

УДК 622.882+550.41

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-12>

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ДАМБИ ХВОСТОСХОВИЩА

Пікареня Дмитро Сергійович,

доктор геологічних наук, професор,
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-1405-7801

Орлінська Ольга Вікторівна,

доктор геологічних наук, професор,
професор кафедри гірничої справи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-3202-7577

Рудаков Леонід Миколайович,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
декан еколого-меліоративного факультету
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID ID: 0000-0001-7277-7220

Гапич Генадій Васильович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри експлуатації гідромеліоративних систем та технології будівництва
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID ID: 0000-0001-5617-3566

В результаті застосування комплексу геофізичних методів на огороджуючих 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.

Ключові слова: хвостосховище, екологічна безпека, огорожувальна дамба, геофізичний метод.

Pikarenia Dmytro, Orlinska Olha, Rudakov Leonid, Hapich Hennadii. Experience in applying geophysical methods to assess the technical condition of the tailings dam

As a result of applying a complex of geophysical methods on the enclosing dams of the Dnipravske tailings dump, including the method of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth and vertical electrical sounding, the areas of increased soil moisture that make up the body of the dump were identified, their spatial position and depth from the surface were determined. It is shown that the position of these areas has not changed over the past six years, which indicates that they are reliably fixed using a set of applied methods. Control drilling showed the presence of moistened soils in these areas. As recommendations to prevent the further development of hazardous engineering and geological processes in the dam body, a number of measures are proposed to monitor the technical condition and develop a project to restore the technical condition to regulatory indicators.

Key words: tailing dump, environmental safety, containment dam, geophysical method.

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 заскладовано біля 12 млн.т. відходів переробки уранових руд із загальною оціночною активністю приблизно $1,4 \cdot 10^{15}$ Бк [1, 2].

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 [2].

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 різномірний 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, що при одночасному підйомі рівня вод техногенного водоносного горизонту і розвитку суфозії, може призвести до її руйнування [1, 2].

Хвостосховище 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) [1].

Наприкінці 2016 р. ТОВ «ЦРЕМ» під керівництвом професорів Орлінської О.В. і Пікарени Д.С. були виконані дослідження «Проведення інструментального геофізичного та лабораторного обстеження дамби хвостосховища «Дніпровське» та розрахунок стійкості низового



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

укосу дамби в рамках провадження ліцензійної діяльності ДП «Бар'єр» [3]. В результаті застосування геофізичного електророзвідувального методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) на 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 гідрогеономеханічної 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 [3].

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

Зупинимось коротко на суті вказаних методів.

Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) 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 [4].

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 [2].

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 ПІЕМПЗ від перших герц до 20 кілогерц, цим поле ПІЕМПЗ відрізняється від атмосферних і техногенних джерел. В поле ПІЕМПЗ відсутня будь-яка періодичність, характерна для техногенних випромінювачів, що служить для розділення цих джерел [2].

Експериментальними дослідженнями різних авторів встановлено, що при стисненні кристалічних порід зростає кількість, енергія і амплітуда імпульсів ПІЕМПЗ, 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 [2].

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 ПІЕМПЗ 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 [5].

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

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 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 [2].

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, фіксувались 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 ПІЕМПЗ 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 ПІЕМПЗ, а саме – зменшення щільності потоку імпульсів магнітної складової електромагнітного поля у ділянках, які розуцільнені, тріщинуваті або обводнені. Додатково використовується вигляд рисунку поля ПІЕМПЗ. 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 [2].

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. 2. За методикою та принципами інтерпретації зйомки ПІЕМПЗ, 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. 3.

Після виділення аномальних зон у найбільш характерних точках проведені дослідження методом вертикального електричного зондування.

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 [2].

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

Згідно з методикою досліджень на поверхні землі збирається симетрична електророзвідувальна установка типу Шлюмберже, яка складається з двох живлячих електродів і двох приймальних (рис. 4). 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 [5].

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.

На приймальних електродах М і N виникала різниця електричних потенціалів (ΔU_{MN}), яка вимірювалася за допомогою вольтметра.

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 електродами А і В.

Для виконання зондування здійснюють серію вимірів, поступово збільшуючи розмір живлячої лінії АВ. Чим більше параметр АВ/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 АВ/2.

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

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

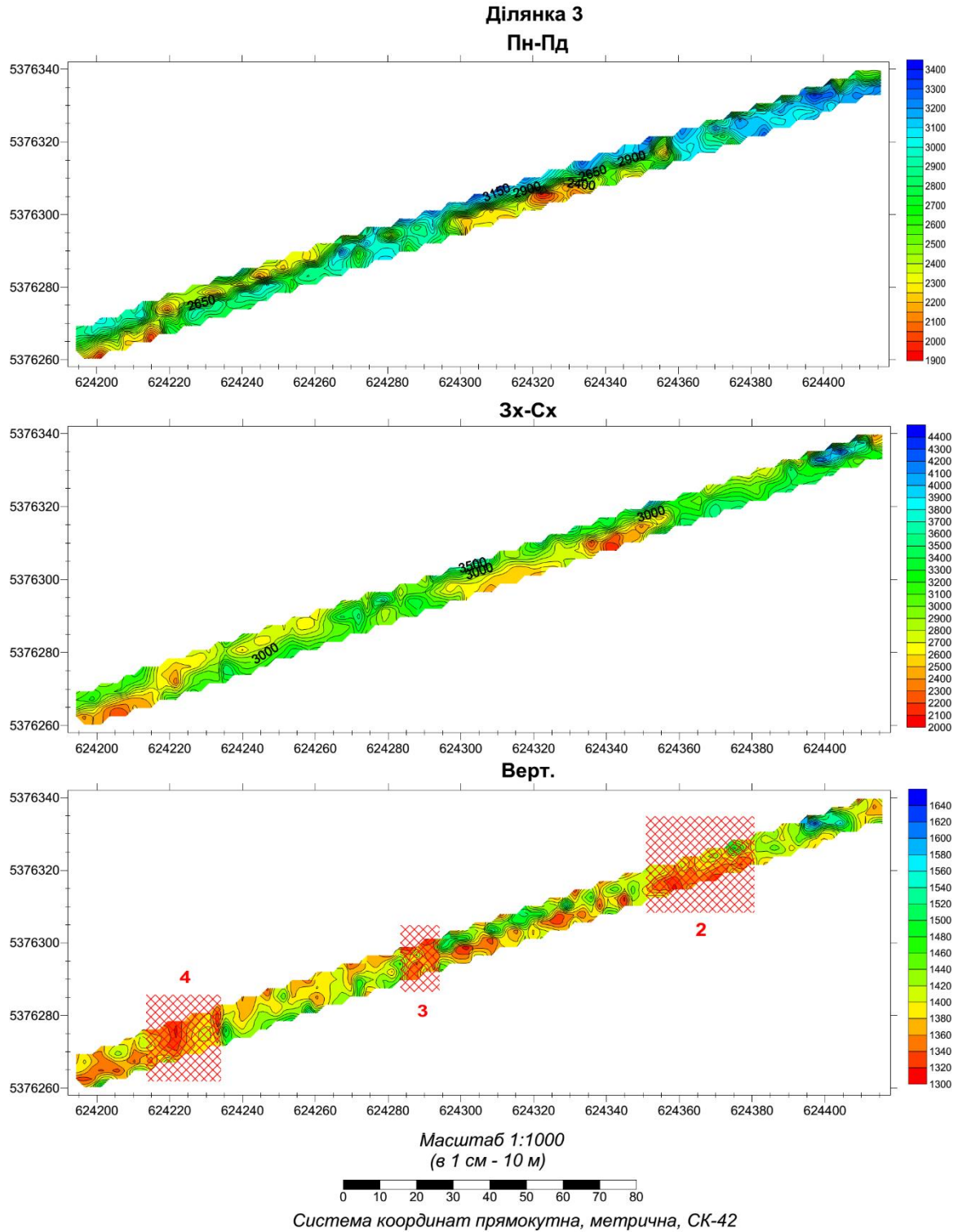


Рис. 2. Приклад карти щільності потоку імпульсів магнітної складової природного імпульсного електромагнітного поля Землі на дамбі хвостосховища «Дніпровське» за антенами, орієнтованими у меридіональному (Пн-Пд), широтному (3х-Сх) та вертикальному (Верт.) напрямках

Примітка: кольорові шкали характеризують щільність потоку імпульсів магнітної складової ПІЕМПЗ, імп./0,5 с; червона клітинка – ділянка розуцільнення ґрунтів дамби, обводнення та фільтрації розчинів, її номер

установками та призначена для використання на персональних комп'ютерах. За даними ВЕЗ встановлювалася глибина залягання замочуваних ґрунтів тіла греблі.

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 ПІЕМПЗ та вимірювання ПЕД гамма-випромінювання. На рис. 3 показано 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, Брумадіньо, Бая-Маре, Карамкен тощо). Немає ніяких підстав вважати, що подібна ситуація неможлива й тут [2].

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 гідродинамічний перетік розчинів як з відстійників до хвостосховища

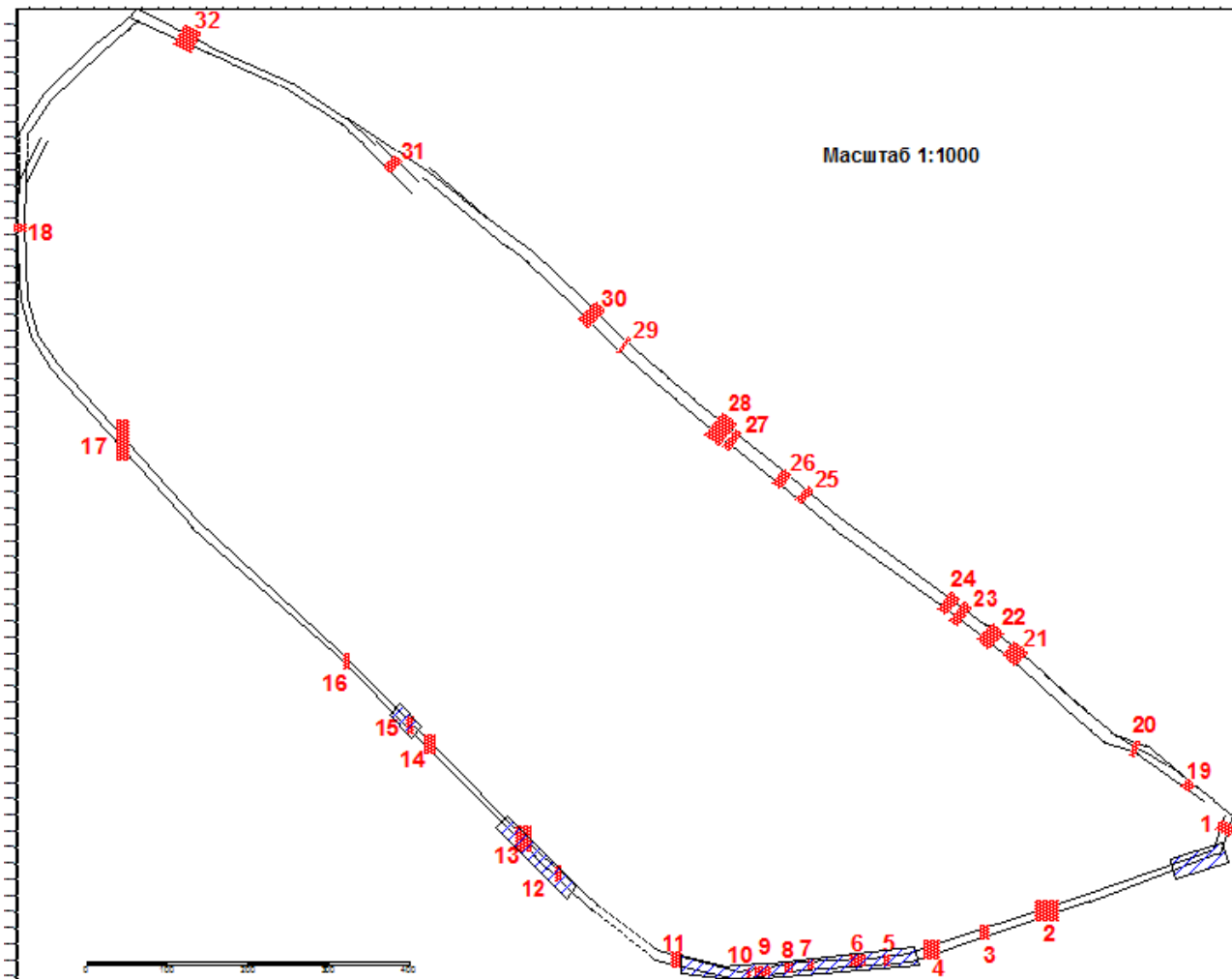


Рис. 3. Порівняльна схема розташування ділянок обводнення та фільтрації у греблі за результатами робіт 2022 року (червоне) та 2016 року (синє)



Рис. 4. Схематичне зображення симетричної електророзвідувальної установки типу Шлюмберже: A, B – живлячі електроди, M, N – приймаючі електроди

через греблю, так й назад, з хвостосховища до відстійників. Радиоактивного 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 радиоактивними відходами, металургійними шламами та зверху – відходами коксохімічного виробництва та фосфогіпсом. На південно-західній ділянці також виділяються декілька зон розущільнення, але казати про фільтрацію розчинів з боку хвостосховища немає підстав [2].

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 розущільнення.

Висновки та рекомендації. 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 [2]:

1. В 2025-2026 рр. провести повний комплекс досліджень, який включає геофізичні методи (ПІЕМПЗ, 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.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Інструментальний контроль стану захисних споруд хвостосховища «Дніпровське». Звіт. ТОВ «УТБ-2». Кам'янське, 2016. 37 с.
2. Пікареня Д. С., Орлінська О. В., Рудаков Л. М. Оцінка технічного стану огорожувальної дамби хвостосховища «Дніпровське» геофізичними методами / MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education : Scientific monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023. С. 182-198. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-10>

3. Д. Пікареня та ін. Оцінка стійкості огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське»: Загальна пояснювальна записка. Книга 1. Кривий Ріг : ТОВ «ВАЙТПРОДЖЕКТ», 2022. 154 с.
4. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2014. 126 с.
5. H. Hapich, O. Orlinska, D. Pikarenia, I. Chushkina, A. Pavlychenko, H. Roubik. Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 2. P. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>

REFERENCES:

1. Instrumentalni kontrol stanu zakhysnykh sporud khvostoskhovyshcha «Dniprovske». Zvit [Instrumental monitoring of the condition of protective structures of the Dniprovske tailing dump. Report]. Kamianske, UTB-2 LLC. 2016. 37 s. [in Ukrainian].
2. Pikarenia D.S., Orlinska O.V., Rudakov L.M. (2023). Otsinka tekhnichnoho stanu ohorodzhuvalnoi damby khvostoskhovyshcha «Dniprovske» heofizychnymy metodamy [Evaluation of the technical condition of the Dneprovske tailings dam using geophysical methods]. MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education : Scientific monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”. pp. 182-198. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-10> [in Ukrainian].
3. Pikarenia D. and other (2022). Otsinka stiikosti ohorodzhuuiuchykh damb khvostoskhovyshcha «Dniprovske»: Zahalna poiasniuvalna zapyska. Knyha 1. [Assessment of the stability of the enclosing dams of the Dniprovske tailings dump: General explanatory note. Book 1]. Kryvyi Rih: WHITEPROJECT LLC. 154 p. [in Ukrainian].
4. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва [ДБН А.2.1-1-2014. Engineering surveys for construction]. Київ, 2014. 126 с. [in Ukrainian].
5. H. Hapich, O. Orlinska, D. Pikarenia, I. Chushkina, A. Pavlychenko, H. Roubik (2023). Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. № 2. pp. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>