

УДК 550.34

**ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ПІДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРУСУ З ОСЕРЕДКОМ
У СЕЙСМОАКТИВНИХ ЗОНАХ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ
СЕЙСМІЧНОГО ГРУПУВАННЯ ГЦСК НКАУ**

Ю.О. Гордієнко, к.т.н.

*Головний центр спеціального контролю НКАУ, Київська обл., м. Макарів-1,
ua_gordienko@mail.ru*

Реферат. У статті розглянуто можливості виявлення засобами системи сейсмічного групування ГЦСК НКАУ змін режимів сейсмічності сейсмоактивних зон, пов'язаних з процесами підготовки землетрусу.

Обнаружение признаков подготовки землетрясения с эпицентром в сейсмоактивных зонах средствами системы сейсмического группирования ГЦСК НКАУ. Гордиенко Ю.А.

Реферат. В статье рассматривается возможность обнаружения средствами системы сейсмического группирования ГЦСК НКАУ изменений сейсмических режимов сейсмоактивных зон, связанных с процессами подготовки землетрясения.

Detection of the signatures of earthquake preparation with an epicentre in a seismic region by the MCSM NSAU seismic array. Gordienko Yu.

Abstract. In article review the possibility of a seismic array of MCSM NSAU in detection of the seismic region mode changes, related to the earthquake preparation.

1. Вступ

З метою підвищення безпеки проживання населення та експлуатації виробничих фондів у сейсмонебезпечних районах та координації діяльності органів виконавчої влади щодо забезпечення захисту населення, об'єктів та територій від впливу землетрусів Постановою Кабінету Міністрів України від 11 вересня 1995 року №728 було утворено Національну систему сейсмічних спостережень (НССС). Одним з інформаційних підрозділів НССС є Національне космічне агентство України (НКАУ), у складі якого контроль за сейсмічною обстановкою та іншими геофізичними явищами здійснює Головний центр спеціального контролю (ГЦСК). Одним з головних завдань ГЦСК, в межах функціонування НССС, є викриття ознак підготовки землетрусів, оперативне встановлення факту землетрусу та оцінки його параметрів, забезпечення органів виконавчої влади інформацією про землетруси та їх можливі наслідки.

Прогноз землетрусів на основі моніторингових даних здійснюється на підставі виявлення провісникових ефектів, пов'язаних зі змінами властивостей гірської породи в районі осередку майбутнього землетрусу. Аналіз відомих провісників землетрусів – варіації рівня сейсмічності, деформація земної поверхні, нахил земної поверхні, форшоки, зміни швидкостей сейсмічних хвиль, аномалії крипу на розломі, телуричний струм, флуктуація дебіту нафти у свердловинах, зміни геомагнітного поля, зміни електроопору гірських порід тощо – показує, що більшість із них потребують створення спеціальної виміральної системи

спостережень, яка повинна знаходитись безпосередньо у сейсмоактивній зоні (САЗ) [1]. Наповнення інформаційної системи ГЦСК новими методами спостережень для реєстрації відомих провісників потребує значних фінансових затрат. Крім того, розташування пунктів спостережень ГЦСК в асейсмічних районах на значних відстанях від епіцентрів також зумовлює неможливість використання більшості відомих підходів при проведенні прогностичних спостережень.

Найбільш доцільним для вирішення завдань виявлення ознак підготовки землетрусу мережею сейсмічних спостережень ГЦСК є використання таких провісників, як варіації рівня сейсмічності, швидкість сейсмічних хвиль та форшоки перед головним поштовхом. Основним недоліком перших двох провісників є низька точність прогнозування місця та часу майбутнього землетрусу [1]. Крім того, для аналізу варіацій швидкостей сейсмічних хвиль потрібен відносно регулярний ефект підсвічування – віддалений землетрус або вибух. Форшокова активізація сейсмічності потребує виявлення сейсмічних сигналів з визначених сейсмоактивних районів із малою амплітудою [2].

Визначення належності сигналу малої амплітуди до певної САЗ за результатами оцінки координат джерела за даними трикомпонентної сейсмічної станції (ТКСС) з використанням лише кутових показників здійснюється з низькою точністю [3].

Суттєвого покращення умов виявлення сейсмічного сигналу можна досягнути шляхом використання системи сейсмічного групування (ССГ). В основі принципу сейсмічного групування лежить використання властивості когерентності сигналу і некогерентності перешкод та відмінності їх швидкості розповсюдження [4], що дозволяє разом з частотною фільтрацією здійснити при сейсмічному групуванні і швидкісну фільтрацію коливань [5].

2. Використання ССГ для моніторингу сейсмоактивних зон

Для вирішення завдань викриття змін сейсмічного режиму САЗ шляхом реалізації дистанційного моніторингу засобами ССГ пропонується сформувати окремий контур обробки даних, в основі якого лежить формування багатопроменевої характеристики вибірковості з максимумами характеристик, спрямованих на сейсмоактивні зони – Крим, Вранча, Закарпаття (рис. 1). В основу підходу до отримання вимірjuвальних даних на виході ССГ з підконтрольної сейсмоактивної зони покладено метод складання із затримками [4].

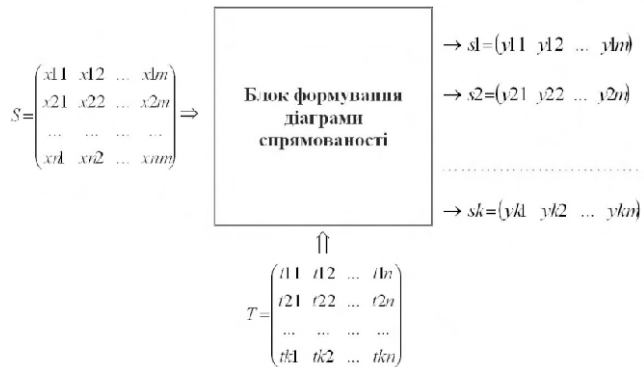


Рис. 1. Отримання інформації з підконтрольної САЗ.

Обробка даних сейсмічної групи на основі методу складання із затримками проводиться шляхом затримки сигналу на виході кожного сейсмоприймача на час руху хвилі від вибраного сейсмоприймача до останнього в групі (з відповідного напрямку) та подальшим їх складанням. У граничному випадку, якщо зареєстровані сигнали когерентні, а перешкоди некорельовані, коефіцієнт підсилення групи η для методу складання із затримками набуває максимального значення N , де N – кількість сейсмометрів у групі [6].

На вхід блоку формування діаграми спрямованості (БФДС) надходить матриця хвильового фрагменту S розмірністю $n \times m$, де n – кількість сейсмоприймачів у складі ССГ,

m – розмір вибірки. Матриця затримок T розмірністю nk , де k – кількість САЗ, включених до моніторингу, елементи якої являють собою час затримки кожного з елементів ССГ для формування характеристик вибіркової на відповідний район земної кулі.

На виході БФДС одержуємо k векторів $s_i = (y_{i1} \ y_{i2} \ \dots \ y_{im}) \ i=1..k$, де k – кількість САЗ, включених до системи безперервного моніторингу. Вектор s_i являє собою вибірку фрагменту хвильового поля для формування діаграми спрямованості ССГ з максимумом на i -у зону як:

$$s_{jk}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}(t + t_{ik}) \quad (1)$$

Запропонований підхід дозволяє реалізувати систему моніторингу САЗ, наведену на рис. 2.

3. Аналіз вимірювальних даних апаратом фрактальної розмірності

В якості апарата обробки вимірювальних даних на виході ССГ пропонується використовувати апарат фрактальної розмірності (АФР). Для аналізу хвильових форм використано метод нормованого розмаху (метод Херста), для якого послідовність вимірювальних даних характеризується показником Херста – H , що визначається співвідношенням [7]:

$$R/\sigma = (N/2)^H \quad (2)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення досліджуваного хвильового фрагменту, що розраховується за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x(t) - \langle x \rangle)^2} \quad (3)$$

R – розмах зміни $X(t)$, розраховується як

$$R = \max_{1 \leq t \leq N} X(t) - \min_{1 \leq t \leq N} X(t) \quad (4)$$

$X(t)$ – накопичення відхилення $x(t)$ від $\langle x \rangle$ середнього:

$$X(t) = \sum_{u=1}^t \{x(u) - \langle x \rangle\} \quad (5)$$

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x(t) \quad \text{– середнє значення } x(t) \text{ за період } N;$$

$x(t)$ – часовий ряд вимірювальних даних.

У свою чергу хвильовий фрагмент являє собою криву фрактальної розмірності:

$$D = 2 - H \quad (6)$$

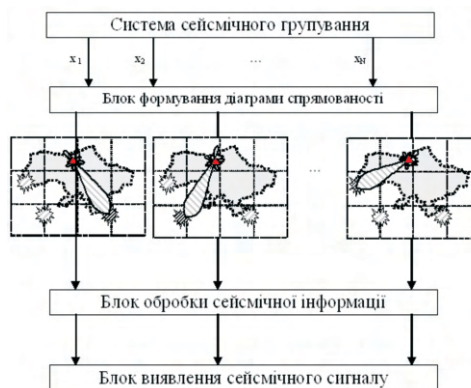


Рис. 2. Система моніторингу сейсмонезбезпечних районів ССГ ГЦСК.

Виявлення сейсмічного сигналу здійснюється за критерієм Неймана-Пірсона [8, 9]. Згідно з цим критерієм мінімізується величина ймовірності пропуску сигналу β за умови, що ймовірність виявлення хибного сигналу α не перевищує заданої величини α_0 . На рис. 3 представлено щільності розподілу дисперсії та розмірності вибірки вимірювальних даних на виході ССГ за умови наявності та відсутності сигналу з САЗ Вранча.

За відомою функцією правдоподібності і заданою величиною α_0 можна знайти поріг h , що відповідає розбиттю області спостереження на S_0 – відсутності сигналу та S_1 – наявності сигналу [8]. Перехід до оперування від дисперсії вибірки, яка використовується у ГЦСК на даний час для обробки вимірювальних даних на виході ССГ, до розмірності дозволяє при однакових вимогах щодо виявлення хибного сигналу $\alpha_0 = 0.05$ підвищити ймовірність правильного виявлення сейсмічного сигналу з 0,67 до 0,88.

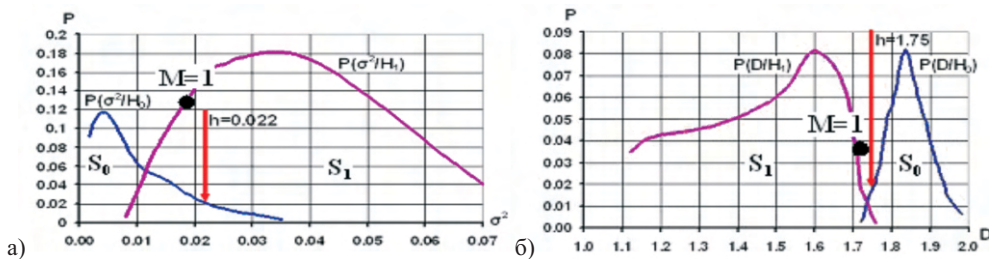


Рис. 3. Щільність розподілу оцінки дисперсії (а) та розмірності (б) вибірки за умови наявності та відсутності сигналу.

4. Виявлення сигналів з підконтрольної зони та аналіз варіацій сейсмічності

Виявлення сигналів з підконтрольної САЗ реалізовано шляхом порівняння розрахованого значення розмірності з порогом:

$$\check{D}_k = \begin{cases} 1, & D_i \leq h \\ 0, & D_i > h \end{cases} \quad (7)$$

де \check{D} – оцінка наявності сигналу;

D – розраховане значення розмірності вибірки;

h – значення порогу (рис. 3, б).

Для аналізу сейсмічного режиму розраховується кумулятивна сейсмічність для кожного з САЗ, включеного до моніторингу, яка визначається як:

$$\Theta D_{ki} = \Theta D_{ki-1} + \Pi_{ki} \quad (8)$$

де ΘD_{ki} – кумулятивна сейсмічність k -ї САЗ на момент часу i ;

\check{D}_{ki} – оцінка наявності сигналу з k -ї САЗ.

Перехід до обробки вимірювальних даних на виході сейсмічної групи АФР дозволяє підвищити магнітудну чутливість ССГ, тим самим виявляти зміни режиму сейсмічності підконтрольної САЗ, пов'язаного з активізацією процесів підготовки землетрусу. На рис. 4 представлено варіації кумулятивної сейсмічності з 3-ї по 10-ту годину, за київським часом, 27.09.2004 р., розрахованої за результатами дисперсійного аналізу (рис. 4, а), який використовується на даний час, та за фрактальною розмірністю (рис. 4, б) для САЗ – Вранча, Закарпаття та Крим.

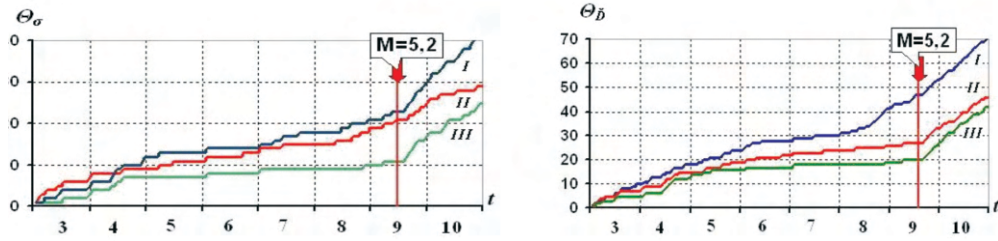


Рис. 4. Кумулятивна сейсмічність з 3-ї по 10-ту годину 27.09.2004 р., розрахована за результатами дисперсійного аналізу (а) та АФР (в) для САЗ: I – Вранча; II – Закарпаття; III – Крим.

Стрілкою відмічено момент землетрусу з магнітудою $M=5.2$, який відбувся у САЗ Вранча. Як видно з наведеного, на момент землетрусу значення кумулятивної сейсмічності САЗ Вранча, розраховані за результатами використання АФР, більше за розраховану за результатами дисперсійного аналізу. На рис. 5 представлено результати розрахунків добових варіацій кумулятивної сейсмічності району Вранча напередодні та на момент землетрусу.

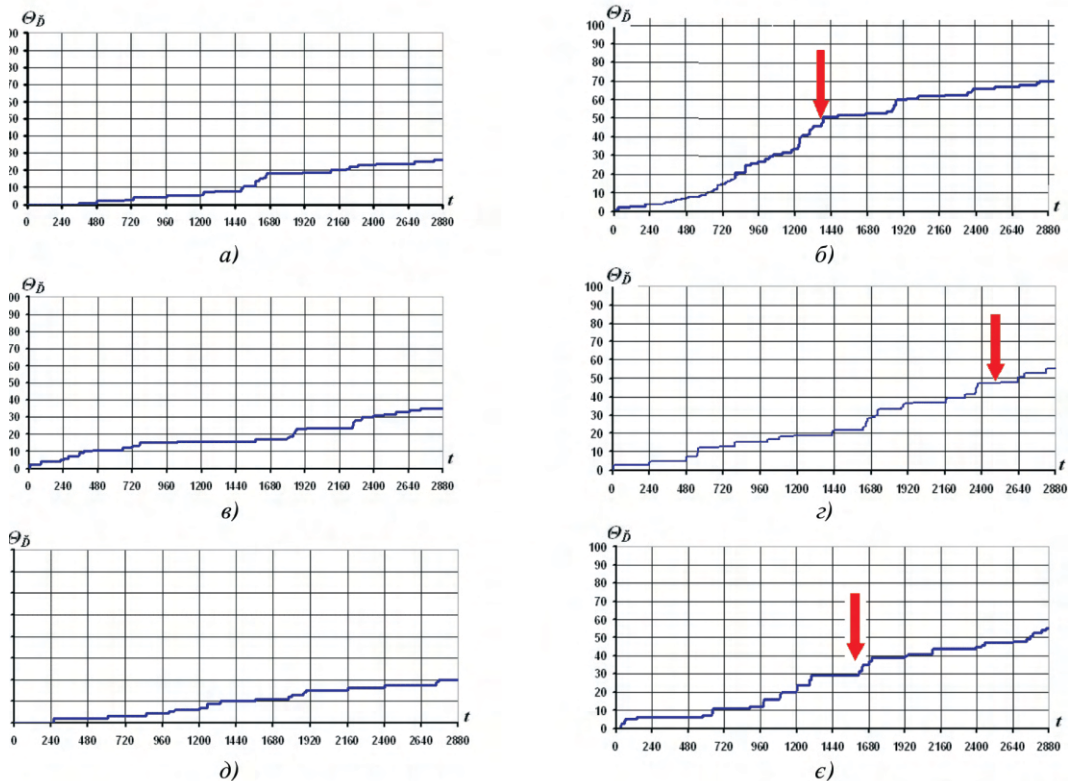


Рис. 5. Добові варіації кумулятивної сейсмічності для району Вранча: а) 26.09.2004 р.; б) 27.09.2004 р., $M=5.2$; в) 26.10.2007 р.; г) 27.10.2004 р., $M=5.9$; д) 16.01.2007 р.; е) 17.01.2007 р., $M=4.8$.

Ю.О. Гордієнко. ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ПІДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРУСУ З ОСЕРЕДКОМ У СЕЙСМОАКТИВ...

Аналіз варіацій кумулятивної сейсмічності показує, що середньодобові значення району Вранча для асейсмічного періоду знаходяться в діапазоні $20 \div 30$ (рис. 5 *а, в, д*). Перед землетрусом спостерігається зростання значення кумулятивної сейсмічності (рис. 5 *б, з, д*).

Висновки

У роботі запропоновано підходи до виявлення змін сейсмічності САЗ, пов'язаної з підготовкою землетрусу шляхом його моніторингу засобами системи сейсмічного групування.

В якості характеристики сейсмічного режиму підконтрольної САЗ запропоновано використання кумулятивної сейсмічності. Аналіз варіацій кумулятивної сейсмічності показує, що середньодобові значення для САЗ в асейсмічний період знаходяться в діапазоні $20 \div 30$. Перед землетрусом спостерігається зростання значення кумулятивної сейсмічності.

Запропонований підхід дозволяє викривати зміни режиму підконтрольних районів, пов'язаного з процесами підготовки землетрусів, за кілька годин до основного поштовху.

Література

1. **Рикитаке Т.** Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 384 с.
2. **Соболев Г.А.** Основы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1993. – 313 с.
3. **Гордієнко В.О., Гордієнко Ю.О., Кирилюк В.А.** Виявлення сейсмічних сигналів та визначення кутових характеристик їх джерел за результатами поляризаційної фільтрації. Вісник ЖДТУ. № I (52). 2010. С. 6771.
4. **Гордиенко Ю.А., Солонец А.И., Сащук И.Н., Шапка В.Н.** Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне // ЗНП ЖВІРЕ. № 8. 2004. С. 130141.
5. **Голкін Д.В., Солонец О.І., Бутенко О.С., Гордієнко Ю.О.** Моніторинг сейсмонебезпечних районів засобами сейсмічного групування. ЗНП ХВУ. Системи обробки інформації. Випуск 8 (36), 2004. С. 6770.
6. **Напалов Ю.В.** О теории группирования сейсмоприемников // Прикладная геофизика. Вып.27. 1960.
7. **Гордієнко Ю.О.** Аналіз геофізичної інформації методами фрактальної розмірності. Вісник ЖДТУ, вип. № II (29), 2004. С. 170–175.
8. **Кушнир А.Ф., Мостовой С.Ф.** Статистический анализ геофизических полей. - Киев: Наукова думка, 1990. – 276 с.
9. **Никифоров И.В.** Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. – М.: Наука, 1983. – 198 с.