

УДК 550.41

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-4>

ЗІСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДОМ ПРИРОДНОГО ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

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

Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) застосовують для розв'язання геологічних і гідрогеологічних задач з 80-х років минулого століття, зокрема для пошуків зон обводнення й фільтрації на регулювальних басейнах, магістральних каналах, хвостосховищах, установлення точок для закладання свердловин на воду, виявлення ділянок гідротермально-метасоматичного зруденіння. Попри великий обсяг робіт, проведених цим методом, його теоретичні основи недостатньо розроблені. Так, фахівці й досі сперечаються про можливі джерела виникнення імпульсів електромагнітного поля Землі, невизначені причини й рівень варіацій ПІЕМПЗ протягом певного часу та їх вплив на результати досліджень. Багатий досвід проведення робіт методом ПІЕМПЗ, підтверджений бурінням свердловин, дає змогу з достатньою впевненістю проводити якісну інтерпретацію матеріалів. Кількісна інтерпретація має спиратися на абсолютні значення ПІЕМПЗ, які змінюються в часі, і це не дає змоги використовувати їх для розв'язання задач з установлення глибини залягання, потужності й форми аномалеутворювальних об'єктів. Багаторазові дослідження ПІЕМПЗ на тих самих об'єктах у різний час сприятиме вирішенню проблеми поводження з варіаціями.

У статті наведено зіставлення результатів досліджень ПІЕМПЗ, проведених на одних і тих самих об'єктах у різні часи доби та в різні роки, яке показує певну збіжність результатів. Водночас наявні відмінності, що відображаються в абсолютних величинах щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ. Вони пов'язані, як вважається, з варіаціями ПІЕМПЗ, але загальна картина рисунку поля на картах та форма кривих на профілях зйомки залишаються тотожними. Аномальні зони зменшення кількості імпульсів зберігають своє положення навіть через роки, що вказує на їх об'єктивність. Буріння в цих зонах дало змогу підтвердити обводненість порід ґрунтових дамб.

Ключові слова: природне імпульсне електромагнітне поле Землі, магнітний складник ПІЕМПЗ, щільність потоку імпульсів, відтворюваність результатів, аномальні зони.

Pikarenia Dmytro, Orlinska Olha. Comparison of the results of studies by the method of natural pulsed electromagnetic field of the Earth

The method of natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) has been used to solve geological and hydrogeological problems since the 80s of the last centuries, in particular, to search for watering and filtration zones in regulatory pools, irrigation channels, tailing dumps, establish points for water wells, and identify areas of hydrothermal and metasomatic mineralization. Despite the large amount of work carried out using this method, its theoretical foundations are not sufficiently developed. For example, experts are still arguing about possible sources of the Earth's electromagnetic field pulses, the causes and level of variations of the NPEMFE over time and their impact on the research results have not been determined. Extensive experience in conducting NPEMFE surveys, confirmed by well drilling, allows us to make a qualitative interpretation of the materials with sufficient confidence. Quantitative interpretation should be based on absolute values of NPEMFE, which change over time, and this does not allow them to be used to solve problems of determining the depth, thickness and shape of anomaly-forming objects. Multiple studies of NPEMFE at the same sites at different times will help to solve the problem of handling variations.

The article compares the results of NPEMFE studies conducted at the same facilities at different times of the day and in different years, which shows that there is a certain convergence of results. At the same time, there are differences reflected in the absolute values of the pulse flux density of the magnetic component of the NPEMFE. They are believed to be associated with variations in the NPEMFE, but the general picture of the field pattern on the maps and the shape of the curves on the survey profiles remain identical. The anomalous zones of reduced

pulse counts retain their position even after years, indicating that they are objective. Drilling in these zones allowed us to confirm the water content of the ground dams.

Key words: *natural pulsed electromagnetic field of the Earth, NPEMFE, magnetic component of the NPEMFE, pulse flux density, reproducibility of results, anomalous zones.*

Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (далі – ПІЕМПЗ) належить до категорії електророзвідувальних геофізичних методів і відомий із середини 80-х років ХХ століття. Результати його застосування для розв’язання геологічних, інженерних та інших задач неодноразово висвітлювали в літературі, зокрема й ми [1–7].

Попри добру порівнянність з іншими геофізичними методами, відкритим залишалося питання щодо відтворюваності результатів зйомки ПІЕМПЗ, оскільки пов’язано це з нестабільністю природного імпульсного електромагнітного поля, що є наслідком поєднання як внутрішніх земних джерел, так і позаземних (активність Сонця, збурення в атмосфері). Значний вплив мають також техногенні перешкоди (лінії електропередач, довгохвильовий радіозв’язок, робота електронних механізмів і пристроїв тощо). Неможливість повністю відтворити результати зйомки викликає обґрунтовані сумніви в їх достовірності, тому накопичення інформації та досвіду застосування методу ПІЕМПЗ на одних і тих самих об’єктах, аналіз збіжності результатів та виявлення причин розбіжностей допоможе зменшити цю недовіру та сприятиме його більш широкому застосуванню в гірничій, геологічній та інженерно-геологічній галузях.

Натепер розроблено велику кількість приладів, апаратів та їх модифікацій [8], які дають змогу вивчати різні характеристики імпульсного електромагнітного поля: щільність потоку імпульсів, амплітуду, потужність сигналу, розподіл за частотою тощо. Зупинимося на обговоренні однієї з величин – щільності потоку імпульсів магнітного складника (далі – МС)

ПІЕМПЗ, тобто кількості імпульсів, які реєструють за одиницю часу. Ця величина досить варіативна, тому що враховує імпульси різної природи, з яких тільки внутрішньоземні можна розглядати як більш-менш стабільні в часі, а решта дуже змінюються залежно від часу доби, пори року й техногенного електромагнітного навантаження на територію. Багаторазові вимірювання на одній точці ніколи не давали одного й того самого значення, зокрема, якщо зйомка проводилася з перервою в кілька годин. Так, спиратися на абсолютні значення величини щільності потоку імпульсів нам здається некоректним, необхідно використовувати деякі відносні показники. Одним із них є форма кривої, одержуваної під час профільної зйомки ПІЕМПЗ. На рис. 1 наведено криві, які характеризують залежність кількості імпульсів МС ПІЕМПЗ від номера виміру (точки спостереження на профілі), зафіксованих на одних і тих же точках увечері (рис. 1, а) та вранці наступного дня (рис. 1, б). Як видно, форма кривих загалом ідентична, спостерігаються невеликі відхилення в абсолютній кількості імпульсів [9].

Аналізуючи рисунки 1-а, б, можна говорити про те, що ближче до кінця профілю розташовується аномалеутворювальний об’єкт, який проявляється в збільшенні кількості імпульсів ПІЕМПЗ.

Зіставлення результатів зйомок ПІЕМПЗ, виконаних з інтервалом 15 днів (рис. 2), також дає підставу казати про наявність аномалеутворювального об’єкта: наведені криві звертають увагу схожістю за формою, хоча за абсолютними величинами значення відрізняються.

Отже, форма кривих зміни щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ зберігає подібність,

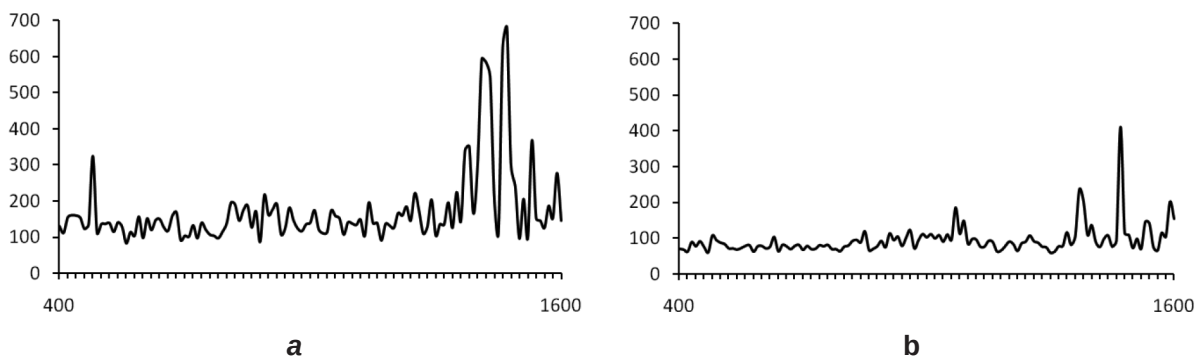


Рис. 1. Криві зміни щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ на профілі № 21 увечері (а) та вранці (б). На осі абсцис відкладені відстані в метрах, на осі ординат – кількість імпульсів ПІЕМПЗ [9]

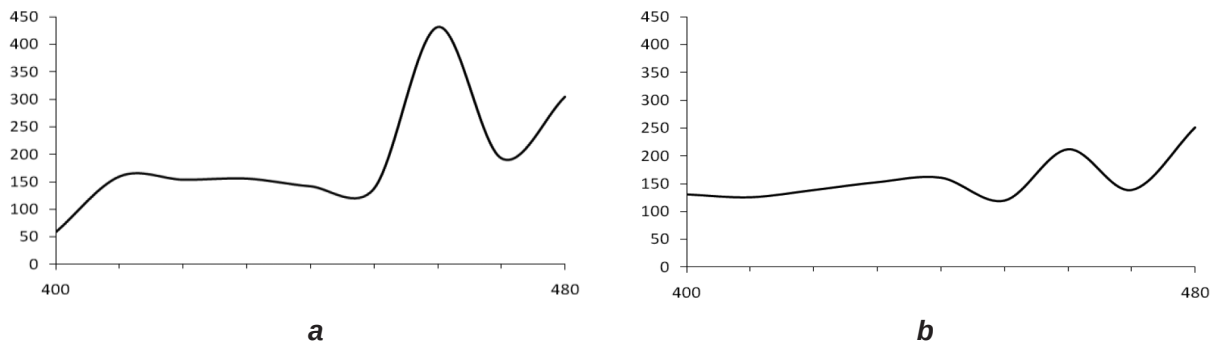


Рис. 2. Криві зміни щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ на профілі № 5, виміряного 14.06.09 р. (а) і 29.06.09 р. (б). На осі абсцис відкладені відстані в метрах, на осі ординат – кількість імпульсів ПІЕМПЗ [9]

змінюється абсолютна кількість імпульсів, що може бути пов'язане з впливом зовнішніх джерел і перешкод на природне поле, а також добових варіацій ПІЕМПЗ, про що згадано у відповідних публікаціях, насамперед російських дослідників. Аналіз кривих під час профільної зйомки дає змогу виявити закономірність і встановити зв'язок між природними джерелами електромагнітного випромінювання та зміною саме форми кривої, а не абсолютної кількості імпульсів.

Складнішою є ситуація, коли зйомка ПІЕМПЗ проводиться в профільно-площинному або площинному варіанті по мережі спостережень. Тут побудова, аналіз кривих за профілями недоцільні через велику трудомісткість, витрати часу й подальшу інтерпретацію. Оптимальним можна вважати побудову та аналіз карт, але тут можна зіткнутися з труднощами, спричиненими тим, що зйомка може проводитися досить довго (кілька годин, іноді світловий день), а також кілька днів поспіль у різний час. У таких випадках є сенс будувати карти розподілу щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ за даними безперервної (або з короткими перервами) зйомки; можливо, це буде декілька карт. Під час інтерпретації та аналізу карт уважаємо за можливе спиратися не на абсолютні значення щільності потоку імпульсів, а на рисунок поля ПІЕМПЗ. Для цього масив даних зйомки умовно розділяється на групи з дуже малою щільністю потоку імпульсів, малою, середньою, високою та дуже високою, і відповідно розфарбовується.

В основу інтерпретації карт покладено уявлення про те, що в ділянках, які розущільнені, тріщинуваті або обводнені, відбувається зменшення щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ, натомість високі значення щільності потоку імпульсів свідчать про напружений стан масиву гірських порід. Велике значення має вигляд рисунка 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 притаманний більш витриманий, але також диференційований, хоч у меншому ступені. Обводнені ж ділянки мають спокійний, «розмитий» рисунок поля, з невеликою кількістю ізоліній, значення яких розташовані на низьких рівнях [10; 11].

Для того щоб виявити та оцінити збіжність результатів площадної зйомки ПІЕМПЗ, необхідно здійснити моніторингові дослідження на об'єктах, які не зазнають суттєвих змін протягом тривалого часу, бажано декілька років. Обрати такі об'єкти достатньо важко, оскільки площадна зйомка потребує витрати більшого часу, ніж профільна, і, відповідно, більших матеріальних ресурсів. До того ж площадна зйомка повинна проводитися в тих самих межах з ідентичними параметрами налаштування апаратури, адже зміна цих умов призведе до появи нових факторів невизначеності, що не дасть змоги бути впевненими в результатах зіставлення. Зазвичай подібні дослідження можна провести в межах моніторингових спостережень за проявами певних геологічних або інженерно-геологічних процесів. За майже 20-річний період досліджень методом ПІЕМПЗ нам вдалося дібрати два такі об'єкти: це ґрунтові дамби меліоративного регульовального водного басейну, у якому акумулюється вода для поливного сезону, та огорожувальна дамба недійсного напіврекультивованого хвостосховища. На обох об'єктах вивчали процеси розущільнення матеріалів, які становлять тіла дамб, та пов'язані з ними явища фільтрації води та водних розчинів за їх межі.

На дамбах обваловування регульовального водного басейну спостереження ПІЕМПЗ виконували в профільно-площинному варіанті з відстанню між профілями 3 м, між точками на профілі – 3 м з використанням апаратури

МІЕМП – 14/4 серія СІМЕІЗ, характеристики якої наведено в [1] з однаковими налаштуваннями (обов'язкова умова!). Перша зйомка зроблена у 2013 році, повторна – у 2017 році [12].

На рис. 3 наведено карти-схеми розподілу щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ, на яких виділено ділянки поглинання сигналу ПІЕМПЗ (червоні кольори та теплі кольори), що інтерпретується нами як зони обводнення ґрунту в результаті фільтрації. Візуально помітно, що проєкції зон фільтрації на денну поверхню суттєвих просторових змін не зазнали; є декі відмінності що пояснюються як динамікою розвитку процесів фільтрації, так і мінливістю поля ПІЕМПЗ, про що згадувалося вище.

Привертають увагу абсолютні значення щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ: у 2013 році вони перебували в межах 1300–3000 імпульс./сек, а у 2017-му – у межах 900–1400 імпульс./сек (див. кольорові шкали на рис. 3). Спроби виявити будь-які залежності або закономірності, спираючись на абсолютні значення, закінчувалися невдачею, отже, інтерпретація здійснювалася на основі:

а) категоріального підходу: виокремлено 5 категорій значень, які описані вище, їм присвоєно кольори: червоний (низькі значення),

жовтий, зелений, блакитний, синій (високі значення);

б) поведінки ізоліній розподілу значень щільності потоку МС ПІЕМПЗ. Відмінності в абсолютних значеннях пропонується розглядати як варіації тла ПІЕМПЗ – воно начебто «дихає». З причинами цього ще треба розбиратися.

Ще більш показовими є результати моніторингу, що проводиться на дамбі хвостосховища «Дніпровське». Воно є одним з об'єктів накопичення радіоактивних відходів (м. Кам'янське Дніпропетровської області). У роботі [13] відмічено, що «...найбільше занепокоєння викликає зона концентрації аномалій на перегині греблі на південній ділянці. Ця зона виділялася нами раніше під час проведення робіт з оцінки технічного стану греблі у 2016 році. Тоді також залучали геофізичні методи ПІЕМПЗ...», та наведено схему зіставлення положення аномальних зон, виділених у різні роки зйомки. У 2023 році проведено чергове обстеження вказаної ділянки греблі й також підтверджено ці зони. На рис. 4 наведено фрагменти карт-схем щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ за всіма трьома роками.

Перше, що привертає увагу, – ламаний характер карт. Це не випадковість, це зумовлено

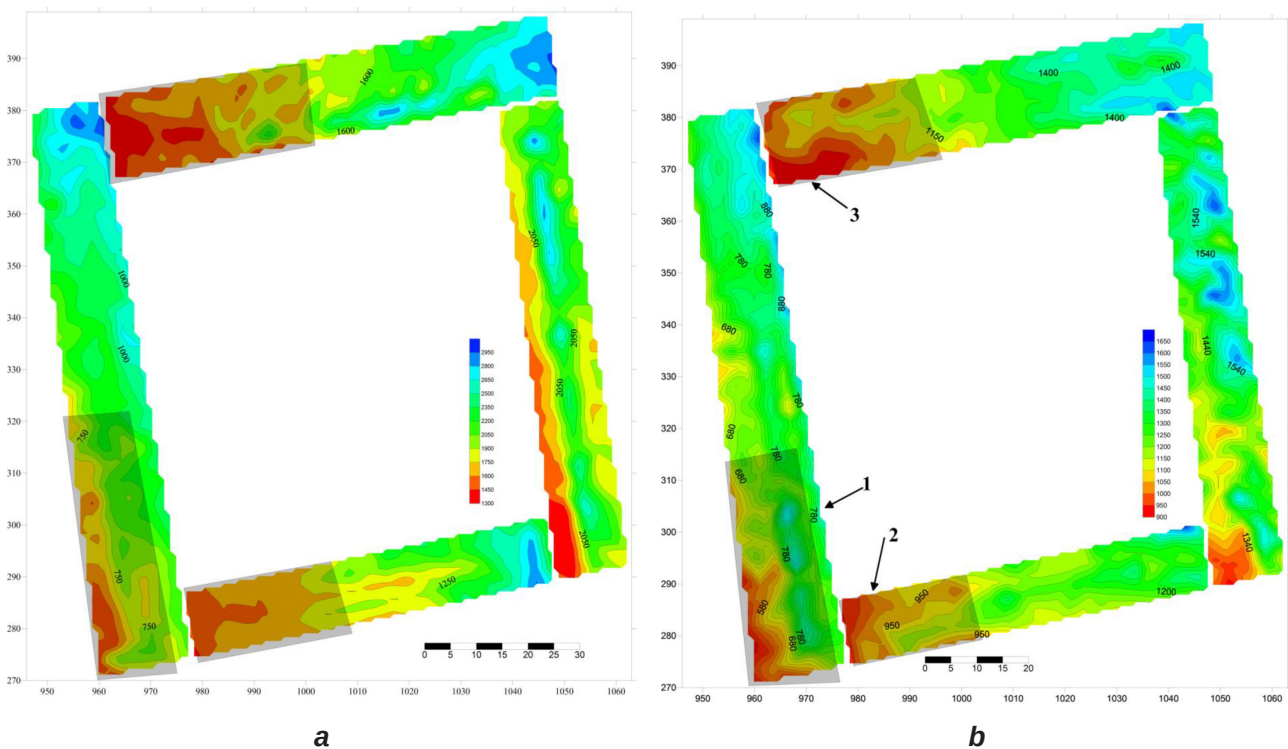


Рис. 3. Карта-схема щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ на регульовальному басейні за результатами зйомки в червні 2013 р. (а) та жовтні 2017 р. (б). Сірим кольором показано положення зон зниження щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ (зони фільтрації) та їх номери. Кольорова шкала характеризує щільність потоку імпульсів, імпульс/с. Система координат умовна прямокутна, метрична

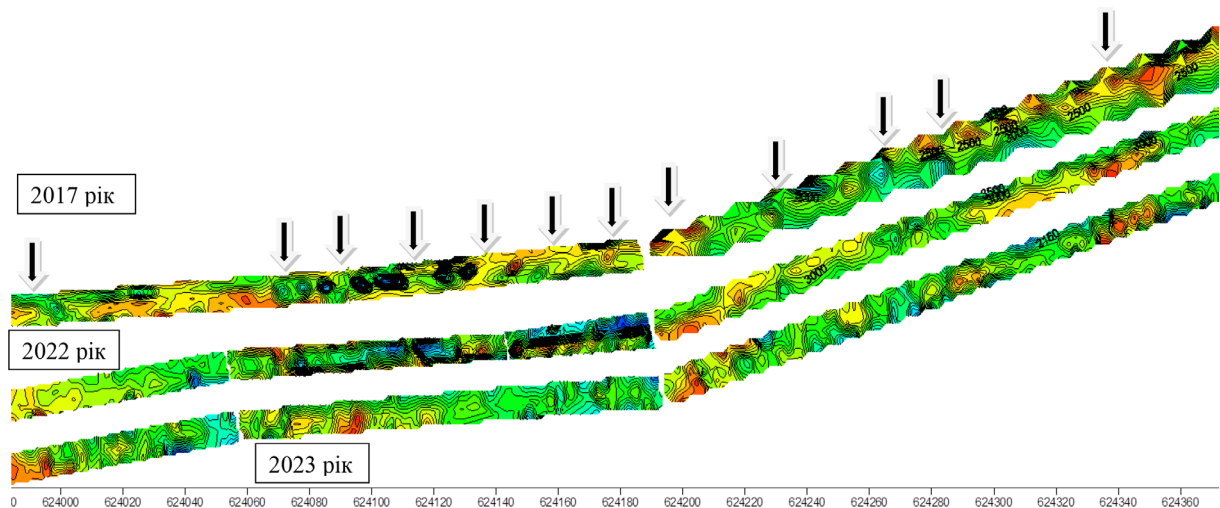


Рис. 4. Фрагмент карт-схем щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ на огорожувальній дамбі хвостосховища «Дніпровське» за результатами зйомок 2017, 2022 та 2023 років. Кольори відповідають категоріям щільності потоку імпульсів, імпульс/с: червоний (низька щільність) → жовтий → зелений → блакитний → синій (висока щільність). Стрілками показано максимально тотожні за рисунком ізоліній та/або щільністю потоку імпульсів ділянки на трьох картах. Вісь абсцис метрична

конфігурацією дамби. Зйомка проводилася по ділянках, по профілях, початок і кінець яких повинні бути в прямій видимості. Крім того, досвід проведення зйомок показує, що максимальний час безперервних робіт не повинен перевищувати три години, оскільки після цього починають суттєво проявлятися добові варіації поля ПІЕМПЗ. Попри незручності при польових роботах та під час обробки результатів, це поки що найбільш коректна, на наш погляд, процедура позбавлення впливу варіацій.

Як приклад наведемо випадок, що трапився з авторами під час зйомки ПІЕМПЗ на одному з родовищ, коли роботи проводили безперервно протягом світлового дня – 12 годин; можливості залученого приладу дають змогу це робити. Побудова карти ввечері показала дивну картину: виділялося 4 смуги з підвищеними та зниженими значеннями щільності потоку імпульсів, які збігалися з орієнтуванням профілів, а враховуючи прийняту схему розфарбовки, карта становила «кольорову зебру», причому ширина смуг була близькою до 3–4 годин зйомки. Звичайно, результати було забраковано, і наступного дня ділянку перезнімали, але її розбили на чотири фрагменти так, щоб зйомка тривала б 3–3,5 години. Побудована та проінтерпретована після цього карта дала змогу отримати інформацію про особливості тектонічної будови родовища.

Застосування другого приладу як варіометра допомогло б вирішити проблему добових варіацій ПІЕМПЗ, але за технічними та

методологічними обставинами вона поки що залишається.

Для хвостосховища «Дніпровське» також побудовано окремі карти, які потім синтезувались у єдину, але інтерпретація проводилася окремо за кожною. Ліва частина карти зйомки 2017 року трохи відрізняється від інших, що пов'язано з недосконалими приладами визначення GPS-координат у ті часи, але для цілей цієї статті цим можна знехтувати.

На картах свідомо не вказано аномальні зони, з їх положенням можна ознайомитися в роботі [13]. Натомість читачеві пропонується самостійно оцінити збіжність рисунка ізоліній та рівнів щільності потоку імпульсів МС ПІЕМПЗ (за кольором) у місцях, показаних стрілками (можна й в інших) та зробити висновки про ступінь такої відповідності. Тут помітна наявність ділянок з «розмитим полем», які характеризуються доволі широкими відступами між ізолініями, ділянки сильнодиференційованого поля зі «стиснутими» ізолініями, а також ділянки з ізолініями, які розташовані вхрест дамби – зони розущільнення порід, обводнення та фільтрації.

Питання підтвердження виявлених зон розущільнення, обводнення, фільтрації тощо, а також їх глибинне положення завжди стоїть дуже гостро. Дійсно, метод ПІЕМПЗ це насамперед площинний метод, який дає змогу більш-менш достовірно визначити проєкції зон розвитку геологічних та інженерно-геологічних процесів на поверхню. Час від часу відбуваються

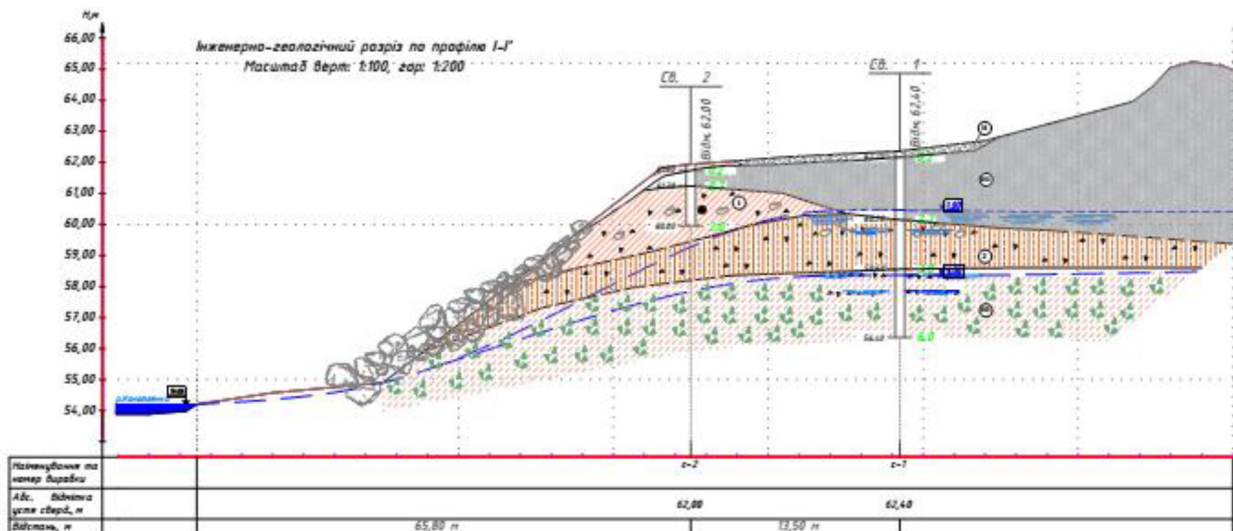


Рис. 5. Інженерно-геологічний розріз дамби хвостосховища «Дніпровське» на ділянці, де за даними зйомки ПІЕМПЗ встановлено обводнення. Сині пунктирні лінії – положення водоносних горизонтів

спроби дослідників, що використовують метод, визначити глибини аномалеутворювальних об'єктів, але авторам поки що не відомі успішні спроби. Безумовно, опанування глибинності зробить метод ПІЕМПЗ ще більш привабливим, але це справа майбутнього. Допомогти визначити глибину розташування аномалеутворювальних об'єктів може залучення додаткових

геофізичних методів, наприклад, вертикального електричного зондування, який автори широко використовують разом з ПІЕМПЗ [13; 14]. Подібне комплексування різних методів дає доволі задовільні результати.

Аномальні зони, виявлені на хвостосховищі «Дніпровське», засвідчені інженерно-геологічним бурінням (виконавець Є. А. Понізовний), на жаль, не всі, внаслідок фінансової обмеженості замовників та виконавців робіт, але навіть це ми вважаємо великою удачею. На рис. 5 наведено розріз однієї з аномальних зон, на якому встановлено наявність техногенних водоносних горизонтів у тілі дамби, тобто підтверджено її обводненість.

Ділянки дамби, на яких не виявлено зон обводнення та розуцільнення порід, також завіряли бурінням (рис. 6). Як видно, ґрунти дамби сухі, без ознак замочування та фільтрації води.

Висновки.

1. Зіставлення результатів зйомок ПІЕМПЗ різних років показують добру збіжність результатів. Відмінності в абсолютних значеннях щільності потоку імпульсів магнітного складника ПІЕМПЗ можуть бути пояснені варіаціями цього поля – добовими та сезонними.

2. Виділені зони розуцільнення порід, обводнення та фільтрації води частково завірені інженерно-геологічним бурінням.

3. Дослідження відтворюваності результатів застосування методу ПІЕМПЗ для вирішенні різних завдань мають бути продовжені з їх оприлюдненням, причому негативний досвід також містить цінну інформацію та сприяє підвищенню ефективності проведення робіт.

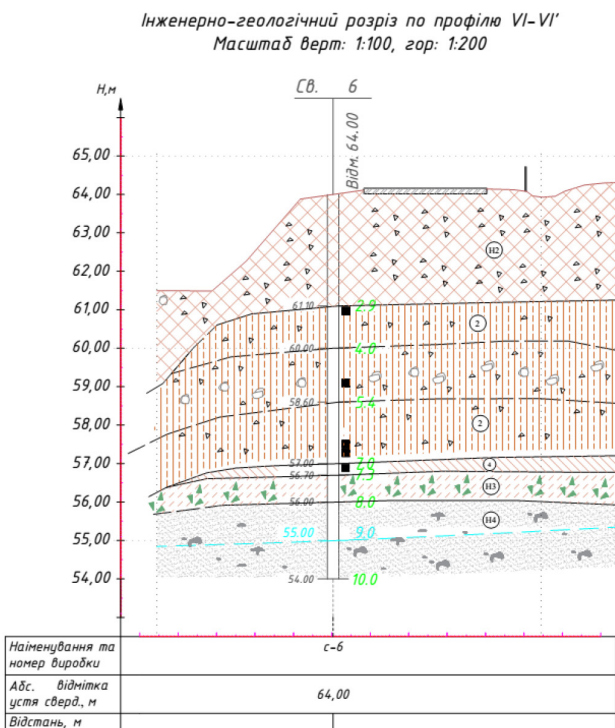


Рис. 6. Інженерно-геологічний розріз дамби хвостосховища «Дніпровське» на ділянці, де за даними зйомки ПІЕМПЗ обводнення та фільтрація відсутні

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пикареня Д.С., Орлинская О.В. Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач. Днепропетровск : “СВИДЛЕР”, 2009. 120 с.
2. Greiling R.O. Natural electromagnetic radiation (EMR) and its application in structural geology and neotectonics / R.O.Greiling, H.Obermeyer. *J Geol Soc India* 75. 2010. P. 278–288 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12594-010-0015-y>
3. Chepurnyi V. Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method / V. Chepurnyi, S. Liash, O. Hrytsai, Z. Dobrovolska. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012022/. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012022>
4. Штогрин М.В., Штогрин Т.М. Застосування різних частот методу ПІЕМПЗ для виявлення різноглибинних розломів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2016. № 2(41). С. 24–31.
5. Frid V., Rabinovitch A., Bahat D. Fracture induced electromagnetic radiation. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2003. Vol. 36, № 13. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/36/13/330>
6. Rabinovitch A., Frid V., Bahat D. Directionality of electromagnetic radiation from fractures. *International Journal of Fracture*. 2017. 204(2). <https://doi.org/10.1007/s10704-016-0178-7>
7. Пикареня Д.С., Орлінська О.В., Гапіч Г.В., Соломончук Д.А. Застосування комплексу геофізичних методів для зниження екологічного впливу штучних водних об'єктів на довкілля (на прикладі регулюючих водних басейнів). *Зб. наук. праць Дніпродзержинського держ. техн. ун-ту (технічні науки)*. 2013. Вип. 3(23). Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. С. 143–148.
8. Магнітне поле Землі. URL: <http://www.alter-med.in.ua/e-books/11-5-04-earths-magnetic-field.pdf>
9. Пикареня Д.С., Орлинская О.В. Особенности рисунка естественного импульсного электромагнитного поля Земли при проведении региональных работ в рудных регионах. *Зб. наук. праць НГУ*. 2010. № 34, Т. 2. С. 12–20.
10. Орлинская О.В., Пикареня Д.С. Новый поисковый признак зон гидротермального метасоматоза. *Зб. наук. праць УкрДГРІ*. 2008. № 1. С. 72–78.
11. Пикареня 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. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-10>
12. Orlinska O., Maksimova N., Hapich H., Chushkina I., Pikarenia D., Nakonechny V. Possibilities of the geophysical method for the establishment of water filtration from regulating irrigation basins / *Proceedings Book of 1st International GAP Agriculture & Livestock Congress*. Şanlıurfa, 2018. P. 150–153. URL: <http://ziraat.harran.edu.tr/assets/uploads/other/files/ziraat/files/Dekanlık/KONGRELER/UGAP-2018-DRAFT-compressed.pdf>
13. Пикареня Д.С., Орлінська О.В., Рудаков Л.М., Гапіч Г.В. Досвід застосування геофізичних методів для оцінки технічного стану огорожувальної дамби хвостосховища. *Науковий журнал Метінвест Політехніки*. 2024, № 1, С. 82–89. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-12>
14. Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine / H.Hapich et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 2. P. 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>

REFERENCES:

1. Pykarenia, D.S., & Orlinskaia, O.V. (2009). *Opyt prymerenyia metoda estestvennoho ympulsnoho elektromahnytnoho polia Zemly (EYEMPZ) dlia resheniya ynzhenerno-heolohycheskykh y heolohycheskykh zadach* [Experience in application of the method of natural pulse electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) for solving engineering-geological and geological tasks]. Dnepropetrovsk: “SVYDLER”.
2. Greiling, R.O., & Obermeyer, H. (2010). Natural electromagnetic radiation (EMR) and its application in structural geology and neotectonics, *J Geol Soc India*, 75,. 278–288 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12594-010-0015-y>
3. Chepurnyi, V., Liash, S., Hrytsai, O., & Dobrovolska, Z. (2023). Improvement of the device's design for increasing the efficiency of geophysical research using the Earth's natural pulsed electromagnetic field method. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012022/. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012022>
4. Shtohryn, M.V., & Shtohryn, T.M. (2016). Zastosuvannia riznykh chastot metodu PIEMPZ dlia vyavlenia riznohlybynnykh rozlomiv [Application of different frequencies of the PIEMPZ method to detect faults of different

depths]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu – Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, № (2(41), 24–31 [in Ukrainian].

5. Frid, V., Rabinovitch, A., & Bahat, D. (2003) Fracture induced electromagnetic radiation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 36, № 13. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/36/13/330>

6. Rabinovitch, A., Frid, V., & Bahat, D. (2017). Directionality of electromagnetic radiation from fractures. *International Journal of Fracture*, 204(2). <https://doi.org/10.1007/s10704-016-0178-7>

7. Pikarenia, D. S., Orlinska, O. V., Hapich, H. V., & Solomonchuk, D. A. (2013). Zastosuvannia kompleksu heofizychnykh metodiv dlia znyzhennia ekolohichnoho vplyvu shtuchnykh vodnykh ob'ektiv na dovkillia (na prykladi rehuliuichnykh vodnykh basiniv) [Application of a complex of geophysical methods to reduce the environmental impact of artificial water bodies on the environment (on the example of regulatory water basins)]. *Zb. nauk. prats Dniprodzerzhynskoho derzh. tekhn. un-tu (tekhnichni nauky) – Collection of scientific works of Dniprodzerzhynsk State Technical University (technical sciences)*, 3(23), 143–148 [in Ukrainian].

8. Mahnitne pole Zemli [The Earth's magnetic field]. Retrieved from <http://www.alter-med.in.ua/e-books/11-5-04-earths-magnetic-field.pdf>

9. Pykarenia, D. S., & Orlinskaia, O. V. (2010). Osobennosti rysunka estestvennoho ympulsnoho elektromahnytnoho polia Zemly pry provedenyy rehyonalnykh rabot v rudnykh rehyonakh [Features of the pattern of the natural pulse electromagnetic field of the Earth during regional works in ore regions]. *Zb. nauk. prats NHU – Collection of scientific papers of the National Mining University*, № 34, V. 2, 12–20.

10. Orlinskaia, O. V., & Pykarenia, D. S. (2008). Novii poyskovii pryznak zon hydrotermalnoho metasomatoza [New search sign of hydrothermal metasomatized zones]. *Zb. nauk. prats UkrDHR – Collection of scientific papers of the Ukrainian State Geological Exploration Institute*, № 1, 72–78.

11. Pikarenia, D. S., Orlinska, O. V., & Rudakov, L. M. (2023). Otsinka tekhnichnoho stanu ohorodzhuvanoi damby khvostoskhovyshcha «Dniprovske» heofizychnymy metodamy [Evaluation of the technical condition of the enclosing dam of the Dniprovske tailings dump using geophysical methods]. *MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education : Scientific monograph*. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023, 182–198 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-10>

12. Orlinska, O., Maksimova, N., Hapich, H., Chushkina, I., Pikarenia, D., & Nakonechny, V. (2018). Possibilities of the geophysical method for the establishment of water filtration from regulating irrigation basins. *Proceedings Book of 1st International GAP Agriculture & Livestock Congress*. Şanlıurfa, 150–153. Retrieved from <http://ziraat.harran.edu.tr/assets/uploads/other/files/ziraat/files/Dekanlık/KONGRELER/UGAP-2018-DRAFT-compressed.pdf>

13. Pikarenia, D. S., Orlinska, O. V., Rudakov, L. M., & Hapich, H. V. (2024). Dosvid zastosuvannia heofizychnykh metodiv dlia otsinky tekhnichnoho stanu ohorodzhuvanoi damby khvostoskhovyshcha [Experience in applying geophysical methods to assess the technical condition of the tailings dam]. *Naukovyi zhurnal Metinvest Politekhniky – Scientific journal of Metinvest Polytechnic*, № 1, 82–89 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-12>

14. Hapich, H., Orlinska, O., Pikarenia, D., Chushkina, I., Pavlychenko, A., & Roubík, H. (2023). Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – Scientific Bulletin of the National Mining University*, № 2, 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>