

Ю.О. Гордієнко, інж.

Головний центр спеціального контролю НКАУ

ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОЇ ТРИВАЛОСТІ ЗАПИСУ ПЕРШОГО ВСТУПУ СИГНАЛУ ВІД ЗЕМЛЕТРУСУ З БЛИЖНЬОЇ ЗОНИ, НЕОБХІДНОЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СЕЙСМОАКТИВНОГО РАЙОНУ

(Представлено д.т.н., проф. Грабаром І.Г.)

Проведена оцінка мінімальної тривалості хвильового фрагмента першого вступу сигналу від землетрусів у ближній зоні, за результатами обробки якого, з використанням апарату вейвлет-перетворення, можливе прийняття рішення щодо сейсмоактивного району, в якому відбувся землетрус.

Постановка проблеми. На даний час рішення про сейсмічне явище в Головному центрі спеціального контролю (ГЦСК) Національного космічного агентства України (НКАУ) приймається за результатами повної обробки всього запису сигнальної частини на підставі комплексного аналізу інформації системи сейсмічних спостережень центру, а також з використанням інформації, наданої міжнародними та національними центрами даних в межах міжнародних угод. При цьому інформація про землетруси у ближній зоні (БЗ), інтенсивність яких перевищує 3 бали, надається через 15 хвилин після виникнення землетрусу.

Питання зменшення часу оповіщення користувачів про потужний землетрус у ближній зоні є актуальним, оскільки це дозволить підвищити оперативність аварійно-рятувальних заходів у постраждалих районах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] проводився аналіз можливості використання першого вступу сейсмічного сигналу для прийняття рішення про сейсмічну подію та оцінку його параметрів. Було доведено, що, враховуючи особливості розповсюдження енергії по складових сейсмічного сигналу від землетрусів у БЗ, тривалість цих фаз, швидкість їх розповсюдження та час дії, за результатами обробки першого вступу (*P*-хвилі) сейсмічного сигналу, з'являється можливість здійснювати попередження користувачів про найбільш небезпечні фази від потужних землетрусів з ближньої зони – *S*- та *L*-хвилі. Також проведена оцінка часу попередження мережею сейсмічних спостережень ГЦСК НКАУ та ряду сейсмічних станцій Румунії, основних адміністративних центрів України та АЕС для землетрусів із зони Вранча.

Однак на даний час відсутні методологічні підходи щодо ідентифікації САР, в якому відбувся землетрус за результатами аналізу обмеженої вибірки – у даному випадку першого вступу *P*-хвилі.

Існуючі на даний час підходи дозволяють оцінювати азимут на сейсмічне джерело та кут виходу на денну поверхню сейсмічної хвилі [2]. Однак вони не враховують глибину осередку сейсмічної події. Таким чином, пряме їх використання без додаткової інформації може призвести до помилкового визначення координат сейсмічного джерела (рис. 1).

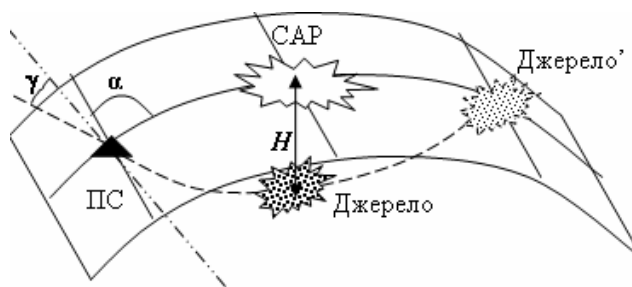


Рис. 1. Помилкове визначення осередку сейсмічної події при використанні тільки інформації про азимут на джерело та кут виходу сейсмічної хвилі

Перехід на цифрову основу обробки та аналізу сейсмічної інформації дає можливість використовувати нові інформаційні критерії, що, в свою чергу, дозволить приймати рішення щодо параметрів сейсмічної події за результатами аналізу ділянки сейсмічного запису.

Одним з таких критеріїв є інформація про характерні особливості хвильових форм сигнальної частини.

Трансформація сигнальної частини особливою середовища розповсюдження буде мати індивідуальний характер для кожної конкретної зв'язки "сейсмоактивний район–пункт спостереження (ПС)" (рис. 2) [3].

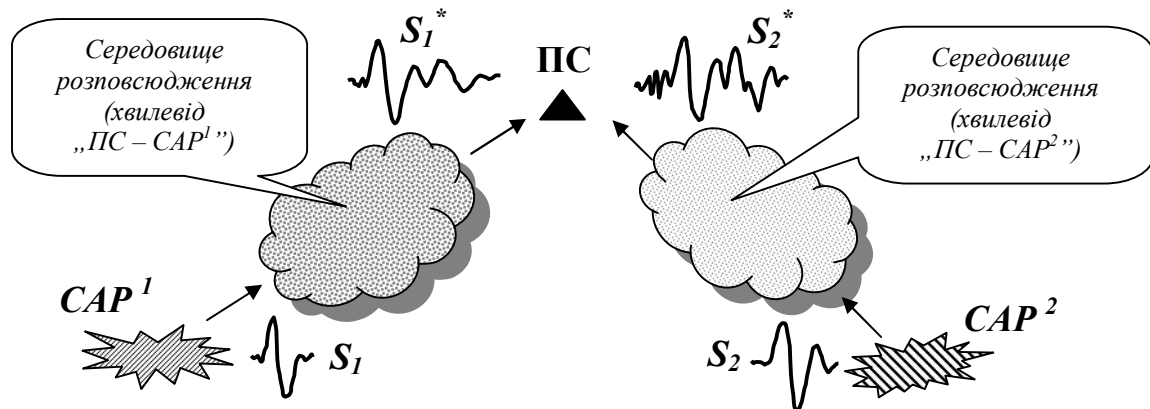


Рис. 2. Вплив середовища, в якому розповсюджується сигнал, на його форму. S_1 та S_2 – вихідні сигнали; S_1^* та S_2^* – сейсмічні сигнали в районі спостереження

При визначенні цих характерних ознак можливе проведення ідентифікації CAP, в якому відбувся землетрус, за результатами аналізу першого вступу сейсмічного сигналу, не дочекаючись реєстрації всього сигналу.

Одним з методологічних підходів, які дозволяють враховувати характер хвильових форм, є апарат вейвлет-перетворення (АВП). Останнім часом АВП знаходить широке використання в різноманітних областях [4–9], у тому числі й для обробки сейсмічних сигналів [10–12].

У роботах [10–12] розглянуто можливість використання АВП в базисі Хаара для обробки сейсмічної інформації, у тому числі з особливостями системи сейсмічних спостережень ГЦСК НКАУ.

Було визначено [13], що при реалізації кореляційної схеми ідентифікації CAP при переході до оперування з вейвлет-образами найбільш оптимальним є використання апроксимуючих вейвлет коефіцієнтів четвертого рівня розкладу. При цьому обсяг інформації, що залучається до обробки, зменшується в 2^4 рази.

Метою статті є оцінка мінімальної тривалості першого вступу сигнальної частини та відповідного вейвлет-образу, необхідного для ідентифікації основних CAP БЗ.

Основний матеріал. Проведемо оцінку тривалості хвильової форми та відповідного вейвлет-образу, необхідного для ідентифікації СНР, в якому відбувся землетрус.

Пряме вейвлет-перетворення у базисі Хаара для довільного j описується формулами [12, 13]:

$$a_{j-n,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} [y_{j,2k} + y_{j,2k+1}], \tag{1}$$

$$d_{j-n,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} [y_{j,2k} - y_{j,2k+1}]. \tag{2}$$

де $a_{j-n,k}$ – коефіцієнт апроксимації;

$d_{j-n,k}$ – коефіцієнт деталізації;

$y_{j,k}$ – вихідний сигнал;

k – номер рівня розкладу;

Порядок розрахунку вейвлет-коефіцієнтів представлено на рис. 3.

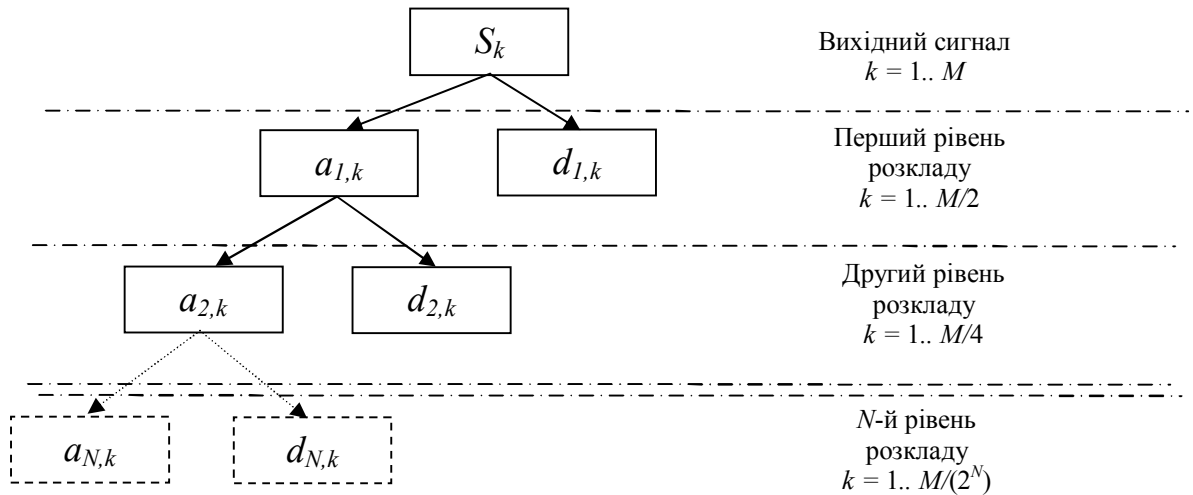


Рис. 3. Схема розкладу вихідного сигналу на вейвлет коефіцієнти

Проведемо оцінку мінімальної тривалості хвилевого фрагмента сигнальної частини запису від землетрусів з САР БЗ (рис. 4).



Рис. 4. Географія експерименту: САР1 – зона Вранча (координати умовного центра: 46° пн.ш., 26° сх.д.); САР2 – Польська частина Карпат (координати умовного центра: 49° пн.ш., 19° сх.д.); САР3 – Туреччина (координати умовного центра: 39° пн.ш., 28° сх.д.); САР4 – Крим (координати умовного центра: 44° 50' пн.ш., 34° 30' сх.д.)

Тривалості першого вступу, необхідного для ідентифікації САР за кореляційної схемою, визначатимемо за значенням кореляційного інтеграла залежно від тривалості ділянки запису першого вступу, яка використовується:

$$B_{S_i S_j}(\tau) = (1/T) \int_0^T S_i(t) S_j(t-\tau) dt, \tag{3}$$

де $B_{S_i S_j}(\tau)$ – функція взаємної кореляції вибірки $S_i(t)$ та $S_j(t)$, $i, j = 1..N$, де N – кількість САР БЗ, для яких буде проведено аналіз.

Оскільки розрахунок кореляційного інтеграла будемо проводити відносно вейвлет-образів сигнальних частин (3) буде мати вигляд:

$$B_{S_i S_j}(n) = \frac{N \cdot \Delta t}{N+1-n} \sum_{k=0}^{N-n} S_k \cdot U_{k-n}, \tag{4}$$

де S та U – набір апроксимуючих вейвлет-коефіцієнтів у базисі Хаара четвертого рівня розкладу для відповідного САР.

На рис. 5 наведено результати розрахунку коефіцієнтів взаємної кореляції для вейвлет-образів сигнальної частини із зони Вранча та сигналів з інших САР у БЗ для різної тривалості вейвлет-образу хвильової форми сигнальної частини.

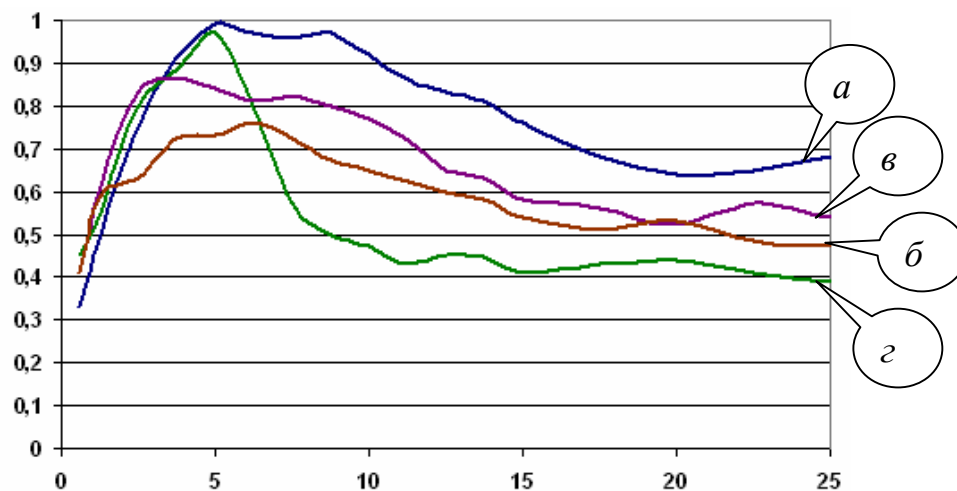


Рис. 5. Залежність функції взаємної кореляції між хвильовими формами сигнальних частин землетрусів з джерелами (осередками) у БЗ від тривалості запису хвильового фрагмента: а) – між сигналами з САР1; б) – між сигналами з САР1 та САР2; в) – між сигналами з САР1 та САР3; г) – між сигналами з САР1 та САР4

Як бачимо, при оперуванні з вейвлет-образами для ідентифікації САР1 зона Вранча, в якій відбувся землетрус, з використанням кореляційної схеми, достатньо залучити до обробки вибірку з 10 елементів. Оскільки як вейвлет-образи використовувались апроксимуючі коефіцієнти четвертого рівня розкладу, то 10-елементному вейвлет-образу відповідатиме $10 \cdot 2^4$ -елементна вибірка вихідного сигналу, що при частоті дискретизації $\Delta f_0 = 40$ Гц відповідає 4-секундному запису першого вступу сигналу.

Результати розрахунків тривалості вейвлет-образів для інших САР БЗ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розмір мінімальної тривалості сигнальної частини T_c та відповідного вейвлет-образу необхідного для проведення попередньої ідентифікації САР

Сейсмоактивний район у ближній зоні (САР)	Розмір вейвлет-образу	Розмір вихідного фрагмента ($N \cdot 2^4$)	Тривалість за часом (при $\Delta f_0 = 40$ Гц), с
САР1	10	160	4,0
САР2	20	320	8,0
САР3	12	192	4,8
САР4	10	160	4,0

Використання АВП у базисі Хаара в рамках задачі ідентифікації САР за результатами аналізу першого вступу дозволить, по-перше, зменшити об'єм еталонних сигналів, а по-друге, – зменшити час ідентифікації САР, в якому відбувся землетрус.

На рис. 6 представлені приклади вейвлет-образів першого вступу для сигналів з САР ближньої зони.

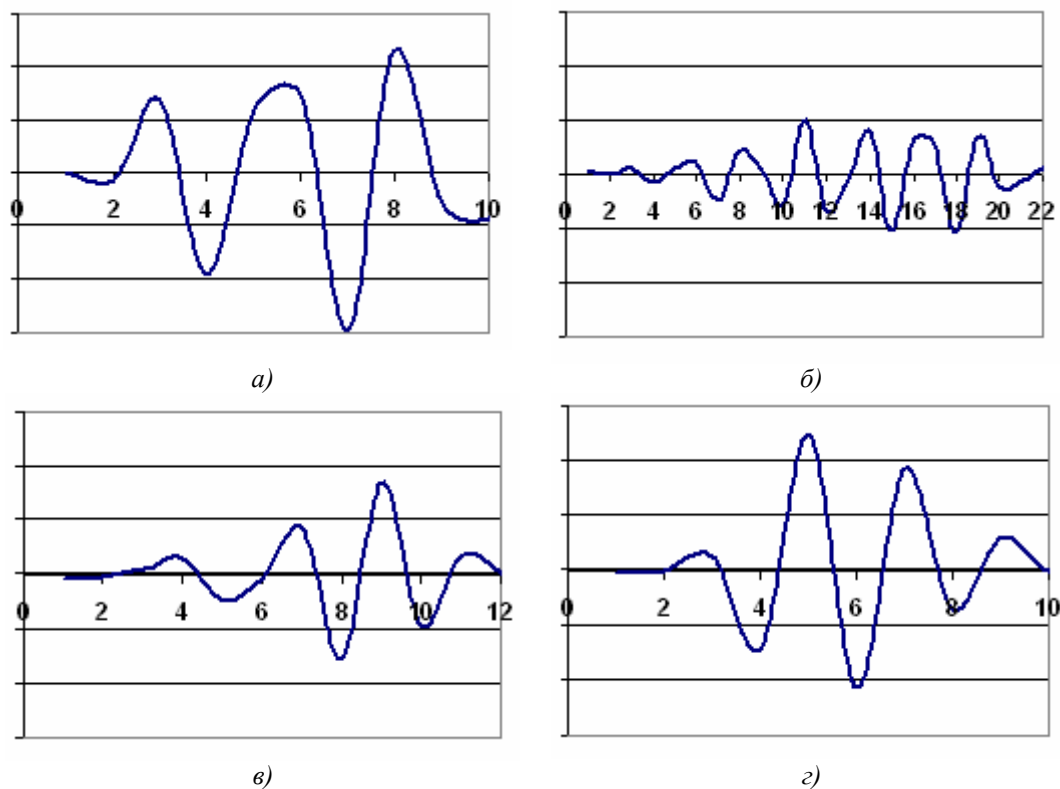


Рис. 6. Вейвлет-образи першого вступу для сигналів з САР ближньої зони:
а) – зона Вранча; б) – Польська частина Карпат; в) – Туреччина; г) – Крим

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Введення додаткової інформації щодо характеру хвильових форм сигнальної частини дозволяє зменшити обсяг вимірювальної інформації, за результатами аналізу якої можливе проведення попередньої оцінки САР БЗ, в якій відбувся землетрус.

2. Перехід до вейвлет-образів перших вступів сейсмічних сигналів від землетрусів у САР БЗ дозволить зменшити об'єм еталонних сигналів та зменшити час ідентифікації САР, в якому відбувся землетрус.

3. Результати досліджень показали, що для сигналів із зони Вранча достатньо провести аналіз 4-секундного запису першого вступу для прийняття рішення щодо землетрусу з цього району. Враховуючи особливості перерозподілу енергії сейсмічного сигналу від землетрусів у ближній зоні [1], при ідентифікації САР за результатами обробки першого вступу з'являється можливість попередження користувачів про максимум сейсмічного ефекту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гордієнко Ю.О., Каплаушенко В.М. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології та мережа сейсмічних спостережень ГЦСК щодо упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні // Вісник ЖДТУ. – № 3 (38). – 2006. – С. 61–70.
2. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. – М.: Крас. Окт., 2005. – 420 с.
3. Гордієнко Ю.О. Методика контролю та прогнозу сейсмічної обстановки у ближній зоні системою спостережень ГЦСК НКАУ // Вісник ЖДТУ. – № IV (31). – Том 1. – 2004. – С. 101–111.
4. Астафьева Н.В. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. – 1996. – № 11. – С. 1145–1170.
5. Дремін І.М., Іванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // УФН. – 2001. – № 5. – С. 465–501.
6. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразование: Учебное пособие. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
7. Дремін І.М., Іванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // УФН. – 2001. – № 5. – С. 465–501.

8. *Стаховий І.Р.* Вейвлетний анализ временных сейсмических рядов // ДАН. – 1996. – Т. 350. – № 3. – С. 393–396.
9. *Грбар І.Г., Запольский В.Ф., Захаров В.К., Кришевский М.Б., Тростенюк Ю.І.* Застосування вейвлет-перетворення функції вібросигналу в технічній діагностиці механізмів з ударними навантаженнями // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 23. – С. 16–21.
10. *Коваленко М.В., Проценко М.М.* Методика стиснення цифрової інформації за допомогою вейвлет-перетворення: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2003. – Вип. 6. – С. 11–17.
11. *Коваленко М.В., Проценко М.М.* Алгоритми одноканальної цифрової фільтрації сейсмічних сигналів // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 23. – С. 137–142.
12. *Коваленко М.В., Проценко М.М.* Вейвлет-перетворення та його застосування для обробки сейсмічних даних // Вісник ЖІТІ. – 2003. – № 24. – С. 82–86.
13. *Гордиенко Ю.А., Солонець О.І., Шапка В.М., Проценко М.М.* Особенности применения аппарата вейвлет-преобразования при идентификации сейсмоактивного района в ближней зоне, в котором произошло землетрясение // ЗНП ХУПС / Системи обробки інформації. – 2006. – С. 47–54.

ГОРДИЄНКО Юрій Олексійович – інженер відділу науково-дослідницького випробувального Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

– обробка геофізичної інформації, фрактальний аналіз, детермінований хаос, прогноз землетрусів.

E-mail: ua_gordienko@ukr.net

Подано 02.11.2006