

Виробничий досвід

УДК 550.83:551.435.62

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ ПРИРОДНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ У КОМПЛЕКСІ ГЕОФІЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

І.В. Крив'юк

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504761,
e-mail: gbg@nuing.edu.ua*

Узагальнено досвід застосування методу природного електричного поля (ПЕП) у комплексі геофізичних робіт при дослідженні зсувних процесів. Передумовою до використання даного методу на зсувонебезпечних ділянках є виникнення природних електричних потенціалів унаслідок фільтрації підземних вод у породах, що залягають вище поверхні ковзання. Наведено результативність методу при якісній інтерпретації та кількісній комплексній інтегрованій інтерпретації геолого-геофізичних даних. Інформативність методу ПЕП є досить високою як при площинній зйомці, так і при зйомці по окремих профілях. Це дає підстави залучати даний метод до основного комплексу геофізичних методів дослідження зсувних процесів.

Ключові слова: природні електричні потенціали, зсувні процеси, геофізичні методи, інтерпретація геофізичних даних.

Обобщен опыт применения метода естественного электрического поля (ЕП) в комплексе геофизических работ при исследовании оползневых процессов. Предпосылкой к использованию данного метода на оползнеопасных участках является возникновения естественных электрических потенциалов вследствие фильтрации подземных вод в породах, которые залегают выше поверхности скольжения. Приведена результативность метода при качественной интерпретации и количественной комплексной интегрированной интерпретации геолого-геофизических данных. Информативность метода ЕП достаточно высокая как при плоскостной съемке, так и при съемке по отдельным профилям. Это дает основания привлекать данный метод к основному комплексу геофизических методов исследования оползневых процессов.

Ключевые слова: естественные электрические потенциалы, оползневые процессы, геофизические методы, интерпретация геофизических данных.

The utilization experience of the method of natural electric field (NEF) in the complex of geophysical operations during the landslide processes study has been generalized in the article. The emergence of natural electric potentials as a result of subsurface waters filtration in the rocks overlying sliding surfaces has become the ground for this method utilization on the landslide hazard areas. The method efficiency at a qualitative interpretation and quantitative complex integrated interpretation of the geological and geophysical data has been proved. The NEF informativeness is quite high both at the plane surveying, and the individual profiles surveying. This provides grounds to add the method to the main complex of the geophysical landslide processes study methods.

Key words: natural electric potentials, landslide processes, geophysical methods, geophysical data interpretation

Вступ

Інженерна геофізика має в наявності досить широке коло методів, що успішно використовуються при дослідженні зсувонебезпечних ділянок. До таких методів відносяться сейсмометрія, зокрема кореляційний метод заломлених хвиль, гравіметрія, магнітометрія, еманційна зйомка, та методи електрометрії – вертикального електричного зондування (ВЕЗ), природного електричного поля (ПЕП), природного

імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), електропрофілювання, викликаної поляризації, зондування становленням поля в ближній зоні та георадіолокації [0-0]. Поряд з тим, останнім часом інтенсивно розвиваються порівняно нові геофізичні методи, що можуть використовуватись і для дослідження зсувних процесів – сейсмоакустичне зондування, метод становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, метод вертикального електрорезонансного зондування [0-0], резонансно-акусти-

чне профілювання [0]. Незважаючи на це, у більшості випадків використовують комплекс із 3 – 5 геофізичних методів, що в повному обсязі дає можливість детально досліджувати зсувні процеси.

Метод ПЕП відрізняється від інших геофізичних методів своєю фізичною основою. Тому він відображає ті особливості геологічного розрізу, які не виявляються взагалі чи повною мірою іншими методами. Це дає змогу розглядати метод ПЕП в якості одного з можливих методів комплексу у всіх випадках, де є передумови для його застосування. Такою передумовою у використанні даного методу при дослідженні зсувних процесів є виникнення природних електричних потенціалів унаслідок фільтрації підземних вод у породах, що залягають вище поверхні ковання. Електричні потенціали, що супроводжують фільтраційні потоки, виникають унаслідок наявності як потенціалів течії [0], так і механо-електричних перетворень, які утворюються при зміні механічної напруженості в гірських породах, що вміщують фільтраційний потік, за рахунок зміни тиску потоку [0]. Таким чином, сумарне фільтраційне електричне поле розглядається як суперпозиція поля течії U_1 та поля тиску U_2 [0]:

$$U = U_1 + U_2 = (\lambda_1 + \lambda_2) \Delta P, \quad (1)$$

де ΔP – приріст гідравлічного напору;

λ_1 і λ_2 – відповідно коефіцієнти фільтраційно- та механо-електричного перетворень.

Коефіцієнти λ_1 і λ_2 мають наступні знаки: λ_1 – від'ємний у зонах інфільтрації та додатний у зонах ексфільтрації (по шляху фільтрації потенціал зростає); λ_2 – завжди додатний. Тому фільтраційні потоки в зонах інфільтрації супроводжуються від'ємним потенціалом електричного поля, а в зонах ексфільтрації або близько від них – додатним потенціалом. Ці потенціали можуть досягати, в залежності від інтенсивності фільтраційного потоку, перших десятків мілівольт.

Методом ПЕП, як правило, вирішують дві задачі при дослідженні зсувних процесів: 1) оконтурення порід різного літологічного складу або структури; 2) визначення зон інфільтрації поверхневих вод і атмосферних опадів, а також зон ексфільтрації підземних вод. При режимних спостереженнях даним методом вивчаються гідрогеологічні особливості розвитку зсувів [0].

Слід також зазначити, що працівниками Західно-Української геофізичної розвідувальної експедиції проведені спеціальні дослідження [0], основним завданням яких було вивчення аномальної добової динаміки локального геоелектричного поля (АДДЛГП) [0] на ділянках активних зсувів. Одним із методів, що використовувався для вивчення ефекту АДДЛГП, був метод ПЕП. Проте дані дослідження мали фрагментарний характер (були проведені тільки на двох зсувних ділянках).

Незважаючи на наявність значної кількості публікацій, у яких вказується про можливість використання методу ПЕП при дослідженні

зсувних процесів [0-0, 0, 0, 0-0], результативність та приклади інтерпретації даних зазначеного методу, на думку автора, висвітлено в недостатній мірі.

На сьогоднішній день, в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу накопичено значну кількість фактичного матеріалу по дослідженню зсувних процесів комплексом геофізичних методів (понад 50 зсувонебезпечних ділянок). На більшості з ділянок метод ПЕП входив до основного комплексу геофізичних методів досліджень. Так, в працях [0, 0] запропоновано в якості основного комплексу використовувати наступні методи: ВЕЗ, ПЕП та ПЕМПЗ. Тому метою даної статті є узагальнити накопичений досвід використання методу ПЕП при дослідженні зсувних процесів та навести його результативність як при якісній інтерпретації, так і при кількісній комплексній інтегрованій інтерпретації геофізичних даних.

Результативність методу ПЕП при якісній інтерпретації геофізичних даних

Якісна методика інтерпретації геофізичних даних полягає у складанні результативних карт окремо по кожному методу досліджень та подальше їх співставлення на описовому візуальному рівні з метою підтвердження виявлених аномалій за різними методами. При цьому, аномалії повинні фізично узгоджуватись із зсувонебезпечкою [0].

В даному підрозділі представлені результати геофізичних дослідження на двох зсувонебезпечних ділянках, характерною особливістю яких є те, що через кожен з них проходять магистральні газопроводи.

Лінійна частина магістрального газопроводу в межах Сторожинецької ділянки. Ділянка досліджень знаходилась у районі потічка Глинниця біля села Глинниця Сторожинецького району Чернівецької області, через яку проходить лінійна частина магістрального газопроводу.

Геофізичні дослідження виконано комплексом методів ВЕЗ, ПЕП та ПЕМПЗ по окремих профілях.

Зйомка природних електричних потенціалів проводилась по двох взаємно перпендикулярних профілях по падінню схилу (профіль №1) та впоперек схилу (профіль №2) методом потенціалу. Результати інтерпретації даних методом ПЕП наведено на рис. 1.

Виразним є графік по профілю №1 (рис. 1 а), який відображає зміну потенціалу по падінню схилу (початок профілю знаходився в нижній частині схилу). Чергування аномалій додатного знаку з мінімумами відповідає типовій картині розвитку деляпсивного зсуву, тобто зсуву, який розвивається знизу вгору. Аномалії фіксують наявність тріщин заколу та зон деформацій. Зсув є активним і складається з чотирьох зсувних сходинок (блоків). Границі сходинок I встановлено за наявними тріщинами заколу, а сходинок II-IV – за результатами інтерпретації

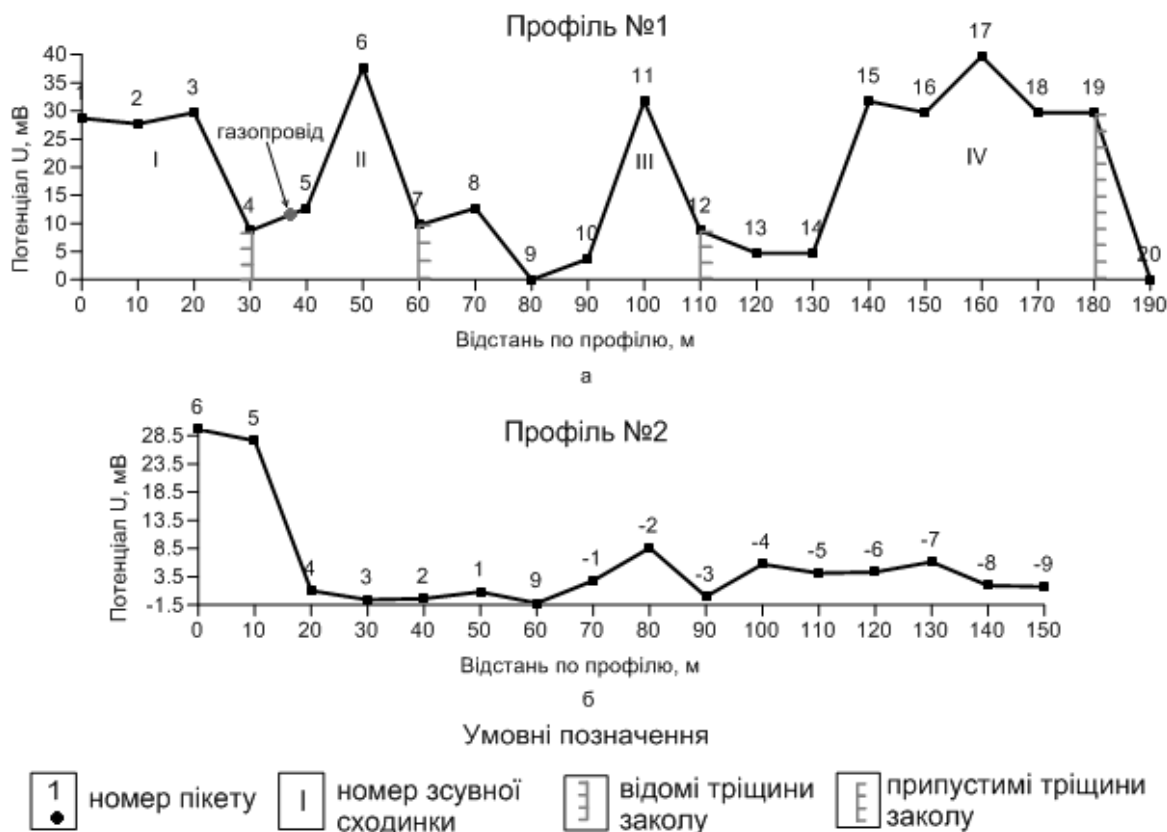


Рисунок 1 – Результати інтерпретації даних методу природного електричного поля

даних методу ПЕП. Газопровід знаходиться між першою та другою сходинокками. Графік на рис. 1, б свідчить про незначну диференціацію схилу по інтенсивності фільтрації підземних вод – виразних підземних фільтраційних потоків (“підземних річок”) немає.

Визначення місця розташування припустимих тріщин заколу, а, отже, і границь зсувних сходинок, що явно не візуалізувались на денній поверхні, проводилося наступним чином. На значення природних потенціалів, що реєструються методом ПЕП, впливає як наявність підповерхневих вод, так і напружений стан гірських порід, причому цей вплив має наступний характер. Зсувна сходинокка відображає у формі схилу структурну одиницю – зсувний блок, який є відносно самостійним зсувом. У межах кожної сходинокки, якщо розглядати схил зверху вниз, є зона розвантаження (розущільнення) порід, що виникла в результаті розриву суцільності середовища (тріщини заколу). Нижче ділянки розвантаження відбувається поступове зростання напружень, пов’язане з накопиченням стримувальних сил, аж до розвантаження на наступних сходинокках. Таким чином, в межах зсувного схилу виділяються декілька зон, кожна з яких має ділянки розвантаження та накопичення напружень [0]. Дану закономірність розподілу механічних напружень на зсувному схилі часто використовують при інтерпретації даних ПЕМПЗ [0].

Отже, в зонах, де є інфільтрація підповерхневих вод і немає напруженого стану порід,

значення природних потенціалів менші, ніж значення там, де є ексфільтрація води і напружений стан. Оскільки, в місцях тріщин заколу відбувається інфільтрація підповерхневих вод (стік води по тріщинах) і немає напруженого стану порід, то і значення природних потенціалів повинні бути найменші. Нижче по схилу від тріщини відбувається накопичення підповерхневих вод та зростає напружений стан порід. На графіку зміни природних потенціалів це явище відображається в вигляді піків функції. Згідно з досвідом, місця тріщин заколу відповідають ділянкам початку зростання значень потенціалу (погляд вниз по схилу).

З метою оконтурення зсувного тіла в просторі, на карту коефіцієнта анізотропії χ , одержану в результаті інтерпретації даних методу ПЕМПЗ, нанесено аномальні зони, визначені за методами ПЕП та ПЕМПЗ (рис. 2). Аномальними зонами для методу ПЕП взято половини додатних піків на графіках зміни природного електричного потенціалу U по профілях, а для методу ПЕМПЗ – половини від’ємних піків на графіках зміни коефіцієнта анізотропії χ по профілях. Більшість аномалій узгоджуються між собою і попадають в аномальну зону з підвищеною зсувонебезпекою, оконтурену ізолінією 0.47. Дану зону, з деякими поправками, і слід вважати зоною зсуву.

За результатами інтерпретації даних методу ВЕЗ побудовано геологічний розріз по профілю №1. На даний розріз нанесено ймовірні поверхні ковзання, враховуючи сходинокковий

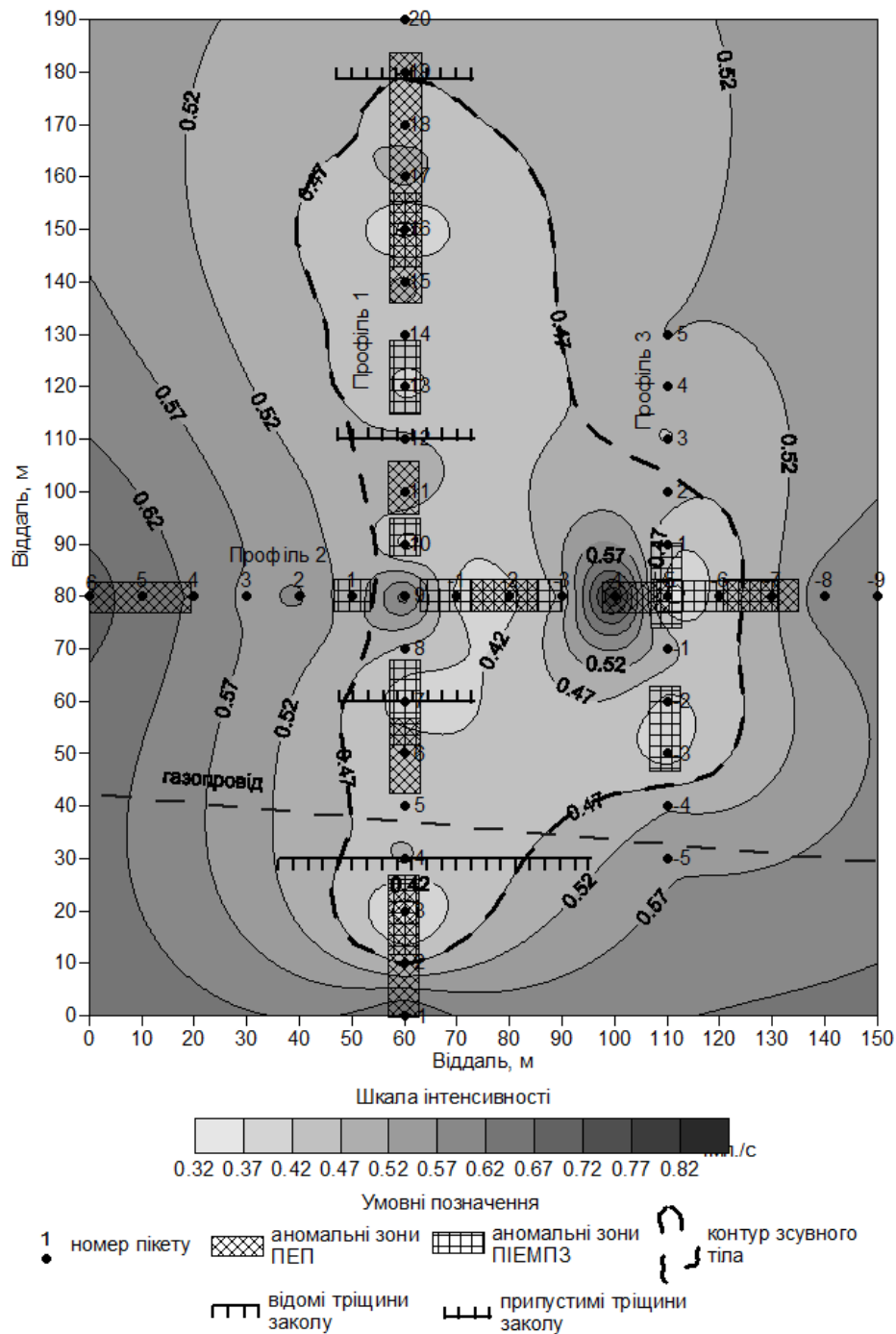


Рисунок 2 – Карта комплексної якісної інтерпретації даних геофізичних досліджень

характер розвитку досліджуваного зсуву. Для кожної із ймовірних поверхонь ковзання розраховано коефіцієнт стійкості схилу [0].

Таким чином, завдяки проведенню досліджень методом ПЕП на даній ділянці вдалось вирішити наступні задачі: 1) уточнити контури зсувного тіла; 2) встановити межі припустимих зсувних сходинок, що, в свою чергу, дало змогу розглянути декілька варіантів положення поверхні ковзання та розрахувати коефіцієнт стійкості по кожному з них.

Ділянка на 4443.3 км газопроводу “Прогрес”. Ділянка досліджень знаходилась за селом Ілемня Рожнятівського району Івано-Франківської області. Зсув на даній ділянці відбувся

у 2007 р. Ширина зсувного тіла у вершині зсуву складала 35 м, висота головного уступу (стілки відриву) – біля 15 м. Зсув перейшов у селевий потік. У стінці відриву на глибині біля 2 м оголився газопровід “Прогрес”, вище якого на відстанях відповідно 13 і 37 м розташовані газопроводи “УПУ” та “КС-Долина”. Нитки газопроводів затримали подальший розвиток зсуву вверх по схилу.

З метою визначення небезпеки подальшого розвитку зсуву та можливості пошкодження (розриву) газопроводів, виконано геофізичні роботи методами електрометрії (ВЕЗ, ПЕП та ПІЕМПЗ).

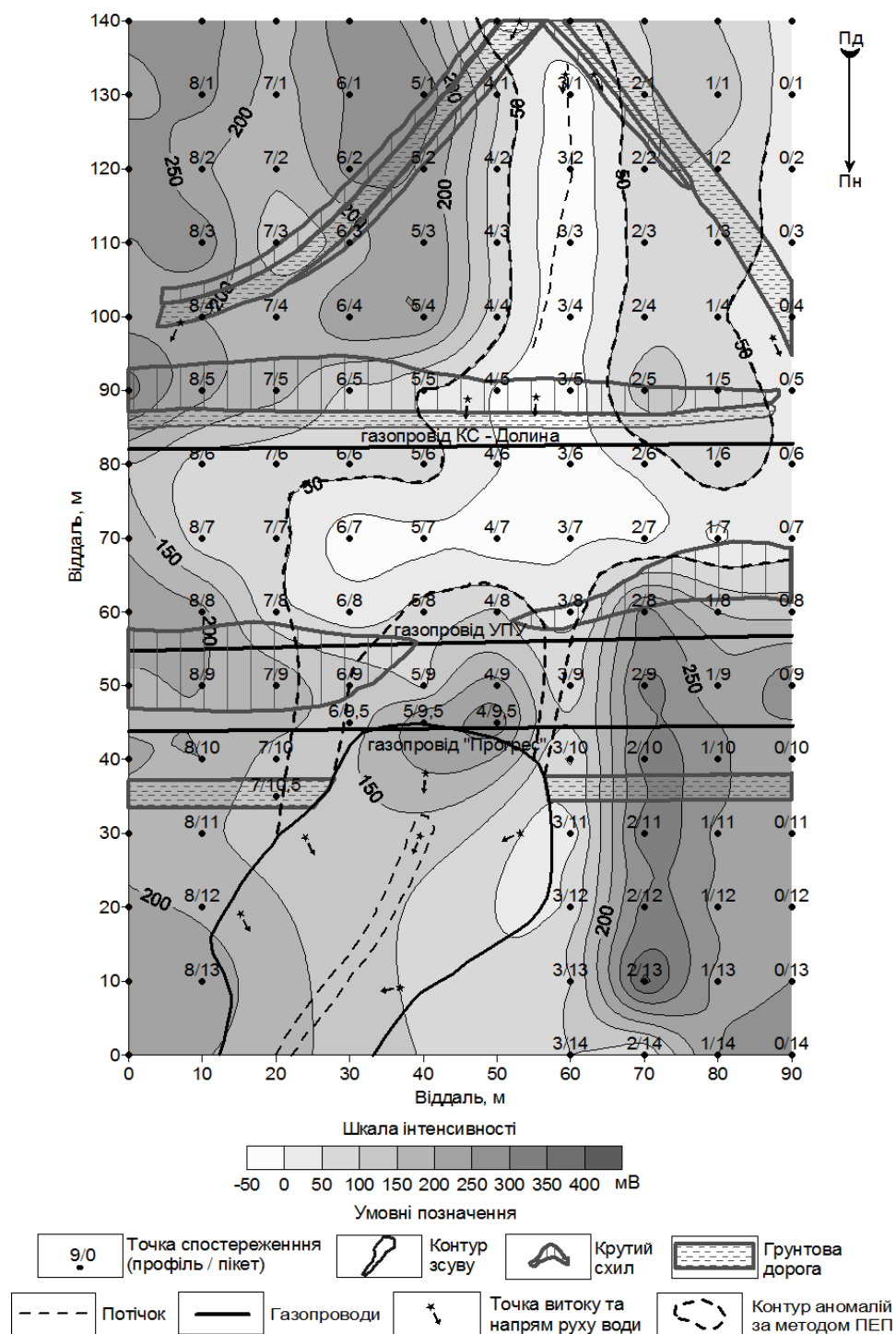


Рисунок 3 – Карта розподілу природного електричного поля

Дослідження методом ПЕП виконано на всій ділянці з кроком 10×10 м. У результаті інтерпретації даних одержано карту розподілу природних потенціалів (рис. 3). Аналіз карти наступний. Збільшення значень потенціалу в нижній частині відповідає збільшенню інтенсивності фільтрації та тенденції до розвантаження підземних вод або ексфільтрації. Дана зона співпадає з ділянкою, на якій постійно відбувається витік води, і проходить по третьому профілю від пікету 1 до пікету 7 включно. Між двома газопроводами дана аномалія розширю-

ється від другого профілю до шостого і далі двома рукавами впирається у стінку зсуву (точки 6/9.5-7/9.5, а також 3/9-3/10-3/11). Дещо меншою за розмірами й значенням (до 50 мВ) виділяється аномалія на правій стороні обриву (після зсуву) між 11 та 12 пікетами 3-го профілю.

За методом ВЕЗ виділено аномалії по схилу по лінях пікетів 3, 5, 7, 8, що відповідають давньому руслу водного потоку та відображають потужності руслових утворень (рис. 4). Аномалія ПЕП у цьому місці свідчить про інтенсивну фільтрацію води по руслу, а в межах

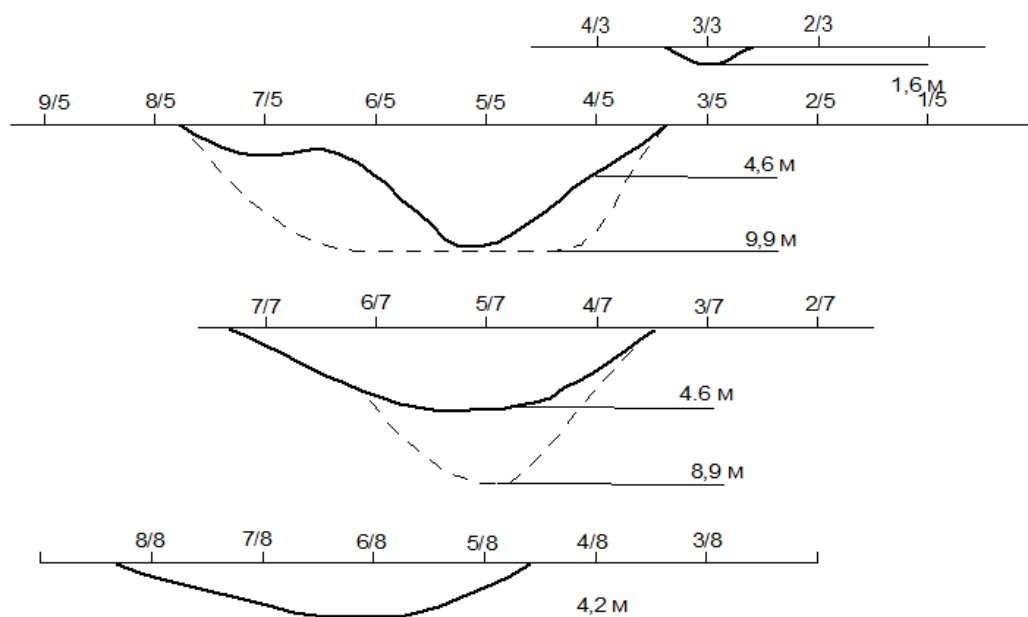


Рисунок 4 – Зміна глибини русла водного потоку по лініях пікетів 3, 5, 7, 8, 11 (за даними ВЕЗ)

усіх трьох газопроводів – про накопичення води, змочування порід і подальшу фільтрацію двома підземними руслами, які утворюють потічок у котловині існуючого зсуву. Давнє русло водного потоку продовжується під усіма газопроводами і обривається стінкою зсуву, що вже відбувся. Аномалії ШЕМПЗ, що знаходяться між газопроводами, співпадають з аномалією ПЕП та свідчать про напружений стан гірських порід, що може призвести до подальшої активізації зсуву.

Таким чином, основною причиною зсуву є порушення природного відтоку ґрунтових і атмосферних вод зі схилу.

Для запобігання подальшого розвитку зсуву, на ділянці досліджень виконано наступні протизсувні заходи: 1) для перехоплення води та зменшення зволоження порід, пробурено чотири нахилені свердловини по падінню схилу із закладкою перфорованих пластмасових труб (прокладка дренажних труб здійснювалась на глибину, максимально наближену до глибини сповзання зсуву); 2) для зменшення потужності зсувних порід знято частини ґрунту між газопроводами КС “Долина” та “Прогрес” і шестими та дев’ятьма профілями.

З метою контролю ефективності вжитих протизсувних заходів, на зазначеній ділянці виконано повторні геофізичні дослідження. Значні аномалії, що виявлені за методами ПЕП та ШЕМПЗ свого підтвердження не знайшли (зокрема, за даними методу ПЕП встановлено відсутність значних фільтраційних потоків, що й спричинило появу зсуву). Цьому посприяло розвантаження колектора підземних вод нахиленими свердловинами. Зони низького опору порід, виявлені за методом ВЕЗ, пов’язуються з літологічною особливістю ділянки. Таким чином, на момент проведення повторних геофізичних досліджень, зсув на ділянці стабілізувався.

Результативність методу ПЕП при кількісній комплексній інтегрованій інтерпретації геолого-геофізичних даних

Кількісна комплексна інтегрована інтерпретація геолого-геофізичних даних, з розрахунком функції комплексного показника (ФКП) та критерію ймовірності розвитку зсувів, дає можливість оцінити зсувну небезпеку на кількісному ймовірнісному рівні [0, 0, 0].

Розрахунок ФКП здійснюється на основі ефективних параметрів, одержаних за даними комплексу методів геолого-геофізичних досліджень. Ефективними називають такі параметри, що безпосередньо відображають зсувонебезпеку збільшенням чи зменшенням своєї числової величини. Для методу ПЕП таким ефективним параметром є абсолютні залишкові значення природних потенціалів $|\Delta U_{\text{зал}}|$, при чому чим більше значення $|\Delta U_{\text{зал}}|$, тим більша зсувонебезпека.

Принцип визначення ефективного параметра $|\Delta U_{\text{зал}}|$ полягає в наступному. Перш за все необхідно вилучити з даних зйомки природних електричних потенціалів регіональні фонові аномалії, що зумовлені рельєфом та пов’язані зі збільшенням гео- та гідростатичного тиску вниз по схилу, таким чином виділивши локальні аномалії, що безпосередньо несуть інформацію про особливості схилових процесів: напружено-деформований стан гірських порід та відхилення від регіональної (схилової) інтенсивності фільтрації. Для цього слід розрахувати залишкові аномалії для кожної точки зйомки $\Delta U_{\text{зал}}$ по кожній ізогіпсі денної поверхні:

$$\Delta U_{\text{зал}} = \Delta U_i - \Delta U_{\text{сеп}}, \quad (2)$$

де ΔU_i – значення потенціалу в i -й точці;

$\Delta U_{\text{сеп}}$ – середнє значення потенціалу для даної ізогіпси в i -й точці.

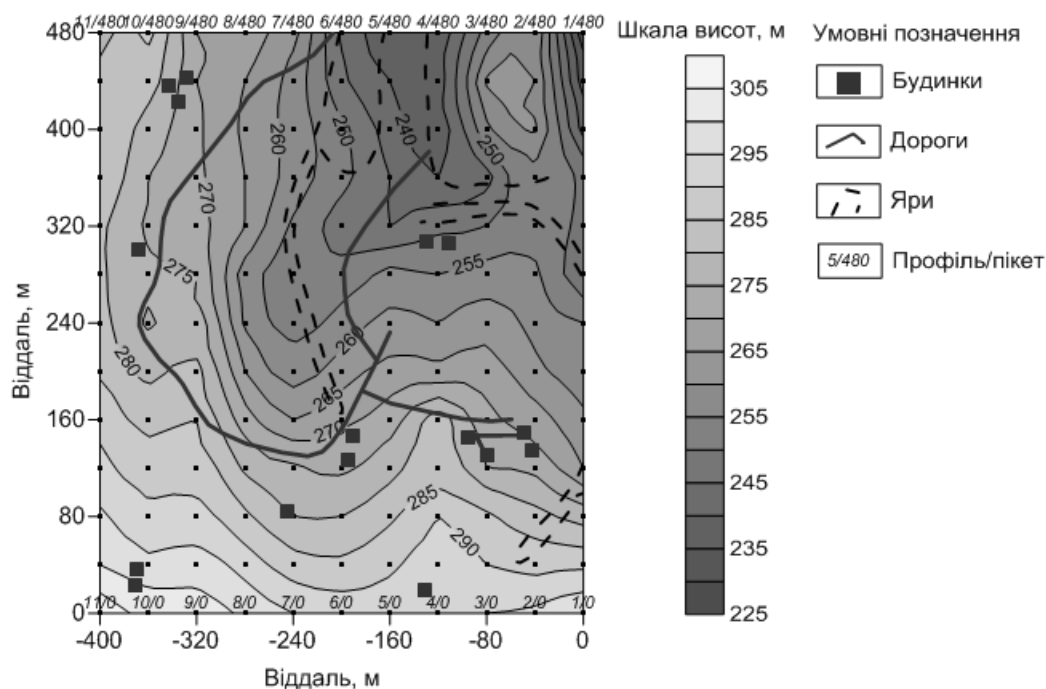


Рисунок 5 – Карта рельєфу ділянки Топчино-1

Оскільки кожна із залишкових локальних аномалій (як додатна, так і від’ємна) узгоджується із зсувною небезпечкою, то при комплексній інтерпретації їх слід ураховувати з однаковим знаком, тобто по абсолютній величині.

Для визначення інформативності задіяних методів при кількісній комплексній інтегрованій інтерпретації геолого-геофізичних даних необхідно обчислити внесок кожного методу у формування ФКП. Для цього достатньо визначити коефіцієнти парної кореляції ФКП із кожним ефективним параметром та пронормувати ці коефіцієнти таким чином, щоб сума їх складала 100%. Процедура нормування передбачає знаходження суми всіх коефіцієнтів парної кореляції, ділення кожного коефіцієнту на цю суму (тобто приведення суми до одиниці, що дорівнює 100%) та відображення його у відсотках. Так, внесок методу ПЕП у формування ФКП в середньому складає 17%, що є досить суттєвим, якщо враховувати, що до розрахунку ФКП переважно залучають 6 ефективних параметрів [0].

Розглянемо результативність методу ПЕП при комплексній кількісній інтегрованій інтерпретації геолого-геофізичних даних на прикладі зсувонебезпечної ділянки Топчино-1.

Ділянка Топчино-1. В адміністративному відношенні ділянка досліджень Топчино-1 знаходиться в Тячівському районі Закарпатської області. В геоструктурному плані ділянка розташована в межах Солотвинської западини Закарпатського внутрішнього прогину, який характеризується двоярусною будовою і фундамент складений дислокованими товщами нерозчленованого мезозою і палеогену. Покриває ці відклади комплекс неогену, який розчленований на ряд свит. Рельєф ділянки є горбистий з крутими схилами (15°-30°) і ярами. Абсолют-

ні відмітки денної поверхні становлять 240 – 300 м (рис. 5).

Геофізичні дослідження проведені методами ВЕЗ, ПЕП та ПЕМПЗ по 11 профілях довжиною 480 м, відстань між якими була 40 м. Крок спостережень для методу ВЕЗ – 40 м, ПЕП – 20 м, ПЕМПЗ – 10 м. При комплексній інтерпретації геофізичні дані приводились до однієї сітки 20×20 м.

За результатами методу ПЕП побудовано карту розподілу природного електричного поля ΔU (рис. 6, а), яка в подальшому трансформована в карту ефективного параметра – абсолютних залишкових значень природних потенціалів $|\Delta U_{\text{зал}}|$ (рис. 6, б). Аналізуючи дані карти, слід зазначити наступне. На карті розподілу ΔU чітко виділяється одна значна зона інфільтрації між профілями 2 та 3 (пікети 120-400) та три незначні зони по профілях 6 (пікети 240-320) та 9 (пікети 200-280 та 320-400). ΔU в даних зонах змінюється від -10 до -25 мВ. На карті розподілу $|\Delta U_{\text{зал}}|$ зазначені аномальні зони збереглися, що свідчить про те, що вони не зумовлені рельєфом ділянки, а приурочені до зон напружено-деформованого стану гірських порід. Крім того, виділяється значна аномальна зона по профілю 7 (пікети 120-240), $|\Delta U_{\text{зал}}|$ для якої більше 20 мВ.

Для комплексної інтерпретації та розрахунку ФКП залучено наступні параметри: за даними ПЕП – абсолютні залишкові значення природних потенціалів $|\Delta U_{\text{зал}}|$; за даними ВЕЗ – потужність зсувної товщі h , еквівалентний опір зсувної товщі $\rho_{\text{екв}}$ та опір підстелених порід $\rho_{\text{під}}$; за даними ПЕМПЗ – коефіцієнт анізотропії χ . Також залучено ще один ефективний параметр – функцію густини імовірності зсувів $f(\alpha)$, яка розрахована для кривої закону розподілу кількості зсувів за кутами нахилу денної поверхні

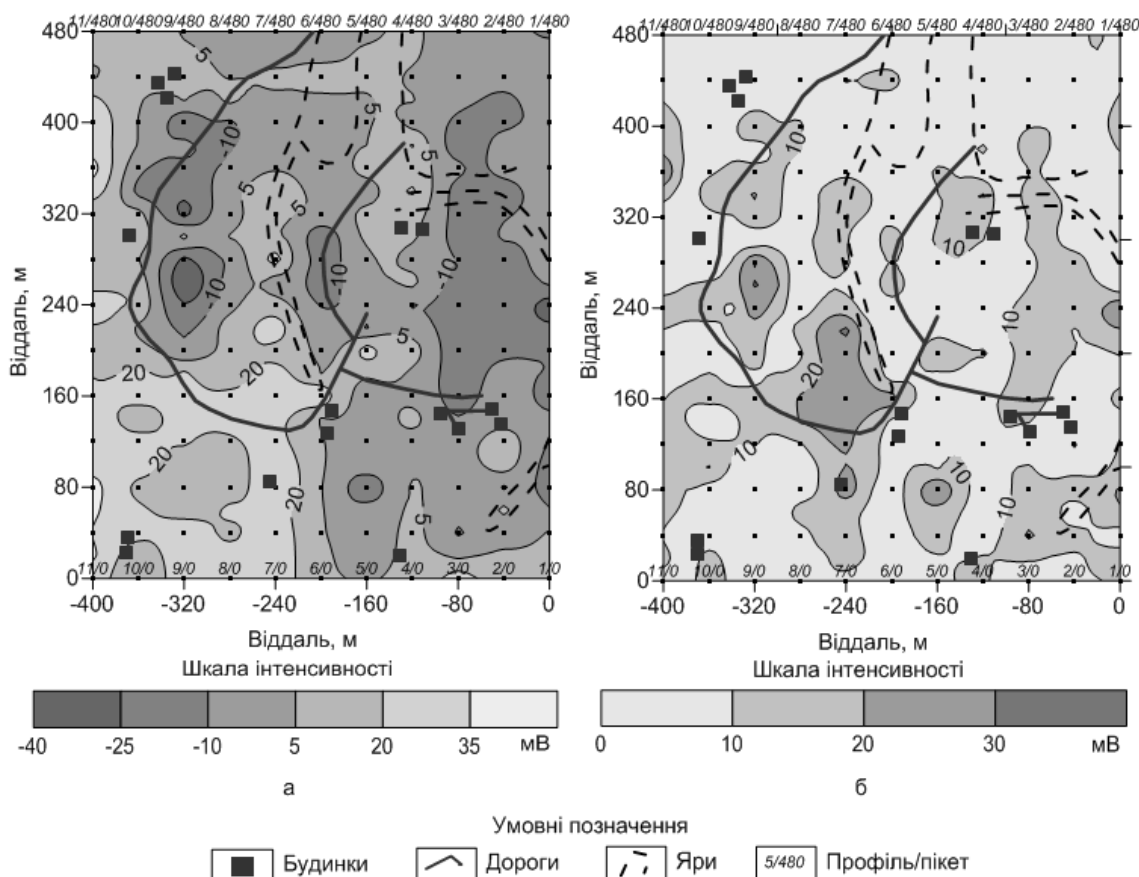


Рисунок 6 – Карти розподілу природного електричного поля (а) та абсолютних залишкових значень природних потенціалів (б)

для Закарпатського регіону при кутах $\alpha=15-40^\circ$. В ці межі попадає і ділянка Топчино-1.

Внесок кожного ефективного параметра у формування ФКП наведено в табл. 1. Отже, найбільш визначальними у формуванні ФКП є метод ПЕП, дещо менший внесок дали ефективні параметри методу ВЕЗ. Метод ПЕМПЗ та функція густини імовірності зсувів були найменш інформативними.

Таблиця 1 – Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП

	ФКП	Внесок, %
$ \Delta U_{зал} $	0,61	22,02
h	-0,54	19,49
$\rho_{екв}$	-0,49	17,69
$\rho_{нід}$	0,52	18,77
χ	-0,34	12,27
$f(\alpha)$	0,27	9,75

Розглянемо результати трансформації ФКП (рис. 7, а) у ймовірнісний критерій зсувонебезпеки (рис. 7, б). На карті критерію ймовірності розвитку зсувів чітко виділяються 4 значні аномальні зони із підвищеною зсувонебезпекою.

Аномалія № 1 дуже велика за розмірами (займає площу приблизно 11200 м^2) і знаходиться між профілями 7 та 9 (пікети 120-280).

Потужність зсувних порід h складає біля 9 м. Рівень критерію зсувонебезпеки P високий і дорівнює 0.9. Аномалію зумовили всі ефективні параметри, задіяні до інтерпретації: високі значення $|\Delta U_{зал}|$ (від 10 до 30 мВ) та h , низькі значення $\rho_{екв}$, $\rho_{нід}$ (менше 20 Ом·м) та χ (менше 0.8), а також значення $f(\alpha)$ 0.2-0.6, що відповідають кутам нахилу до 24° .

Аномалія № 2 складається з трьох частин, розташована між профілями 1 та 5 (пікети 40-200) та займає загальну площу приблизно 3000 м^2 . Потужність зсувних порід $h=9 \text{ м}$. Максимальний рівень зсувонебезпеки $P=0.9$. Дана аномалія зумовлена високими значеннями h та $|\Delta U_{зал}|$ (до 15 мВ), низькими значеннями $\rho_{екв}$ (приблизно 20 Ом·м).

Аномалія № 3 розташована між 4 та 5 профілями (пікети 280-360) і має максимальний рівень зсувонебезпеки $P=0.7$, на формування якого вплинули велика потужність зсувних мас ($h=9 \text{ м}$) та високі значення $|\Delta U_{зал}|$ (до 15 мВ), низькі опори (15-20 Ом·м) і коефіцієнт анізотропії χ (біля 0.8). Площа аномалії приблизно складає 3200 м^2 .

Аномалія № 4 знаходиться у нижній частині схилу між профілями 3 та 4 (пікети 400-480) та займає площу приблизно 3200 м^2 . $P=0.9$, $h=6 \text{ м}$. Зумовлена високими значеннями $f(\alpha)$ – 0.3-0.5, що відповідають кутам нахилу $16-24^\circ$, низькими значеннями опорів (приблизно 20-30 Ом·м) та коефіцієнта анізотропії χ (біля 0.8).

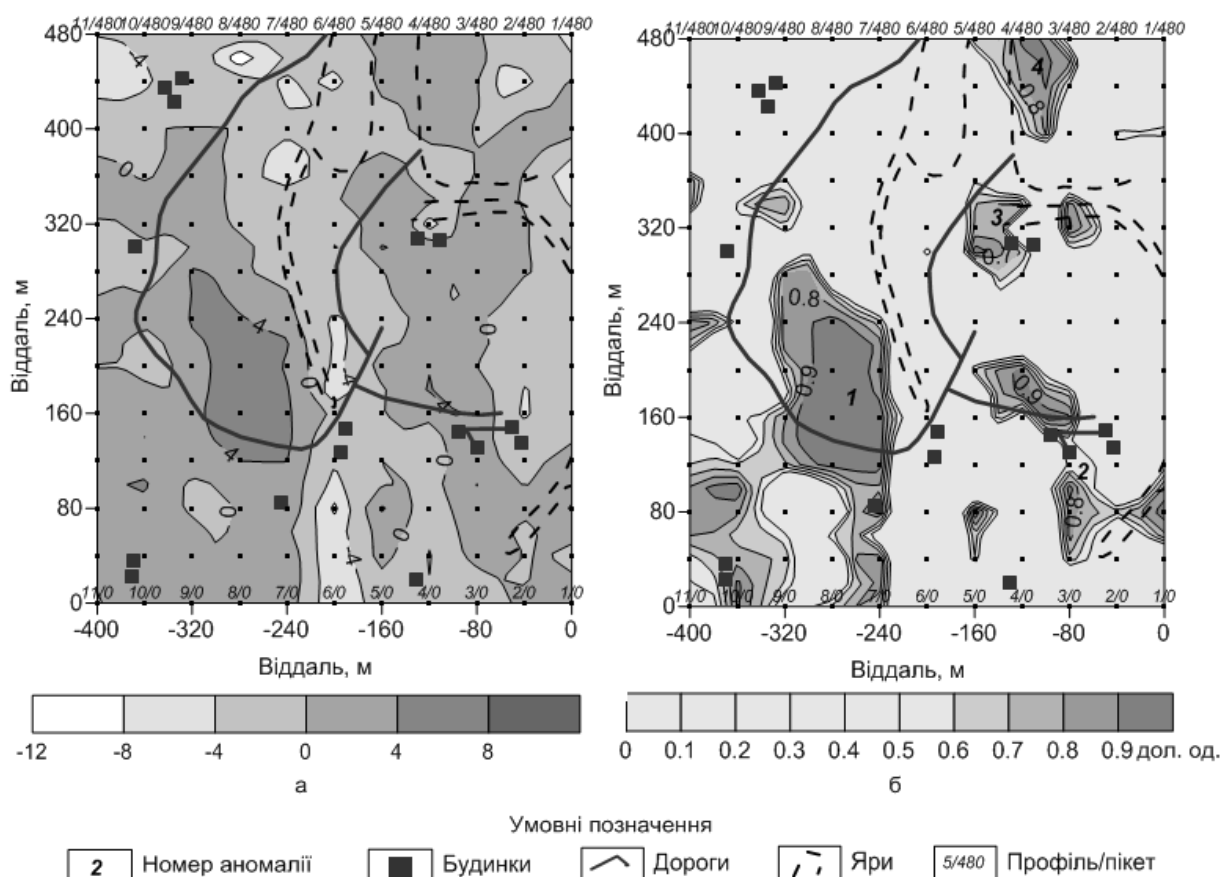


Рисунок 7 – Карти функції комплексного показника (а) та критерію ймовірності розвитку зсувів (б)

Усі наявні аномалії досить значні за рівнем зсувної небезпеки та становлять значну загрозу довколишнім спорудам та дорогам. Існує висока ймовірність розвитку зсувних процесів на дослідженій ділянці за несприятливих умов.

Висновки

Хоча в даній статті наведені приклади успішного використання методу природного електричного поля у комплексі геофізичних робіт для трьох зсувонебезпечних ділянок, насправді таких прикладів є значно більше. Це свідчить про доцільність залучення до основного комплексу геофізичних методів дослідження зсувів методу ПЕП.

При якісній інтерпретації геофізичних даних, аномалії природних електричних потенціалів, у більшості випадків, повністю узгоджуються із аномаліями, виявленими за даними інших методів, що дає змогу детальніше оконтурити зсувне тіло у просторі. Також за даними методу ПЕП можна встановити межі зсувних сходинок, якщо розвиток зсуву має сходиноковий характер, що, в свою чергу, дає можливість уточнити положення ймовірних поверхонь ковзання та розрахувати коефіцієнт стійкості по кожній із них.

При кількісній комплексній інтегрованій інтерпретації геофізичних даних доцільно використовувати не безпосередньо значення природних потенціалів, а ефективний параметр –

абсолютні залишкові значення природних потенціалів. Інформативність даного параметру є досить суттєвою і в середньому складає 17%. Так, для ділянки Топчино-1, метод ПЕП вніс значний вклад у формування трьох із чотирьох виявлених аномальних зон із високим рівнем зсувної небезпеки.

В подальшому, доцільно продовжити вивчення аномальної добової динаміки локального геоелектричного поля на ділянках активних зсувів.

Література

- 1 Изучение оползней геофизическими методами / [Н.Н. Горяинов, А.Н. Боголюбов, Н.М. Варламов и др.]. – М.: Недра, 1987. – 157 с.
- 2 Чебан В.Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття: дис. канд. геол. наук: 04.00.22. / Чебан Василь Дмитрович. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. – 183 с.
- 3 Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: монографія / Е.Д. Кузьменко, А.Ф. Безсмертний, О.П. Вдовина, І.В. Крив'юк, В.Д. Чебан, Л.В. Штогрин; за ред. Е.Д. Кузьменка. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
- 4 Слепак З.М. Геофизика для города / З.М. Слепак. – Тверь: Издательство ГЕРС, 2007. – 240 с.

- 5 Екологогеофізичний комплекс обстеження зон небезпечних проявів екзогенних та техногенних процесів, пов'язаних зі зсувами та проривами у міських та промислових агломераціях / М.А. Якимчук, С.П. Левашов, І.М. Корчагін, Ю.М. Піщаний // Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: II Міжнар. наук. конф., Київ, 8-10 жовтня 2001 р.: тези доп. – К., 2001. – С. 63-64.
- 6 Технологія картування зсувних ділянок та зон підвищеного обводнення ґрунтів комплексом геофізичних методів / В.П. Боковой, С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін // Геоінформатика. – 2002. – № 4. – С. 31-34.
- 7 О возможности картирования оползневых участков и зон повышенного обводнения ґрунтов геоэлектрическими и сейсмоакустическими методами / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаний // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 30-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского: Москва, 27-31 января 2003 г.: Ч.1. – М.: ОИФЗ РАН, 2003. – С. 71-72.
- 8 Метод електрорезонансного зондування та його можливості при проведенні комплексних геолого-геофізичних досліджень / С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін, Ю.М. Піщаний // Геоінформатика. – 2003. – № 1. – С. 15-20.
- 9 Левашов С. П. Обследование оползнеопасных участков мобильными геоэлектрическими методами / С. П. Левашов, Н. А. Якимчук, И. Н. Корчагин // Геодинамика. – 2011. – № 2 (11). – С. 161-163.
- 10 Зуйков И.В. Метод резонансно-акустического профилирования / И.В. Зуйков // Проблемы геологии и освоения недр: труды X-й Международного симпозиума студ., аспирант. и молодых учёных. – Томск, 2006. – С. 34-37.
- 11 Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля / А.С. Семенов. – М.: Недра. 1980. – 446 с.
- 12 О геомеханической природе потенциалов электрического поля в земной коре / В.В. Иванов, Б.Г. Тарасов, Э.Д. Кузьменко, Н.В. Гордийчук // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1991. – № 3. – С. 101-104.
- 13 Комплексні геофізичні дослідження по оцінці безпеки розвитку екзогенних геологічних процесів та моніторингу зсувонебезпечних ділянок в Закарпатті: Звіт про НДР / [Р.П. Манзик, Д.Н. Лящук, Е.Д. Кузьменко та ін.]. – Львів: Фонди ЗУГРЕ, 2008.
- 14 Баласанян С.Ю. Применение методов динамической геофизики для выявления современной активности тектонических нарушений / С.Ю. Баласанян, В.Ж. Довжинов // Геофизические исследования в гидрогеологии, инженерной геологии. – Ташкент, 1991. – С. 62-64.
- 15 Крив'юк І.В. Визначення зсувної небезпеки локального рівня з використанням геофізичних методів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня. к. геол. наук: спец. 04.00.05 "Геологічна інформатика" / Крив'юк Ігор Васильович: КНУ імені Т. Шевченка. – К., 2012. – 19 с.
- 16 Кузьменко Е. Д. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів / Е. Д. Кузьменко, І. В. Крив'юк, Л. В. Штогрин // Геодинаміка. – 2013. – № 1 (14). – С. 176-187.
- 17 Электроразведка: Справочник геофизика: в двух книгах / Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. Книга вторая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 378 с.
- 18 Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга вторая: Региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика. Учебное пособие. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека "Дубна", 1999. – 184 с.
- 19 Кобрунов А.И. Параметризация в математических моделях геологических сред при решении обратных задач / А.И. Кобрунов // Геофизический журнал АН Украины. – К., 2001 – №5. – С. 3-12.
- 20 Ковальчук С.П. Поставь свой дом правильно (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ) / С.П. Ковальчук. – Одесса: Черноморье, 2003, – 112 с.
- 21 Крив'юк І.В. Особливості геофізичних досліджень при визначенні стійкості зсувонебезпечних схилів на ділянках газопроводів / І.В. Крив'юк // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія. – 2009. – Вип. 46 – С. 29-36.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
07.03.14*

*Рекомендована до друку
професором Кузьменком Е.Д.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. фіз.-мат. наук Ревою М.В.
(Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, м. Київ)*