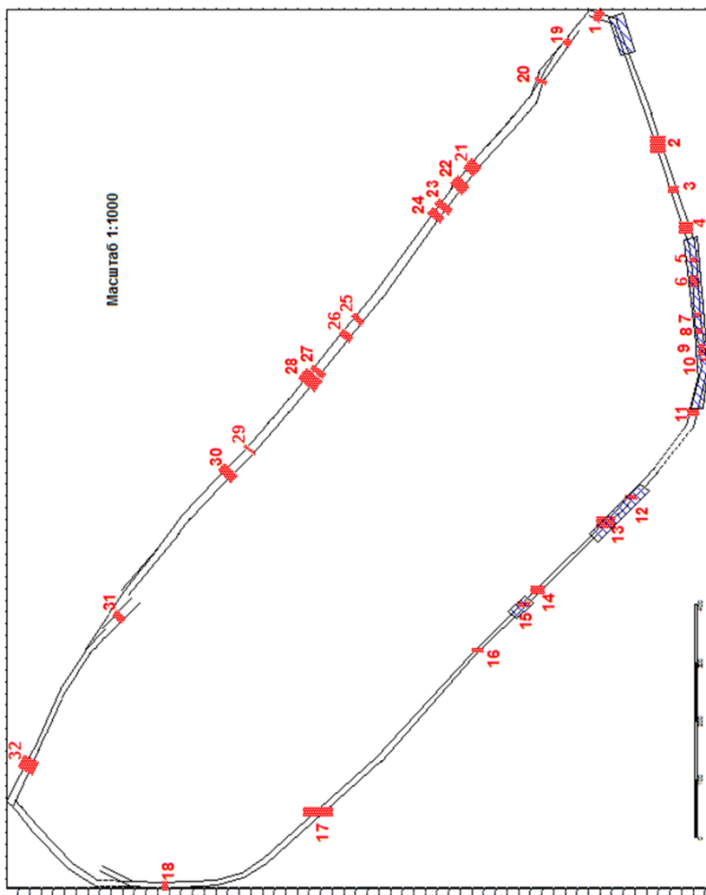
До живлячих електродів підключається джерело струму – генератор постійного струму. У землі виникало електричне поле і, відповідно, електричний струм. Сила струму в живлячій лінії ( $I_{AB}$ ) вимірювалася за допомогою амперметра, включеного в електричне коло АВ.

Кольорові шкали характеризують щільність потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ, імп./0,5 с.

Червона клітинка – ділянка розуцільнення ґрунтів дамби, обводнення та фільтрації розчинів, її номер.



**Рис. 4.** Приклад карти щільності потоку імпульсів магнітної складової природного імпульсного електромагнітного поля Землі на дамбі хвостосховища «Дніпровське» за антенами, орієнтованими у меридіональному (Пн-Пд), широтному (Зх-Сх) та вертикальному (Верт.) напрямках



**Рис. 5. Порівняльна схема розташування ділянок обводнення та фільтрації у греблі за результатами робіт 2022 року (червоне) та 2016 року (синє)**



**Рис. 6. Схематичне зображення симетричної електророзвідувальної установки типу Шлюмберже: А, В – живлячі електроди, М, N – приймаючі електроди**

На приймальних електродах М і N виникала різниця електричних потенціалів ( $\Delta U_{MN}$ ), яка вимірювалася за допомогою вольтметру.

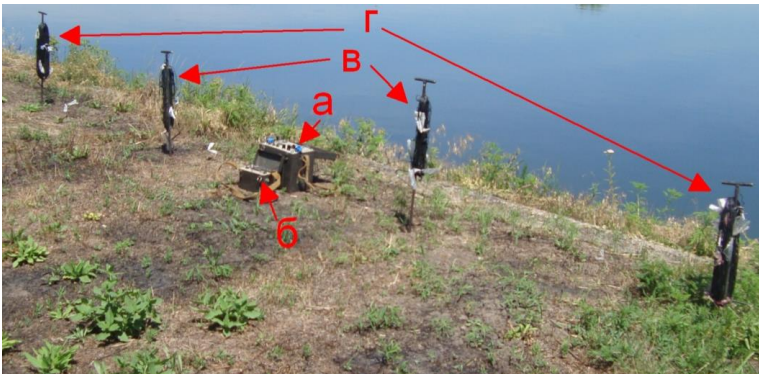
За результатами вимірів можна судити про електричні властивості гірських порід на глибинах проникнення струму в землю. Глибина «занурення струму» залежить, в основному, від відстані між живлячими електродами А і В.

Для виконання зондування здійснюють серію вимірів, поступово збільшуючи розмір живлячої лінії АВ. Чим більше параметр  $AB/2$  - тим глибше «занурюється струм в землю» і тим більше глибинність дослідження. При цьому кожна наступна область дослідження повністю включає попередню.

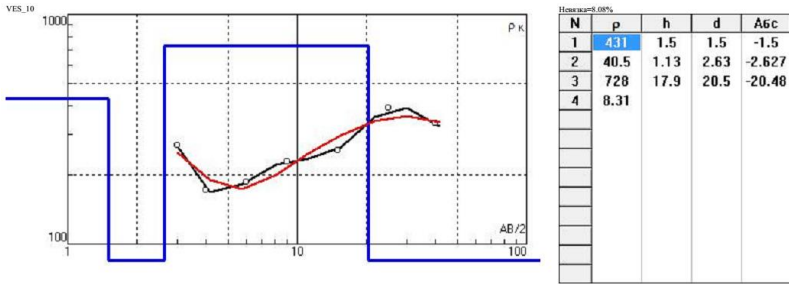
В результаті описаної серії вимірів виходить набір значень уявного опору, виміряних при відомих  $AB/2$ .

При дослідженнях використовувалася апаратура електро-розвідувальна шахтна (ШЕРС-5М), яка призначена для проведення в наземних умовах і гірничих виробках геофізичних робіт методами електророзвідки (рис. 7).

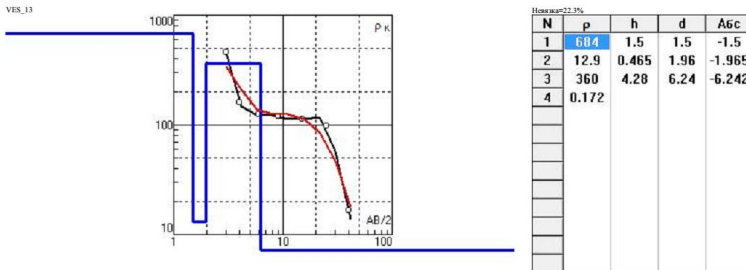
Обробка та інтерпретація результатів вимірювання питомого електричного опору порід проводилася за допомогою програми IPI2Win. Ця програма розроблена для автоматичної і напівавтоматичної (інтерактивної) інтерпретації даних різних модифікацій вертикальних електричних зондувань, в тому числі традиційними установками та призначена для використання на персональних комп'ютерах. Результати інтерпретації за програмою IPI2Win (приклади) наведені на рис. 8.



**Рис. 7. Електророзвідувальна апаратура ШЕРС-5М у спорядженому стані: а – генератор струму; б – вимірювач; в-г – електроди: в – вимірювальні, г – живлячі**



Точка 10: Розріз представлений чотирьохшаровою кривою.  
 1 шар (0 – 1,5 м) – сухі суглинки, потужність 1,5 м; 2 шар (1,5 – 2,63 м) – зволожені суглинки, потужність 1,13 м; 3 шар (2,63 – 20,48) – сухі суглинки, потужність 17,9 м; 4 шар (з 20,48м) – сильно обводнені суглинки



Точка 13: Розріз представлений чотирьохшаровою кривою.  
 1 шар (0 – 1,5 м) – сухі суглинки, потужність 1,5 м; 2 шар (1,5 – 1,965 м) – обводнені суглинки, потужність 0,465м; 3 шар (3,403 – 6,242) – сухі суглинки, потужність 4,20 м; 4 шар (з 6,242м) – сильно обводнені суглинки

**Рис. 8. Приклади інтерпретації кривих уявного електричного опору в обводнених ділянках дамбу хвостосховища за даними вертикального електричного зондування**

Параметри моделі для поточної точки ВЕЗ (номер шару від поверхні (N), питомий електричний опір ( $\rho$ ), потужність кожного шару в метрах (h), глибина залягання підшви шару від поверхні (d)) представлені в вікні кривою синьою лінією – псевдокаротажною кривою (рис. 8). Крім того, вони також представлені у вигляді таблиці в окремому вікні (вікно моделі), в заголовок якого винесено значення нев'язки теоретичної і польової кривої. Теоретична крива ВЕЗ для поточних параметрів моделі зображена у вікні кривих червоною лінією.

Під нев'язкою по опору розуміється відносне відхилення теоретичної кривої від польової кривої для поточної точки зондування і поточних параметрів моделі. Ці відхилення обумовлені перешкодами, які впливають на точність польових вимірювань. Найбільш значущі з них: апаратурні перешкоди: шуми вимірювача, погрішності роботи генератора та ін.; методичні погрішності: відхилення положень електродів від прямої лінії, індукційні наведення і ін.; наведення від ліній електропередач, електрифікованих залізниць і так далі; вплив рельєфу; наявність пухких насипних (техногенних) ґрунтів; наявність підземних комунікацій, трубопроводів. Вплив перешкод призводить до різних спотворень на кривих ВЕЗ.

### **3. Комплексна інтерпретація виділених зон**

Розподіл кількості аномальних зон по дамбі хвостосховища «Дніпровське» має певні закономірності. Так, виділяються дві ділянки концентрації аномалій – на південній частині греблі, що примикає до р. Коноплянка, та на північно-східній ділянці, яка примикає до відстійників металургійного та коксового виробництва. Декілька невеликих аномальних зон виділяються на південно-західній ділянці греблі. Найбільше занепокоєння викликає зона концентрації аномалій на перегині греблі на південній ділянці. Ця зона виділялася нами раніше при проведенні робіт з оцінки технічного стану греблі у 2016 році. Тоді також залучалися геофізичні методи ПЕМПЗ та вимірювання ПЕД гамма-випромінювання. На рис. 5 показане співставлення положення раніше виділених та сучасних аномальних зон. Добре помітно, що майже усі вони співпадають, але є деякі відмінності, пов'язані, насамперед, з різною мережею спостережень (у 2016 році вона становила 5\*5 метрів). Таке співпадіння дозволяє стверджувати, що зони виділені впевнено та є об'єктивними. Це виключає можливість помилкового виділення та свідчить про наявність проблем з обводненням тіла греблі, яке за період 6 років тільки посилилося.

Світовий досвід експлуатації великих гребель на річках та огороджуючих гребель на хвостосховищах показує, що саме ділянки вигину греблі в бік, протилежний хвостосховищу, як й ділянки зчленування гребель, є найбільш небезпечними з точки зору розвитку аварійних ситуацій (наприклад, хвостосховища Айка, Брумадінью, Бая-Маре, Карамкен тощо). Немає ніяких підстав вважати, що подібна ситуація неможлива й тут.

На північній ділянці греблі також встановлені зони обводнення, але їх походження, вочевидь, інше. Північна гребля похована під багатометровою товщею відходів металургійного виробництва та межує з відстійниками, які мають глибину до відмітки 52-50 м. Оскільки

відстійники, на відміну від хвостосховища, є активними та експлуатуються, існує гідродінамічний перетік розчинів як з відстійників до хвостосховища через греблю, так й назад, з хвостосховища до відстійників. Радіоактивного забруднення у відстійниках поки що не зафіксовано, але гребля у нижній частині інтенсивно обводнена. Це не впливає на її геомеханічну стійкість, оскільки прориватися нема куди – з усіх боків вона затиснута радіоактивними відходами, металургійними шламами та зверху – відходами коксохімічного виробництва та фосфогіпсом. На південно-західній ділянці також виділяються декілька зон розуцільнення, але казати про фільтрацію розчинів з боку хвостосховища немає підстав.

За результатами геофізичних робіт виділені ділянки, на яких поставлено інженерно-геологічне буріння. В межах площі вишукувань виділено водоносний горизонт, що належить до четвертинних алювіальних відкладів заплави та кори звітрювання кристалічних порід, яка їх підстилає. Характеризується водоносний комплекс приуроченістю до надзаплавних терас четвертинного віку р. Дніпро та його притоків, водовміщуючі породи представлені різнозернистими пісками з прошарками суглинків, супісків, глин, та уламково-тріщинувата зона архейських гранітоїдів що їх підстилає. Безпосередньо на ділянці огорожувальної дамби у період проведення вишукувань підземні води зустрінуті у південній частині дамби на глибинах 4,0-6,2 м, на південно-західній ділянці дамби- на глибинах 9,0-10,2 м від поверхні. Окрім основного водоносного горизонту вище по розрізу було розкрито локальні малопотужні горизонти «верховодки», що чітко фіксуються при бурінні та підтверджуються даними фізичних властивостей ґрунтів, які були відібрані з цих глибин. Таким чином результати бурових робіт повністю підтверджують виділені за геофізичними даними зони обводнення і розуцільнення.

## **ВИСНОВКИ**

Моніторингові дослідження, проведені у 2016 та 2022 рр. показали суттєве погіршення, особливо, в південно-східній частині, технічного стану огорожувальної дамби Дніпровського хвостосховища, а тому пропонується наступне:

1. В 2025-2026 рр. провести повний комплекс досліджень, який включає геофізичні методи ( ПЕМПЗ, ВЕЗ, радіометрія), буріння свердловин з відбором проб та їх лабораторним аналізом.

2. На виділеній небезпечній ділянці дамби в південно-східній частині один раз на рік, чи один раз у два роки, робити скорочений комплекс геофізичних досліджень, невеликий об'єм бурових робіт та лабораторний аналіз відібраних проб ґрунтів.

3. В південно-східній частині дамби, де визначені ділянки фільтрації, встановити геодезичні марки для спостережень за зсувними деформаціями на дамбі.

4. Чотири рази на рік відслідковувати рівень ґрунтових вод в спостережних свердловинах, а також відбирати воду на аналіз щодо наявності в ній радіонуклідів.

5. У підніжжя північної частини дамби на стику з відстійниками ДМЗ один раз на рік проводити контроль радіаційного фону для встановлення можливих зон фільтрації забруднених розчинів.

6. З метою визначення шляхів міграції забруднених розчинів 4 рази на рік відбирати проби ґрунтів на схилах дамби, а також зразки рослин для аналізу наявності в них радіонуклідів.

7. Чотири рази на рік досліджувати стан води та донних відкладень у р. Коноплянка, приділивши підвищену увагу пробам перед дамбою на річці.

Для поліпшення технічного стану хвостосховища «Дніпровське» пропонується розробити проектну документацію та реалізувати заходи, які забезпечать:

- організоване відведення поверхневих вод з поверхні хвостосховища;
- реорганізацію рельєфу поверхні хвостосховища;
- укріплення низового укосу дамби хвостосховища;
- зниження фільтрації через дамбу хвостосховища.

## **АНОТАЦІЯ**

В результаті застосування комплексу геофізичних методів на огорожуваних дамбах хвостосховища «Дніпровське» у складі методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі та вертикального електричного зондування встановлені ділянки підвищеного зволоження ґрунтів, які складають тіло дамби, визначено їх просторове положення та глибини від поверхні. Показано, що положення цих ділянок протягом шості років не змінилося, що свідчить про надійну їх фіксацію за допомогою комплексу застосованих методів. Контрольне буріння показало наявність зволжених ґрунтів у цих зонах. В якості рекомендацій щодо недопущення подальшого розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів у тілі дамби запропонована низка заходів щодо моніторингу за технічним станом та розробки проекту відновлення технічного стану до нормативних показників.



## Література

1. Оцінка стійкості огорожжючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Текст / Д. Пікареня та ін. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.
2. Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт. ТОВ «УТБ-2». Кам'янське, 2016. 37 с.
3. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2014. 126 с.
4. Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine / H. Napich et al. Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2023, № 2. P. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>

### **Information about the authors:**

**Pikarenia Dmytro Serhiiiovych,**

Doctor of Geological Sciences

Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection  
LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”  
80, Pivdenne shose str., Zaporizhzhia, 69008, Ukraine

**Orlinska Olha Viktorivna,**

Doctor of Geological Sciences,

Professor at the Department of Mining  
LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”  
80, Pivdenne shose str., Zaporizhzhia, 69008, Ukraine

**Rudakov Leonid Mykolaiovych,**

Candidate of Agricultural Sciences,

Dean of the Faculty of Water Engineering and Ecology  
Dnipro State Agrarian and Economic University  
25, Serhii Efremov str., Dnipro, 49000, Ukraine