

## НОРМУВАННЯ ПОЛЯ ФУНКЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЗА РЕЖИМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНКАХ

**І.В. Крив'юк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ 76000, Україна, e-mail: i\_krivjuk@mail.ru*

Специфіка функції комплексного показника (ФКП) полягає в тому, що його середнє значення на ділянці досліджень завжди дорівнює нулю. Тому зміна значень ФКП у якійсь частині ділянки (поява нової аномалії) призводить до зміни значень у іншій. Отже, даних для об'єктивного зіставлення комплексу методів дослідження зсувних процесів, виконаних у різний час, немає. Для усунення цього недоліку запропоновано методичний прийом нормування поля ФКП зведенням його до однакових фонових значень, що дає змогу об'єктивно порівнювати рівень аномалій стосовно фону. Остаточні результати нормування поля ФКП подано у вигляді карт критерію ймовірності розвитку зсувів для кожного етапу.

**Ключові слова:** зсувні процеси, геофізичні дослідження, функція комплексного показника, критерій ймовірності розвитку зсувів, режимні спостереження.

**Вступ.** Доцільність використання функції комплексного показника (ФКП) для просторового прогнозування зсувної небезпеки на локальному рівні підтверджується багатьма прикладами. Так, з використанням інтегрального способу розрахунку ФКП зсувонебезпечних факторів досліджено значну кількість зсувних і зсувонебезпечних ділянок як на забудованих територіях, так і в межах прокладення магістральних трубопроводів на територіях Івано-Франківської, Чернівецької, Закарпатської, Одеської, Харківської областей і Південного берега Криму [2, 5, 6, 10].

Розрахунок ФКП полягає в обчисленні за значеннями ефективних параметрів (одержують з вимірянних геофізичних, геодезичних і геологічних даних певними перетвореннями) контрастності аномалії сигналу, нормуванні їх за середньоквадратичним відхиленням та подальшому знаходженні їх сум з урахуванням додатної або від'ємної дії ефективних параметрів над аномальним об'єктом [1, 2, 9, 11]. До розрахунку ФКП слід залучати дані, як мінімум, трьох геофізичних методів досліджень зсувних процесів. З огляду на інформативність та витрати на проведення польових робіт оптимальним вважається такий комплекс геофізичних методів: вертикального електричного зондування (ВЕЗ), природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) і природного електричного поля (ПЕП).

На основі ФКП будують карти критерію ймовірності розвитку зсувів (КЙРЗ), що дає можливість здійснювати просторовий прогноз на ймовірнісному кількісному рівні. Для часового прогнозування зсувонебезпеки слід проводити режимні спостереження, що є необхідною складовою виконання моніторингових робіт.

**Постановка завдання.** Донедавна висновки щодо зміни зсувонебезпеки в часі за режимних спостережень робили на основі аналізу карт КЙРЗ, побудованих для кожного етапу робіт [2]. Проте детальний аналіз властивостей ФКП показав, що для об'єктивного зіставлення комплексу методів, виконаних у різний час, даних немає. Це зумовлено таким.

1. Під час розвитку зсувних процесів змінюються фізичні властивості порід зсувної товщі, що, в свою чергу, відображується у зміні геофізичних полів. Отже, зафіксовані на першому етапі досліджень аномалії можуть у подальшому змінювати як свої контури, так і місцезположення, також можлива поява нових аномалій [7].
2. Середнє значення ФКП на ділянці завжди дорівнює нулю, тому зміна ФКП на якійсь частині ділянки (поява нової аномалії) зумовлює змінення значень у іншій.

Для усунення цього недоліку запропоновано методичний прийом нормування поля ФКП зведенням його до однакових фонових значень.

**Мета статті** – на прикладі зсувонебезпечної ділянки Вільхівці-1 описати процедуру нормування ФКП за режимних спостережень і навести її результативність.

**Характеристика ділянки і результати геофізичних досліджень.** В адміністративному відношенні ділянка Вільхівці-1 знаходиться в Тячівському районі Закарпатської області в 20 км від м. Тячів. У тектонічному відношенні район входить до центральної зони соляно-купольних структур Солотвинської западини Закарпатського внутрішнього прогину, який характеризується двоюрисною будовою. Фундамент складений дислокованими тов-

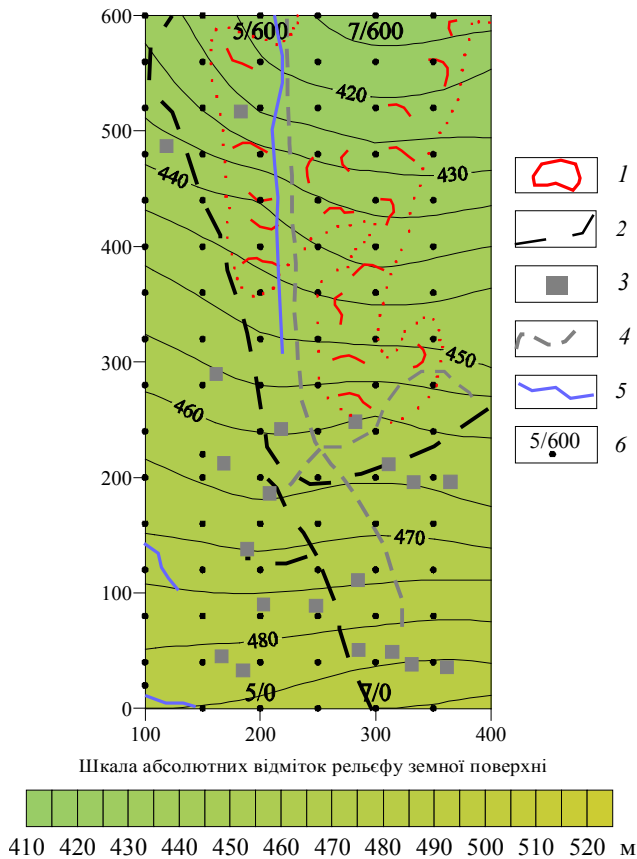


Рис. 1. Ділянка Вільхівці-1. Ситуація та розташування геофізичних профілів: 1 – зсуви, яри; 2 – лінії ЛЕП; 3 – будинки; 4 – дороги; 5 – річка; 6 – номер профілю/номер пікету

щами нерозчленованого мезозою і палеогену. Покриває ці відклади комплекс неогену, розчленований на світі [4].

Рельєф ділянки Вільхівці-1 пологий, кути нахилу змінюються від 4° до 8°, лише в нижній частині (ПК 400–500) він горбистий з кутами нахилу від 12° до 28°. Характерною рисою є те, що більша частина ділянки (ПК 200–600) уражена зсувними процесами. Абсолютні відмітки земної поверхні становлять 415–490 м (рис. 1).

Польові роботи проводили трьома геофізичними методами (ВЕЗ, ПЕП та ПІЕМПЗ) в три етапи (I – листопад 2003 р., II – травень 2005 р., III – червень 2007 р.) по профілях, відстань між якими дорівнювала 50 м, з різним кроком спостережень (табл. 1). Оскільки для кожного з методів

досліджень застосовували різну сітку спостережень, для комплексної інтегрованої інтерпретації брали дані щодо спільних точок польових робіт, а саме: з 3-го по 9-й профіль (ПК 0–600). Дані інтерполювали та екстраполювали на регулярну сітку з кроком 20×20 м.

Для комплексної інтегральної інтерпретації задіяно такі ефективні параметри: функція ймовірності зсувів залежно від кута нахилу земної поверхні  $f(\alpha)$ ; абсолютні залишкові значення природних потенціалів  $|\Delta U_{\text{зал}}|$ ; коефіцієнт анізотропії електромагнітного поля  $\chi$  за даними ПІЕМПЗ; потужність потенційно зсувної товщі  $h$ ; еквівалентний опір потенційно зсувної товщі  $\rho_{\text{екв}}$ ; опір підстельних порід, що мають за покрівлю поверхню ковзання  $\rho_{\text{під}}$  (рис. 2). Ці параметри визначали у такий спосіб.

Функція ймовірності зсувів залежно від кута нахилу земної поверхні  $f(\alpha)$  розрахована для кривої закону розподілу кількості зсувів за кутами нахилу земної поверхні Закарпатського регіону, що визначений на основі аналізу гістограм такого розподілу для всіх зсувів, які наведено у відповідних кадастрах для окремих територій [3].

Потенціали природного електричного поля добре корелюють із зонами напрямків фільтрації підземних вод. Для врахування поправки за рельєф розраховували залишкові аномалії по кожній ізогісі рельєфу. Кожна із залишкових аномалій є свідченням зсувної небезпеки: додатна – в зонах ексфільтрації, від’ємна – в зонах інфільтрації підземних вод. Тому для врахування цих двох факторів брали до уваги залишкові значення за абсолютною величиною  $|\Delta U_{\text{зал}}|$ .

Інтенсивність імпульсного електромагнітного випромінювання порід пов’язана зі зміною напруженого стану середовища і розвитком деформацій (зон тріщинуватості). Отже, за допомогою методу ПІЕМПЗ можна оконтурювати зсувонебезпечні об’єкти. Значення вимірів кількості імпульсів за 1 с для різних напрямків антени варіюють у широкому діапазоні від одиниць до тисяч імпульсів за секунду, до комплексної інтерпретації взято коефіцієнт анізотропії  $\chi$ , який обчислено як відношення значень кількості надходження імпульсів електромагнітного поля за орієнтації антени поперек падіння схилу до значень

Таблиця 1. Дані щодо сітки спостережень геофізичними методами

| Метод  | Етап | Кількість профілів (їх номер) | Довжина профілю, м | Крок спостережень, м |
|--------|------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| ВЕЗ    | I    | 5 (№ 3–7)                     | 800 (ПК -200–600)  | 40                   |
|        | II   | 7 (№ 2–8)                     | 600 (ПК 0–600)     | 40                   |
|        | III  | 7 (№ 3–9)                     | 600 (ПК 0–600)     | 50                   |
| ПЕП    | I    | 7 (№ 3–9)                     | 800 (ПК -200–600)  | 20                   |
|        | II   | 7 (№ 3–9)                     | 600 (ПК 0–600)     | 20                   |
|        | III  | 7 (№ 3–9)                     | 600 (ПК 0–600)     | 20                   |
| ПІЕМПЗ | I    | 6 (№ 3–8)                     | 600 (ПК 0–600)     | 10                   |
|        | II   | 6 (№ 3–8)                     | 600 (ПК 0–600)     | 10                   |
|        | III  | 7 (№ 3–9)                     | 600 (ПК 0–600)     | 10                   |

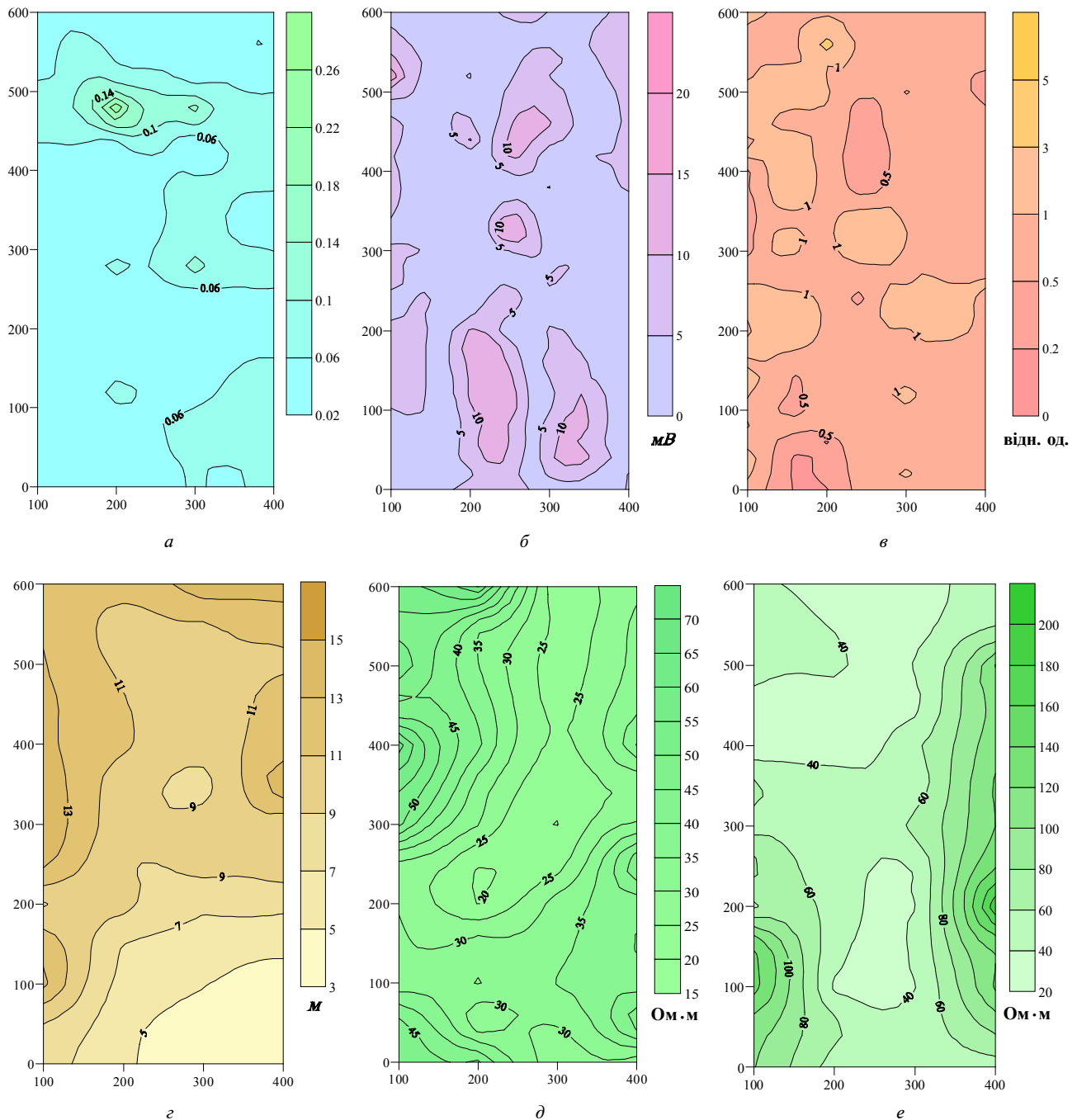


Рис. 2. Карти ефективних параметрів для ділянка Вільхівці-1, етап III (червень 2007 р.): а -  $f(\alpha)$ ; б -  $|\Delta U_{\text{зал}}|$ ; в -  $\chi$ ; г -  $h$ ; д -  $\rho_{\text{екв}}$ ; е -  $\rho_{\text{під}}$

кількості імпульсів за падінням схилу. Чим менша величина  $\chi$ , тим більшою є зсувонебезпека. Низькі значення коефіцієнта анізотропії змінювались від 0,2 до 0,8.

З метою простеження глибини залягання можливої поверхні ковзання зсувних порід, а також визначення параметрів  $h$ ,  $\rho_{\text{екв}}$  і  $\rho_{\text{під}}$  для трьох етапів досліджень будували геоелектричні розрізи масштабу 1 : 1000, приклад одного з яких показано на рис. 3. Візуальний аналіз розрізів свідчить про явно виражені три горизонти. Поверхня ковзання проходить по підшві 1-го низькоомного горизонту, середня глибина залягання цієї поверхні 8,8 м. Еквівалентний опір 1-го горизонту змінюється від 18,5 до 91,4 і в середньому становить 40 Ом·м.

Опір 2-го (підстельного високоомного) горизонту змінюється від 43,5 до 234, у середньому становить 105,8 Ом·м. У процесі подальшої комплексної інтерпретації його опір вважали опором підстельних порід. Середній опір 3-го горизонту дорівнює 57, і змінюється від 28,7 до 162 Ом·м.

Згідно з результатами попередньої статистичної обробки, нормальному закону розподілу підпорядковані потужність потенційно зсувних порід та величина природних електричних потенціалів. Еквівалентний опір потенційно зсувних порід, опір підстельних порід і коефіцієнт анізотропії підпорядковані логнормальному закону або його різновидам. Оскільки теорія розрахунку ФКП ґрунтується на підпорядкуванні задіяних

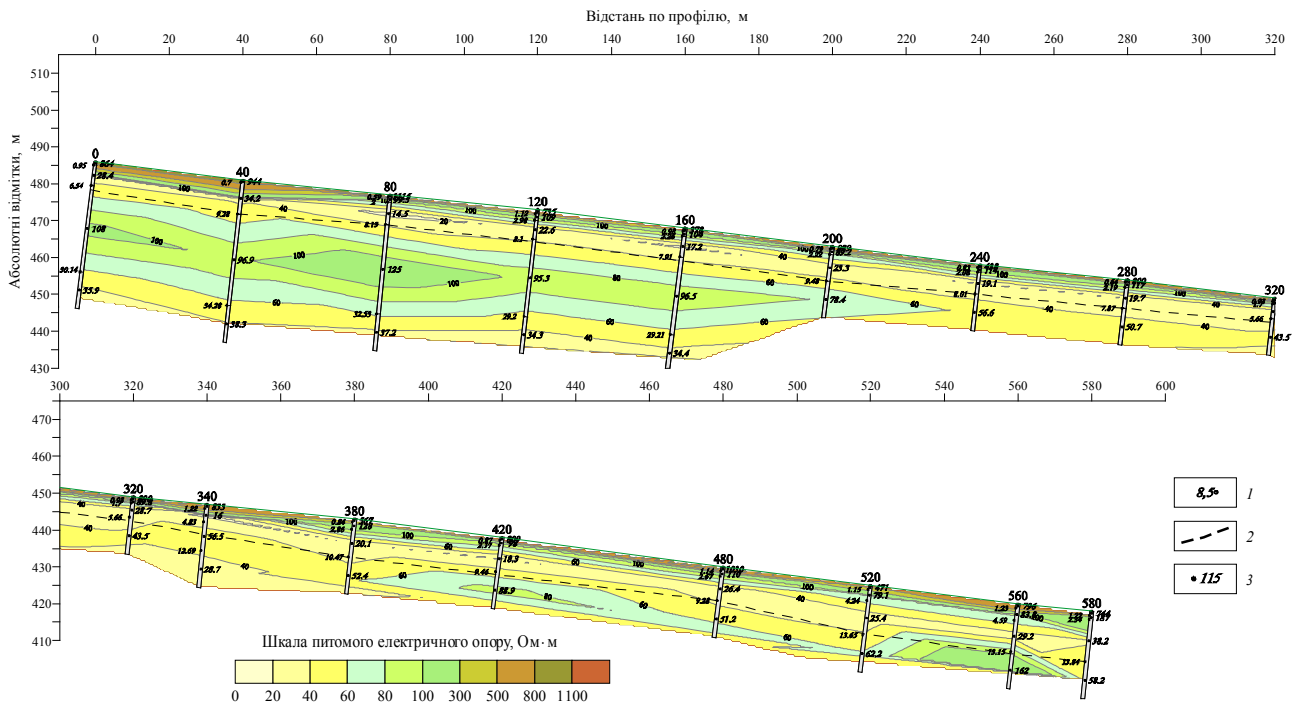


Рис. 3. Геоелектричний розрізи по профілю 5 ділянки Вільхівці-1, етап I (листопад 2003 р.): 1 – глибини геоелектричних горизонтів, м; 2 – межа поверхні ковання; 3 – питомий електричний опір геоелектричних горизонтів, Ом·м

ефективних параметрів нормальному закону розподілу [1], набір значень ефективних параметрів зводили до єдиного нормального закону розподілу, застосовуючи процедури логарифмування до значень параметрів, розподіл яких відрізнявся від нормального.

Після визначення ефективних параметрів розраховували коефіцієнти парної кореляції та оцінювали внесок методів (параметрів) у формування ФКП (табл. 2). На I етапі очікувані знаки кореляції підтвердилися, проте зв'язок не є суттєвим. Параметр  $h$ , як і слід було чекати, корелює з від'ємним знаком з параметрами  $\rho_{\text{екв}}$ ,  $\rho_{\text{під}}$ ; для пари  $\rho_{\text{екв}}$  і  $\chi$  залежність є прямою, коефіцієнт кореляції становить 0,25; тільки для параметрів  $h$ ,  $\rho_{\text{під}}$  і  $\chi$  кореляція протилежна очікуваній: 0,19 та  $-0,09$  відповідно. У формування ФКП внесок параметрів такий, %:  $f(\alpha) - 18,7$ ;  $|\Delta U_{\text{зал}}| - 17$ ;  $\chi - 19,1$ ;  $h - 13,7$ ;  $\rho_{\text{екв}} - 21,2$ ;  $\rho_{\text{під}} - 10,4$ .

На II етапі видно логічну кореляцію між параметрами з оберненою залежністю. Параметр  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  корелює з від'ємним знаком з параметрами  $(-0,02)$  та  $\rho_{\text{під}} (-0,04)$ , параметр  $h -$  з параметрами  $\rho_{\text{під}} (-0,65)$  і  $\chi (-0,11)$ , між параметрами  $f(\alpha)$  і  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  залежність є прямою і коефіцієнт кореляції становить 0,06. У формування ФКП внесок параметрів  $f(\alpha)$ ,  $|\Delta U_{\text{зал}}|$ ,  $h$  однаковий  $- 21,8$  %;  $\rho_{\text{під}} - 25,5$  %;  $\rho_{\text{екв}} - 7$  %;  $\chi - 2,3$  %.

На III етапі параметр  $h$  корелює з від'ємним знаком з параметрами  $\chi (-0,13)$  та  $\rho_{\text{під}} (-0,02)$ , параметр  $|\Delta U_{\text{зал}}| -$  з параметрами  $\rho_{\text{під}} (-0,17)$  та  $\rho_{\text{екв}} (-0,14)$ , між параметрами  $f(\alpha)$  і  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  залежність – пряма і коефіцієнт кореляції становить 0,06. У формування ФКП внесок параметрів

такий, %:  $f(\alpha) - 21,1$ ;  $|\Delta U_{\text{зал}}| - 22,6$ ;  $\chi - 6,4$ ;  $h - 7,3$ ;  $\rho_{\text{під}} - 23$ ;  $\rho_{\text{екв}} - 19,6$ .

Розглянемо результати трансформації ФКП у ймовірнісний критерій зсувонебезпеки для всіх етапів (рис. 4).

На I етапі досліджень виявлено 2 аномалії (рис. 4, а).

Аномалія № 1 знаходиться між профілями 4 і 7 у районі ПК 440–520 і займає площу приблизно 7500 м<sup>2</sup>, потужність зсувних мас  $h$  приблизно 11 м. Рівень критерію зсувонебезпечності високий і сягає 0,9. Аномалія зумовлена низькими значеннями  $\rho_{\text{під}}$  (30 Ом·м) та  $\chi$  (0,2–0,5), частково  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (5 мВ) і  $f(\alpha)$  – приблизно 0,1–0,18, що відповідає кутам нахилу 10–12°.

Аномалія № 2 розміщується на профілі 7 у районі ПК 280–360 і складається з двох частин з невисоким рівнем  $P=0,6$ . Аномалія зумовлена низькими значеннями  $\rho_{\text{під}}$  (приблизно 30 Ом·м) та  $\chi$  (до 0,5), високими значеннями  $h$  (8 м) та  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (до 10–15 мВ).

На II етапі досліджень виявлено 3 аномалії (рис. 4, б).

Аномалія № 1 збігається з аналогічною аномалією I етапу, тільки дещо більша за розмірами – її площа приблизно 8750 м<sup>2</sup>. Максимальний рівень  $P=0,9$ . Зумовлена тими самими параметрами, що і на I етапі, – високими значеннями  $h$  (8–14 м),  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (у середньому 10–15 мВ),  $f(\alpha)$  (приблизно 0,1–0,18), низькими значеннями (менше 1),  $\rho_{\text{екв}}$  (30 Ом·м) та  $\rho_{\text{під}}$  (50 Ом·м).

Аномалія № I I і II етапів нижнім краєм охоплює територію, на якій знаходиться будинок, і може становити для нього загрозу.

Таблиця 2. Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП

| Параметр                   | $f(\alpha)$ | $ \Delta U_{\text{зал}} $ | $h$   | $\rho_{\text{екв}}$ | $\rho_{\text{під}}$ | $\chi$ | ФКП   | Внесок    |       |
|----------------------------|-------------|---------------------------|-------|---------------------|---------------------|--------|-------|-----------|-------|
|                            |             |                           |       |                     |                     |        |       | відн. од. | %     |
| І етап (листопад 2003 р.)  |             |                           |       |                     |                     |        |       |           |       |
| $f(\alpha)$                | 1           | 0,01                      | -0,14 | 0,03                | -0,10               | -0,15  | 0,45  | 0,45      | 18,67 |
| $ \Delta U_{\text{зал}} $  | 0,01        | 1                         | 0,01  | -0,08               | 0,14                | -0,04  | 0,41  | 0,41      | 17,01 |
| $h$                        | -0,14       | 0,01                      | 1     | -0,19               | -0,02               | 0,19   | 0,33  | 0,33      | 13,69 |
| $\rho_{\text{екв}}$        | 0,03        | -0,08                     | -0,19 | 1                   | -0,27               | 0,25   | -0,51 | 0,51      | 21,16 |
| $\rho_{\text{під}}$        | -0,10       | 0,14                      | -0,02 | -0,27               | 1                   | -0,09  | -0,25 | 0,25      | 10,37 |
| $\chi$                     | -0,15       | -0,04                     | 0,19  | 0,25                | -0,09               | 1      | -0,46 | 0,46      | 19,09 |
| ФКП                        | 0,45        | 0,41                      | 0,33  | -0,51               | -0,25               | -0,46  | 1     | 2,41      | 100   |
| ІІ етап (травень 2005 р.)  |             |                           |       |                     |                     |        |       |           |       |
| $f(\alpha)$                | 1           | 0,06                      | -0,04 | 0,02                | -0,09               | 0,08   | 0,47  | 0,47      | 21,76 |
| $ \Delta U_{\text{зал}} $  | 0,06        | 1                         | 0,06  | 0,09                | -0,04               | -0,11  | 0,47  | 0,47      | 21,76 |
| $h$                        | -0,04       | 0,06                      | 1     | 0,28                | -0,65               | -0,34  | 0,47  | 0,47      | 21,76 |
| $\rho_{\text{екв}}$        | 0,02        | 0,09                      | 0,28  | 1                   | -0,24               | -0,25  | -0,15 | 0,15      | 6,94  |
| $\rho_{\text{під}}$        | -0,09       | -0,04                     | -0,65 | -0,24               | 1                   | 0,19   | -0,55 | 0,55      | 25,46 |
| $\chi$                     | 0,08        | -0,11                     | -0,34 | -0,25               | 0,19                | 1      | -0,05 | 0,05      | 2,31  |
| ФКП                        | 0,47        | 0,47                      | 0,47  | -0,15               | -0,55               | -0,05  | 1     | 2,16      | 100   |
| ІІІ етап (червень 2007 р.) |             |                           |       |                     |                     |        |       |           |       |
| $f(\alpha)$                | 1           | 0,06                      | -0,03 | -0,04               | -0,11               | -0,07  | 0,43  | 0,43      | 21,08 |
| $ \Delta U_{\text{зал}} $  | 0,06        | 1                         | -0,19 | -0,14               | -0,17               | 0,08   | 0,46  | 0,46      | 22,55 |
| $h$                        | -0,03       | -0,19                     | 1     | 0,17                | -0,09               | -0,13  | 0,15  | 0,15      | 7,35  |
| $\rho_{\text{екв}}$        | -0,04       | -0,14                     | 0,17  | 1                   | 0,03                | 0,07   | -0,40 | 0,40      | 19,61 |
| $\rho_{\text{під}}$        | -0,11       | -0,17                     | -0,09 | 0,03                | 1                   | 0,02   | -0,47 | 0,47      | 23,04 |
| $\chi$                     | -0,07       | 0,08                      | -0,13 | 0,07                | 0,02                | 1      | -0,12 | 0,13      | 6,37  |
| ФКП                        | 0,43        | 0,46                      | 0,15  | -0,40               | -0,47               | -0,12  | 1     | 2,04      | 100   |

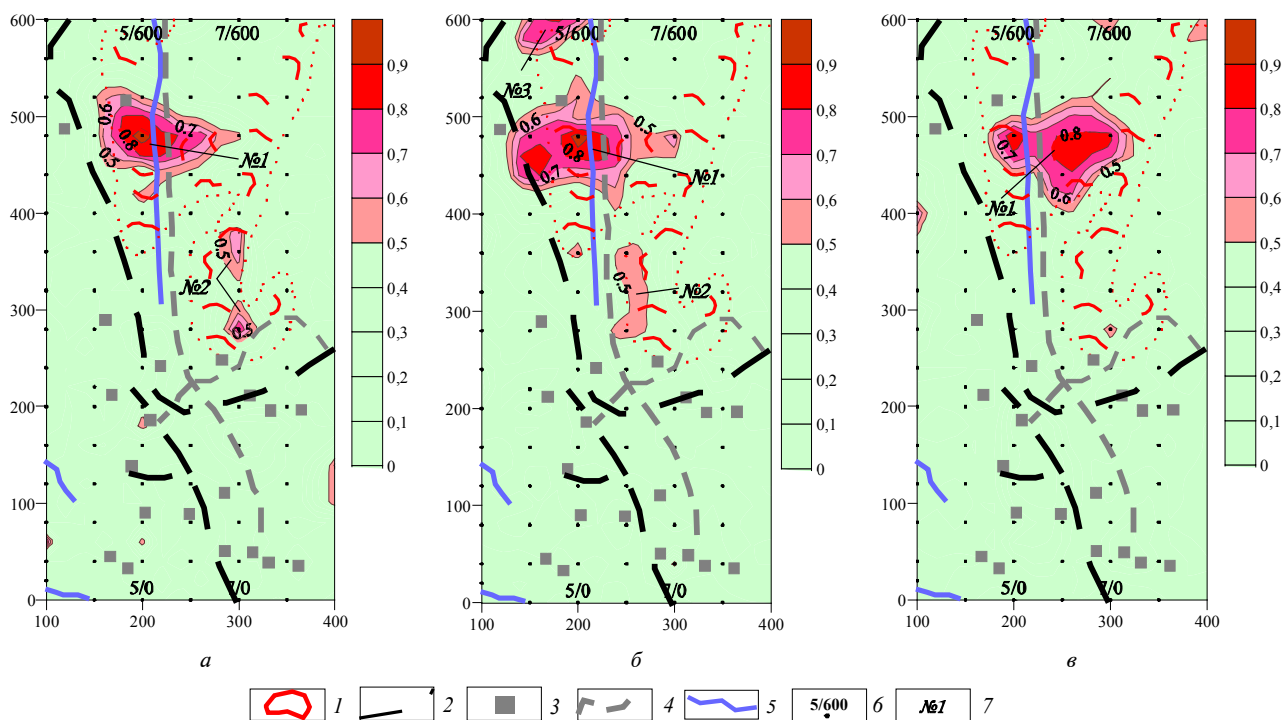


Рис. 4. Карти критерію ймовірності розвитку зсувів: а – І етап; б – ІІ етап; в – ІІІ етап; 1 – зсуви, яри; 2 – лінії ЛЕП; 3 – будинки; 4 – дороги; 5 – річка; 6 – номер профілю/номер пікету; 7 – номер аномалії

Аномалія № 2 зафіксована між ПК 280–360 на профілі 6, максимальний рівень  $P=0,5$ . Займає площу приблизно 2500 м<sup>2</sup>. Аномалія зумовлена низькими значеннями  $\chi$  (менше 1),  $\rho_{\text{екв}}$  (30 Ом·м) та  $\rho_{\text{під}}$  (50 Ом·м), високими значеннями  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (до 15 мВ) та  $h$  (8 м).

Аномалія № 3 зафіксована між профілями 4 та 5 (ПК 560–600), рівень зсувонебезпеки становить  $P=0,7$ . Зумовлена високими значеннями  $h$  (16 м), істотними  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (до 15 мВ), низькими – опору  $\rho_{\text{під}}$  (40 Ом·м) та  $\chi$  (0,5). Займає площу приблизно 2500 м<sup>2</sup>.

На III етапі виявлено тільки одну аномалію, що збігається з аномаліями попередніх етапів (рис. 4, в).

Аномалія № 1 з рівнем критерію зсувонебезпечності 0,8 знаходиться між профілями 5 і 7 у районі ПК 8–10. Потужність зсувних мас 11 м. Аномалія зумовлена низькими значеннями  $\rho_{\text{екв}}$  (25–35 Ом·м) та  $\rho_{\text{під}}$  (40 Ом·м), істотними –  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (до 10 мВ) та  $f(\alpha)$  (приблизно 0,1–0,18).

Таким чином, виявлено аномальні зони на трьох етапах досліджень у частині ділянки, яка зазнає зсувних процесів, що свідчить про подальшу ймовірність їх активізації.

**Нормування поля ФКП.** Технічно процедуру нормування поля ФКП виконують так. За даними першого знімання визначають аномальне та фонове поле. Фон під час усіх подальших знімань штучно змінюють таким чином, щоб середнє значення за фоном усіх зйомок було однаковим.

Чисельний коефіцієнт відношення середніх фонових значень режимних знімань розраховуємо за формулою

$$K_i = \frac{\Phi_{\text{с.ф.1}}}{\Phi_{\text{с.ф.і}}}, \quad (1)$$

де  $\Phi_{\text{с.ф.1}}$  – середнє значення фонового поля ФКП для 1-го етапу;  $i$  – номер етапу, для якого визначають чисельний коефіцієнт.

Цей коефіцієнт застосовують до значень ФКП для подальших етапів досліджень. Отже, з'являється можливість об'єктивного порівняння даних режимних спостережень за фоновими значеннями. Такий прийом не можна застосовувати для окремих методів, тому що спостерігається стохастичний характер зміни сигналу, коли аномалії та фонові значення співрозмірні між собою.

Для вирішення питання, до якого рівня значення ФКП слід вважати фоновими, розглянемо інтегральну криву розподілу значень ФКП для I етапу по ділянці Вільхівці-1 (рис. 5). У геології рівень ймовірності для прийняття рішень  $P(x)=0,9$  [8]. Цьому рівню відповідає значення ФКП 1,28. Взявши до уваги прийнятий для геофізичних досліджень рівень похибки 10 %, доходимо висновку, що для I етапу досліджень значення ФКП менше 1,15 є фоновими. Аналогічно,

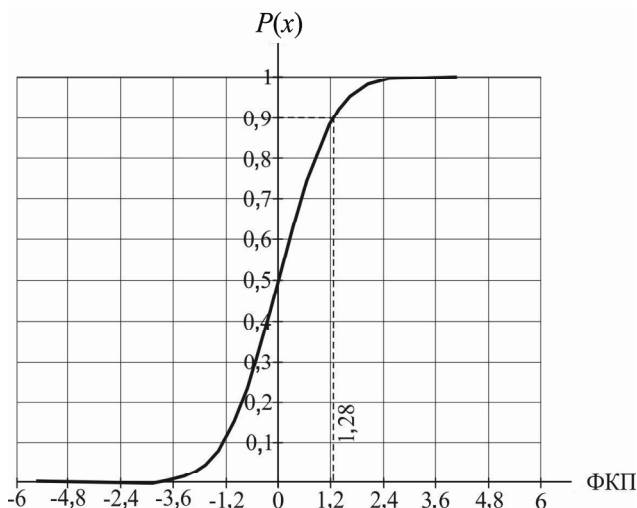


Рис. 5. Інтегральна крива розподілу ймовірностей функції комплексного показника для ділянки Вільхівці 1 (I етап)

для II і III етапів фоновими слід вважати значення ФКП, що менші за 1,15 та 1,22 відповідно.

Середнє значення фонового поля ФКП для досліджуваної ділянки становить: для I етапу  $\Phi_{\text{с.ф.1}} = -0,195$ ; для II –  $\Phi_{\text{с.ф.2}} = -0,258$ ; для III –  $\Phi_{\text{с.ф.3}} = -0,184$ . Відповідно до формули (1), чисельні коефіцієнти відношення середніх фонових значень для II і III етапів такі:  $K_2 = 0,76$ ;  $K_3 = 1,06$ . Отже, для зведення поля ФКП по усіх трьох етапах до однакових фонових значень поле ФКП за II етап слід помножити на  $K_2$ , а поле ФКП за III етап – на  $K_3$ .

Результати перетворень пронормованих значень ФКП для II і III етапів у карти критерію ймовірності розвитку зсувів показано на рис. 6. Порівняння даних цих карт з даними звичайних карт КЙРЗ за II і III етап (див. рис. 4, б і в відповідно) дає змогу стверджувати, що характер аномального поля зазнає змін. Так, на II етапі аномалія № 1 стала менша за розмірами, аномалія № 2 взагалі зникла, а в аномалії № 3 знизився рівень максимальної зсувонебезпеки з 0,7 до 0,6. На III етапі аномалія № 1 детальніше оконтурена – чітко виділяються два зсувні тіла, що розміщуються по обидва боки річки та дороги, а не одне суцільне, як на рис. 4, в. З'явилася також аномалія № 2.

Щодо характеристики змін поля КЙРЗ у часі слід зазначити таке. Аномалія № 1 збереглася на усіх трьох етапах. Це вказує на те, що зазначена частина ділянки є нестійкою і існує небезпека подальшого розвитку зсуву. Аномалія № 2 наявна на картах КЙРЗ за I і III етапи, аномалія № 3 – лише на карті за II етап. Це можна пояснити тим, що геофізичні дослідження проводили в різні місяці і за різних погодних умов. У формуванні аномалій найвагомим є внесок параметрів  $\rho_{\text{екв}}$  та  $|\Delta U_{\text{зал}}|$ , які, як відомо, досить чутливі до зміни зволоження порід, тобто аномалія № 3 є сезонною і переважно залежить від зволоженого стану гірських порід.

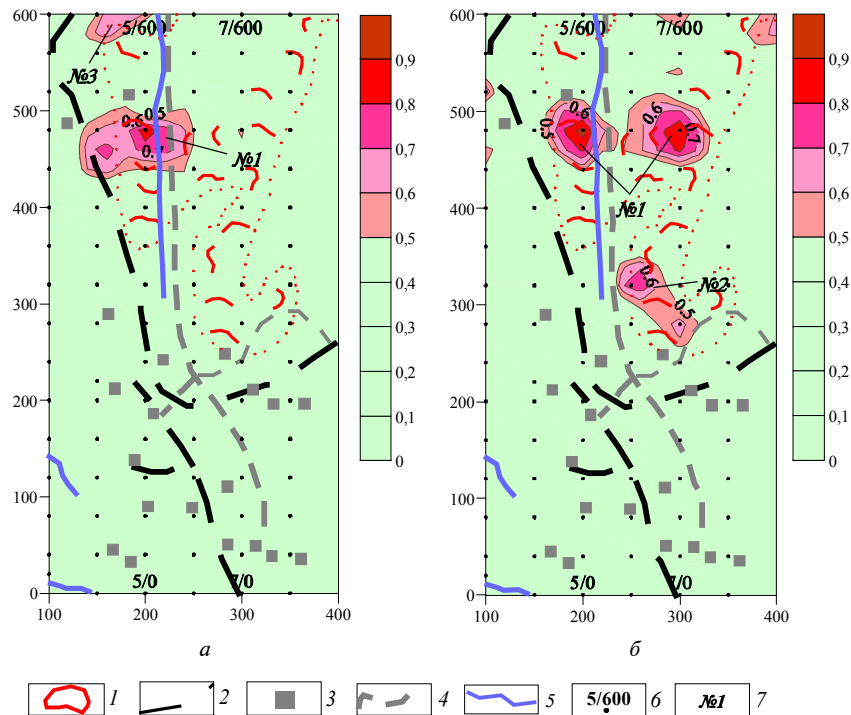


Рис. 6. Карти критерію ймовірності розвитку зсувів, зведені до однакових фонових значень: а – II етап; б – III етап; 1 – зсуви, яри; 2 – лінії ЛЕП; 3 – будинки; 4 – дороги; 5 – річка; 6 – номер профілю/номер пікету; 7 – номер аномалії

**Висновки.** Удосконалено методику дослідження зсувних процесів, що ґрунтується на розрахунку функції комплексного показника зсувоініціувальних чинників з подальшим прогнозуванням зсувонебезпеки на кількісному ймовірнісному рівні за визначенням нормалізованих критеріїв оцінки розвитку зсувів. Запропонований методичний прийом нормування поля функції комплексного показника, що полягає у зведенні його до однакових фонових значень, дає змогу об'єктивно зіставляти комплекс методів дослідження зсувних процесів, виконаних у різний час. У подальшому з метою підвищення достовірності прогнозу доцільно провести статистичний аналіз зсувоініціувальних чинників, одержаних за результатами дослідження різних за генезисом і динамікою зсувонебезпечних ділянок.

1. Вахромеев Г.С. Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений – М.: Недра, 1978. – 152 с.
2. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: монографія / Е.Д. Кузьменко, А.Ф. Безсмертний, І.В. Крив'юк та ін.; За ред. Е.Д. Кузьменка. – Ів.-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
3. Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією / [Е.Д. Кузьменко, П.В. Блінов, О.М. Карпенко та ін.] // Геоінформатика. – 2004. – № 1. – С. 74–83.
4. Комплексні геофізичні дослідження по оцінці небезпеки розвитку екзогенних геологічних процесів та моніторингу зсувонебезпечних ділянок в Закарпатті. Кн. 1: Звіт про НДР / [Д.Н. Ляшук, Р.П. Манзик,

Я.В. Назар та ін.]. – Львів: Фонди ЗУГРЕ, 2008. – 105 с.

5. Крив'юк І.В. Особливості геофізичних досліджень при визначенні стійкості зсувонебезпечних схилів на ділянках газопроводів // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Сер. Геологія. – 2009. – Вип. 46. – С. 29–36.
6. Кузьменко Э.Д. Электрические и электромагнитные исследования оползней / Э.Д. Кузьменко, И.В. Крив'юк // Актуальные проблемы электромагнитных зондирующих систем: Тез. докл. I Междунар. науч. конф., Киев, 27–30 сент. 2009 г. – Киев, 2009. С. 37–38.
7. Методическое пособие по применению геофизических методов при ведении мониторинга экзогенных геологических процессов / [Н.Н. Горяинов, В.С. Матвеев, В.М. Тимофеев и др.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 2000. – 58 с.
8. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации – М.: Недра, 1986. – 342 с.
9. Про розробку методичних вказівок для прогнозування зсувів геофізичними методами / [Е.Д. Кузьменко, О.П. Вдовина, І.В. Крив'юк та ін.] // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали VIII Міжнар. наук. конф., Київ, 20–23 верес. 2007 р. – К., 2007. – С. 151–152.
10. Просторовий прогноз ймовірності зсувонебезпеки на окремих ділянках Південного берега Криму / [Е.Д. Кузьменко, Л.В. Штогрин, І.В. Крив'юк та ін.] // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали VI Міжнар. наук. конф. – К.: Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2005. – С. 105–106.
11. Чебан В.Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття: Дис. ... канд. геол. наук – Ів.-Франківськ, 2002. – 183 с.

## НОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ НА ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ УЧАСТКАХ

*И.В. Кривюк*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,  
ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск 76000, Украина, e-mail: i\_krivjuk@mail.ru*

Специфика функции комплексного показателя (ФКП) заключается в том, что его среднее значение по участку исследований всегда равно нулю. Поэтому изменение значений ФКП в какой-то части участка (появление новой аномалии) приводит к изменению значений в другой. Таким образом, отсутствуют данные для объективного сопоставления комплекса методов исследования оползневых процессов, выполненных в разное время. Для устранения этого недостатка предложен методический прием нормирования поля ФКП путем приведения его к одинаковым фоновым значениям, что позволяет объективно сравнивать уровень аномалий по отношению к фону. Окончательные результаты нормирования поля ФКП представлены в виде карт критерия вероятности развития оползней для каждого этапа.

**Ключевые слова:** оползневые процессы, геофизические исследования, функция комплексного показателя, критерий вероятности развития оползней, режимные наблюдения.

## NORMALIZATION OF THE FIELD OF THE COMPLEX INDEX FUNCTION IN THE REGIME OBSERVATIONS AT LANDSLIDE-PRONE AREAS

*I.V. Kryvjuk*

*Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas,  
Karpatska St, 15, Ivano-Frankivsk 76000, Ukraine, e-mail: i\_krivjuk@mail.ru*

The specificity of the function of a complex index (FCI) is that the average value on the area of research is always equal to zero. Therefore any change of values of FCI in some part of the area (emerging of a new anomaly) leads to a change of values in another part. Thus we have no data to objectively compare a complex of methods used in landslide processes research carried out in different times. To fill this gap, a technique of normalizing the field of FCI by bringing it to the same background values is suggested, which allows to compare objectively the level of anomalies relatively to the background. The final results of normalizing the field of FCI are presented as maps of the criterion of landslide development probability for each stage.

**Keywords:** landslide processes, geophysical research, function of a complex index, the criterion of landslide development probability, regime observations.

### References:

1. Vakhromeev G.S. *Osnovy metodolohii kompleksirovaniya geofizicheskikh issledovaniy pri poiskakh rudnykh mestorozhdeniy* [Methodology bases of complexed geophysical researches by searches ore deposits]. Moscow, Nedra, 1978, 152 p.
2. Kuz'menko E.D., Bezsmertnyy A.F., Vdovyna O.P., Kryv'yuk I.V., Shtohryn L.V., Cheban V.D. *Doslidzhennya zsvnykh protsesiv heofizychnymy metodamy: monohrafiya* [The research of landslide processes by geophysical methods: monograph]. Ivano-Frankivsk, IFNTUNG, 2009, 294 p.
3. Kuz'menko E.D., Blinov P.V., Karpenko O.M., Klymchuk L.M., Petryk M.V., Shtohryn L.V. *Karpats'ki zsvny: deyaki heomorfolohichni kharakterystyky ta zv'yazok yikh z litolohiyeyu* [Carpathian landslides: some geomorphological characteristics and their relation with lithology]. *Geoinformatyka* [Geoinformatics (Ukraine)], 2004, no. 1, pp. 74-83.
4. Lyashchuk D.N., Manzyk R.P., Nazar Ya.V., Yosypenko T.M., Kuz'menko E.D., Shtohryn L.V., Vdovyna O.P., Kryv'yuk I.V. *Kompleksni heofizychni doslidzhennya po otsyntsi nebezpeky rozvytku ekzohennykh heolohichnykh protsesiv ta monitoringu zsvnonebezpechnykh dilyanok v Zakarpatti: zvit pro NDR* [The complex of geophysical researches to assess the hazards of exogenous geological processes and monitoring of landslides areas in the Transcarpathia: report on research]. L'viv, Fondy ZUHRE, 2008, 105 p.
5. Kryv'yuk I.V. *Osoblyvosti heofizychnykh doslidzhen' pry vyznachenni stiykosti zsvnonebezpechnykh skhyliv na dilyankakh hazoprovodiv* [The peculiarities of geophysical researches to determine the stability of landslide slopes in the areas of gas pipelines]. *Visnyk Kyivs'koho natsional'noho universytetu im. T. Shevchenka. Seriya Heolohiya*, 2009, no. 46, pp. 29-36.
6. Kuz'menko E.D., Krivyuk I.V. *Elektricheskie i elektromagnitnye issledovaniya opolzney* [Electrical and electromagnetic researches of landslides] *Tezisy dokladov I Mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nye problemy elektromagnitnykh zondiruyushchikh sistem"* [Proc. I Inter. Conf. "Actual problems of electromagnetic sounding systems"]. Kyiv, 2009, pp. 37-38.
7. Goryainov N.N., Matveev B.C., Timofeev V.M., Chubarov V.N. *Metodicheskoe posobie po primeneniyu geofizicheskikh metodov pri vedenii monitoringa ekzogenykh geologicheskikh protsessov* [Guidelines on the application of geophysical methods in the conduct of monitoring exogenous geological processes]. Moscow, VSEGINGEO, 2000, 58 p.



8. Nikitin A.A. *Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoy informatsii* [Theoretical bases of the processing of geophysical information]. Moscow, Nedra, 1986, 342 p.
9. Kuz'menko E.D., Vdovyna O.P., Kryv'yuk I.V., Leus'kov K.O., Martynchuk H.P. *Pro rozrobku metodychnykh vkazivok dlya prohnozuvannya zsuviv heofizychnykh metodamy* [About development of methodical instructions for forecasting landslides by geophysical methods]. *Materialy VIII Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi "Monitorynh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv ta ekolohichnoho stanu seredovishcha"* [Proc. VIII Inter. Conf. "Monitoring of hazardous geological processes and ecological condition of the environment"]. Kyiv, 2007, pp. 151-152.
10. Kuz'menko E.D., Shtohryn L.V., Kryv'yuk I.V., Honcharuk A.P., Skorokhod H.A. *Prostorovyy prohnoz ymovirnosti zsuivonebezpeky na okremykh dilyankakh Pivdennoho bereha Krymu* [The spatial forecast of probability of a landslide danger on the individual sites of Southern Coast of Crimea]. *Materialy VI Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi "Monitorynh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv ta ekolohichnoho stanu seredovishcha"* [Proc. VI Inter. Conf. "Monitoring of hazardous geological processes and ecological condition of the environment"]. Kyiv, 2005, pp. 105-106.
11. Cheban V.D. *Kompleks heofizychnykh metodiv prohnozuvannya zsuviv na prykladi Zakarpattya* [Complex geophysical methods of the landslides prognosing case studies from the Transcarpathians. Cand. geol. sci. diss.]. Ivano-Frankivsk, 2002, 183 p.

*Надійшла до редакції 21.10.2013 р.*

*Received 21/10/2013*