

# ГЕОЛОГІЯ, РОЗВІДКА ТА ПРОМИСЛОВА ГЕОФІЗИКА НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ РОДОВИЩ

УДК 550.83:551.435.62

## ПРОСТОРОВІ ПОБУДОВИ КРИТЕРІЮ ЙМОВІРНОСТІ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ

*Е.Д. Кузьменко, І.В. Крив'юк*

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

*На основі аналізу результатів комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних для значної кількості зсувонебезпечних ділянок встановлено досить високу кореляцію параметра сумарної поздовжньої провідності та функції комплексного показника із глибиною. Це дає можливість простежити, як змінюється із глибиною критерій ймовірності розвитку зсувів, тобто перейти до просторових побудов, на основі яких стає можливим встановити зону поширення зсувних деформацій і таким чином достовірніше оцінити ступінь розвитку зсувних процесів на досліджуваній території. Детально описано розроблений алгоритм перерахунку критерію ймовірності розвитку зсувів на різні глибини. Наведено результати запропонованого підходу до прогнозування розвитку чи активізації зсувів для однієї із зсувонебезпечних ділянок.*

Ключові слова: зсувні процеси, геофізичні методи, комплексна інтегрована кількісна інтерпретація, функція комплексного показника.

*На основе анализа результатов комплексной интегрированной количественной интерпретации геолого-геофизических данных для значительного количества оползнеопасных участков установлено довольно высокую корреляцию параметра суммарной продольной проводимости и функции комплексного показателя с глубиной. Это позволяет проследить, как изменяется с глубиной критерий вероятности развития оползней, то есть перейти к пространственным построениям, на основе которых становится возможным установить зону распространения сдвижных деформаций и таким образом достовернее оценить степень развития оползневых процессов на исследуемой территории. Подробно описан разработанный алгоритм перерасчета критерия вероятности развития оползней на разные глубины. Приведены результаты предложенного подхода к прогнозированию развития или активизации оползней для одного из оползнеопасных участков.*

Ключевые слова: оползневые процессы, геофизические методы, комплексная интегрированная количественная интерпретация, функция комплексного показателя.

*On the basis of the analysis of complex integrated quantitative interpretation of geological and geophysical data a rather high correlation of total longitudinal conductivity and the functions of integrated index due to the depth were determined for significant number of landslide areas. It enables to track out how the probability criterion of landslides development changes with the depth, that is, to go to spatial constructions on the basis of which it becomes possible to establish the area of landslides deformation distribution and thus to estimate more reliably the level of landslide processes development on the investigated area. The worked out algorithm of the probability criterion recalculation of landslides development to different depths is described in details. The effects of suggested approach for forecasting the development or activation of landslides for one of landslide hazardous areas have been shown.*

Keyword: landslide processes, geophysical methods, complex integrated quantitative interpretation, function of complex index.

**Вступ та постановка проблеми**

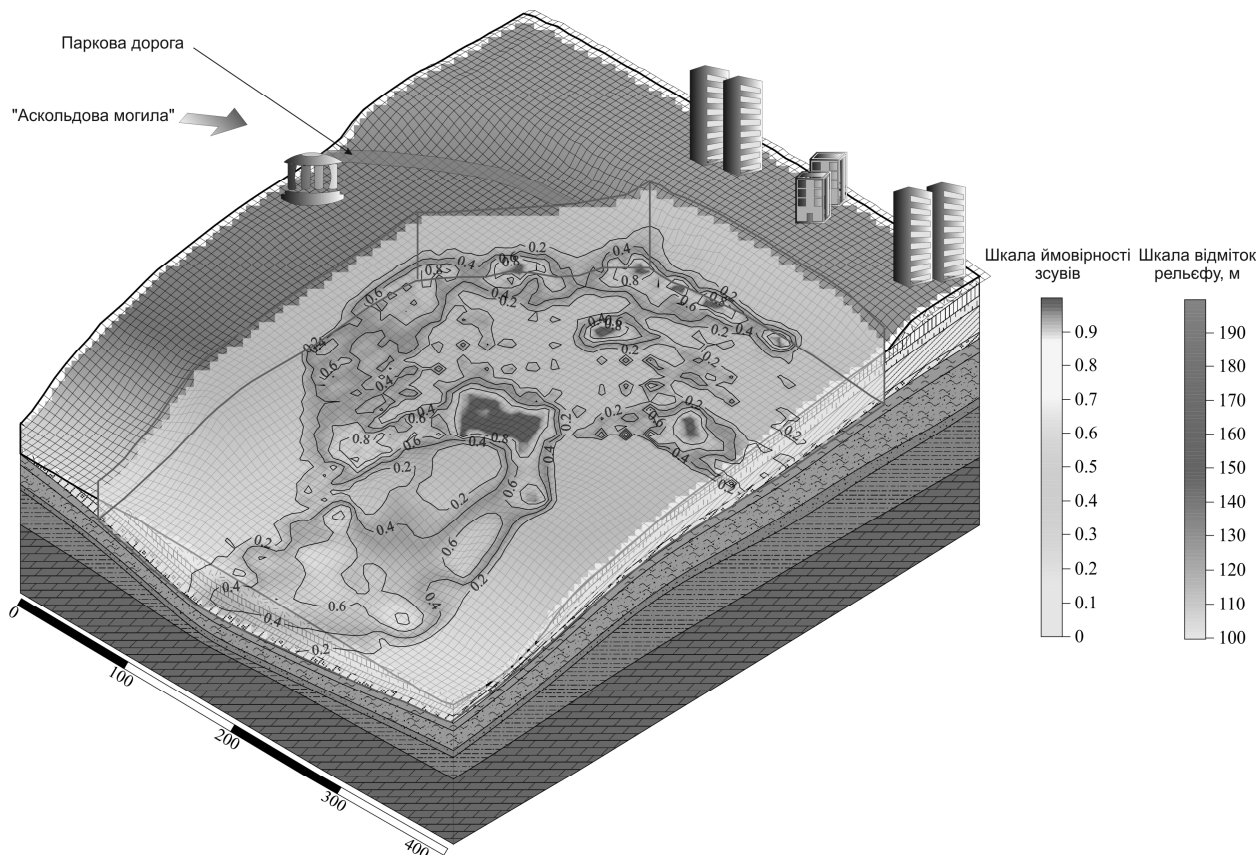
Зсувні явища відносяться до найбільш небезпечних екзогенних геологічних процесів, які поширені на території України. Згідно з [1], в Україні станом на 2012 р. зареєстровано понад 22900 зсувів, з них 1751 активні. Активізація зсувів спостерігається на території майже всіх адміністративних областей, за винятком територій, яким взагалі не властивий розвиток зсувного процесу. Таким чином, питання ефективного прогнозування зсувних процесів є досить актуальним в наш час.

Характерною особливістю зсувних процесів є обов'язкова наявність однієї чи декількох поверхонь ковзання, по яких відбулось чи відбувається сповзання мас гірських порід. Дана поверхня формується в процесі зародження зсувів у певній товщі гірських порід під впливом різних геологічних факторів. Таку товщу гірських порід прийнято називати основним деформаційним горизонтом (ОДГ) [2-5]. У працях [6, 7] введено нове поняття для визначення ОДГ – шар динамічних деформацій (ШДД), детально описано процеси, що відбуваються в ньому та запропоновано як основний геофізичний метод дослідження ШДД використовувати зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні (ЗСБ).

Таким чином, дослідження ШДД при режимних спостереженнях (зокрема визначення

його потужності) дає можливість детальніше оцінити ступінь розвитку зсувних процесів на досліджуваній території.

У працях [7, 8] обґрунтовано доцільність використання при просторовому прогнозуванні активізації зсувних процесів комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних з розрахунком функції комплексного показника (ФКП) та критерію ймовірності розвитку зсувів (КІРЗ), що дає можливість оцінити зсувонебезпеку на ймовірнісному рівні. Також виділено основний комплексом геофізичних методів дослідження зсувних процесів: метод вертикального електричного зондування (ВЕЗ), метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) та метод природного електричного поля (ПЕП). За результатами комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних будуються карти КІРЗ на досліджуваній території. При представленні остаточних результатів часто використовують тривимірні побудови, на яких, як правило, зображають денну поверхню з нанесеною ситуацією та поверхню ковзання з нанесеною на нею картою КІРЗ (рис. 1). Аналізуючи дані карти, одразу виникає питання: чи можливо простежити як змінюється КІРЗ із глибиною (від денної поверхні до поверхні ковзання), тобто здійснити просторові побудови КІРЗ та на їх основі визначити потужність ШДД?



**Рисунок 1 – Проекція критерію ймовірності розвитку зсуву на денну поверхню (ізометрія, “погляд з правого боку”). Ділянка Правобережна, м.Київ**

Таблиця 1 – Внесок окремих ефективних параметрів у формування ФКП по деяких ділянках Закарпаття

Ділянки	Внесок параметрів у формування ФКП					
	$f(\alpha)$	$ \Delta U_{\text{зал}} $	$h$	$\rho_{\text{екв}}$	$\rho_{\text{під}}$	$\chi$
Липовець	18.64	15.82	7.34	29.38	26.55	2.27
Нижнє Селище-1	15.35	26.14	11.62	24.90	9.13	12.86
Нижнє Селище-2	15.75	18.49	21.92	17.12	11.99	14.73
Сільце-1	14.14	5.05	23.23	23.91	20.54	13.13
Сільце-2	10.95	15.92	21.89	20.90	19.40	10.94
Ганичі	17.26	12.70	15.64	18.89	21.17	14.34
Топчино-1	16.45	19.91	19.48	10.39	12.99	20.78
Топчино-2	13.10	22.59	23.59	15.53	4.20	20.99
Вільхівці-1	18.67	17.01	13.69	21.16	10.37	19.1
Вільхівці-2	19.71	25.09	15.05	7.89	22.94	9.32
Вільхівські Лази-1, 2	34.62	1.92	42.31	10.58	7.69	2.88
Вільхівські Лази-3	15.95	25.86	21.98	7.33	11.64	17.24
Вільхівські Лази-4	7.17	18.64	18.64	25.81	19.35	10.39
Грушеве-1	10.85	14.92	15.93	20.00	18.98	19.32
Грушеве-2	16.97	10.09	8.72	22.48	18.35	23.39
Сума внеску кожного параметра по всіх ділянках	245.58	250.15	281.03	276.27	235.29	211.68
<b>Загальний внесок кожного параметра по всіх ділянках</b>	<b>16.37</b>	<b>16.68</b>	<b>18.74</b>	<b>18.42</b>	<b>15.68</b>	<b>14.11</b>

### Мета досліджень

Теоретично обґрунтувати можливість здійснення просторових побудов КИРЗ. Алгоритмічно та програмно забезпечити процес перерахунку КИРЗ на різні глибини. Навести результати просторової побудови КИРЗ для однієї із зсувонебезпечних ділянок. На основі проведених досліджень визначити потужність ШДД.

### Стислі відомості про раціональний комплекс геофізичних досліджень та розрахунок ФКП

У роботах [6-8] наведено детальний аналіз ефективності застосування широкого комплексу геофізичних методів для прогнозування виникнення та активізації зсувних процесів. Це – методи електрометрії, сейсмометрії, магнітометрії, гравіметрії, радіометрії, використання яких обов'язково повинно супроводжуватись геодезичною зйомкою та, за можливості, завірочним бурінням. При цьому, у залежності від конкретних умов, не всі зазначені геофізичні методи є обов'язковими. У працях [7, 9] показано, що доцільним прикінцевим результатом є розрахунок комплексного показника (ФКП)  $\Phi=f(M)$ , де  $M$  – комплекс так званих ефективних параметрів, які одержуються з вихідних, тобто вимірюваних геофізичних, геодезичних і геологічних даних. Ефективні параметри мають таку властивість, що їх контрастності, тобто величини, які є нормованими за оцінками математичного

очікування та стандарту, прямо пропорційні ФКП. Як такі величини можуть розглядатись і нами використовуються параметри:  $\chi$  – коефіцієнт анізотропії за даними ПЕМПЗ;  $h$  – потужність зсувної товщі;  $\rho_{\text{екв}}$  – еквівалентний опір зсувної товщі;  $\rho_{\text{під}}$  – опір підстелених порід;  $K_{\text{інв}}$  – коефіцієнт інверсії опорів;  $f(\alpha)$  – функції ймовірності зсувів залежно від кута нахилу денної поверхні;  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  – абсолютні залишкові значення ПЕП;  $|\Delta Rn_{\text{зал}}|$  – абсолютні залишкові значення еманцій радону;  $V$  – швидкість пружних коливань для поверхні ковзання за методом заломлених хвиль;  $Nz$  – напруженість вторинного електромагнітного поля радіохвильового просвічування. Тоді  $\Phi = f(\chi, h, \rho_{\text{екв}}, \rho_{\text{під}}, K_{\text{інв}}, f(\alpha), U_{\text{зал}}, |\Delta Rn_{\text{зал}}|, V, Nz)$ . Методика розрахунку ефективних параметрів детально викладена в [7, 8] і тому тут не наводиться. Зауважимо лише, що внесок зазначених параметрів у формування ФКП є приблизно однаковим, що свідчить про необхідність комплексного підходу при геофізичних дослідженнях зсувів та прогнозуванні зсувонебезпеки. Останнє твердження підкреслюється табл. 1.

### Алгоритм перерахунку критерію ймовірності розвитку зсувів на різні глибини

Серед електричних параметрів, що розраховуються при комплексній інтегрованій кількісній інтерпретації даних, присутній складовий комплексний параметр сумарної позовжньої провідності  $S_{\text{сум}}$ . Даний параметр пов'язаний із зсувонебезпекою за якісним

принципом “більше-більше”, причому є досить виразним. Однак він не може використовуватись як ефективний в силу комплексності та невизначеності ваги, проте він є зручним для визначення ефективності параметрів інших методів шляхом оцінки їх кореляційного зв'язку з  $S_{\text{сум}}$  [7].

Під час аналізу результатів комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації для значної кількості ділянок встановлено досить високу кореляцію параметра  $S_{\text{сум}}$  та ФКП із глибиною на середньому рівні 0.70-0.75. Саме тому в деяких працях [6], параметр  $S_{\text{сум}}$  пропонується як самостійний для оцінки зсувної небезпеки, при цьому розглядаючи його значення як:

$$S_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i}, \quad (1)$$

де  $i$  – порядковий номер електричного шару;  
 $n$  – порядковий номер опорного горизонту, над яким залягають  $n-1$  шарів, для яких існує загроза зсуву;

$h_i$  і  $\rho_i$  – опір і потужність за даними інтерпретації ВЕЗ для  $i$ -го шару.

На нашу думку, використання параметра  $S_{\text{сум}}$  в якості самостійного не є вдалим, поперше, з названих вище причин, по друге, виходячи з того факту, що не оцінюється ймовірність виникнення чи активізації зсувів. На даному етапі досліджень ми констатуємо, що величина ФКП із глибиною є пропорційна сумарній провідності за даними ВЕЗ. Отже маючи значення  $S_{\text{сум}}$  та ФКП для деякої точки на поверхні ковшання, можна розрахувати значення ФКП для цієї ж точки на деякій глибині  $h_p$  за формулою

$$\text{ФКП}_p = \frac{\text{ФКП} \cdot S_{\text{сум},p}}{S_{\text{сум}}}, \quad (2)$$

де  $\text{ФКП}_p$  та  $S_{\text{сум},p}$  – розрахункові значення ФКП і  $S_{\text{сум}}$ , на глибині  $h_p$  ( $0 < h_p < h$ ).

Таким чином, алгоритм перерахунку КЙРЗ на різні глибини набуде наступного вигляду (рис. 2). У даному алгоритмі додаткового роз'яснення потребують пункти 2 і 3.

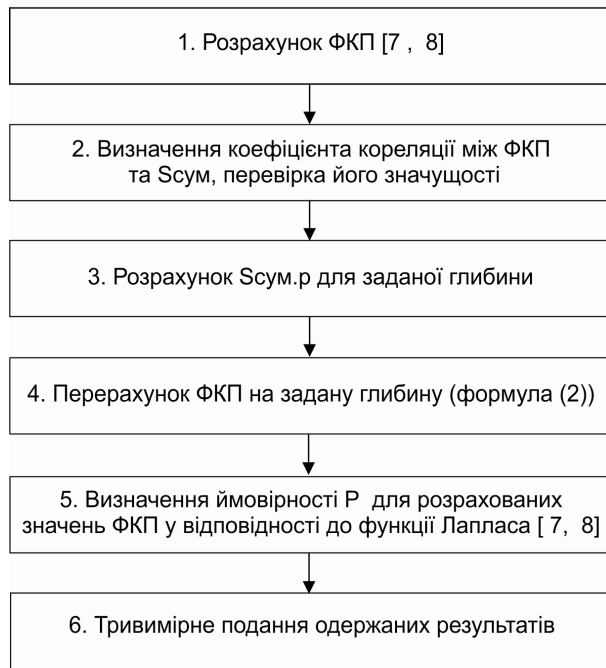
**Визначення коефіцієнта кореляції між ФКП та  $S_{\text{сум},p}$ , перевірка його значущості**

Для виявлення тісноти лінійного взаємозв'язку між двома досліджуваними незалежними спостереженнями на практиці застосовуються різні модифікації формул розрахунку лінійного коефіцієнта кореляції, однією з яких є формула Пірсона [10].

У загальному випадку, коли дві величини  $x$  та  $y$  зв'язані довільною ймовірнісною залежністю, якісна оцінка тісноти зв'язку величин  $x$  і  $y$  може бути виявлена на основі шкали Чеддока (табл. 2) [11].

Методика перевірки значущості лінійного коефіцієнта кореляції наведена в [11] і полягає в наступному:

1. Перевіряється значущість лінійного коефіцієнта кореляції на основі  $t$ -критерію Стьюдента. При цьому висувається і перевіряється



**Рисунок 2 – Алгоритм перерахунку критерію ймовірності розвитку зсувів на різні глибини**

**Таблиця 2 – Шкала Чеддока**

Зв'язок	Значення коефіцієнта кореляції за наявності:	
	прямого зв'язку	оберненого зв'язку
Слабкий	0.1–0.3	(-0.1)–(-0.3)
Помірний	0.3–0.5	(-0.3)–(-0.5)
Замітний	0.5–0.7	(-0.5)–(-0.7)
Високий	0.7–0.9	(-0.7)–(-0.9)
Досить високий	0.9–0.99	(-0.9)–(-0.99)

гіпотеза  $H_0$  про рівність коефіцієнта кореляції нулю ( $H_0: r_{xy}=0$ ). При перевірці цієї гіпотези використовується  $t$ -статистика

$$t_p = \sqrt{\frac{r^2}{1-r^2}} (n-2) = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}, \quad (3)$$

де  $r$  – значення коефіцієнта кореляції;  
 $n$  – кількість спостережень.

Якщо гіпотеза  $H_0$  підтверджується,  $t$ -статистика має розподіл Стьюдента із вхідними параметрами  $\alpha$  і  $k$  ( $\alpha$  – рівень значущості;  $k=n-2$  – число степенів вільності). Якщо розрахункове значення  $t_p > t_{кр}$  (табличне значення), то гіпотеза  $H_0: r_{xy}=0$  відкидається, що свідчить про значущість лінійного коефіцієнта кореляції, а отже, і про статистичну істотність залежності між  $x$  та  $y$ .

2. Оскільки коефіцієнт кореляції визначається за вибірковими даними, то отримані вибіркові показники відрізняються від аналогічних показників у генеральній сукупності. У зв'язку із цим визначається не тільки точність показників кореляції за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента, але й границі довірчих інтервалів на основі  $z$ -перетворення Фішера. Для статистично зна-

чущого лінійного коефіцієнта кореляції визначається інтервальна оцінка для  $z$  за формулою

$$z \in \left[ z' \pm z_\gamma \sqrt{\frac{1}{n-3}} \right], \quad (4)$$

де  $z'$  – значення, отримане на основі  $z$ -перетворення Фішера;

$z_\gamma$  – табульовані значення для стандартного нормального розподілу, залежні від  $\gamma=1-\alpha$ ;

$n$  – розмір вибіркової сукупності.

На основі зворотного  $z$ -перетворення Фішера визначається інтервальна оцінка для лінійного коефіцієнта кореляції  $r_{xy}$ .

Розраховується стандартна похибка лінійного коефіцієнта кореляції за формулою

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}. \quad (5)$$

### Розрахунок $S_{\text{сум},p}$ для заданої глибини

На сьогоднішній день запропоновано декілька методик визначення  $S_{\text{сум}}$  за даними ВЕЗ [6, 7]. Згідно з [12], криві  $S(h)$  завжди мають своїм початком точку  $(0,0)$  і для реальних розрізів завжди зростають. На рис. 3 наведено приклад тришарової кривої  $S(h)$  типу К ( $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ ). Як бачимо, у межах кожного шару крива  $S(h)$  змінюється за лінійним законом. Таким чином, знаючи, в який шар потрапило значення розрахункової глибини  $h_p$ , можна визначити відповідне значення  $S_{\text{сум},p}$  за наступною формулою:

$$S_{\text{сум},p} = \frac{(h_p - h_{i-1})(S_{\text{сум},i} - S_{\text{сум},i-1})}{h_i - h_{i-1}} + S_{\text{сум},i-1}, \quad (6)$$

де  $i$  – номер шару, у який потрапило значення  $h_p$ .

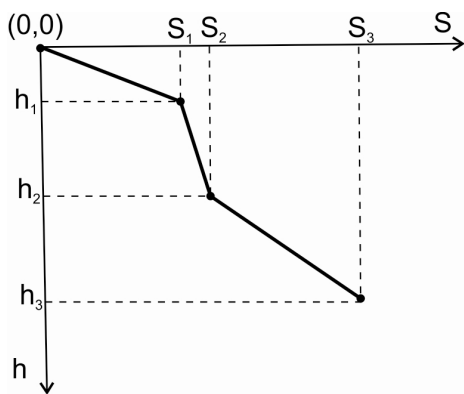


Рисунок 3 – Крива  $S(h)$

Звісно, що вручну проводити такі розрахунки для кожної точки ВЕЗ є досить клопіткою роботою, що потребує значних затрат часу. Тому складено у середовищі Mathcad програму, яка проводить такі розрахунки автоматично. Проаналізуємо детальніше принцип роботи даної програми, блок-схема якої наведена на рис. 4 (а).

Рядок № 1. Початок програми.

Рядок № 2. Зчитування вхідного файлу з даними Dani.dat. Даний файл є матрицею розмірністю  $n \times 4$ , яка формується за наступним

принципом: до 1-го та 2-го стовпчиків заносяться значення координат  $x$  та  $y$  пікетів (ПК) спостереження методом ВЕЗ; у 3-й та 4-й – значення  $h_{i+1}$  та відповідні їм значення  $S_{\text{сум},i+1}$ , де  $i$  – кількість шарів, виділених на даному пікету до поверхні ковзання. На рис. 4 (б) для прикладу наведений фрагмент файлу Dani.dat для чотирьох пікетів, перші три з яких є 3-х шаровими, а четвертий – 4-х шаровий.

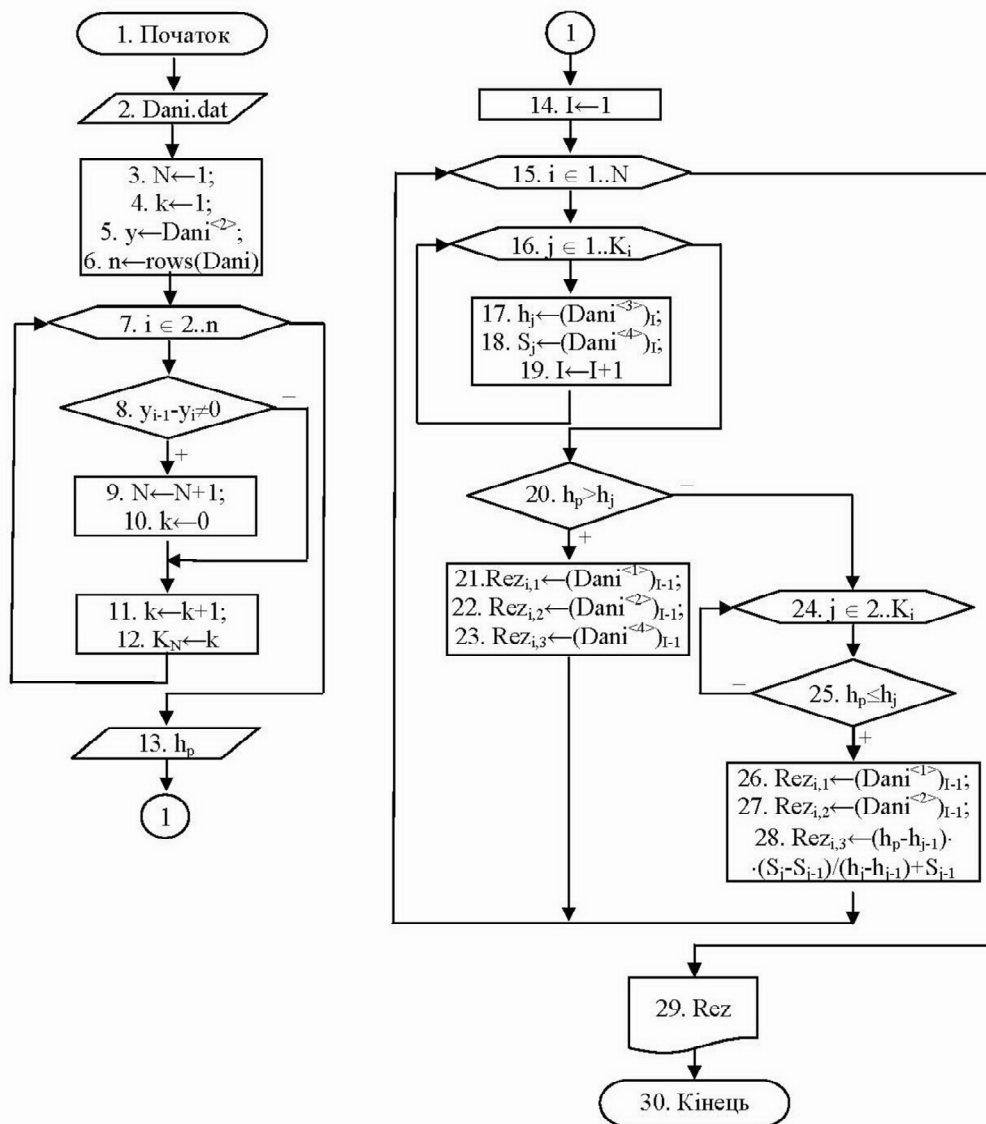
Рядки № 3 – № 12. Знаходження кількості рядків матриці ( $n$ ), кількості пікетів ( $N$ ), та формування вектора ( $K$ ), кожний елемент якого ( $K_N$ ) містить кількість значень ( $k$ ) пар  $S_{\text{сум}}-h$  у 1-му, 2-му, ...,  $N$ -му пікеті. Згідно з рис. 4 (б), пікети відрізняються один від одного координатою  $y$  (координата  $x$  є сталою для усіх пікетів, що знаходяться на одному профілі), тому, перевіривши умову  $y_{i-1}-y_i \neq 0$  (рядок № 8), визначається, чи  $i$ -й рядок матриці Dani належить поточному пікету, чи уже наступному.

Рядок № 13. Уведення глибини для перерахунку  $h_p$ .

Рядки № 14 – № 28. Формування результуючої матриці Rez (рис. 4, (в)) розмірністю  $N \times 3$  за наступним принципом: у 1-й та 2-й стовпчики заносяться значення координат  $x$  та  $y$  пікетів спостереження методом ВЕЗ; у 3-й – розраховане значення  $S_{\text{сум},p}$ . Розрахунок  $S_{\text{сум},p}$  проводиться наступним чином. Організовується цикл за змінною  $i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) для перерахунку по кожному пікету (рядок № 15). Під час кожного кола циклу відбувається наступне: 1) формуються два вектори  $h$  та  $S$  (рядки №17-19), що містять відповідні значення  $h_j$  та  $S_{\text{сум},j}$  для  $i$ -го пікету ( $j=1,2,\dots,K_i$ ). Змінна  $I$  уводиться для присвоєння у 17-му та 18-му рядку векторам  $h$  та  $S$  наступного значення з матриці Dani; 2) оскільки потужність зсувних мас є різною для кожного пікету і дана різниця може бути досить суттєвою для різних частин досліджуваної ділянки, то може бути випадок, коли задана глибина для перерахунку  $h_p$  для деякого пікету чи частини ділянки буде перевищувати потужність зсувних мас у цьому ж місці, побудована карта розподілу  $S_{\text{сум},p}$  буде нести некоректну інформацію. Для уникнення цього перевіряється умова  $h_p > h_j$  (рядок № 20), де  $h_j$  міститиме значення потужності зсувних мас на  $i$ -му пікеті – якщо вона виконується, то значенню  $S_{\text{сум},p}$  присвоюється  $S_{\text{сум},j}$  (тобто фактично для такого пікету перераховане значення ФКП, а отже і КИРЗ, буде рівне значенню ФКП для цього ж пікету на поверхні ковзання) і програма переходить до обробки наступного пікету (рядок № 15); якщо умова не виконується, то визначається, в який із шарів потрапило значення  $h_p$  (рядки № 24-25), формується  $i$ -й рядочок матриці Rez з розрахунком значення  $S_{\text{сум},p}$  за формулою (6) і програма переходить до обробки наступного пікету (рядок № 15).

Рядок № 29. Запис результуючої матриці у файл Rez.dat.

Рядок № 30. Кінець програми.



а

	A	B	C	D
1	100	350	0	0
2	100	350	1,46	0,0019624
3	100	350	6,15	0,0377639
4	100	350	14,12	0,2525887
5	100	400	0	0
6	100	400	1,14	0,0015900
7	100	400	3,57	0,0164979
8	100	400	13,3	0,3676994
9	100	450	0	0
10	100	450	0,31	0,0011969
11	100	450	2,18	0,0186735
12	100	450	13,48	0,2858130
13	100	500	0	0
14	100	500	0,59	0,0007449
15	100	500	1,25	0,0020703
16	100	500	4,64	0,0451452
17	100	500	13,1	0,2400761

б

	A	B	C
1	100	350	0,02899
2	100	400	0,06811
3	100	450	0,08534
4	100	500	0,05344

Рисунок 4 – Блок-схема програми розрахунку  $S_{\text{сум},p}$  (а) і фрагмент файлу Dani.dat (б) та матриці Rez (в)

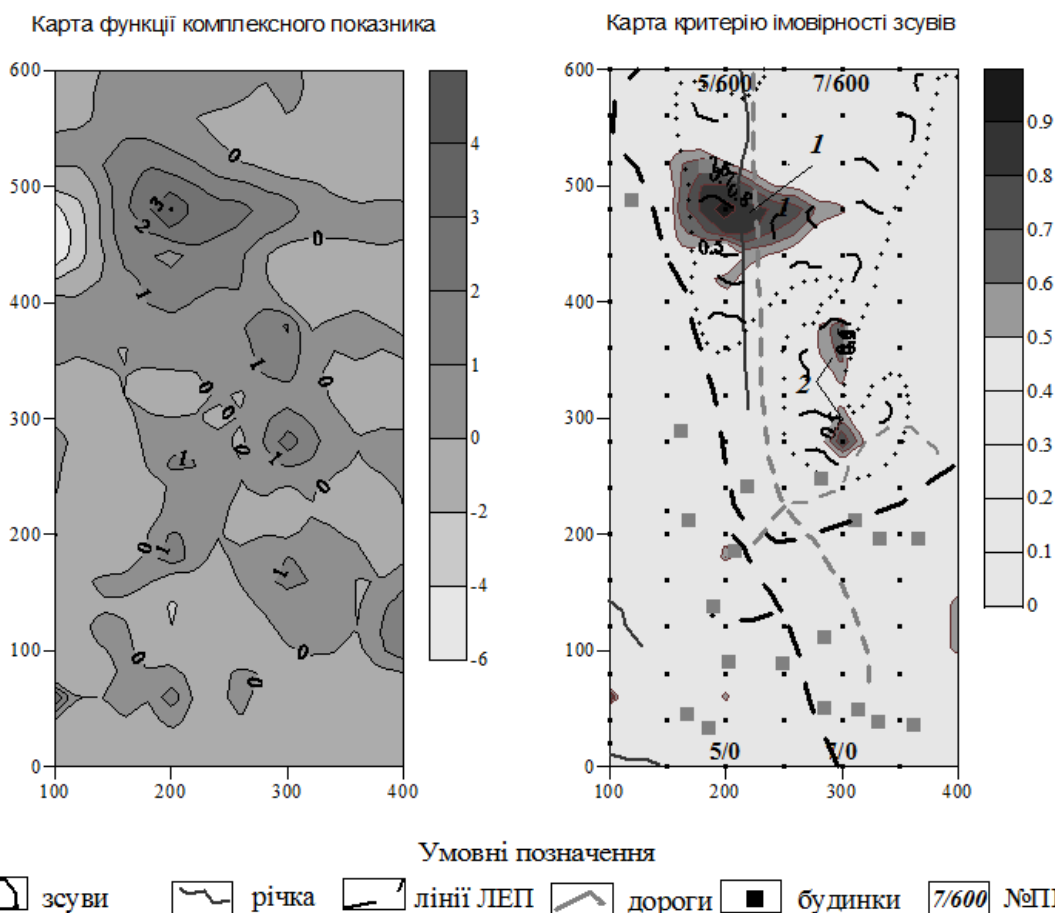


Рисунок 5 – Карти функції комплексного показника та критерію ймовірності розвитку зсувів

**Результати просторової побудови критерію ймовірності розвитку зсувів для ділянки Вільхівці 1**

Ділянка Вільхівці 1 розташована у Тячівському районі Закарпатської області. Рельєф ділянки пологий, кути нахилу змінюються від 4° до 8°, лише в нижній частині ділянка горбиста з кутами нахилу від 12° до 28°. Характерною рисою є те, що більша частина ділянки уражена зсувними процесами. Абсолютні позначки денної поверхні становлять 415–490 метрів.

Польові роботи на даній ділянці проводились трьома геофізичними методами: ВЕЗ, ПЕП та ПЕМЗ. У результаті комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних побудовано карти ФКП та КІРЗ (рис. 5).

На карті КІРЗ виділено дві аномальні зони.

Аномалія № 1 знаходиться між профілями № 4 і № 7 в 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 розташована на профілі № 7 у районі ПК 280–360 і складається з двох частин з невисоким рівнем  $P=0.6$ . Аномалія зумов-

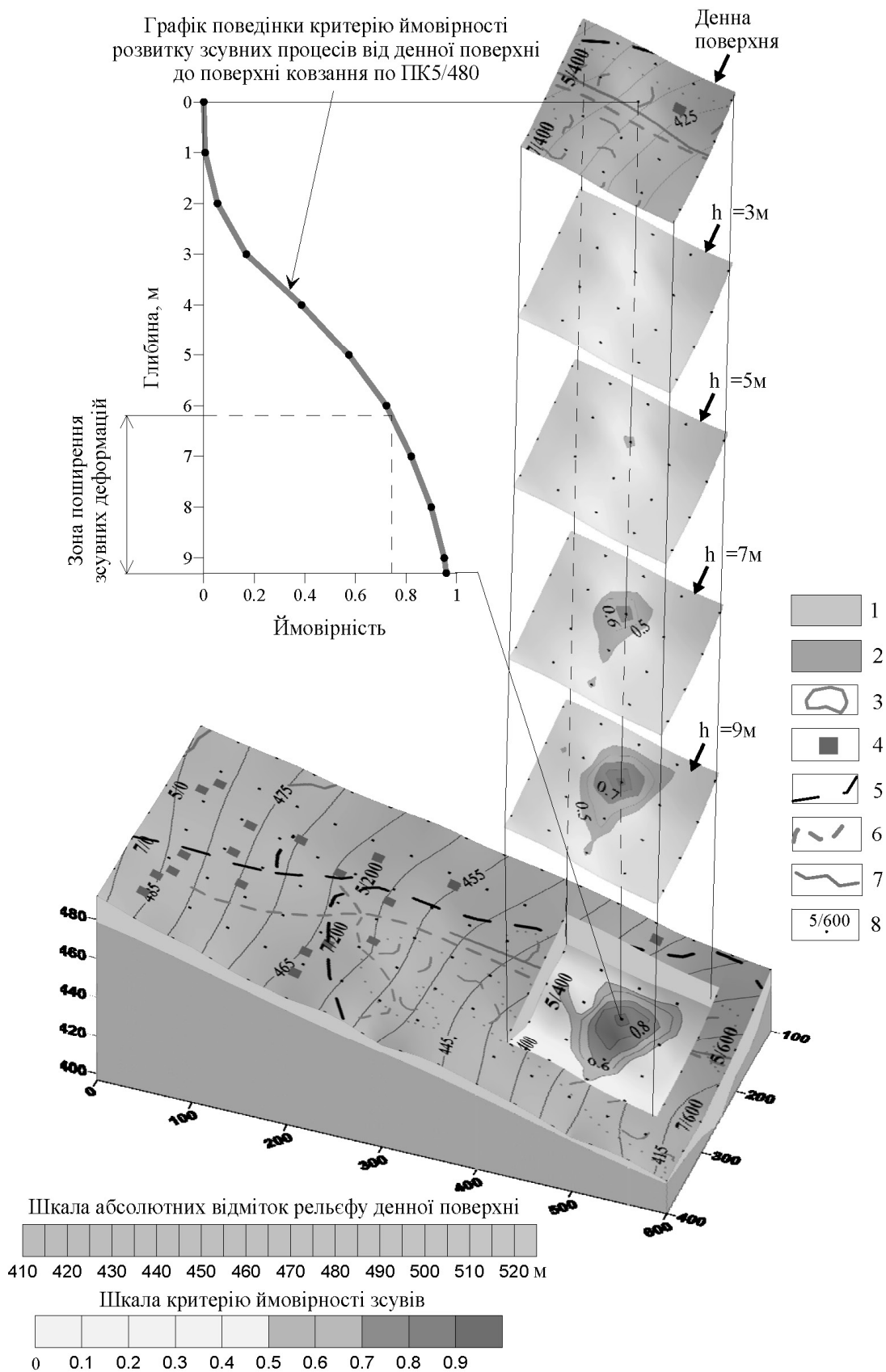
лена низькими значеннями  $\rho_{\text{під}}$  (приблизно 30 Ом·м) та  $\chi$  – до 0.5, високими значеннями h (8 м) та  $|\Delta U_{\text{зал}}|$  (до 10–15 мВ).

Коефіцієнт кореляції між параметрами  $S_{\text{сум}}$  та ФКП складає 0.72. Згідно з шкалою Чеддока (табл. 2) зв'язок між параметрами  $S_{\text{сум}}$  та ФКП є прямий і високий.

Перевірку значимості лінійного коефіцієнта кореляції проведено за допомогою табличного процесора Microsoft Excel, у якому наявний широкий набір статистичних функцій [11]. Результати перевірки наведено в табл. 3.

**Таблиця 3 – Результати перевірки значущості лінійного коефіцієнта кореляції**

Параметри, що розраховуються	Значення
Коефіцієнт кореляції $r_{xy}$	0.72
Розрахункове значення t-критерію $t_p$	23.06
Табличне значення t-критерію $t_{кр}$	1.96
Табличне значення стандартного нормального розподілу $Z_\gamma$	1.64
Значення перетворення Фішера $z'$	0.91
Ліва інтервальна оцінка для z	0.83
Права інтервальна оцінка для z	0.98
Ліва інтервальна оцінка для $r_{xy}$	0.68
Права інтервальна оцінка для $r_{xy}$	0.75
Стандартна похибка для $r_{xy}$	0.03



1 – зсувні породи до поверхні ковзання; 2 – підстелені породи; 3 – зсуви, яри; 4 – будинки;  
5 – лінії ЛЕП; 6 – дороги; 7 – річка; 8 – № профілю/№ пікету

Рисунок 6 – Просторова побудова критерію ймовірності розвитку зсувів (ділянка Вільхівці 1)



Таким чином, із ймовірністю 0.95 лінійний коефіцієнт кореляції знаходиться в інтервалі від 0.68 до 0.75 із стандартною похибкою 0.03. Отже,  $S_{\text{сум}}$  перебуває в тісному зв'язку з ФКП для досліджуваної ділянки.

Згідно з рис. 5, на досліджуваній ділянці виявлено дві аномальні зони, проте найбільш виразною і з високим рівнем критерію зсувонебезпеки ( $P=0.9$ ) є зона № 1, тому доцільно вибрати для просторової побудови КЙРЗ тільки частину ділянки, що оконтурює виявлену аномальну зону.

Результат перерахунку КЙРЗ на глибини 3, 5, 7, 9 м наведено на рис. 6, де наочно видно, що виявлена аномалія починає зароджуватися з глибини 5 м (ПК 5/480), на глибині 7 м вона стає виразнішою, з максимальним рівнем критерію зсувонебезпеки  $P=0.8$ , а на глибині 9 м її розміри максимально наближуються до розмірів на поверхні ковзання ( $P=0.9$ ). Також на даному рисунку наведено графік поведінки КЙРЗ від денної поверхні до поверхні ковзання по ПК5/480. Для даної ділянки аномальними слід вважати значення ФКП починаючи з рівня 1.15, якому у свою чергу відповідає рівень КЙРЗ 0.75. Таким чином, на графіку поведінки КЙРЗ виділено зону поширення зсувних деформацій, потужність якої складає 3.1 м. Ймовірно, що дана зона узгоджується з шаром динамічних деформацій.

### **Висновки**

Удосконалено комплексну інтерпретацію геолого-геофізичної інформації з виходом на кількісні ймовірнісні критерії шляхом обґрунтування та забезпечення просторових побудов розподілу критерію ймовірності зсувної небезпеки.

Обґрунтовано можливість визначення потужності шару динамічних деформацій за даними основного комплексу геофізичних методів дослідження зсувних процесів, не залучаючи при цьому додаткових методів, зокрема зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні.

Виконано просторову побудову КЙРЗ для однієї з ділянок досліджень та побудовано графік поведінки КЙРЗ від денної поверхні до поверхні ковзання для окремого пікету, на основі якого встановлено потужність шару динамічних деформацій.

В подальшому, з метою встановлення наявності функціональних залежностей між КЙРЗ та потужністю ШДД і їх виду, доцільно провести кореляційний аналіз для даних показників.

### **Література**

1 Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році. – К.: ДП Агентство інформації, міжнародного співробітництва та розвитку Чорнобильінтерінформ, 2012. – 362 с.

2 Изучение оползней геофизическими методами / [Н.Н. Горяинов, А.Н. Боголюбов, Н.М. Варламов и др.]. – М.: Недра, 1987. – 157 с.

3 Горяинов Н.Н. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии / Н.Н. Горяинов. – М.: Недра, 1985. – 79 с.

4 Горяинов Н.Н. Сейсмические методы в инженерной геологии / Н.Н. Горяинов, Ф.М. Ляховицкий. – М.: Недра, 1979. – 143 с.

5 Адаменко О.М. Екологічна геоморфологія: підручник для студентів екологічних, геологічних, географічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О.М. Адаменко, Г.І. Рудько, І.П. Ковальчук; за ред. О.М. Адаменка та І.П. Ковальчука. – Івано-Франківськ: ФАКЕЛ, 2000. – 411 с.

6 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.

7 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.

8 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.

9 Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпеки і методика їх комплексної інтерпретації / Е.Д. Кузьменко, Д.Н. Лящук, В.Д. Чебан, Л.В. Штогрин // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: Зб. наук. праць. – Київ, 2005. – С. 333-349.

10 Лапач С.Н. Статистика в науке и бизнесе / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – К.: МОРИОН, 2002. – 640 с.

11 Макарова Н.В. Статистика в Excel / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

12 Кузьменко Е.Д. Електрична розвідка методом становлення поля: навчальний посібник / Е.Д. Кузьменко, Я.С. Сапужак. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 154 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.09.13*

*Рекомендована до друку  
професором Федоришиним Д.Д.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук Яковлєвим Є.О.  
(ТОВ «Оптіма-Голд», м. Івано-Франківськ)*