

УДК 550.83

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ  
ШЕМПЗ НА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНІЙ ТЕРИТОРІЇ  
АЗОВСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ**

**Туманов В. В., Савченко О. В., Богак М. Ю., Ялпуга О. А.**  
(УкрНДМІ НАНУ, г. Донецьк, Україна)

*Рассмотрены особенности распространения вертикальной компоненты плотности потока ЕИЭМПЗ на плато перед оползнеопасным склоном.*

*Features of propagation of the natural pulsed electromagnetic Earth's field vertical component at the upland forward of landslide-hazardous slope to the east of Melekino village are considered.*

Дослідження зсувів має важливе соціальне та екологічне значення. Інженерно-геологічні дослідження екзогенних процесів на північному узбережжі Азовського моря виконувались епізодично територіальними геологічними партіями, починаючи 1970 року. У результаті цих робіт була дана інженерно-геологічна характеристика зсувної зони Бердянської затоки, з'ясовані механізм і динаміка зсувів, складено комплект карт за умовами розвитку екзогенних процесів, карта загальної ураженості масштабу 1 : 200 000 [1]. На наступному етапі проводилися повторні обстеження найбільш активних ділянок прояву екзогенних геологічних процесів для виявлення активізації і взаємозв'язку з природно-кліматичними і техногенними факторами.

Геофізичні дослідження акваторії Азовського моря і прилеглих територій почали проводитись з 1957 року методами гравіметрії та сейсмо-електророзвідки в зв'язку з дослідженням рельєфу фундаменту Азовського моря та прилеглої території, глибинної будови Азово-Чорноморського регіону, перспективності нафтогазоносності [1].

Визнаючи необхідність і користь проведення моніторингу зсувних структур на узбережжі Азовського моря слід відзначити дуже малий об'єм використання геофізичних методів, які дозволяють значно розширити коло питань і суттєво покращити їх вирішення щодо прогнозу зсувних процесів особливо у прихованій стадії підготовки зсуву та зміни в масиві гірських порід на стадії явної підготовки зсуву.

Для вивчення цих питань, а також для цілей моніторингу зсувонебезпечних територій було випробувано метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ).

Використання методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для вивчення особливостей зміни електромагнітних полів над на зсувонебезпечних територіях ґрунтується на наступних теоретичних і експериментальних даних [2-4]:

1. Електромагнітні імпульси виникають при деформації зразків мінералів, гірських порід і деяких штучних матеріалів.

2. Частотний діапазон імпульсів від одиниць до сотень кілогерц.

3. Електромагнітне випромінювання, яке спостерігається у поверхні Землі, є сумарним випромінюванням із-за деформаційних процесів, що відбуваються в Землі, атмосферних явищ і електромагнітних полів, викликаних діяльністю людини.

Однією з перших спроб вивчення тектонічної будови порідних товщ слід вважати дослідження по вивченню характеру ПЕМПЗ в Ялтинському тунелі [3]. Встановлено, що зонам тектонічних порушень відповідають мінімуми кількості електромагнітних імпульсів. Тектонічні блоки характеризуються максимумом кількості електромагнітних імпульсів.

На зсувах встановлені такі закономірності зміни ПЕМПЗ [2]:

1. Зони перем'ятих, перетертих порід характеризуються чітко вираженими мінімумами ПЕМПЗ.

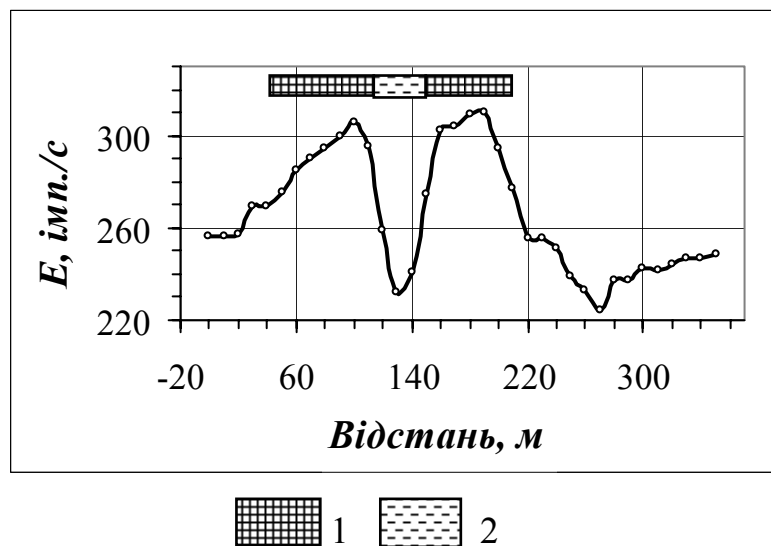
2. Напружені зони активних зсувів характеризуватимуться максимумами ПЕМПЗ. Наявність в зоні пластин, розділених подовжніми розривами і складених міцними породами, викликати-муть додаткові екстремальні сплески значень ПЕМПЗ.

3. Периферійні частини активних зсувів, що випробовують

значні зміни напруженого стану порід, характеризуються аномально високими значеннями ПЕМПЗ.

4. Якщо один з блоків знаходиться в більш напруженому стані, ніж що примикає до нього інший блок, то можлива наявність аномалії типу «ступінь».

У загальному виді області перем'ятих порід, що обводнюються, характеризуються низькими значеннями щільності потоку ПЕМПЗ, а області непорушених порід, що примикають до них, – максимальними, що свідчить про підвищений напружений стан гірського масиву (рис. 1) [4].



- 1 – підвищений напружено-деформований стан масиву;
- 2 – ущільнена, водонасичена частина масиву над тріщиною відриву

Рис. 1. Щільність потоку ПЕМПЗ на зсувобезпечному схилі

Таким чином, з приведенного огляду виходить, що за наслідками спостережень ПЕМПЗ на поверхні Землі можна не тільки виявляти тектонічні порушення, але і оцінювати різні динамічні явища, що відбуваються в товщах гірських порід, особливо на територіях розвитку зсувів. Періодична активізація зсуву сприяє коливанням напруги, виникненню підвищеної щільності, та тріщини відриву.

Основним типом зсувів північного берегу Азовського моря, де рихлі четвертинні і неогенові відклади залягають переважно горизонтально, є так звані зсуви здвигу (ковзання) [5]. Зсуви цьо-

го типу виникають внаслідок ковзання блоків ґрунту по горизонтальній, або близькій до такої, поверхні в глинистому шарі, який є основним горизонтом, що деформується [6].

За морфологічними ознаками в умовах узбережжя Азовського моря переважають фронтальні зсуви, рідше – циркоподібні [5]. Ширина зсувного блоку може коливатись від 10-15 до 30-45 м, його довжина вздовж берега може сягати 250-300 м.

Зсуви в районі с. Мелекине – м. Маріуполь належать до сучасних і за морфологічними ознаками паралельно-ступінчасті. Стінка зриву відслонює суглинки і має висоту 10-12 м. Поверхня зсуву розбита на дві або три тераси шириною до кількох десятків метрів. Тераси перетинаються тріщинами, які свідчать про те, що зсуви рухаються.

В геологічній будові Азовського узбережжя беруть участь породи четвертинного та неогенового віків, геологічний розріз характеризується горизонтально-шаруватою будовою масиву рихлих відкладів [1, 7].

Верхня частина розрізу представлена еолово-делювіальними жовто-сірими лесоподібними суглинками плейстоценового комплексу (vd Q<sub>1-3</sub>) четвертинної системи. У нижній частині – суглинки червоно-бурі до глин щільні, тріщинуваті (Q<sub>1</sub>). Загальна потужність відкладень четвертинної системи складає 25-30 м.

Нижче залягають алювіальні відкладення верхнього пліоцену (N<sub>2</sub>), які представлені чередуванням тонких сірувато-бурих глин і різнозернистих глинистих пісків. Потужність пісково-глинистих відкладень до 20 м, покрівля товщі знаходиться, в основному, на відмітках (+13 м) – (+15 м). Піски товщі повсюдно обводнені.

Пісково-глиниста товща верхнього пліоцену залягає на відкладеннях куюльницького ярусу, представлених сірими, зеленувато-сірими і темно-сірими жирними глинами. Потужність глин 8-12 м, відмітки покрівлі глин змінюються від (+ 5 м) до (мінус 6 м). Глини підстилаються тонкими-дрібнозернистими кварцевими пісками потужністю 5-20 м.

Основним горизонтом, що деформується, є сірі, зеленувато-сірі, темно-сірі жирні глини куюльницького ярусу неогену, що залягають під відкладеннями верхнього пліоцену.

Значну роль у зсувному процесі відіграють верхньопліоценовий і куяльницький водоносні горизонти [1].

Одним із визначальних факторів активізації зсувних процесів є наявність в надрах території активних тектонічних розломів.

Для дослідження закономірностей розповсюдження фізичних полів на зсувонебезпечній території була обрана ділянка на сході с. Мелекине (рис. 2). Зсувонебезпечна ділянка характерна для Азовського узбережжя за геологічною будовою, гідрогеологічними умовами і механізмом зсувного процесу. Останній цикл активізації цієї зсувонебезпечної ділянки відбувся весною 2007 року.



- 1 – експериментальна ділянка;
- 2 – схил зсувних накопичень;
- 3 – бровка обриву;
- 4 – плато

Рис. 2. Схема розташування експериментальної ділянки геофізичних досліджень біля с. Мелекине

Геофізичні дослідження методом ПЕМПЗ виконано відповідно до «Методических рекомендаций по изучению напряженного состояния горных пород методом ПЕМПЗ»[2].

В 2009 році виконувалось вимірювання вертикальної складової ПЕМПЗ, які були почати в 2008 році на підготовленій ділянці на сході смт. Мелекине Донецької області. Вимірювання виконувались як по площі досліджень так і на контрольній точці.

По заздалегідь підготовленим профілям виконано спостереження поширення природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) за допомогою дистанційного електромагнітного вимірювача напружень – приладу «Демон». Прилад забезпечує вимірювання рівня потоку вертикальної і горизонтальної складових ПЕМПЗ в частотному діапазоні 3-50 кГц з часовою вибіркою підрахунку кількості електромагнітних імпульсів від 0,1 до 10 с. На кожній точці (пікеті) виконувалось 3-5 вимірювань щільність потоку вертикальної складової ПЕМПЗ за 1 с на висоті 1 м над поверхнею Землі. Щільність точок спостережень на профілях складала 2.0-5.0 м. У 2009 році дослідження методом ПЕМПЗ виконані на 16 профілях загальною довжиною – 3187 м, кількість точок (пікетів) спостережень 1287, фізичних замірів – 3927, у 2008 році – відповідно 14 профілів довжиною 2790 м, 745 точок и 2673 замірів.

Істотне спотворення сигналу привносять як природні, так і техногенні завади. Зниження впливу завад досягалось просторовою фільтрацією даних спостережень.

Схема розташування профілів на експериментальній ділянці польових досліджень визначалася домінуючим напрямом берегової лінії по системі двох магістральних (вздовж берегової лінії) и поперечних (перпендикулярних магістральним).

Магістральний профіль ПР 1М пройдено вздовж обриву на відстані 10-25 м від бровки по азимуту  $42^{\circ}$ . Поперечні профілі пересікають ПР 1М перпендикулярно, починаючи по профілю ПР 1М з пікету 0 до пікету 100 м, через 20 м, а з пікету 100 до до пікету 320 м, через 40 м. На плані профілів пікети магістральних профілів відповідають ординаті плану, поперечних – абсцисі.

Режимні спостереження проводилися з 5 по 9 вересня 2009 р. з метою оцінки денних змін і стандартного відхилення значень ЕІЭМПЗ на одній точці. За таку точку обране пікет з умовними координатами  $x = 5$  м,  $y = -20$  м (пікет -10 м на профілі ПР 3П(-20)). Виміри виконувалися періодично через 10 - 120 хвилин при відсутності явних перешкод. У кожному циклі виконувалося 10-40 і більш вимірів з інтервалом від 1 с до 3 с вертикального компонента ПЕМПЗ при посиленні 3. По кожному циклі визначалися середнє значення і стандартне відхилення. Розглянемо

результати вимірів на конкретній точці на прикладі 5 вересня 2009 р. (рис. 3).

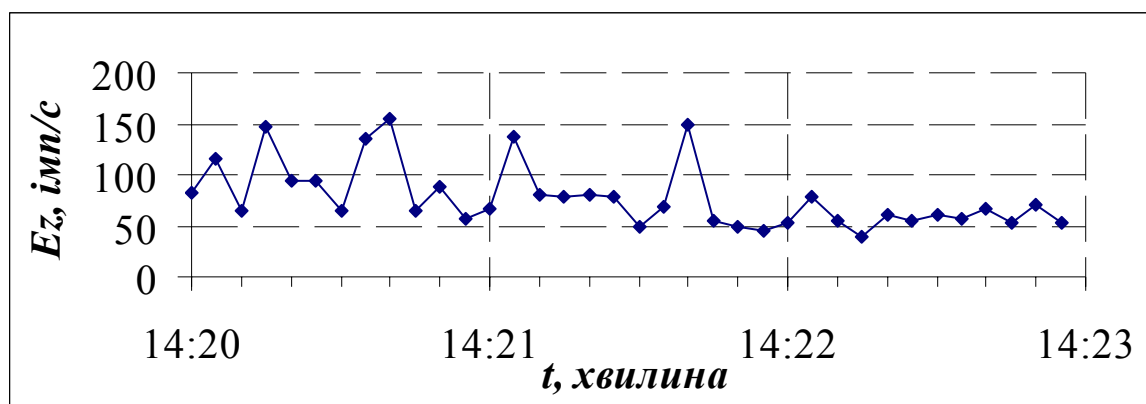


Рис. 3. Вимірювання вертикальної компоненти  $E_z$  ПЕМПЗ на контрольній точці

Протягом вимірюваних трьох хвилин виконано 36 вимірів ПЕМПЗ. Значення  $E_z$  змінюються від 39 імп/с до 154 імп/с. Фонові значення закономірно зменшуються в середньому від 80 імп/с до 60 імп/с. На інтервалі фонових значень  $E_z$  відхилення одиничних значень досягають 20-30 імп/с. Аномальні відхилення від фонових значень досягають 70 імп/с та відзначаються у 5-ти випадках (13 %) убік більш високих значень, що свідчить про стрибкоподібний прояв напруженого стану ґрунтів у момент вимірів на даному пікеті і характеризує даний пікет як з підвищеним напруженим станом ґрунтів.

Результати режимних спостережень на контрольній точці протягом п'яти доби свідчать про наступне (рис. 4).

– середнє значення  $E_z$  по всіх циклах вимірів дорівнює 45 імп/с, мінімальне 10 імп/с, максимальне 78 імп/с;

– з сьомої години ранку і до 14-15 годин дня спостерігається закономірне зростання  $E_z$  від 20-30 імп/с до 78 імп/с, а з 15 години і до 19 години - зниження  $E_z$  до 10 імп/с;

– протягом конкретного дня вимірів при фоні 40 імп/с спостерігаються одиничні сплески значень  $E_z$  до 150 імп/с;

– коефіцієнт варіації змінюється від 10 % до 90 % і зумовлено як природними процесами так техногенними поміхами.

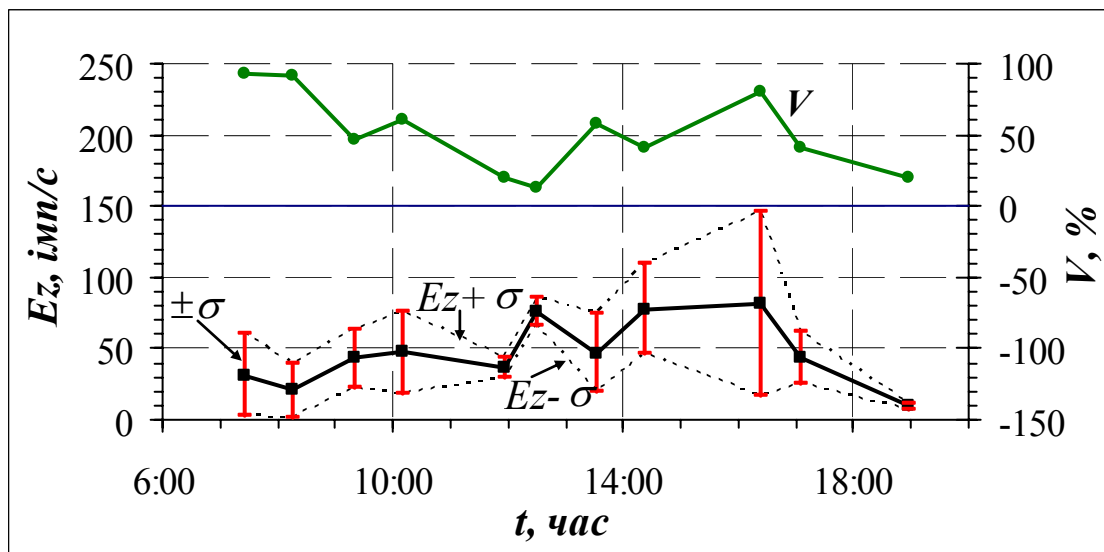


Рис. 4. Денні варіації  $E_z$  по даним спостережень впродовж п'яти днів ( $\sigma$  – стандартне відхилення,  $V$  - коефіцієнт варіації)

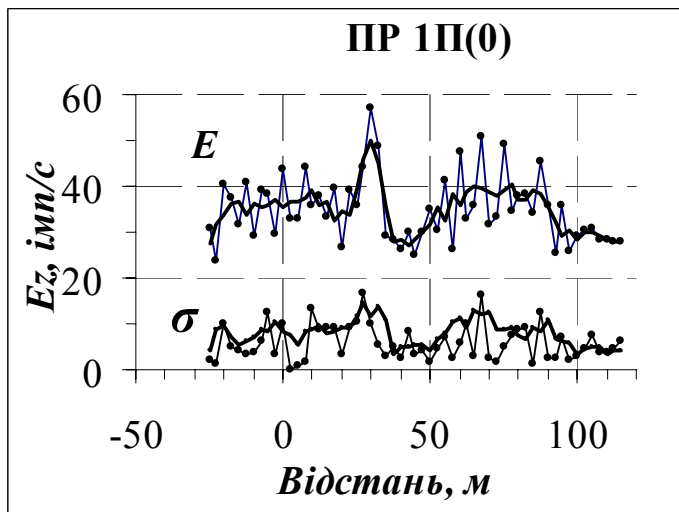
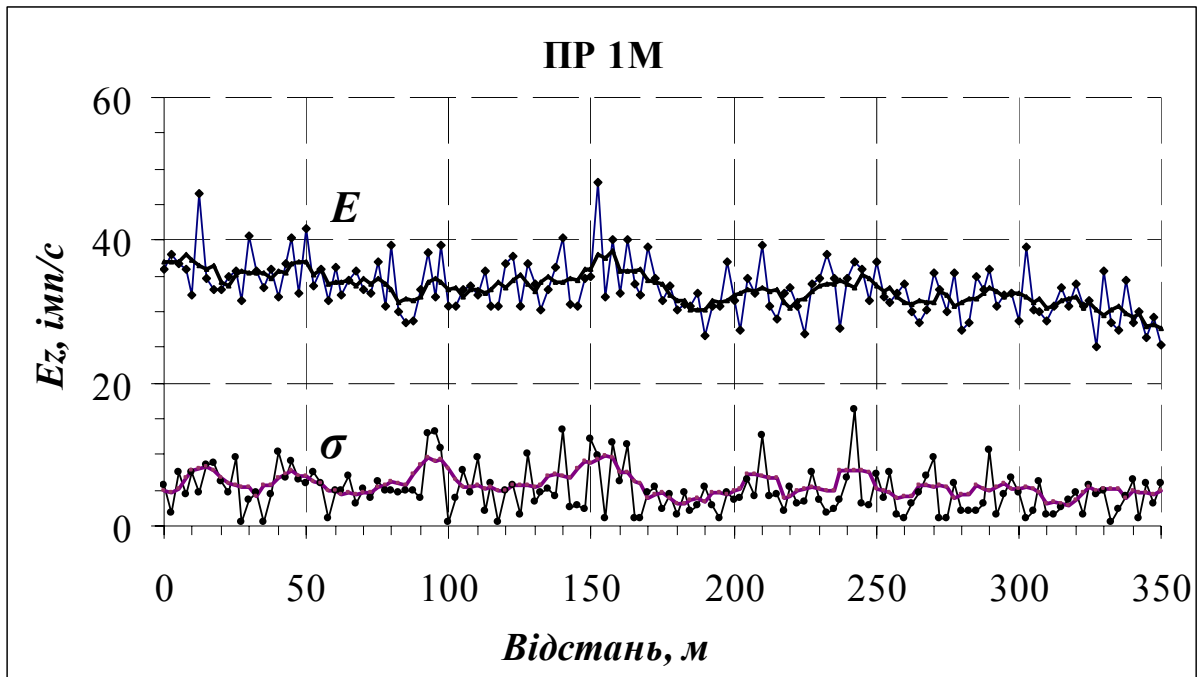
Розглянуті особливості зміни ПЕМПЗ на контрольній точці у часі свідчать про значну мінливість даного параметру й обумовлюють необхідність при проведенні площадкових досліджень приводити результати виміру на кожному профілі до єдиних умов. Як такі умови прийнято наступне: 1) при закономірному зменшенні чи збільшенні фону в межах профілю приводити до постійного фону методом обліку сповзання нуля вимірів; 2) фонові значення по всім профілям привести к одному і тому ж значенню; 3) нормувати значення  $E_z$  по кожному профілі за середнім значенням чи по стандартному відхиленню.

З обліком сказаного фонові значення  $E_z$  по кожному профілі приведені до 35 імп/с і наступним нормуванням по стандартному відхиленню.

Профільні дослідження ПЕМПЗ приводяться на приклади досліджень по магістральному профілю ПР 1М та поперечному профілю ПР 1П (рис. 5).

За результатами повторних профільних вимірів, встановлена наявність задовільної повторюваності відносних значень на графіках ПЕМПЗ уздовж профілю.

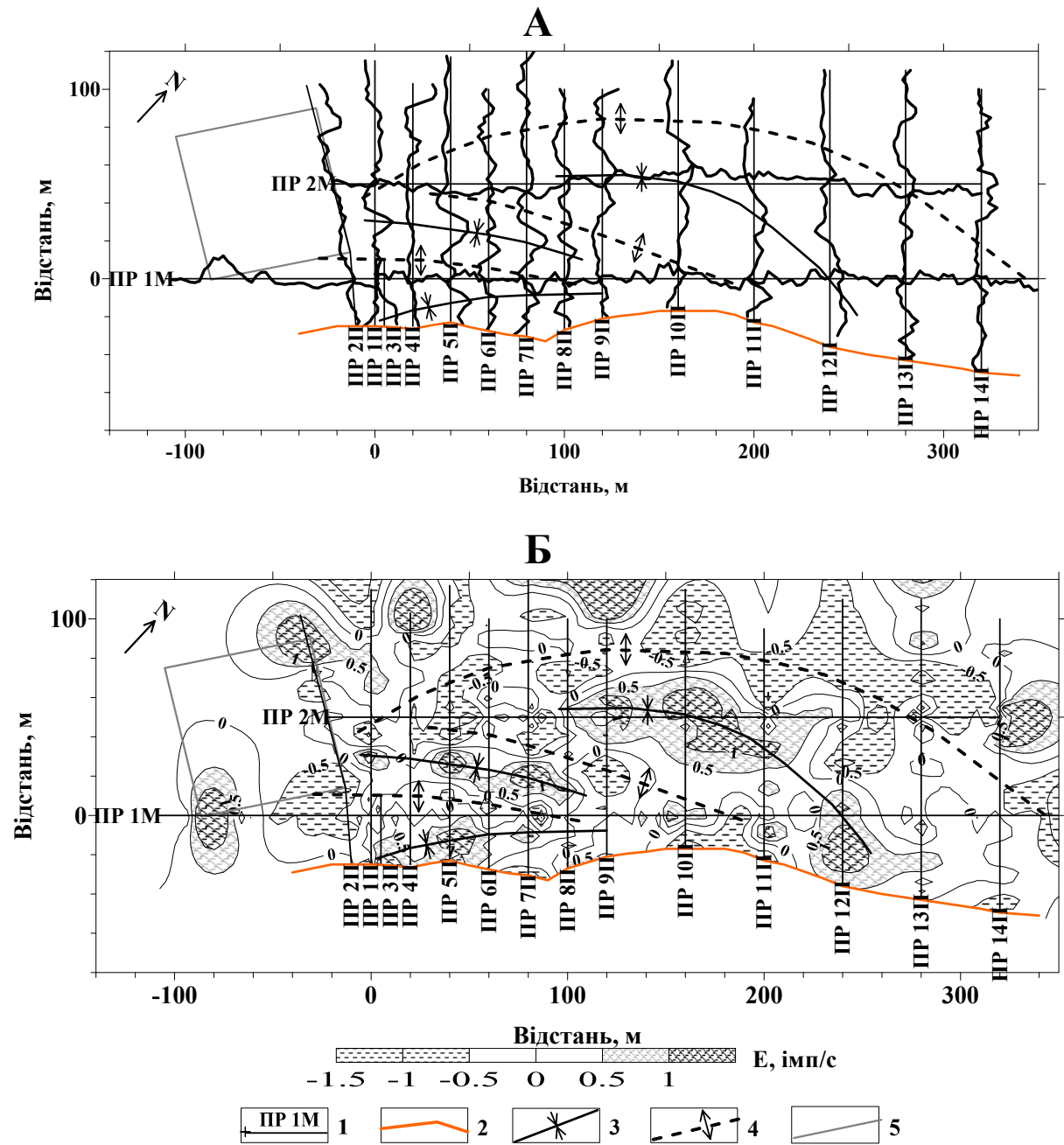




1 - фактична крива; 2 - ковзке середнє з трьох точок (пікетів)

Рис. 5. Приклад результатів досліджень вертикальної складової  $E_z$ . ПЕМПЗ 2009 р. на магістральному профілі ПР 1М та поперечному профілі ПР 1П(0)

На території розміром  $450 \times 100 \text{ м}^2$  від обриву до автодороги за станом на вересень 2009 р. за даними площадкової зйомки складено план-графіків  $E_z$  та побудована карта зміни нормованих значень  $E_z$ . (рис. 6).



1 – профілі геофізичних спостережень; 2 – бровка материкового плато; 3 – області концентрації напружень; 4 – області ослаблення масиву; 5 – контур водозбірника

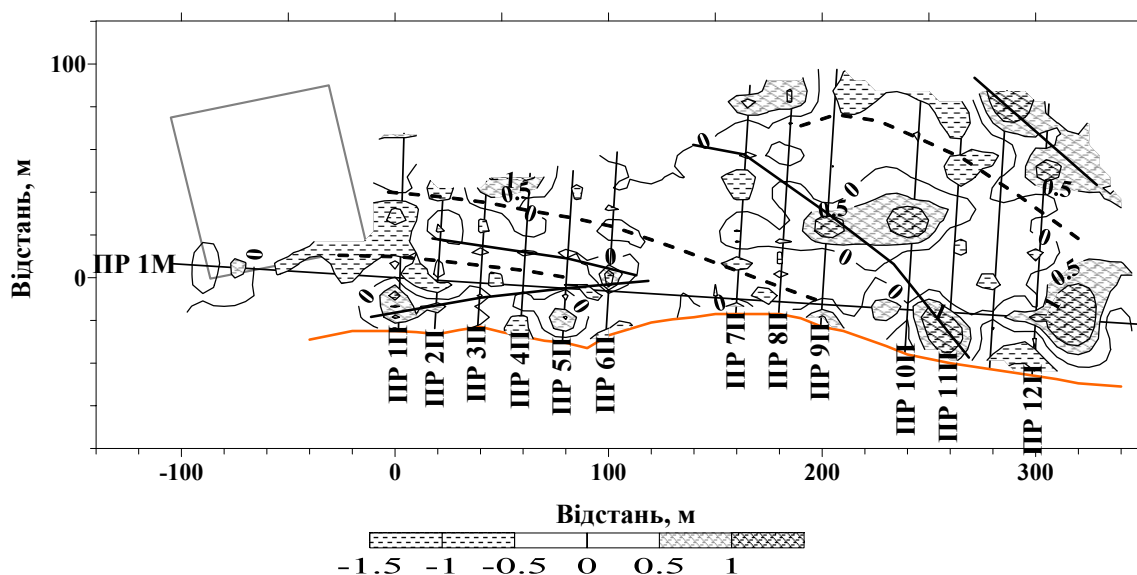
Рис. 6. План-графіки (А) та карта (Б) щільності потоку П-ЕМПЗ на зсувонебезпечній ділянці Північного узбережжя Азовського моря на північному сході смт. Мелекине (2009 р.)

На підставі кореляції по поперечним профілям екстремальних позначень ПЕМПЗ на ділянці досліджень виділені осі зон передбаченого підвищеної напруги і осі зон передбаченої щільності ґрунтів, котрі приведені на рис. 6. На карті щільності потоку ПЕМПЗ субпаралельно обриву в північно-східному напрямку просліджуються дві зони аномально підвищених значень  $E_z$ , що обумовлені підвищеним напруженим станом ґрунтів. Ширина зон складає 5-20 м, відстань між зонами 15-50 м. Перша зона розташована на відстані 5-15 м від обриву і повторює конфігурацію брівки обриву. Ще одна зона (третья більш потужна) простягається від обриву (ПК 250 ПР 1М) вглибину ділянки до ПК 100 ПР 2М.

Аномальні зони підвищених значень ПЕМПЗ вказують на наявність областей підвищеного напруженого стану ґрунтів в межах ділянки.

Ділянки аномально низьких значень  $E_z$  свідчать про наявність областей розтягуючих деформацій з підвищеною зволоженостю тріщинуватих (розущільнених) ґрунтів.

Результати досліджень методом ПЕМПЗ 2009 р. підтвердили наявність і положення зон аномально підвищеного напруженого стану ґрунтів, виявлених у 2008 році (рис. 7).



Умовні позначення див. рис. 6.

Рис. 7. Карта щільності потоку ПЕМПЗ на зсувонебезпечній ділянці по результатам досліджень 2008 р.

Положення аномальних зон підвищених значень  $E_z$  практично не змінилося, спостерігаються незначні зміщення, що ймовірно обумовлено точністю їх виділення.

### ВИВОДИ

За наслідками досліджень методом ПЕМПЗ отримана характеристика зміни вертикальної компоненти  $E_z$  протягом дня на одній точці спостережень, а також площадкові зміни даного параметру на плато зсувонебезпечної території і встановлено наступне.

1. Протягом дня значення  $E_z$  з сьомої години ранку і до 15 години зростає від 30 імп/с до 80 імп/с, потім до 17 години  $E_z$  знижується до 45 імп/с, а до 19 години подалі знижується до 10 імп/с.

2. Фонові значення  $E_z$  території досліджень складають 25-40 імп/с, аномалії знижених значень досягають 10 імп/с, підвищених – 200 імп/с і більш.

3. Виділяється дві аномальні зони ПЕМПЗ субпаралельно обриву і одна під кутом 40 градусів до них з підвищеними значеннями ПЕМПЗ, інтерпретація яких із загальних уявлень указує на наявність зон підвищеного напруженого стану ґрунтів.

4. Ділянки аномально знижених значень  $E_z$  свідчать про наявність підвищеної зволоженості і (чи) тріщинуватості ґрунтів.

5. Результати досліджень методом ПЕМПЗ 2009 р. підтвердили наявність і положення зон аномально підвищеного напруженого стану ґрунтів, виявлених у 2008 році.

Виявлені площадкові закономірності змін ПЕМПЗ дозволяють прогнозувати виникнення надалі в виявлених зонах підвищених значень  $E_z$  розвиток тріщин відриву при активізації зсувних процесів, однак для надійного прогнозу зсувних процесів необхідно проводити сезонні дослідження території методом ПЕМПЗ особливо в осінньо-весняний період активізації зсувів.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шнюков, Е.Ф. Геология Азовского моря [Текст]/ Е.Ф. Шнюков, Г.Н. Орловський, В.П. Усаченко и др. – К.: Наук. думка, 1974. – 248 с.

2. Методические рекомендации по изучению напряженного состояния горных пород методом ШЕМПЗ [Текст]. - Симферополь: ИМР, 1991. - 27 с.
3. Соломатин, В.Н. Опыт регистрации естественного импульсного электромагнитного поля при обследовании Ялтинского тоннеля [Текст] / В.Н. Соломатин // Инженерная геология. - 1963. - № 5. - С. 93-96.
4. Оптимальное решение задач техногенной безопасности геофизическими методами [Текст] / В.В. Туманов, Я.М. Юфа, А.С. Трифонов, А.И. Архипенко, Ю.А. Балакин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - № 6. - С. 75-78.
5. Антюхов, А.А. Некоторые данные о ландшафтных индикаторах оползневых подвижек на северном побережье Азовского моря [Текст] / А.А. Антюхов, Н.П. Назарова // Сб. науч. тр. ВСЕГИНГЕО. – 1973. – Вып. 58. – С. 43-51.
6. Антюхов, А.А. Значение абразии в развитии оползневых процессов на северном побережье Азовского моря [Текст] / А.А. Антюхов // Вопросы изучения и освоения Азовского моря и его побережий. – Краснодар, 1974. – С. 62-69.
7. Баранова, Н.М. До питання про геологію південного схилу Приазовського масиву [Текст] / Н.М. Баранова, В.Х. Геворкян, Р.М. Довгань, Г.Л. Кравченко // Геологічний журнал. - 1967. – Т. 27. - Вип.. 2. - С. 71-78.