



*Е. Д. Кузьменко, О. М. Мандрик, Р. Й. Михайлюк*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1994-0970> – Е. Д. Кузьменко

<https://orcid.org/0000-0002-2689-7165> – О. М. Мандрик

<https://orcid.org/0000-0002-1810-2211> – Р. Й. Михайлюк



mromanm2016@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДАМБИ ДНІСТРА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ (РАЙОН С. ПОБЕРЕЖЖЯ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

На сьогодні все більше актуальним постає питання ефективності методів моніторингу стану інженерних споруд та геологічних умов їх застосування. При цьому як невід’ємна складова досліджень розглядаються методи неруйнівного контролю, а саме геофізичні методи. У науково-технічній літературі можна знайти дедалі більше публікацій щодо застосування геофізичних методів в інженерній та екологічній геології при дослідженні дамб річок, ставків, технічних споруд – хвостосховищ та штучних озер. У статті розглянуті результати застосування окремих електричних та електромагнітних методів дослідження дамби лівого берега Дністра, яка є основною захисною спорудою населеного пункту Побережжя та прилеглих до нього сільськогосподарських земель від затоплення та розмиву паводковими водами. При цьому вирішувались задачі: деталізація геологічного розрізу дамби за електричними властивостями, оцінка аномалій напружено-деформованого стану дамби.

Проведено дослідження методом вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) на постійному струмі, який полягає у послідовних вимірах параметрів електричного поля струмів, які пропускаються через гірську породу, при зміні положення живильних та приймальних електродів. Фізичним обґрунтуванням методу ВЕЗ є диференціація гірських порід за електричним опором із глибиною. Наявність достовірного геологічного розрізу поряд з аналізом кривих ВЕЗ дає змогу скласти модель відповідності літології гірських порід та електричного опору.

Були отримані три типи кривих вертикального електричного зондування, притаманні різним за фізичними уявленнями розрізам гірських порід. I тип – криві, що розташовані біля підніжжя дамби, II тип – криві, що розташовані на дамбі і відображають розріз підстилаючих порід та порід дамби в зоні аномальних напружень, тобто криві в зоні надлишкових силових навантажень, III тип – криві, що розташовані на дамбі і відображають фонові значення розрізу, утвореного підстилаючими породами та насипним ґрунтом без дії силових навантажень Дністра. За результатами досліджень зроблено висновок, що напружено-деформований стан в електричних фізичних властивостях не відображається.

Також проведено дослідження дамби методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ).

На основі проведеного аналізу досліджень методом ПЕМПЗ у цілому слід вважати, що дамба на визначених ділянках перебуває в стані динамічного тиску з боку Дністра і під дією додаткових механічних напружень. Відповідно існує небезпека прориву дамби під час повені. Недостатньо укріпленим представляються береги потічка Вовченець. Тому в майбутньому слід проводити регулярні режимні спостереження дамби р. Дністер в районі с. Побережжя, заклавши тим самим основу моніторингових досліджень.

**Ключові слова:** екологічна безпека, паводок, Дністер, дамба, геофізичні дослідження, міцність.

*Е. Д. Kuzmenko, O. M. Mandryk, R. Y. Mykhailyuk*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## INVESTIGATION OF THE STATE OF THE DNISTER DAM BY ELECTRICAL AND ELECTROMAGNETIC METHODS (DISTRICT OF THE POBEREZHYZHYA OF IVANO-FRANKIVSK REGION)

Today the question of efficiency of methods of monitoring a condition of engineering constructions and geological conditions of their application becomes more and more actual. Non-destructive testing methods, namely geophysical methods, are considered to be an integral part of the research. In the scientific and technical literature, you can find more and more publications on the application of geophysical methods in engineering and environmental geology in the study of river

dams, ponds, technical structures - tailings and artificial lakes. The article considers the results of the application of some electric and electromagnetic methods of research of the dam of the left bank of the Dniester, which is the main protective structure of the settlement of the v. Poberezhzhyia and adjacent agricultural lands from flooding and erosion by flood waters. At the same time, the following tasks were solved: detailing the geological section of the dam by electrical properties, and estimation of anomalies of the stress-strain state of the dam.

The research was carried out by the method of vertical electric soundings on direct current, which consists of successive measurements of the parameters of the electric field of currents passed through the rock when changing the position of the supply and receiving electrodes. The physical justification of the SEZ method is the differentiation of rocks by electrical resistance with depth. The presence of a reliable geological section along with the analysis of the FEZ curves allows for making a model of compliance of lithology of rocks and electrical resistance.

Three types of curves of vertical electric sounding, inherent in different physical representations of rock sections, were obtained. Type I – curves located at the foot of the dam, type II – curves located on the dam and reflect the section of the underlying rocks and rocks of the dam in the zone of anomalous stresses, ie curves in the zone of excess loads, type III – curves located on the dam and reflect the background values of the section, which is formed by the underlying rocks and loose soil without the action of force loads of the Dniester. According to the results of research, it is concluded that the stress-strain state is not reflected in the electrical physical properties.

The study of the dam by the method of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (PIEMPZ) was also carried out.

Based on the analysis of research by the method of PIEMPZ in general, it should be assumed that the dam in certain areas is in a state of dynamic pressure from the Dniester and is under the influence of additional mechanical stresses. Accordingly, there is a risk of breaking the dam during floods. The banks of the Vovchenets stream are insufficiently fortified. Therefore, in the future, it is necessary to conduct regular regime observations of the dam of the Dniester River in the area of the village. Coast, thus laying the foundation for monitoring research.

**Keywords:** ecological safety, flood, Dniester, dam, geophysical researches, durability.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями.** Надзвичайні ситуації гідрологічного характеру, такі як паводки, повені, підтоплення, зсуви тощо, призводять до людських жертв і значних матеріальних збитків. Вони спричиняються надзвичайно складним поєднанням причин природного та техногенного характеру, головними з яких є екстремальні атмосферні опади, особливості рельєфу території та геологічної будови ґрунтів, наявність та ефективність захисних протипаводкових споруд [1-3].

Лише за останні 30 років на території України значні паводки, які призводили до виникнення надзвичайних ситуацій, спостерігалися у 1995, 1998, 2001, 2008, 2010, 2020 роках. Середньорічні збитки від паводків у 1995-1998 роках становили понад 900 млн гривень, 1999-2007 роках – понад 1,5 млрд гривень, у 2008-2010 роках – близько 6 млрд гривень.

Найбільшої шкоди від паводків зазнають гірські та передгірські райони Карпат. Це обумовлено тим, що Українські Карпати є зоною підвищеного паводкового ризику. У зоні Карпат за короткий період часу виникає велика кількість опадів і формується інтенсивний стік води. Особливої уваги для захисту від катастрофічних наслідків паводків потребує стан захисних споруд по річці Дністер [1, 3].

Паводок, спричинений дощами, що стався в 1968 році, змусив владу до створення проектно-кошторисної документації на об'єкт «Регулювання та обвалування річки Дністер у селі

Побережжя, Івано-Франківського району, Івано-Франківської області», складеної інститутом «Львівгідроводхоз» в 1971 році. Цей проект було реалізовано в 1974 році.

Проект передбачав такий комплекс заходів із регулювання ріки Дністер:

- будівництво правобережної дамби у селі Побережжя довжиною 2340 м;
- будівництво напівапруд із габіонної кладки для захисту дамби від динамічної сили потоку;
- облаштування водовипусків для скиду дощових вод, які збираються в задамбовому просторі.

Будівництво дамби було завершено в грудні 1974 року. З часом Дністер змінив своє русло і дамба опинилась під загрозою підмиву. Після паводка 2008 року вздовж берега річки була побудована ще одна дамба довжиною 420 м за проектом «Ліквідація наслідків паводка на р. Дністер в с. Побережжя Тисменицького району». Оскільки з часу спорудження дамби минуло багато років, актуальним завданням є оцінка її стану.

Отже **метою** статті є дослідження поточного стану дамби лівого берега Дністра, яка є основною захисною спорудою населеного пункту Побережжя та прилеглих до нього сільськогосподарських земель від затоплення та розмиву паводковими водами.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання**:

- провести в районі дамби комплекс неруйнівних геофізичних експрес-досліджень для контролю стану технічної споруди;

– на основі аналізу даних досліджень визначити напружено-деформований стан та імовірні ділянки втрати міцності тіла дамби.

### **Виклад основного матеріалу. Обґрунтування методів дослідження дамби.**

На сьогодні все більш актуальним постає питання ефективності методів моніторингу стану інженерних споруд та геологічних умов їх застосування. При цьому як невід’ємна складова досліджень розглядаються методи неруйнівного контролю, а саме геофізичні методи. У науково-технічній літературі можна знайти дедалі більше публікацій щодо застосування геофізичних методів в інженерній та екологічній геології при дослідженні дамб річок, ставків, технічних споруд – хвостосховищ та штучних озер [1-5].

До таких методів відносяться, насамперед, методи сейсмозв’язки та електрометрії.

Поряд з традиційними електричними методами (вертикальне електричне зондування, профілювання, метод заряду, зондування становлення поля) в останні роки все ширше застосовують метод ПЕМПЗ, за яким вирішують такі інженерно-геологічні, гідрогеологічні, тектонічні та геолого-екологічні задачі [6-10]:

- якісна оцінка загального природного поля механічних напружень і простеження його динаміки при режимних спостереженнях;

- оперативне виявлення та прогнозування небезпечних геологічних процесів і явищ (зсувів, карсту, гірничих ударів, суфозії, обвалів, викидів у шахтах);

- визначення активізації геодинамічних структур картування та характеристика зон розломів;

- обстеження житлових будівель, господарських приміщень, споруд і комунікацій для встановлення можливих деформацій фундаментів, стін і конструкцій;

- оцінка напружено-деформованого стану тіл дамб та інших гідродинамічних споруд, визначення в них місць порушень і фільтрації води.

Метод ПЕМПЗ заснований на явищі генерування мінералами імпульсного електромагнітного поля при різних змінах стану гірських порід. У результаті деформацій гірські породи перебувають в збудженому стані, що викликає розрядні явища та варіації імпульсного електромагнітного поля. Інтенсивність геологічних процесів залежить від ряду причин: склад і властивості гірських порід різних ярусів, ступінь їх активності, потужність деформованих мас, характер деформацій. Складний

напружений стан викликає різне протікання механоелектричних явищ. Саме тому ці явища в літературі розглядаються окремо. Єдиної теорії ПЕМПЗ, як це є в інших геофізичних методах, не існує.

Останнім часом дослідники в ПЕМПЗ обмежувались вирішенням окремих прикладних задач щодо особливостей обробки задач та спеці-фіки вирішення різноманітних геологічних задач.

Серед цих праць слід відмітити кандидатські дисертації Безсмертного А.Ф [11], Чебана В.Д. [12], Багрія С.М. [13]. За напрямками слід зазначити праці, присвячені дослідженню зсувів [14-16] та дослідженню осідання земної поверхні внаслідок карстових процесів [17-20], а також статті, присвячені окремим питанням інтерпретації ПЕМПЗ [21-22].

Практична реалізація методу ПЕМПЗ здійснюється за спеціально розробленою методикою із застосуванням апаратури переважно у вигляді переносних малогабаритних індикаторного типу приладів.

У цій праці наводяться результати застосування окремих електричних та електромагнітних методів дослідження дамби. При цьому вирішувались задачі: деталізація геологічного розрізу дамби за електричними властивостями, оцінка аномалій напружено-деформованого стану дамби.

**Розташування та конструктивні особливості дамби.** Розташування дамби в селі Побережжя наведено на рис. 1.



**Рисунок 1** – Розташування захисної дамби в с. Побережжя

Дамба в перерізі зображена на рис. 2.

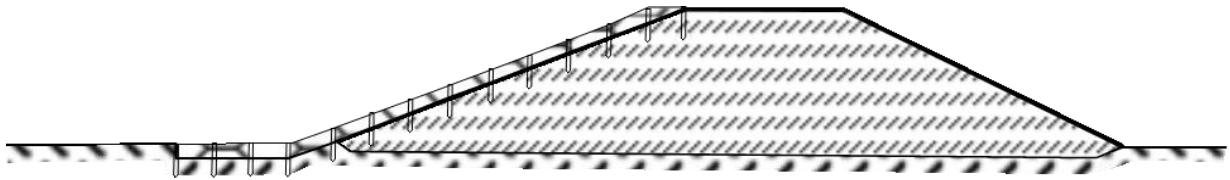


Рисунок 2 – Конструкція дамби

Згідно із проаналізованою інформацією, потужність дамби по вертикалі досягає 4,0-4,5 м. Верхня горизонтальна частина дамби – 3,5-4 м. Тіло дамби складене супіщаними та суглинистими породами. При облаштуванні дамби поверхневий шар потужністю до 1 метра був знятий. Породи, що підстилають дамбу, у верхній частині складається із піску, супісків і суглинків із різними включеннями гравію загальною потужністю від 2 до 4 метрів, а в нижній частині – із суцільного гальковика із супіщаним заповнювачем.

Ці породи є алювіальним утворенням Дністра. Як буде показано далі при аналізі результатів геофізичних досліджень, потужність гальковика в межах ділянки досліджень становить 11,8-12,8 м. Нижче залягають корінні глини ймовірно неогенового віку.

**Результати досліджень методом ВЕЗ.** Метод вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) на постійному струмі полягає у послідовних вимірюваннях параметрів електричного поля струмів, які пропускаються через гірську породу, при зміні положення живильних та приймальних електродів.

Глибинність досліджень залежить від відстані  $AB$  між живильними електродами і визначається наближеною формулою:

$$H \approx \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{5}\right) \cdot AB. \quad (1)$$

Позірний опір  $\rho_n$  для обраного розносу  $AB$  розраховується за формулою:

$$\rho_n = k \frac{\Delta U}{I}, \quad (2)$$

де  $\Delta U$  – різниця потенціалів в лінії  $MN$ ;  $I$  – струм в лінії  $AB$ , що подається в гірські породи;  $k$  – коефіцієнт установки.

Для зміни (збільшення) глибинності, тобто реалізації принципу зондувань, послідовно збільшується рознос  $AB$ .

Отже, фізичним обґрунтуванням методу ВЕЗ є диференціація гірських порід за електричним опором із глибиною.

Наявність достовірного геологічного розрізу поряд з аналізом кривих ВЕЗ дає змогу скласти модель відповідності літології гірських порід та електричного опору.

Виходячи із загального опису дамби, очікуваними були три типи кривих вертикального

електричного зондування, притаманні різним за фізичними уявленнями розрізам гірських порід. Так, криві I типу отримано по розрізу, розташованого біля підніжжя дамби. Криві II типу – по розрізу, розташованому на дамбі в зоні аномальних напружень. Вони відображають розріз підстилаючих порід та порід дамби в зоні надлишкових силових навантажень Дністра. Криві III типу отримано по розрізу, також розташованому на дамбі, але утвореному підстилаючими породами та насипним ґрунтом без дії силових навантажень Дністра. Вони відображають фонові значення розрізу.

I тип кривих повинен відрізнитись від II-го та III-го, II-й та III-й типи не обов'язково повинні відрізнитись за електричним опором.

Згідно з типовими кривими, отриманими за методом ВЕЗ для всіх трьох типів розрізів, у таблиці 1 відображені очікувані з геологічної точки зору моделі, які відповідають гіпотетичним типам кривих ВЕЗ і описуються згідно з їх потужністю та електричним опором. У наведених моделях зберігається нумерація шарів згідно з геоелектричним розрізом.

Модель 1 відповідає розрізу біля підніжжя дамби, тобто непорушеними породами. Криві ВЕЗ відображають чотиришаровий розріз типу  $KQ$ , в якому шар 1 – це шар рослинного покриву з позірним електричним опором 40-60 Ом $\times$ м та потужністю до 1 м. Далі з розрізу «випадає» шар 2 який відповідає тілу дамби. Потім ідуть породи основи дамби, які діляться на 2 шари – сухий та зволожений. Шар 3 – це сухі підстелені породи, що залягають вище рівня Дністра. З літологічної точки зору – це супіски, суглинки, гравійні породи, гальковики потужністю 3,65-4 м та з опором 310-550 Ом $\times$ м. Нижче по розрізу в геоелектричній характеристиці для шару 4 спостерігається зменшення електричного опору до 110-130 Ом $\times$ м, яке пояснюється зволоженістю гірських порід, які залягають нижче природного рівня підземних вод, фактично рівня Дністра. У літологічному відношенні шар 4 складений гальковиком із супіщаним заповнювачем і має потужність у межах ділянки досліджень 11,25-12,8 м. Нижче нього залягає шар 5, який представлено глинистими ймовірно неогеновими породами з витриманим електричним опором 20-25 Ом $\times$ м. Шар починається з глибини 15-17 м.

Характеристика розрізу гірських порід та їх геоелектричні властивості

№ моделі	Розташування	№ шару гірських порід	Характеристика породи	Структурний елемент	Вік	Потужність, м	Електричний опір, Ом×м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Підніжжя дамби	1	Приповерхневий рослинний шар	Приповерхневий шар, підніжжя основи дамби	Q <sub>d-al</sub> деловий алювій	0,9	53
		2	Відсутній				
		3	Супіщано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	3,7	310
		4	Гальковик із супіщаним заповнювачем	Уволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	11,8	120
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	25
2	Дамба з ознаками напружено-деформованого стану	1	Приповерхневий рослинний шар	Поверхневий шар насипного тіла дамби	Q <sub>d</sub> сучасний деловий	1,9	110
		2	Супіщано-суглинисті породи	Насипне тіло дамби	Q <sub>d</sub> сучасний деловий	2,2	35
		3	Супіщано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	2,65	350
		4	Гальковик із супіщаним заповнювачем	Зволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	11,25	110
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	20
3	Непорушена дамба	1	Приповерхневий рослинний шар	Поверхневий шар насипного тіла дамби	Q <sub>d</sub> сучасний деловий	2	75
		2	Супіщано-суглинисті породи	Насипне тіло дамби	Q <sub>d</sub> сучасний деловий	2,5	35
		3	Супіщано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	4	550
		4	Гальковик із супіщаним заповнювачем	Зволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	12,8	130
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	25

Модель 2 створена для ділянки дамби, яка відрізняється від моделі 1 наявністю тіла дамби. Криві ВЕЗ для моделі 2 відображають п'ятишаровий розріз типу НКQ, в якому  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ . Крім того, для ділянки моделі 2 притаманне аномальне поле природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), тобто дамба тут перебуває в напружено-деформованому стані, який спричинено динамічним тиском річки Дністер. Від моделі 1 модель 2 відрізняється більшою потужністю першого шару – 1,9 м (проти 0,9 для моделі 1) і дещо збільшеним електричним опором – 110 Ом×м (на відміну від 53 Ом×м для моделі 1). Шар 1 на дамбі є штучним, утвореним в 1974 році і набуває ознак покривно-рослинного шару. Шар 2 в моделі 2 є шаром супісків, із яких в основному складене тіло дамби, він має електричний опір 35 Ом×м при потужності 2,2 м. Отже тіло дамби за даними ВЕЗ

має потужність 4,1 м, що відповідає розрізу рисунка 2. Шари 3, 4, 5 моделі 2 ідентичні моделі 1 як за потужністю, так і за електричним опором.

Модель 3 створена для ділянки дамби, яка характеризується фоновим значенням ПЕМПЗ, тобто не відрізняється підвищенням інтенсивності і не має ознак напружено-деформованого стану. Ми назвали цю модель «непорушена дамба». Як і модель 2, вона має такі самі співвідношення опорів при типі кривої ВЕЗ НКQ, в якому  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ .

Порівняння моделі 2 і 3 показує, що верхні шари 1 і 2, притаманні дамбі, є незмінними, а саме їх потужності 1,9 і 2 метра для першого шару та 2,2 і 2,5 для другого майже однакові. Опори також близькі – 110 і 75 Ом×м для першого шару в моделях 2 і 3 і 35 Ом×м для другого шару. Отже, робимо висновок, що напружено-деформований стан в електричних фізичних властивостях не відобража-



ється. Деяке підвищення опорів і потужностей для шарів 3, 4, 5 моделі 3 порівняно з моделлю 2 пояснюється фаціальними змінами літологічного складу, зокрема збільшенням кількості крупно-уламкового матеріалу, а саме гальковика. За розрізом (рис. 2) – це цілком можливо.

#### Результати досліджень методом ПЕМПЗ.

Дослідження за методом ПЕМПЗ були проведені від початку дамби в с. Побережжя (верхня течія Дністра) до впадіння в Дністер потоку Вовчинець і далі вгору по ньому. На рис. 3 зображені точки спостереження за методом ПЕМПЗ, які накладені на космоснімок.

Загальна кількість точок спостереження по профілю становить 160. Профілі ПЕМПЗ були виконані на дамбі та біля підніжжя дамби. По верху дамби зйомка виконувалась у такому діапазоні частот: 2 – 50 кГц та 36 – 50 кГц, біля підніжжя дамби 2 – 50 кГц.

Далі виникає методичне питання орієнтації антен. Оскільки дамба на площі має окреслений характер з однозначною орієнтацією, та очевидно є необхідність орієнтації антени вздовж дамби і впоперек. Умовно позначено антену, орієнтовано вздовж дамби X, а впоперек дамби Y. У цьому випадку антена X буде налаштована на прийом сигналу перпендикулярно до своєї орієнтації, тобто із боку Дністра, а антена Y – на прийом сигналу по осі дамби.

Крім того, доцільно навести графіки повного вектора поля  $T = \sqrt{X^2 + Y^2}$  та коефіцієнт анізотропії  $\chi = \frac{X}{Y}$ .

Питання оцінки глибинності досліджень методом ПЕМПЗ пов'язане з наявним опором гірських порід та вибором частот.

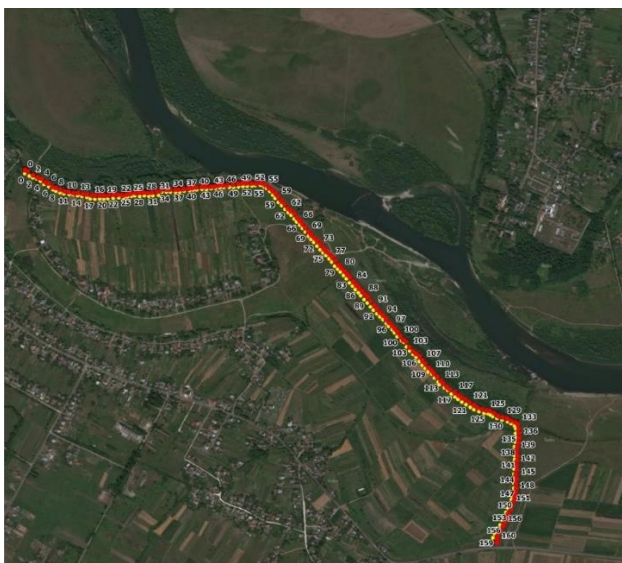


Рисунок 3 – Схема розташування точок спостереження за методом ПЕМПЗ

У діапазоні частот 2-50 кГц слід очікувати сигнал з інтервалу глибин від десятків метрів і до поверхні, а в діапазоні 36-50 кГц з інтервалу глибин від 10-20 м і до поверхні. Конкретно в роботі [21] пропонується максимальну глибинність досліджень оцінювати за формулою

$$h_{ef} = \frac{\sqrt{10^7 \cdot \rho_{ef}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot f}} \cdot 10^3 = 356 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ef}}{f}}, \quad (3)$$

де  $\rho_{ef}$  – ефективне значення питомого електричного опору для конкретної товщини гірських порід;  $f$  – частота.

Ефективний опір розраховується наступним чином:

$$\rho_{ef} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \dots + \frac{h_{n-1}}{\rho_{n-1}}} \quad (4)$$

Зрозуміло, що наведені формули мають наближений, оціночний характер. Головне, що в діапазоні досліджень 2-50 кГц ефективна глибина, з якої отримується корисний сигнал, лежить у межах від 80-90 м до поверхні, а в діапазоні 36-50 кГц максимальна ефективна глибина сягає 18,6-19,2 м. Отже, при інтерпретації слід очікувати диференціацію аномального сигналу в першу чергу в діапазоні від 0 до 18,6-19,2 м, тобто сигналу, який залежить від стану дамби.

Результати робіт згруповані у вигляді серій наступних рисунків, аналіз яких наводиться послідовно з їх демонстрацією.

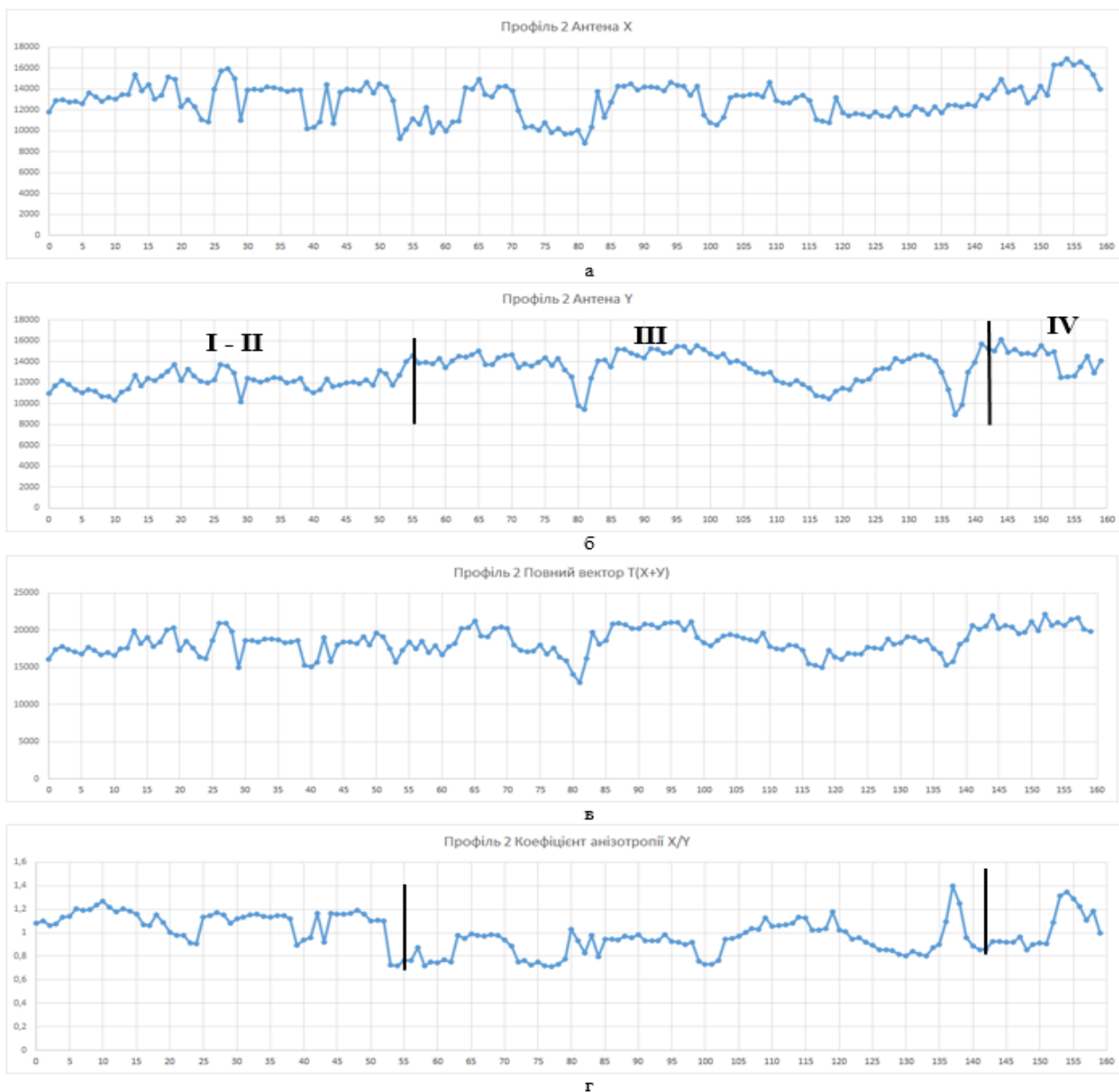
Серія рисунків біля підніжжя дамби по профілю на частоті 2-50 кГц (рис. 4):

- графік за антеною X (рис. 4а);
- графік за антеною Y (рис. 4б);
- графік повного вектора (рис. 4в);
- графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4г).

Графіки, отримані для підніжжя дамби, відображають напружений стан в інтервалі глибин від 90 метрів до поверхні (частота 2-50 кГц) і розглядаються як фонові. Значення за антеною X (рис. 7а) мають знакозмінний характер і коливаються в межах 9000-16000 імп/с. Аномальні значення на графіку не виділяються. Інтенсивність випромінювання коливається в межах 9000-16000 імп/с. Зміна середнього значення поля від 12000-14000 імп/с на пікеті 53 для графіка по антені Y (рис. 4б) пояснюється зміною орієнтації профіля з заходу-сходу на північний захід-південний схід, тобто на  $45^\circ$ . Для значних глибин в напрямку, наближеному до Дністра, цей факт ймовірно пов'язується із фаціальною анізотропією алювіальних відкладів. Незначні відхилення на графіках від середнього слід відносити за рахунок локальних літофаціальних неоднорідностей, які не мають відношення до дамби і яка на їх наявність не

впливає. Жодної кореляції між графіками X та Y немає. Графік повного вектора (рис. 4в), який враховує аномалії як по антені X, так і по антені Y є ще більш знівельованим і не дає ніякої додаткової інформації. Для коефіцієнта кореляції, значення

якого залежить від антени Y, наслідком є зміна форми графіка на пікеті 53 (рис. 4г), що пояснено раніше. Отже, доходимо висновку, що аномалій по профілю біля підніжжя дамби, які б визначали її напружено-деформований стан, немає.



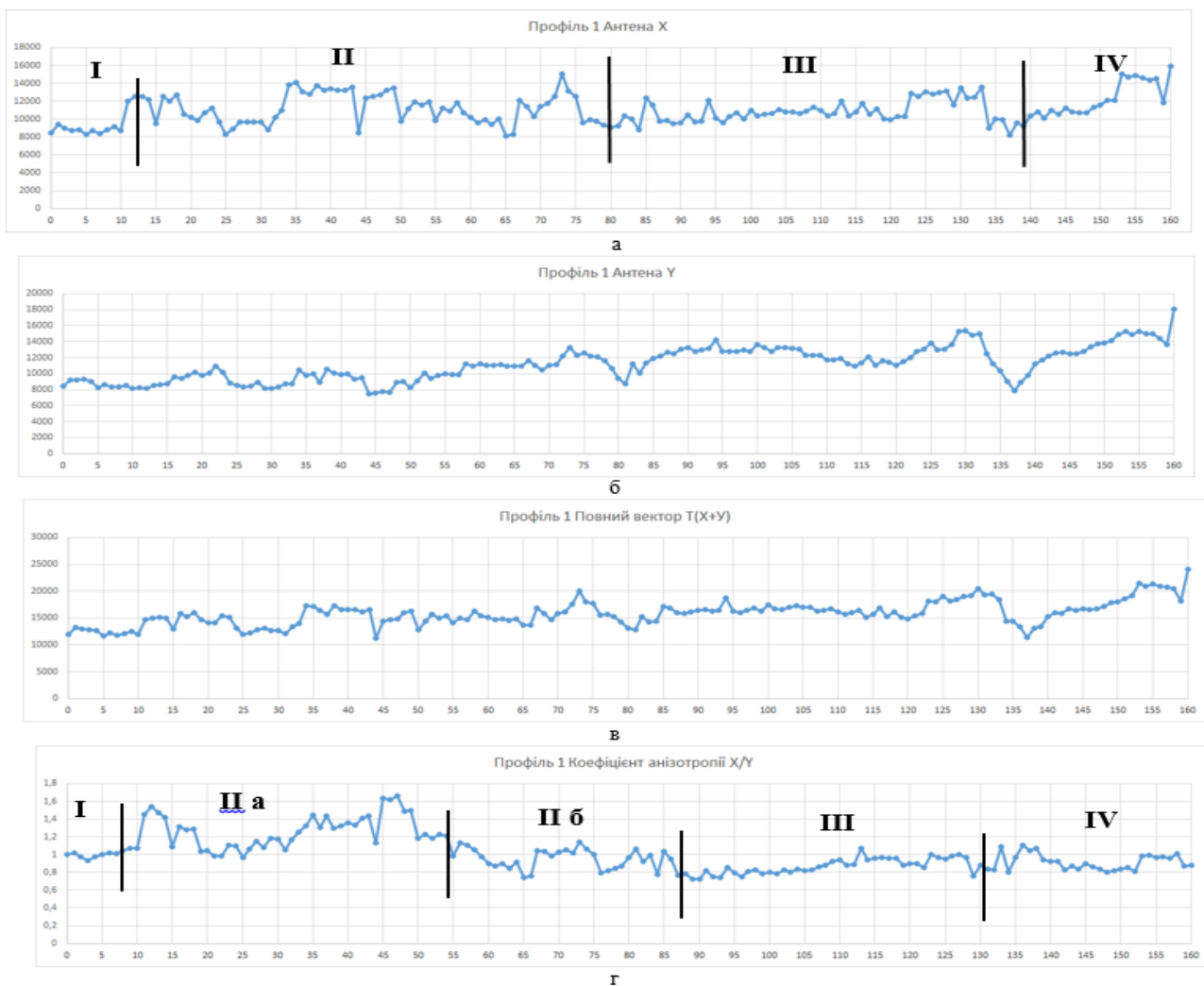
**Рисунок 4** – Графіки результатів за методом ПЕМПЗ у підніжжя дамби на частоті 2-50 кГц

Серія рисунків по дамбі по профілю на частоті 2 – 50 кГц (рис. 5):

- графік за антеною X (рис. 5а);
- графік за антеною Y (рис. 5б);
- графік повного вектора (рис. 5в);
- графік коефіцієнта анізотропії (рис. 5г).

Графіки, отримані по дамбі, слід було би розглядати як такі, що несуть певну інформацію щодо напружено-деформованого стану тіла дамби. Графік за антеною X (рис. 5а) візуально можна поділити на чотири ділянки. Ділянка I (пікет 0-10) розглядається як фонові по

відношенню до графіка. Форма графіка наближена до прямолінійної, інтенсивність випромінювання 800-950 імп/с. Ділянка II (пікет 11-74) відповідає в геоморфологічному плані впливу Дністра та імовірно пов'язана із динамічним тиском води. Графік тут знакозмінюється, зрізаний, має інтенсивність від 800 до 1400 імп/с. Ділянка III (пікет 75-133) схожа за формою на ділянку I, проте інтенсивність випромінювання тут дещо більша – від 900 до 1300 імп/с. Під час значних повеней Дністер тут наближається до дамби.



**Рисунок 5** – Графіки результатів за методом ПЕМПЗ на дамбі на частоті 2-50 кГц

Ділянка IV (пікет 134-160) розташована вздовж лівого берега потічка Вовченець, для якого міняється конструкція дамби та умови її розташування. Інтенсивність випромінювання тут послідовно зростає від 800 до 1500 імп/с.

Антенa Y (рис. 5б) відображає зміну напружено-деформованого стану вздовж дамби, тому як і очікувалось, за формою графік інтенсивності повторює криву антени X, але менш виразний. Коефіцієнт кореляції між графіками – 0,61. Це підтверджує достовірність інформації щодо навантаження дамби.

Графік інтенсивності повного вектора (рис. 5в) в силу кореляції графіків за антенами X та Y при більшій інтенсивності поля при антені X очікувано повторює форму останнього. Фактично він є безінформативним, настільки згладжений.

Графік коефіцієнта анізотропії (рис. 5г) є досить виразним. Він добре узгоджується з графіком антени X, проте має свої відмінності. Ділянка I розглядається як фоновa. Ділянка II на графіку має дещо більші розміри, ніж на антені X (пікет 11-86) і ділиться на дві (II а та II б)

пікетом 55. Це пов'язано виключно поворотом дамби на цьому пікеті. Ділянка III за характеристикою наближена до ділянки I. Ділянка IV починається із пікета 130.

Серія рисунків по дамбі по профілю на частоті 36 – 50 кГц (рис. 6):

- графік за антеною X (рис. 6а);
- графік за антеною Y (рис. 6б);
- графік повного вектора (рис. 6в);
- графік коефіцієнта анізотропії (рис. 6г).

За інформативністю графіки на частоті 36-50 кГц наближаються до графіків на частоті 2-50 кГц. За ідеологією методу на частоті 2-50 кГц глибинність більша, ніж на частоті 36-50 кГц і захоплює як породи дамби, так і породи, на яких вона залягає (від 90 до 18 метрів). На частоті 36-50 кГц інформація отримується з глибини 18 метрів та до донної поверхні, тобто в основному від поверхневої частини (тіла дамби). Тому: 1) ідентичність графіків свідчить про те, що їх диференціація викликана виключно напружено-деформованим станом дамби; 2) виразність аномалій для частоти 36-50 кГц підкреслює цей факт.



Всі графіки по дамбі на частоті 36-50 кГц є інформативними і поділяються за інтенсивністю та зрізаністю на чотири виразні ділянки, які відповідають певному районуванню дамби.

Графіки за антеною X (рис. 6а).

I ділянка – фонова пікет 0-16, інтенсивність 100-102 імп/с.

II ділянка – динамічних навантажень Дністра пікет 17-74, інтенсивність 110-134 імп/с.

III ділянка – тільки по антені X ділиться на: III а – відповідає зоні розмиву Дністра, пікет 75-112, інтенсивність 100-110 імп/с, III б – фонова, пікет 114-135, інтенсивність 100-105 імп/с.

IV ділянка – приурочена до потічка Вовчинець, пікет 136-160, інтенсивність 100-147 імп/с.

Графіки за антеною Y (рис. 6б).

I ділянка, пікет 0-15, інтенсивність 100-110 імп/с.

II ділянка, пікет 16-86, інтенсивність 120-170 імп/с.

III ділянка, пікет 87-135, інтенсивність 100-120 імп/с.

IV ділянка, пікет 136-160, інтенсивність 108-120 імп/с.

Графік інтенсивності повного вектора T (рис. 6в). За розподілом інтенсивності по ділянках відповідає антені Y.

I ділянка, пікет 0-15, інтенсивність 140-150 імп/с.

II ділянка, пікет 16-86, інтенсивність 160-215 імп/с.

III ділянка, пікет 87-135, інтенсивність 140-160 імп/с.

IV ділянка, пікет 136-160, інтенсивність 150-185 імп/с.

Графік коефіцієнта анізотропії (рис. 6г). Виразний графік, на якому виділяються чотири ділянки:

I ділянка, пікет 0-15, із коефіцієнтом  $K=1-1,2$ .

II ділянка, пікет 16-86, із коефіцієнтом  $K=1.15-1.5$ .

III ділянка, пікет 87-140, із коефіцієнтом  $K=1-1.1$ .

IV ділянка, пікет 141-160, із коефіцієнтом  $K=0.8-1.1$ .

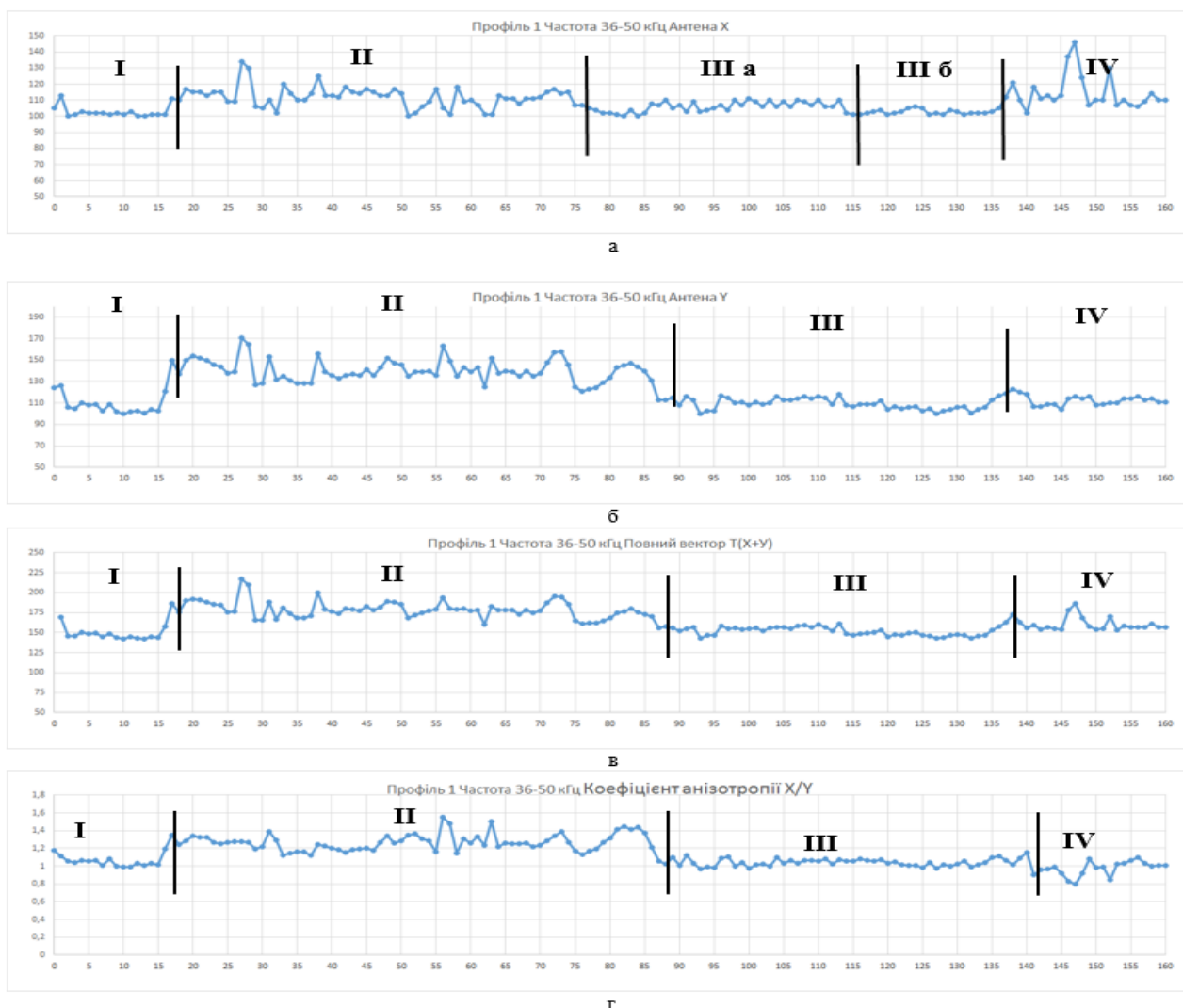


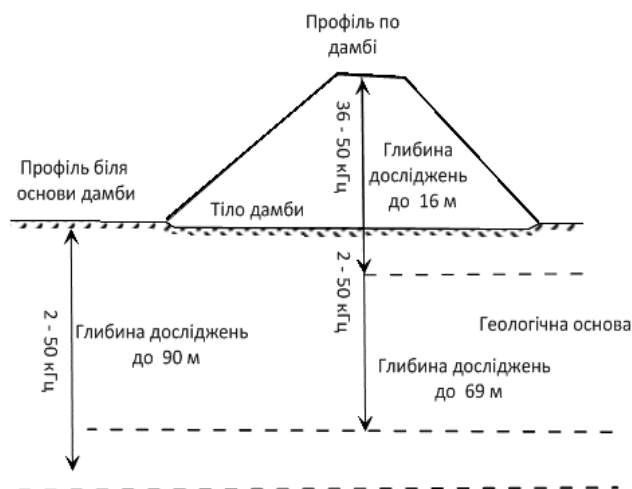
Рисунок 6 – Графіки результатів за методом ПЕМПЗ на дамбі на частоті 36-50 кГц

Для систематизації описові дані по чотирьох варіантах досліджень зведено в узагальнені таблиці, в які винесено основні статистичні характеристики для кожної з виділених ділянок, а саме: пікети розташування ділянок, середнє значення інтенсивності, максимальне і мінімальне значення інтенсивності, дисперсію, закон розподілу. Також було побудовано гістограми розподілу та відповідні до них теоретичні криві розподілу.

Розгляд цих кривих навів на такі висновки. Для графіків біля підніжжя дамби і на самій дамбі на частоті 2-50 кГц закон розподілу вважається нормальним, а на дамбі на частоті 36-50 кГц, тобто на малих глибинах, коли оцінюється власне стан дамби, закон розподілу логнормальний. Проте розподіл можна вважати таким, що складається з двох окремих нормальних розподілів. Це підкреслює той факт, що частина дамби перебуває в надлишковому напружено-деформованому стані.

Для розуміння «працездатності» антен на різних частотах і відповідно розуміння таблиць далі наведемо рисунок, який пояснює глибинність методу ПЕМПЗ по відношенню до розташування профілів дослідження згідно з обраним діапазоном частот (рис. 7).

Профіль 1 розташований на дамбі і має глибинність 69 метрів у діапазоні частот 2-50 кГц, тобто інформація отримується частково про стан дамби потужністю 4 метри та про геологічну основу порід, на яких споруджена дамба. Той же профіль на дамбі в діапазоні частот 36-50 кГц має глибинність до 18 метрів, захоплює за інформативністю тіло дамби, характеризуючи її напружено-деформований стан. Профіль 2 при діапазоні частот 2-50 кГц з глибиною 20-90 метрів дає інформацію про зміну напружено-деформованого стану геологічної основи, або її літології.



**Рисунок 7** – Глибинність методу ПЕМПЗ в залежності від розташування профіля і від діапазону частот дослідження

**Висновки.** Остаточний аналіз досліджень дає змогу зробити такі **висновки**.

1. Біля основи дамби на глибинах до 90 метрів, які відповідають діапазону частот 2-50 кГц, по антені X та по повному вектору T аномальні зони не відмічаються. По антені Y та коефіцієнту анізотропії на цих частотах маємо поділ на дві зони на пікеті 53 (1060 метрів від початку профілю). Причиною цього є зміна напрямку профілю.

2. На дамбі на глибинах до 69 метрів в діапазоні частот 2-50 кГц маємо іншу картину природного поля, тому що на інтенсивність випромінювання, крім геологічної основи, впливає тіло дамби зі змінами механічної напруженості. По антені X та по коефіцієнту анізотропії аномальні зони виділяються невпевнено, а по антені Y – не виділяються взагалі. Це пояснюється тим, що стиск або розтяг дамби відбувається в основному впоперек її повздовжнього розташування (впоперек антени X із виразним сигналом по осі і відповідно з відображенням по коефіцієнту анізотропії). Однак вплив цього напруження нівелюється геологічною основою дамби. Про це свідчить також відсутність поділу на аномальні зони по повному вектору.

3. Значний вплив тіла дамби на графіки в діапазоні частот 36-50 кГц маємо в межах досягнутих для досліджень глибин. Тому аномальні зони виділяються впевнено по антені X і Y, по повному вектору та коефіцієнту анізотропії, однозначно в межах пікетів: I зона – 0-15; II зона – 16-86; III зона – 87-35; IV зона – 136-160. Це відповідає таким відстаням від початку профілю: 0-300 м; 320-1720 м; 1740-2700 м; та 2720-3200 м. Слід зауважити, що перша аномальна зона відповідає фоновому значенню поля, друга аномальна зона характеризується значно підвищеною інтенсивністю та зрізаністю кривої і пов'язана з впливом Дністра та наближеністю його до дамби, III зона наближена за інтенсивністю до першої фонові. IV зона відповідає профілю, що прокладений по лівій дамбі потічка Вовчинець і характеризується як зона підвищеної інтенсивності та зрізаності. По антені X третя зона ділиться пікетами 133-134 на дві підзони III а та III б, перша має незначну інтенсивність та зрізаність і пов'язується з розливом Дністра на цій ділянці. Геологічна основа дамби не впливає на її механічні властивості. Відмітимо, що зазначена вище зональність відображається в кількісних статистичних характеристиках а саме в математичному очікуванні (середній інтенсивності), дисперсії, закону розподілу.

У цілому слід вважати, що дамба в діапазоні пікетів 16-86 перебуває в стані динамічного тиску з боку Дністра і під дією додаткових механічних напружень. Відповідно існує небезпека прориву

дамби під час повені. Недостатньо укріпленим представляються береги потічка Вовченець. Тому надалі слід проводити регулярні режимні спостереження дамби р. Дністер в районі с. Побережжя, заклавши тим самим основу моніторингових досліджень.

#### Список літератури:

1. Адаменко, О. М. (2021). Про можливість прогнозування катастрофічних паводків. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, 1 (23), 7-21. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-7-21](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21)
2. Адаменко О. М. Стан доквілля у річкових долинах з катастрофічними паводками. Перший етап екологічних досліджень на Дністровському протипаводковому полігоні (2012-2018 рр.): монографія / О. М. Адаменко, Д. О. Зорін. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 240 с.
3. Адаменко О. М. Еколого-економічні наслідки катастрофічних паводків та їх подолання на Дністровському інженерно-екологічному полігоні (О. М. Адаменко, Д. О. Зорін, М. І. Мосюк, К. О. Радловська // Екологічний форум, 2020, №1. С. 54-64.
4. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики: учебник для вузов / под ред. В.А. Богословского. М.: Недра, 1990. 501 с.
5. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів : Моногр. / С. А. Вижва; Київ. "Обрії", 2004. 236 с.
6. Саломатин, В.Н., Матов, Ш.Р., Защинский, Л.А. (1991). Методические рекомендации по изучению напряженного состояния пород методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Симферополь: КИПКС, КОСНИО.
7. Malyshkov, Y. ., Malyshkov, S. . (2016). The algorithm for calculating the earth's core runs on the parameters of natural pulsed electromagnetic field of the earth. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 48(1). doi:10.1088/1755-1315/48/1/012028
8. Кузьменко, Е.Д., Багрій, С.М., Чепурний, І.В., Штогрин, М.В. (2017). Оцінка небезпеки приповерхневих деформацій гірських порід у межах Стебницького калійного родовища методом ПЕМПЗ. Геодинаміка, 1(22), 98–113.
9. Довбніч, М.М., Стовас, Г.М., Канін, В.О. (2012). Спостереження ПЕМПЗ і вертикального градієнту магнітного поля Землі на полі шахти ім. О.Ф. Засядька. Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 10, 342–348.
10. Дзьоба У. О. Ефективність застосування методу ПЕМПЗ для моніторингу стану геологічного середовища при вирішенні прикладних інженерних задач / Вісник Одеського національного університету // Том 25 № 2(37) (2020) С. 238-253. Режим доступу: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216574](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574)
11. Бессмертный, А.Ф. (2004). Комплексные геофизические исследования оползней и построение прогнозных моделей их активности (на примере Южного берега Крыма). Дис. ... канд. геол. наук: 01.04.12. Симферополь.
12. Чебан, В.Д. (2002). Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття. Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.
13. Багрій, С.М. (2016). Геофізичний моніторинг геологічного середовища в межах родовищ калійної солі (на прикладі Калуш-Голинського родовища). Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ
14. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів / Е. Д. Кузьменко, І. В. Крив'юк, Л. В. Штогрин // Геодинаміка. 2013. № 1. С. 176-187. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod\\_2013\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod_2013_1_23)
15. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами [Текст] : [монографія] / Е. Д. Кузьменко [та ін.] ; ред. Е. Д. Кузьменко ; Івано-Франківський національний ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ : [б. в.], 2009. 294 с.
16. Ковальчук С.П. Поставь свой дом правильно, (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ). – Одесса: Черноморье, 2003. – 112 с.
17. Комплексування методів електророзвідки у задачах прогнозування техногенних просідань і провалів на родовищах солі Передкарпаття / Е. Д. Кузьменко, В. Ю. Максимчук, С. М. Багрій, О. Я. Сапужак, І. В. Чепурний, С. А. Дешиця, У. О. Дзьоба // Геодинаміка, №2 2019. – 56-67.
18. Оцінка стану екологічно проблемних об'єктів Калуського гірничо-промислового району електромагнітними методами та їх моніторинг [Текст] / С. А. Дешиця, О. І. Підвірний, О. І. Романюк, Ю. В. Садовий, В. В. Коляденко, Л. Г. Савків, Ю. С. Мишишин // Наука та інновації, 2016. – № 5. – С. 47 – 59.
19. Оцінка зміни завантаженості трубопроводів на ділянках підземно-наземних переходів / Крижанівський Є.І., Кузьменко Е.Д., Тараєвський О.С., Багрій С.М. // Нафтогазова галузь України - №4/2017. – С.28-33.
20. Cherpurnyi, I., Bagriy, S., Kuzmenko, E., Cherpurna, T. Time series analysis of karst breakdown development on the potassium salt deposit areas within Precarpathian region / Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2020. 29(2), 258-268.
21. Kuzmenko E. D., Bahrii S. M., Dzioba U. O. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENDEMF) // Journal of

Geology, Geography and Geology. – Dnipro 2018 / 27 (3). – P. 466 – 477. DOI: 10.15421/111870.

22. Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting / S. Bagriy, E. Kuzmenko, U. Dzoba // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. - 2020. - Вип. 2. - С. 79-88. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU\\_geol\\_2020\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2020_2_13)

### References:

1. Adamenko, O. M. (2021). Pro mozhyvist' prohnozuvannya katastrofichnykh pavodkiv. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya, 1 (23), 7-21. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-7-21](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21)

2. Adamenko O. M. Stan dovkilliya u richkovykh dolynakh z katastrofichnymy pavodkamy. Pershyy etap ekolohichnykh doslidzhen' na Dnistrovs'komu protypavodkovomu polihoni (2012-2018 rr.): monohrafiya / O. M. Adamenko, D. O. Zorin. – Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH, 2018. – 240 s.

3. Adamenko O. M. Ekoloho-ekonomichni naslidky katastrofichnykh pavodkiv ta yikh podolannya na Dnistrovs'komu inzhenerno-ekolohichnomu polihoni (O. M. Adamenko, D. O. Zorin, M. I. Mosyuk, K. O. Radlovs'ka // Ekolohichnyy forum, 2020, №1 – S. 54-64.

4. Ohyl'vy A.A. Osnovy ynzhenernoy heofyzyky: uchebnyk dlya vuzov / pod red. V.A. Bohoslovskoho. - M.: Nedra, 1990. - 501 s.

5. Vyzhva S.A. Heofizychnyy monitorynh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv : Monohr. / S. A. Vyzhva; Kyiv. "Obriy", 2004.- 236 s.

6. Salomatyn, V.N., Mastov, SH.R., Zashchynskyy, L.A. (1991). Metodicheskye rekomendatsyy po yzuchenyyu napryazhennoho sostoyannya porod metodom rehystratsyy estestvennoho ympul'snoho élektromahnytnoho polya Zemly (EYÉMPZ). Symferopol' : KYPKS, KOSNYO.

7. Malyshkov, Y. ., Malyshkov, S. . (2016). The algorithm for calculating the earth's core runs on the parameters of natural pulsed electromagnetic field of the earth. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 48(1). doi:10.1088/1755-1315/48/1/012028

8. Kuz'menko, E.D., Bahriy, S.M., Chepurnyy, I.V., Shtohryn, M.V. (2017). Otsinka nebezpeky prypoverkhnevyykh deformatsiy hirs'kykh porid u mezhakh Stebnyts'koho kaliynoho rodovyshcha metodom PIEMPZ. Heodynamika, 1(22), 98–113.

9. Dovbnich, M.M., Stovas, H.M., Kanin, V.O. (2012). Sposterezhennya PIEMPZ i vertykal'noho hradiyentu mahnitnoho polya Zemli na poli shakhty im. O.F. Zasyad'ka. Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy, 10, 342–348.

10. Dz'oba U. O. Efektyvnist' zastosuvannya metodu PIEMPZ dlya monitorynhu stanu heolohichnoho seredovyshcha pry vyrishenni prykladnykh inzhenernykh zadach / Visnyk Odes'koho natsional'noho universytetu // Tom 25 № 2(37) (2020) S. 238-253. - Rezhym dostupu: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216574](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574)

11. Becsmertnyy, A.F. (2004). Kompleksnyy heofizycheskye yssledovannya opolzney u postroyenye prohnoznykh modeley ykh aktyvnosti (na prymerе Yuzhnoho bereha Kryma). Dys. ... kand. heol. nauk: 01.04.12. Symferopol'.

12. Cheban, V.D. (2002). Kompleks heofizychnykh metodiv prohnozuvannya zsuiv na prykladi Zakarpattya. Dys. ... kand. heol. nauk: 04.00.22. Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH.

13. Bahriy, S.M. (2016). Heofizychnyy monitorynh heolohichnoho seredovyshcha v mezhakh rodovyshch kaliynoyi soli (na prykladi Kalush-Holyns'koho rodovyshcha). Dys. ... kand. heol. nauk: 04.00.22. Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu. Ivano-Frankivs'k

14. Rozrobka metodyky prohnozuvannya zsuiv iz zastosuvannam heofizychnykh metodiv / E. D. Kuz'menko, I. V. Kryv'yuk, L. V. Shtohryn // Heodynamika. - 2013. - № 1. - S. 176-187. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod\\_2013\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod_2013_1_23)

15. Doslidzhennya zsuivnykh protsesiv heofizychnymy metodamy [Tekst] : [monohrafiya] / E. D. Kuz'menko [ta in.]; red. E. D. Kuz'menko; Ivano-Frankivs'kyy natsional'nyy un-t nafty i hazu. - Ivano-Frankivs'k : [b. v.], 2009. - 294 s.

16. Koval'chuk S.P. Postav' svoy dom pravyl'no, (praktyka heofizycheskoho metoda EYÉMPZ). – Odessa: Chernomor'e, 2003. – 112 s.

17. Kompleksuvannya metodiv elektrorozvidky u zadachakh prohnozuvannya tekhnohennykh prosidan' i provaliv na rodovyshchakh soli Peredkarpattya / E. D. Kuz'menko, V. YU. Maksymchuk, S. M. Bahriy, O. YA. Sapuzhak, I. V. Chepurnyy, S. A. Deshchytsya, U. O. Dz'oba // Heodynamika, №2 2019. – 56-67.

18. Otsinka stanu ekolohichno problemnykh ob'yektiv Kalus'koho hirnycho-promys-lovoho rayonu elektromahnitnymy metodamy ta yikh monitorynh [Tekst] / S. A. Deshchytsya, O. I. Pidvirnyy, O. I. Romanyuk, YU. V. Sadovyy, V. V. Kolyadenko, L. H. Savkiv, YU. S. Myshchyshyn // Nauka ta innovatsiyi, 2016. – No 5. – S. 47 – 59.

19. Otsinka zminy zavantazhenosti truboprovodiv na dilyankakh pidzemno-nazemnykh perekhodiv / Kryzhanivs'kyy YE.I., Kuz'menko E.D., Tarayevs'kyy O.S., Bahriy S.M. // Naftohazova haluz' Ukrainy - №4/2017. – S.28-33.

20. Chepurnyi, I., Bagriy, S., Kuzmenko, E., Chepurna, T. Time series analysis of karst breakdown development on the potassium salt

deposit areas within Precarpathian region / Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2020. 29(2), 258-268.

21. Kuzmenko E. D., Bahrii S. M., Dzioba U.O. The depth range of the Earth's natural pulse electro-magneticfield (or ENDEMF) // Journal of Geology, Geography an Geology. – Dnipro 2018 / 27 (3). – P. 466 - 477. DOI: 10.15421/111870.

22. Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting / S. Bagriy, E. Kuzmenko, U. Dzoba // Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiya. - 2020. - Vyp. 2. - S. 79-88. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU\\_geol\\_2020\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2020_2_13).

© Е. Д. Кузьменко, О. М. Мандрик,  
Р. Й. Михайлюк, 2022.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 22.04.2022.

Прийнято до публікації 27.05.2022.