

УДК 550.34

Ю.О. Гордієнко

Головний центр спеціального контролю, Макарів-1

## ВИЯВЛЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО СИГНАЛУ ВІД ЗЕМЛЕТРУСУ В РАЙОНІ ВРАНЧА ЗА ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЮ ОЗНАКОЮ

У роботі запропоновано спосіб оперативного виявлення сейсмічного сигналу від землетрусу з епіцентром у сейсмонезбезпечному районі Вранча за результатом поляризаційного аналізу першого вступу сейсмічного сигналу. Запропонований спосіб дозволяє приймати рішення про землетрус небезпечного класу з епіцентром у підконтрольній сейсмоактивній зоні за результатами аналізу першого вступу сейсмічного сигналу без врахування особливостей його форми. Проаналізовано результати обробки сейсмічних сигналів від землетрусів з епіцентрами у сейсмоактивній зоні Вранча.

**Ключові слова:** сейсмічний сигнал, землетрус, поляризаційна фільтрація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одними з природних явищ, які являють собою небезпеку для України є землетруси. Катастрофічні масштаби наслідків потужних землетрусів можуть призвести до аварій та катастроф, екологічних та соціально-політичних негативних наслідків [1]. У сейсмочутливих районах України, загальна площа яких становить близько 120 тис. км<sup>2</sup>, а можлива інтенсивність коливань ґрунту на поверхні землі становить 6-8 балів за шкалою MSK-64, проживає майже 11 млн. населення і знаходиться до 300 хімічних і пожежонебезпечних об'єктів, густа мережа газо- і нафтопроводів, гідроспоруди та інші потенційно-небезпечні об'єкти.

Аналіз особливостей сейсмічності території України та суміжних держав [2 – 7] вказує на те, що найбільш небезпечною для України є сейсмоактивна зона (САЗ) Вранча (Румунська частина Карпат). За період з 1997 по 2008 роки в САЗ Вранча відбулося 138 землетрусів, 30 з яких були відчутні на території України та зафіксовані мережею сейсмічних спостережень Головного центру спеціального контролю (ГЦСК). Згідно конфігурації ізосейст для землетрусів в зоні Вранча (рис. 1), південно-західні регіони України попадають в зону високого струсу [3].

Таким чином завдання оперативного встановлення факту сейсмічної події у заданій САЗ та надання інформації про параметри землетрусу та можливі його наслідки є актуальним.

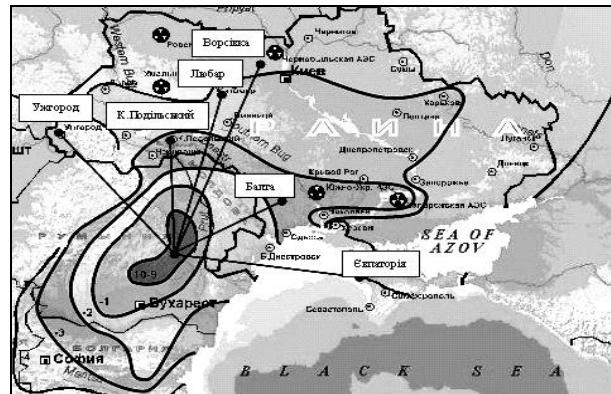


Рис. 1. Ізосейсти для землетрусів з району Вранча та пункти спостережень ГЦСК

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням підвищення оперативності оповіщення про землетрус в САЗ Вранча присвячена низка робіт [1, 7 – 9]. Проте основним напрямком досліджень було обрано встановлення відповідності форми прийнятої реалізації раніш зареєстрованим сейсмічним сигналам від землетрусів з підконтрольної САЗ. Однак форму сейсмічного сигналу від землетрусу, на відміну від сигналів вибухового походження, впливають ряд чинників, основні з яких – орієнтація розлому відносно напрямку на пункт спостереження, напрямку розповсюдження землетрусу вздовж розлому та інші [10].

Одним з підходів щодо подолання зазначених проблем є використання апарату поляризаційного

аналізу (АПА), суть якого полягає у врахуванні відмінності поляризаційних властивостей шуму та сигналу. Однак реалізовані на даний час методологічні підходи щодо АПА досить складні, оскільки вони засновані на апроксимації траєкторії руху часток ґрунту еліпсоїдом та оцінки його параметрів, які пов'язані з положенням осередку сейсмічної події відносно пункту спостереження [10]. Крім того, для ефективного використання АПА також необхідна інформація про форму очікуваного сигналу.

Іншим підходом є використання апарату поляризаційної фільтрації [10 – 13], суть якого полягає у перерахунку похідних записів компонент сейсмічного запису трикомпонентної сейсмічної станції (ТКСС) у повний вектор зміщення та його проекцію на певний напрямок. Реалізація даного підходу значно простіша у порівнянні з попереднім, однак його використання не виключає впливу сигналів від сейсмічних подій з інших напрямків, що призводить до помилкового визначення належності сигналу з підконтрольного району.

**Метою статті** є розробка методологічних підходів щодо виявлення сейсмічних сигналів від землетрусів з підконтрольної сейсмоактивної зони без врахування особливостей їх форми.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із способів подолання зазначених проблем є реалізація процедури поляризаційної фільтрації для всіх можливих напрямків приходу сейсмічної хвилі як [13]:

$$P(\alpha, \gamma) = \sum_{i=1}^n g_i \cdot G^{\alpha\gamma}, \quad (1)$$

де  $g_i$  – поточне значення зміщення ґрунту в напрямках північ-південь, схід-захід та вертикальному,  $g_i = \{n_i, e_i, z_i\}$ ;  $n$  – розмір ділянки сейсмічного запису, для якого розраховується функції  $P(\alpha, \gamma)$ ;  $G^{\alpha\gamma}$  – напрямок для якого проводиться поляризаційна фільтрація,  $G^{\alpha\gamma} = \{x, y, z\}$ , де координати  $x, y, z$  пов'язані з азимутом приходу сейсмічної хвилі  $\alpha$  та кутом виходу її виходу на земну поверхню  $\gamma$  як [13]:

$$x = \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha), \quad y = \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha), \quad z = \sin(\gamma). \quad (2)$$

Розподіл функції  $P(\alpha, \gamma)$  являє собою еліпсоїд, ступінь лінійності якого визначається як [11]:

$$G = 1 - \frac{b}{a}, \quad (3)$$

де  $b$  та  $a$  – відповідно мала та велика піввісь еліпсоїду, які в свою чергу відповідають мінімальному та максимальному значенню функції  $P(\alpha, \gamma)$ , тобто:

$$G = 1 - \frac{\min P(\alpha, \gamma)}{\max P(\alpha, \gamma)}. \quad (4)$$

При цьому кутове положення максимуму функції (1) відповідає кутовому положенню осередку сейсмічної події відносно пункту спостереження [9].

Таким чином, виявлення сейсмічного сигналу з підконтрольного району можливо реалізувати шляхом пошуку ділянок сейсмічного запису, які мають високий коефіцієнт лінійності  $G$ , при цьому кутове положення максимуму функції  $P(\alpha, \gamma)$  відповідає кутовому положенню САЗ. Для виявлення таких ділянок пропонується ввести функцію:

$$\Psi(n) = G(n) \cdot \cos \Theta(n), \quad (5)$$

де  $G(n)$  – поточне значення коефіцієнту лінійності;  $\Theta(n)$  – значення кута між максимумами функції  $P(\alpha, \gamma)$  та кутовим положенням САЗ відносно пункту спостереження;  $n$  – номер ділянки запису.

Значення кута між максимумами функції  $P(\alpha, \gamma)$  та кутовим положенням САЗ відносно пункту спостереження визначається як:

$$\cos \Theta(n) = X \cos \gamma(n) \cos \alpha(n) + Y \cos \gamma(n) \sin \alpha(n) + Z \sin \gamma(n), \quad (6)$$

де  $\alpha(n)$  та  $\gamma(n)$  – кутове положення поточного значення максимуму функції  $P(\alpha, \gamma)$ ;  $\{X, Y, Z\}$  – координати одиничного вектору, які визначаються через кутове положення підконтрольного району відносно пункту спостереження за виразом (2).

На рис. 2 – 4 наведено результати обробки сейсмічних сигналів від землетрусів з осередками у САЗ Вранча при використанні запропонованого способу. Розрахунок значень огинаючої  $\Omega$ , коефіцієнту лінійності  $G(n)$  та вирішальної функції  $\Psi(n)$  здійснювався для ділянки сейсмічного запису тривалістю  $n = 120$  відліків, що відповідає 3 с запису при частоті дискретизації 40 Гц, із зсувом на 40 відліків (1 с).

Аналіз рис. 2 – 4 показує, що сигнали, які досліджувались, мають значне відношення сигнал/шум та значення коефіцієнту лінійності на момент вступу близький до одиниці. При цьому значення вирішальної функції про наявність сейсмічного сигналу від землетрусу з осередком у САЗ Вранча становило відповідно 0,99 та 0,96.

### Висновки

Таким чином, запропонований спосіб обробки вимірювальних даних трикомпонентної сейсмічної станції дозволяє виявляти сейсмічні сигнали з підконтрольного району за результатом поляризаційного аналізу першого вступу без врахування особливостей форми сейсмічного сигналу. Запропонований підхід може бути покладено в основу побудови системи оперативного оповіщення про землетруси з осередками у сейсмоактивних зонах, які становлять небезпеку для території України.

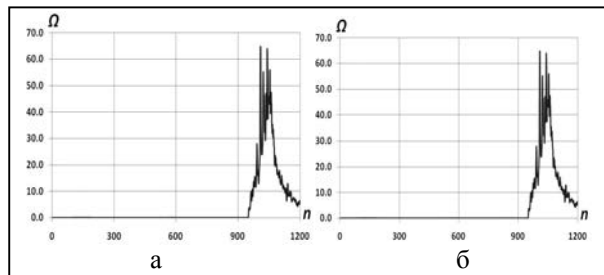


Рис. 2. Огинаючі сейсмічних сигналів із САЗ Вранча: а – 27.09.2004; б – 12.5.2004

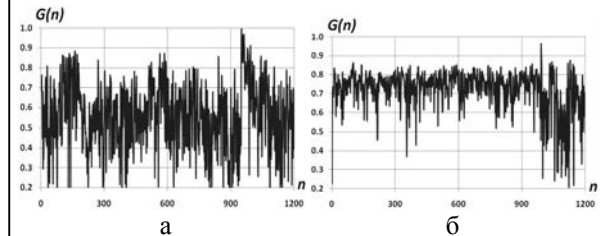


Рис. 3. Коефіцієнти лінійності сейсмічних сигналів із САЗ Вранча: а – 27.09.2004; б – 12.5.2004

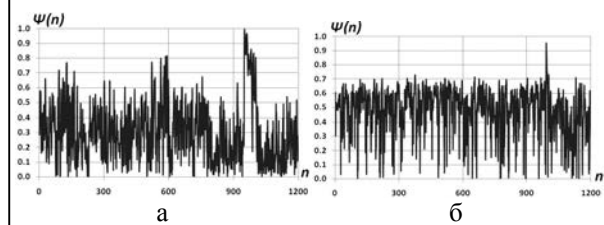


Рис. 4. Вирішальні функції для сейсмічних сигналів із САЗ Вранча: а – 27.09.2004; б – 12.5.2004

### Список літератури

1. Гордієнко Ю.О. Оцінка часу отримання вимірвальних даних від мережі сейсмічних спостережень ГЦСК / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, С.В. Петров // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1(27). – С. 229-232.
2. Евсеев С.В. Интенсивность землетрясений Украины. Сейсмичность Украины / С.В. Евсеев. – К.: Наукова думка, 1969. – 120 с.
3. Харитонов О.М. Сейсмичность территории Украины / О.М. Харитонов // Геофизический журнал. – 1996. – Т. 18, №1. – С. 3-15.

4. Пустовитенко Б.Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности / Б.Г. Пустовитенко, В.Е. Кульчицкий, А.А. Пустовитенко // Геофизический журнал. – 2006. – Т. 28, №3. – С. 60-67.

5. Борисенко Л.С. Сейсмические зоны платформенной зоны Украины и Азовско-Черноморского региона / Л.С. Борисенко, О.С. Сафонов, Б.Г. Пустовитенко // Геодинамика и сейсмопрогностические исследования на Украине. – К.: Наукова думка, 1992. – С. 31-41.

6. Старостенко В.І. Дослідження сучасної геодинаміки українських Карпат / В.І. Старостенко. – К.: Наукова думка, 2005. – 256 с.

7. Особенности активизации сейсмических процессов сейсмонебезопасного района Вранча / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, В.А. Кирилюк, Р.А. Андричук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Ж.: ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 125-130.

8. Ващенко В.М. Аналіз першого вступу сейсмічного сигналу з метою оперативного оповіщення про землетруси / В.М. Ващенко, І.В. Толчоно, Ю.О. Гордієнко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 3(70). – С. 25-28.

9. Гордієнко Ю.О. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології та мережа сейсмічних спостережень ГЦСК щодо упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, В.М. Каплаушенко // Вісник ЖДТУ. – № 3(38). – 2006. – С. 61-78.

10. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров. – М., Саранск: Тип. "Крас. Окт.", 2005. – 420 с.

11. Гринюк Ю.В. Використання поляризаційної фільтрації сейсмічних сигналів для покращення якісних показників їх виявлення / Ю.В. Гринюк, В.А. Кирилюк, В.О. Сергієнко // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 124-129.

12. Алказ В.Г. Поляризационный анализ сейсмических колебаний / В.Г. Алказ, Н.И. Онофраш, А.И. Перельберг. – Кишинев: Штиница, 1977. – 110 с.

13. Гордієнко В.О. Виявлення кутових характеристик їх джерел за результатами поляризаційної фільтрації / В.О. Гордієнко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 1(52). – С. 67-71.

Надійшла до редколегії 17.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВЫЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В РАЙОНЕ ВРАНЧА ПО ПОЛЯРИЗАЦИОННОМУ ПРИЗНАКУ

Ю.А. Гордиенко

В работе предложен способ оперативного выявления сейсмического сигнала от землетрясения с эпицентром в сейсмически опасном районе Вранча по результатам поляризационного анализа первого вступления сейсмического сигнала. Предложенный способ позволяет принимать решение о землетрясении опасного класса с эпицентром в подконтрольной сейсмоактивной зоне по результатам анализа первого вступления сейсмического сигнала без учета особенностей его формы. Проанализированы результаты обработки сейсмических сигналов от землетрясений с эпицентрами в сейсмоактивной зоне Вранча.

**Ключевые слова:** сейсмический сигнал, землетрясение, поляризационная фильтрация.

### EXPOSURE OF SEISMIC SIGNAL FROM EARTHQUAKE IN DISTRICT OF VRANCHA ON POLARIZATION SIGN

J.A. Gordienko

The method of operative exposure of seismic signal from an earthquake with an epicenter in the seismically dangerous district of Vrancha on results the polarization analysis of the first entry of seismic signal is in the article offered. The offered method allows to make a decision about an earthquake dangerous class with an epicenter in a controlled seismically active area on results the analysis of the first entry of seismic signal without the account of features of his form. The results of treatment of seismic signals are analysed from earthquakes with epicenters in the seismically active area of Vrancha.

**Keywords:** seismic signal, earthquake, polarization filtration.