

Ю.О. Гордієнко, інж.
Головний центр спеціального контролю НКАУ

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУ СЕЙСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ У БЛИЖНІЙ ЗОНІ СИСТЕМОЮ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ГЦСК НКАУ

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

У статті запропонована методика проведення контролю стану геофізичних середовищ засобами спеціального контролю з метою виявлення змін, викликаних процесами підготовки сейсмічної події, з наступним наданням рекомендацій для ухвалення рішення щодо прогнозу землетрусів на території України та суміжних держав.

Кожний катастрофічний землетрус вказує на актуальність питання вирішення завдань їх своєчасного прогнозу. Ця проблема є не менш актуальною і для України.

З метою підвищення безпеки проживання населення та експлуатації виробничих фондів у сейсмонебезпечних регіонах в Україні створюється Національна система сейсмічних спостережень (Постанова КМУ № 728 від 11 вересня 1995 року). Одним з основних завдань Системи є забезпечення органів влади інформацією про можливі землетруси з оцінкою їх наслідків [1].

В межах завдань проведення прогностичних спостережень в Головному центрі спеціального контролю Національного космічного агентства України (ГЦСК НКАУ), як одного з інформаційних сегментів Системи, проводяться роботи з формування на інформаційній базі центру підсистеми контролю, діагностики та прогнозу сейсмічних обставин (КДП СО) на території України та суміжних держав.

В роботах [2], [3], [4], [5] проведена оцінка можливостей методів спеціального контролю щодо виявлення за результатами спостережень стану геофізичних середовищ ознак підготовки сейсмічного явища та оцінки його параметрів.

Однак на даний час відсутня методика проведення прогностичних спостережень з урахуванням особливостей системи спеціального контролю. Таким чином, питання розробки такої методики є актуальним.

Більша частина відомих методик прогнозу сейсмічних подій заснована на аналізі одного інформаційного параметра – вертикальної деформації, нахилу земної поверхні, концентрації радону, геомагнітної аномалії, рівня підземних вод та ін. У цьому випадку результати прогностичних спостережень часто мають невелику достовірність, оскільки важко врахувати вплив сторонніх чинників, не пов'язаних з процесами підготовки землетрусу, але впливаючих на стан підконтрольного параметра. До останніх можна віднести: атмосферні фронти, земні приливи, магнітні бурі та інші явища.

У зв'язку з цим певні надії пов'язують з прогнозом землетрусів на основі комплексного аналізу результатів спостережень декількох інформаційних параметрів.

На даний час існують методики прогнозу землетрусів на основі комплексу прогностичних ознак – алгоритм М8 [6], алгоритм КОЗ [7], алгоритм RTL [8], алгоритм «Сценарій Мендосино» [9].

Проте, по-перше, всі вони відносяться до середньострокових прогнозів, а по-друге, точність визначення місцеположення майбутнього землетрусу обмежена розмірами сейсмоактивних регіонів. Так, для алгоритму КОЗ розмір небезпечної ділянки порядку 600x600 км², інтервали тривоги діляться від одного року до п'яти [8], [10].

Більш того, більшість з використовуваних цими методиками прогностичних ознак є сейсмологічними, одержані в результаті аналізу каталогів землетрусів – кількість землетрусів у різному діапазоні магнітуд, швидкість їх зміни, концентрація гіпоцентрів, числа форшоків та ін.

Інші відомі методики потребують формування специфічної (уніфікованої) системи прогностичних спостережень, що вимагає певних фінансових витрат.

Система спостережень Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) здійснює безперервний контроль стану геофізичних полів засобами виявлення магнітного, сейсмічного та інфразвукового методів. Кожний метод виявлення призначений для проведення контролю за геофізичним станом у відповідному фізичному середовищі.

Розвиток нестійкості породи, що деформується в ході формування сейсмічного джерела, на граничних перевантаженнях супроводжується процесами тріщиноутворення [10]. Зміна властивостей гірських порід, внаслідок цих процесів, призводить до виникнення різного роду аномалій в стані геофізичних полів, у тому числі і в тих, які контролюються засобами спостереження ГЦСК.

Саме на реєстрації аномальних ефектів у стані геофізичних полів, підконтрольних системою спеціального контролю (ССК), і заснована побудова підсистеми КДП СО на території України та суміжних держав.

Актуальність розробки методики проведення прогностичних спостережень для інформаційної системи ГЦСК обумовлена наявністю сейсмонебезпечних регіонів – Карпати та Крим, потужні

землетруси з яких відчутні майже на всій території України, а також розташуванням у сейсмонебезпечних зонах потенційно небезпечних об'єктів, у тому числі АЕС, як українських – Рівненська, Хмельницька, Південно-Українська, так і закордонних – румунської – Чорнавода та болгарської – Козлодуй. Порушення технологічних процесів на цих об'єктах, внаслідок сейсмічних явищ, може призвести до катастрофічних наслідків.

Метою статті є розробка методики проведення прогностичних спостережень для інформаційної системи Головного центру спеціального контролю на базі комплексного аналізу стану підконтрольних геофізичних середовищ.

Методика проведення прогностичних спостережень

Основною метою проведення прогностичних спостережень за результатами геофізичного моніторингу системою спеціального контролю (ССК) є надання інформації відповідним органам для своєчасного прийняття рішення відносно майбутнього землетрусу з епіцентром на території України та суміжних держав, який може привести до струсів земної поверхні інтенсивністю 5 балів та більше.

1. Оцінка сейсмічності підконтрольного регіону

В якості апіорної інформації при проведенні прогностичних спостережень, у тому числі і системою ГЦСК, використовують результати аналізу сейсмічної активності підконтрольного регіону, в даному випадку території України та суміжних держав, з метою визначення характерних ознак сейсмічних явищ. До таких характеристик відносяться – глибини епіцентрів, характерна періодичність потужних сейсмічних явищ та ін. Також враховуються другорядні чинники сейсмічної небезпеки – розташування потенційно небезпечних об'єктів та підприємств. За результатами аналізу виділяються ділянки підвищеної сейсмічної небезпеки – сейсмонебезпечні райони (СНР).

До підсистеми контролю, діагностики та прогнозу сейсмічної обстановки включають СНР ближньої зони, які призводять до сейсмічних струсів поверхні на території України з інтенсивністю 5 балів та більше.

До таких районів відносяться:

- Крим (координати умовного центру 44° 50' пн.ш., 34° 30' с.д.);
- Карпати (координати умовного центру 48° 40' пн.ш., 23° с.д.);
- зона Вранча (Румунська частина Карпат, координати умовного центру 46° пн.ш., 26° с.д.).

Сила потенційного впливу сейсмічних подій з визначених СНР на території України різна, однак вона буде достатня для створення небезпечних умов в тому чи іншому регіоні країни.

2. Обробка та аналіз геофізичної інформації

Враховуючи специфіку інформаційної системи ГЦСК НКАУ, а також різну фізичну природу геофізичних полів, які контролюються засобами спостереження, виникає необхідність розробки єдиного математичного апарату аналізу стану підконтрольних середовищ.

В роботі [11] проведено аналіз можливості застосування в якості такого апарату методу фрактальної розмірності. Визначено, що аналіз зміни розмірності дозволяє відрізнити шум від корисного сигналу, а також виявити особливості фонових змін в пунктах реєстрації. Крім того, до основних переваг використання апарату фрактального аналізу, як інструмента обробки геофізичної інформації, можна віднести:

- перехід від аналізу складних хвильових форм до скалярної міри, яка характеризує розмірність хвильового фрагмента;
- аналіз розмірностей часових рядів дозволяє виділяти сигнали і фонові зміни в пункті реєстрації, при цьому враховувати особливості фонові ситуації на пункті реєстрації;

За вхідну інформацію використовується вимірювальна інформація сейсмічного, акустичного та магнітного методів спостереження. За результатами обробки отримуємо значення розмірності для кожного з інформаційних сегментів методів спостереження :

$$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \rightarrow D, \quad (1)$$

де, x_i – вимірювальна інформація;

N – розмір інформаційного ряду, для якого проводиться розрахунок розмірності.

Загальний вигляд порядку обробки та аналізу вимірювальної інформації представлено на рис. 1.

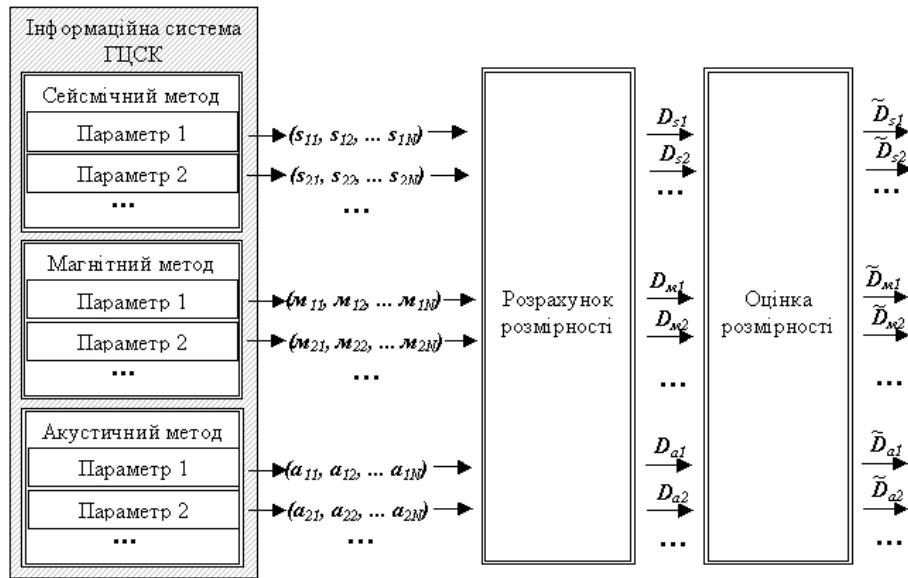


Рис. 1. Порядок обробки та аналізу вимірювальної геофізичної інформації

$$\tilde{D} = \begin{cases} \check{D}_1, & \text{якщо } D_i < D_0 \\ \check{D}_0, & \text{якщо } D_i > D_0 \end{cases}, \quad (2)$$

де D_0 – порогове значення;

D_i – поточне значення розмірності інформаційного сегмента;

\check{D} – оцінка стану підконтрольного параметра;

\check{D}_1 – рішення про наявність збуджень стану підконтрольного параметра;

\check{D}_0 – рішення про відсутність збуджень стану підконтрольного параметра

За результатами обробки геофізичної інформації приймається рішення про наявності збурень. Рішення приймається за результатами аналізу поточної розмірності для кожного з підконтрольних параметрів.

У випадку, коли поточне значення розмірності D_i менше порогового D_0 , приймається рішення про наявність (реєстрацію) “сигнальної частини” (рис. 2):

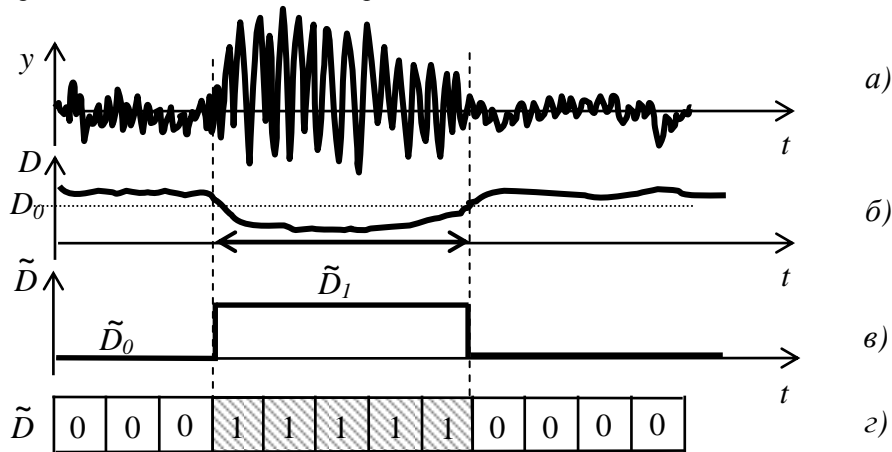


Рис. 2. Виділення збурень підконтрольного параметра: а – хвильова форма; б – значення розмірності; в – оцінка стану підконтрольного параметра; г – образ відгуку

Використання фрактальної розмірності в якості апарата обробки вимірювальної інформації стану підконтрольних середовищ дозволить перейти до аналізу скалярної міри, а саме: розмірності D , яка несе інформацію про характер хвильових форм підконтрольних середовищ, тим самим зменшити обсяг інформації, що включається до аналізу в N разів.

3. Ідентифікація послідовності збурень підконтрольних параметрів. Системний провісник

Система спостережень ГЦСК представляє собою складну інформаційно-аналітичну систему комплексного моніторингу стану підконтрольних геофізичних середовищ. Безперервний моніторинг геофізичних полів дозволяє виявляти збурення як природного, так і техногенного походження. При

цьому аналіз характерних особливостей за результатами комплексної обробки дозволить проводити ідентифікацію відгуку стану підконтрольних полів з відповідними геофізичними явищами.

Застосування комплексного аналізу стану підконтрольних середовищ дозволяє виявляти як прямі ефекти, так і похідні аномалії, викликані цими процесами. Таким чином, кожному геофізичному явищу, в результаті комплексного аналізу, можна протиставити «портрет» відгуку стану геофізичних середовищ, які контролюються системою спеціального контролю. Використання таких «портретів» для аналізу стану геофізичних полів дозволить проводити ідентифікацію геофізичних явищ.

Характер збурень підконтрольних середовищ при проведенні комплексного аналізу для різних геофізичних явищ представлено на рис. 3.

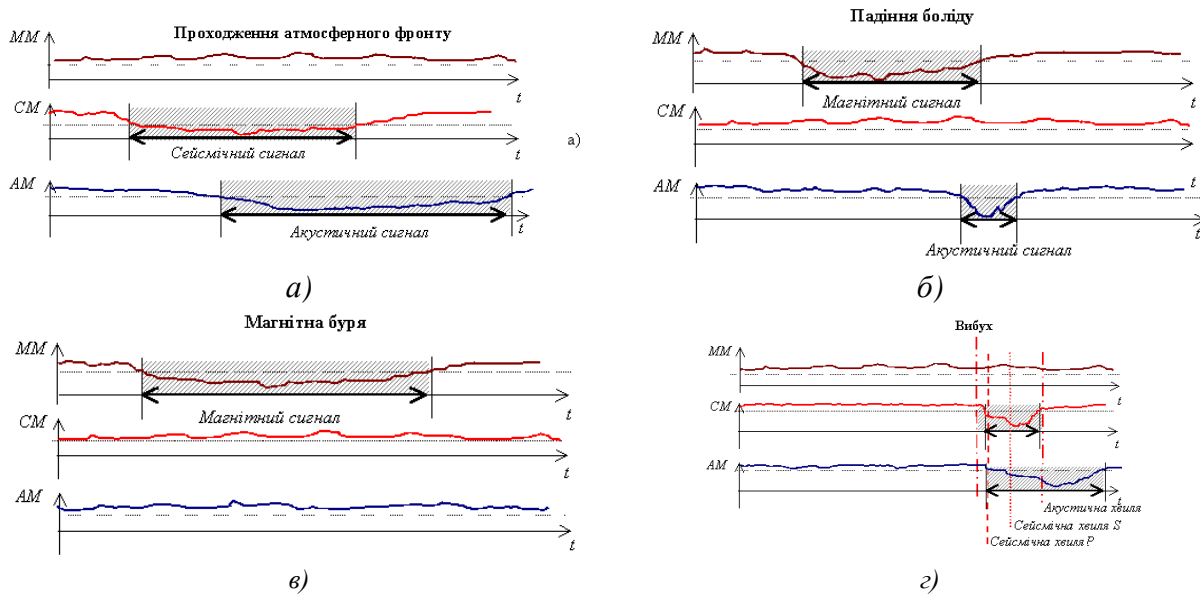


Рис. 3. Характер відгуків підконтрольних системою спеціального контролю середовищ на різні явища природного та техногенного характеру

Не становлять виняток як самі землетруси, так і процеси їх підготовки.

Кожний метод виявлення сам по собі відображає, в деякій мірі, відповідний етап розвитку фізичного процесу сейсмічної події. Оцінити весь процес в цілому, а також провести прогноз сейсмічного явища можливо тільки у разі комплексного застосування методів геофізичного моніторингу.

Виходячи з цього, для виділення переходу процесів підготовки землетрусу в активну фазу, на підставі комплексного аналізу стану підконтрольних геофізичних полів, серед інших геофізичних процесів, необхідно ввести поняття загальної моделі провісника землетрусу (ЗМПЗ).

Основна мета загальної моделі – встановити порядок і характер збурень підконтрольних параметрів для подальшої ідентифікації процесу підготовки землетрусів серед інших геофізичних явищ природного і техногенного характеру.

Для системи спостережень ГЦСК характер збурень підконтрольних середовищ, викликаний переходом процесів підготовки землетрусу в активну фазу, буде мати вигляд, зображений на рис. 4.

Геофізичні сигнали, що пов'язані з процесами підготовки землетрусу, викликані нижчевикладеними фізичними явищами.

В результаті тектонічних процесів відбувається збільшення рівня тріщинуватості гірських порід в осередковій області. У свою чергу, це призводить до зміни електроопору осередкової зони, що викликає варіації складових магнітного поля Землі – *магнітний сигнал* [12], [13]. Окрім цього, відбувається збільшення рівня дегазації літосферних газів, що призводить до виникнення низькочастотних збурень атмосфери і проявляється у вигляді коливань тиску – *акустичний сигнал*¹ [14].

Наступна група провісникових сигналів викликана процесами акустичної емісії, які відбуваються безпосередньо в сейсмічному вогнищі – *акустичний сигнал*² і *сейсмічний сигнал*¹ [10], [14].

Завершальна сигнальна група викликана безпосередньо самим землетрусом – *акустичний сигнал*³ і *сейсмічний сигнал*² [10].

Вказана послідовність збурень геофізичних полів, зареєстрована засобами виявлення, дозволить пов'язати її до єдиного геофізичного джерела та ідентифікувати подібний розподіл в часі аномалій різної природи, як підготовку сейсмічної події в ближній зоні.

Характер збурень підконтрольних системою спеціального контролю (ССК) геофізичних полів, викликаних процесами підготовки землетрусу, дозволяє розділити провісникові ефекти на два типи [13]:

I тип – провісники, для яких збурення, викликане процесами підготовки землетрусу, починається задовго до події, а значення інформаційного параметра повертається до свого середнього перед землетрусом (провісник типу P₁);

II тип – провісники, для яких збурення, викликане процесами підготовки землетрусу, починається безпосередньо перед подією, а значення інформаційного параметра повертається до свого середнього після землетрусу (провісник типу P₂).

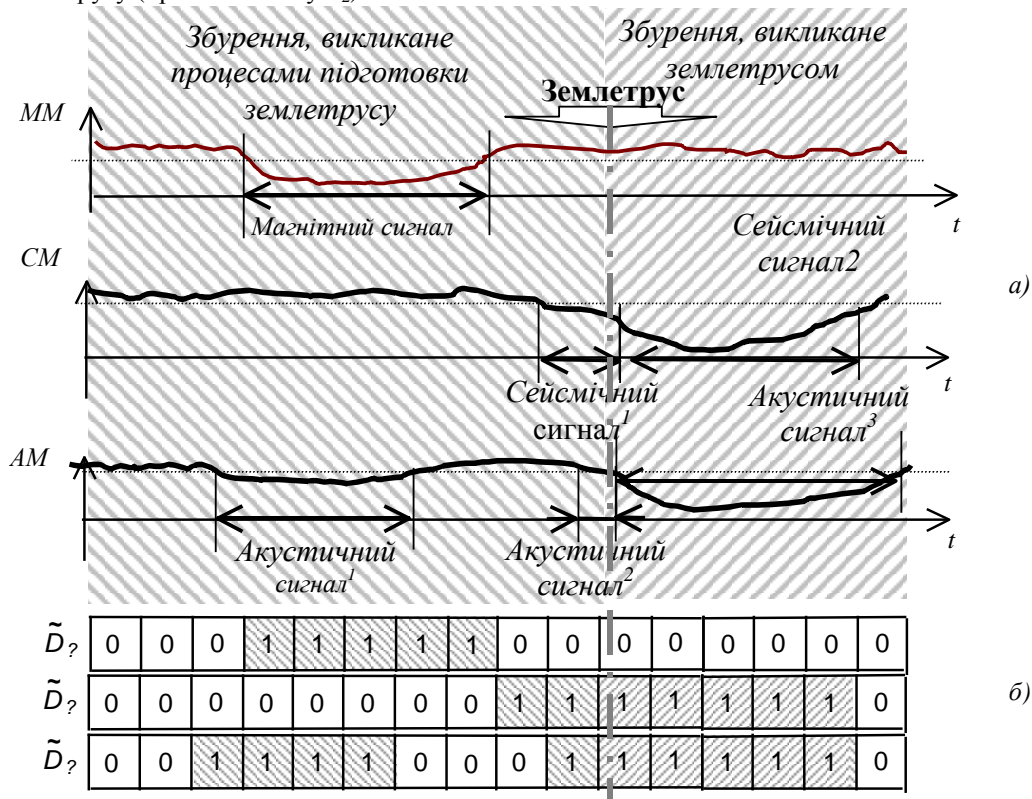


Рис. 4. Загальна модель провісника землетрусу для інформаційної системи ГЦСК: а – загальний вигляд послідовності та характеру збурень підконтрольних середовищ, викликаних процесами підготовки землетрусу; б – образ системного провісника

Такий розподіл провісників має чітке фізичне обґрунтування – перший тип провісника, викликаний змінами характеристик гірської породи в осередковій зоні (зміна щільності та електроопору, дегазація літосферних газів), другий тип – викликаний безпосередньо прихованим етапом формування макророзриву (ефект сейсмоакустичної емісії).

4. Оцінка параметрів землетрусу

Після ідентифікації джерела збурень підконтрольних геофізичних полів на основі ЗМПЗ, як перехід процесів підготовки землетрусу в активну фазу, проводиться оцінка параметрів сейсмічної події – місцеположення сейсмічного вогнища (x, y, H), енергетичного класу події (M) та час землетрусу (t).

4.1. Оцінка місцеположення сейсмічного вогнища

Оцінка місцеположення джерела майбутнього землетрусу, в рамках даної методики, полягає у визначенні (оцінці) СНР, процеси підготовки сейсмічної події в якому перейшли в активну фазу.

Через ідентичність тектонічних процесів, що відбуваються в конкретних джерелах (стиснення, розрив, зсув), характер провісникових аномалій буде повторюватись. При цьому він володітиме достатніми ознаками для ідентифікації СНР [2].

Виділення характерних ознак збурень, викликаних процесами підготовки землетрусів на основі комплексного аналізу, підвищить достовірність оцінки СНР.

Відмінність між відгуками стану підконтрольних системою спостережень геофізичних параметрів, пов'язаних з активізацією процесів підготовки землетрусу для різних СНР, включених в систему моніторингу, викликані наступними чинниками:

- різними азимутальними напрямками на СНР;
- різними відстанями між елементами системи та СНР;
- відмінностями в тектонічних процесах сейсмічних вогнищ;

– різними глибинами сейсмічних вогнищ.

Ухвалення рішення про належність сейсмічного джерела, яке перейшло в активну фазу, до того або іншого СНР повинне прийматися як за наслідками однопозиційних спостережень, так і при проведенні прогностичних спостережень ССК в цілому.

Оцінка місцеположення сейсмічного джерела (сейсмоактивного району) при проведенні однопозиційних спостережень проводиться за двома напрямками:

1. За характерними особливостями прогностичних ефектів;
2. За різницею надходження геофізичних сигналів різної природи, викликаних одним провісниковим ефектом.

У першому випадку, визначення місцеположення СНР засноване на виділенні характерних особливостей сигнальної частини, викликаних, в першу чергу, особливостями розповсюдження сигналу від СНР до пункту спостереження (рис. 5).

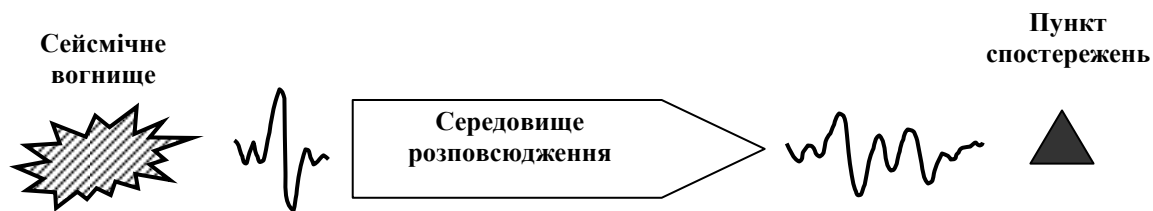


Рис. 5. Вплив середовища, в якому розповсюджується сигнал, на його форму

Відмінність характерних особливостей провісникових сигналів для різних СНР обумовлена:

- перерозподілом енергій по складових підконтрольних полів;
- різною частотою складових хвильових форм, викликаною як особливостями осередкових механізмів, так і відстанню до підконтрольних СНР.

Таким чином, на сигнальну частину, що генерується сейсмічним вогнищем при розповсюдженні до пункту спостереження, робитиме вплив середовище розповсюдження (хвилевід):

$$\hat{Y} = \Psi (Y, \Delta, \alpha), \tag{3}$$

де \hat{Y} – сигнал, зареєстрований засобами спостереження;

Y – сигнал, що генерується безпосередньо сейсмічним вогнищем;

Δ – відстань між ПС та СНР;

α – азимут СНР.

Трансформація (зміна) сигнальної частини умовами розповсюдження матиме індивідуальний характер для кожної конкретної зв'язки “сейсмонебезпечний район – пункт спостереження”.

Другий випадок виникає в результаті переходу процесів розвитку сейсмічного джерела в завершальну стадію та пов'язаний з ефектом сейсмоакустичної емісії, яка виникає внаслідок прихованого етапу розвитку генерального розлому [10].

Враховуючи особливості розповсюдження сейсмічного та акустичного сигналів, можна провести оцінку дальності до СНР (рис. 6).

За різницею часу надходження сейсмічного та акустичного сигналів, що генеруються сейсмічним вогнищем в період акустичної емісії, можна оцінити дальність до СНР, в якому процеси підготовки сейсмічної події перейшли в активну фазу.

У цьому випадку дальність до джерела сейсмоакустичних збурень R можна оцінити за різницею часу приходу сейсмічної та акустичної хвиль, не визначаючи час розповсюдження цих хвиль від вогнища до пункту спостереження окремо.

Якщо припустити, що шляхи сейсмічної та акустичної хвиль співпадають, то отримаємо (рис. 6):

$$V_{CX} * t_{CX} = V_{AX} * t_{AX}, \tag{4}$$

де, V_{CX} – швидкість сейсмічної хвилі;

t_{CX} – час пробігу сейсмічної хвилі між СНР та ПС;

V_{AX} – швидкість акустичної хвилі;

t_{AX} – час пробігу акустичної хвилі між СНР та ПС.

Час розповсюдження хвиль між СНР та ПС визначається як:

$$R / V_{CB} = t_{CB}, \tag{5}$$

$$R / V_{AB} = t_{AB}, \tag{6}$$

де R – відстань між СНР та ПС.

У свою чергу, час розповсюдження акустичної хвилі визначається як:

$$t_{AB} = t_{CB} + \Delta t = R / V_{CB} + \Delta t, \tag{7}$$

або

$$t_{AB} = R / V_{AB} = R / + \Delta t. \tag{8}$$

Звідки одержуємо оцінку відстані як:

$$R = \Delta t * V_{AB} * V_{CB} / (V_{CB} - V_{AB}). \tag{9}$$

Вважаючи відношення швидкостей хвиль постійним, співвідношення (9) можна переписати як:

$$R = \Delta t * k, \tag{10}$$

$$\text{де } k = V_{AB} * V_{CB} / (V_{CB} - V_{AB}) = 0,335 \text{ км/с.} \tag{11}$$

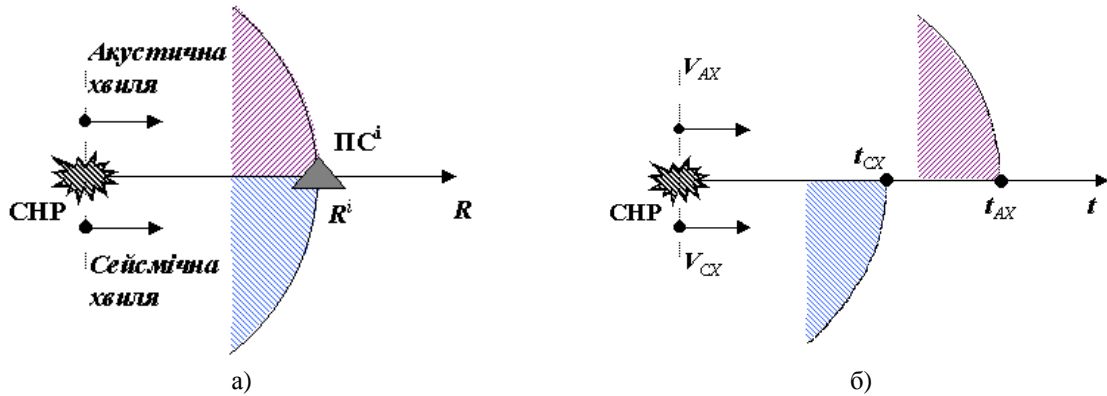


Рис. 6. Розподіл провісникових ефектів у просторовій (а) та часовій (б) областях

Оцінивши дальність до джерела сейсмоакустичних збурень, можна провести оцінку СНР.

При проведенні прогностичних спостережень системою спеціального контролю рішення про СНР (ідентифікація СНР) ґрунтується на:

- результатах оцінок СНР, проведених окремими пунктами спостереження;
- результатах локації джерела геофізичних збурень.

Локація СНР проводиться шляхом визначення різниці часу розповсюдження провісникових сигналів одного типу (однієї природи) вздовж системи спостережень (рис. 7).

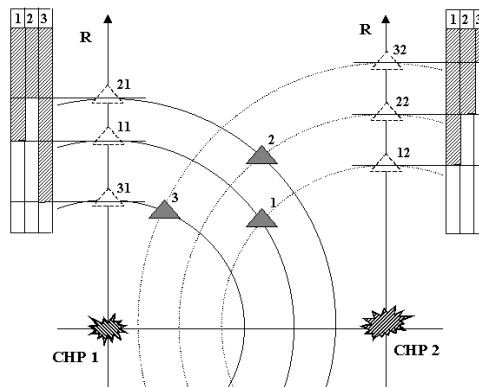


Рис. 7. Зміна порядку реєстрації збурень підконтрольних параметрів в залежності від СНР, в якому процеси підготовки землетрусу перейшли в активну фазу

Використовуючи різницево-далекомірний метод місцевизначення, проводимо оцінку СНР, процеси підготовки землетрусу в якому перейшли в активну фазу [15].

4.2. Оцінка енергетичного класу

Просторово-часові характеристики провісників залежать від енергетичного класу майбутнього землетрусу [13].

Оцінка енергетичного класу майбутнього землетрусу проводиться за часовою тривалістю провісника першого типу P_1 , у разі однопозиційних спостережень, і уточнюється за площею покриття при системних спостереженнях для провісника другого типу P_2 .

Для провісників першого типу (P_1) – спостерігається лінійна залежність між логарифмом тривалості за часом T аномалії підконтрольного параметра, пов'язаного з підготовкою сейсмічної події та магнітудою землетрусу M (рис. 8) [13]:

$$M = a * \ln T + \text{const.} \tag{12}$$

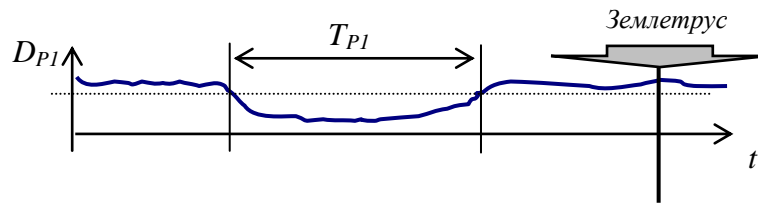


Рис. 8. Зміна в часі підконтрольного параметра, пов'язаного з підготовкою землетрусу.

Для провісників другого типу (P_2) – оцінка магнітуди майбутнього землетрусу проводиться за просторовою тривалістю передвісника, тобто за розмірами області, на якій спостерігається провісник [2]:

$$M = \gamma * \ln R + \text{const.} \tag{13}$$

Ухвалення рішення про енергетичний клас майбутнього землетрусу повинне прийматися на основі комплексного аналізу просторово-часових характеристик всіх провісникових ефектів:

$$M = \begin{cases} F(R_1, R_2, \dots, R_k) \\ \Phi(T_1, T_2, \dots, T_N) \end{cases} \tag{14}$$

де K – кількість провісників першого типу;
 N – кількість провісників другого типу.

4.3. Оцінка часу землетрусу

Оцінка часу землетрусу (основного поштовху) заснована на виділенні провісників другого типу P_2 та попередній оцінці енергетичного класу землетрусу M (рис. 9).

Час землетрусу оцінюється як:

$$t_3 = t_{p2} + \varphi(M), \tag{15}$$

де t_3 – час прогнозованого землетрусу (сейсмічної події);

t_{p2} – час вступу провісника другого типу P_2 ;

M – оцінка магнітуди прогнозованого землетрусу.

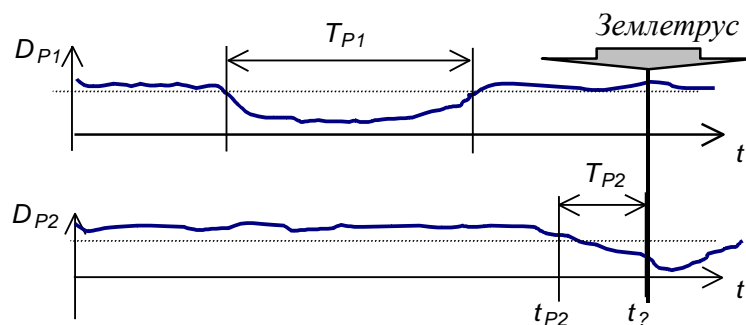


Рис. 9. Оцінка часу землетрусу

З урахуванням залежності магнітуди прогнозованого землетрусу від тривалості провісника (12), (13), вираз (15) можна переписати як:

$$t_3 = t_{p2} + \psi(T_{p1}), \tag{16}$$

де T_{p1} – тривалість провісника першого типу P_1 .

5. Приватні моделі провісника землетрусу

Розглянута загальна модель провісника для інформаційної системи спеціального контролю є якісною картиною відгуку геофізичних полів, підконтрольних засобами спостереження ГЦСК, на процеси підготовки землетрусу.

Залежно від складу засобів спеціального контролю окремого пункту спостереження, стану системи контролю в цілому, а також від сейсмоактивного району, в якому почалася активна фаза сейсмічного

процесу, на основі загальної моделі можна сформулювати приватні моделі провісника землетрусів [2]. При цьому приватні моделі необхідно формувати як для окремих СНР, так і для ССК в цілому.

Приватні моделі враховують характерні особливості провісникових ефектів кожного із СНР при однопозиційних спостереженнях і порядок вступу передвісників однієї природи при системних спостереженнях.

На рис. 10 представлені приклади відгуків стану підконтрольних параметрів на процеси підготовки землетрусу для двох підконтрольних СНР, включених в систему моніторингу – *A* і *B*. При цьому якщо для випадку *a* на момент часу t_{i+7} можна провести тільки попередню оцінку району, в якому почалася активна фаза – район *A*, то для випадку *b* – можна сказати наступне:

- 1) почалась активна фаза підготовки землетрусу в районі *B*;
- 2) на момент часу t_{j+7} енергетичний клас (інтенсивність) землетрусу в районі *B* не нижче сейсмічного явища на момент часу t_{10} ;
- 3) оскільки на момент часу t_{j+7} закінчилися аномальні збурення параметрів *L,3* та *N*, найвірогідніший час події в інтервалі t_{j+8} .

№ параметра	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	...	t_i	t_{i+1}	t_{i+2}	t_{i+3}	t_{i+4}	t_{i+5}	t_{i+6}	t_{i+7}	
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0		1	0	1	0	0	1	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0		0	0	0	0	0	0	1	1	1
...																				
<i>N</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0		0	1	0	0	1	1	1	1	1
Потік землетрусів у СНР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>A</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	<i>A*</i>

a)

Номер параметра	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	...	t_j	t_{j+1}	t_{j+2}	t_{j+3}	t_{j+4}	t_{j+5}	t_{j+6}	t_{j+7}	
1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0		0	0	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		0	0	0	0	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0		1	1	1	1	1	0	0	0	0
...																				
<i>N</i>	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0		1	0	0	1	1	1	1	1	0
Потік землетрусів у СНР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>B</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	<i>B*</i>

b)

Рис. 10. Приватні моделі провісника землетрусів при проведенні комплексного аналізу

Таким чином, використання приватних моделей провісників землетрусів як для окремих СНР, так і для ССК в цілому дозволить спростити порядок оцінки параметрів події, а саме:

1. Оцінка СНР проводиться за результатами ідентифікації поточного відгуку з набором еталонних моделей, сформованих за результатами попередніх сейсмічних подій;
2. Оцінка енергетичного класу майбутнього землетрусу проводиться на підставі визначення тривалості поточного відгуку та тривалості приватної моделі провісника для відповідного СНР. Лінійний розмір відгуку (тривалість за часом) залежатиме від магнітуди майбутнього землетрусу (рис. 11). При цьому оцінка магнітуди заснована на характеристиках попередніх землетрусів виділеного СНР як:

$$M = M_i * \ln(T) / \ln(T_i), \tag{17}$$

де T_i – тривалість відгуку для *i*-го землетрусу у відповідному СНР;

M_i – магнітуда *i*-го землетрусу у відповідному СНР;

T – поточне значення тривалості відгуку для *i*-го землетрусу у відповідному СНР;

M – оцінка магнітуди майбутнього землетрусу.

3. Оцінка часу сейсмічної події проводиться шляхом визначення “періодів підвищеної імовірності” – характерних інтервалів часу події, визначених на підставі приватних моделей землетрусу для відповідного СНР.

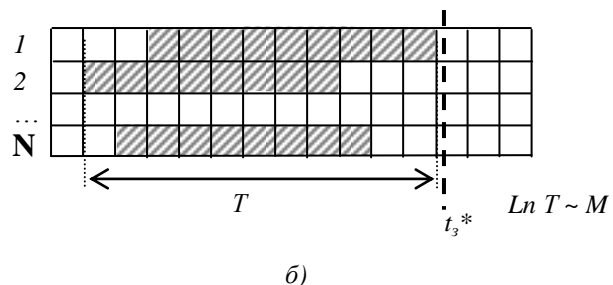
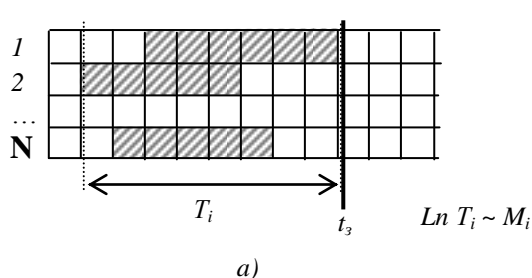


Рис. 11. Залежність тривалості приватної моделі провісника землетрусу від енергетичного класу сейсмічної події

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

4. Запропонована методика контролю та прогнозу сейсмічної обстановки враховує особливості інформаційної бази ГЦСК при виділенні етапів підготовки сейсмічного явища і дозволяє проводити прогностичні спостереження як всією системою контролю, так і окремим пунктом комплексних геофізичних спостережень (регіональним центром спеціального контролю).

5. Для ідентифікації процесів підготовки землетрусу серед інших геофізичних явищ, на основі комплексного аналізу стану підконтрольних системою спостереження ГЦСК середовищ, вводиться поняття загальної моделі провісника землетрусів. Загальна модель провісника землетрусів визначає порядок і характер збурень геофізичних полів, підконтрольних даною інформаційною системою, пов'язаних з процесами підготовки землетрусу.

6. Оцінка параметрів землетрусу проводиться за результатами аналізу характерних властивостей провісникових сигналів – тривалістю, розподілом по складових підконтрольних полів, різницею вступу та ін.

7. За результатами проведення прогностичних спостережень необхідно сформулювати і постійно уточнювати приватні моделі провісника землетрусів для кожного СНР.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Космічне право України: Збірник нормативно-правових актів та міжнародних документів / За ред. О.О. Негоди. – К.: Видавничий дім “Ін Юре”, 1999. – 264 с.
2. Гордиенко Ю.А., Грабар І.Г., Шапка В.Н. Возможный вариант создания контрольно-диагностической системы мониторинга сейсмической обстановки в ближней зоне // ЗНП ЖВІРЕ. – Вип. № 7. – 2004. – С. 88–95.
3. Гордиенко Ю.А. Применение средств геофизического мониторинга ГЦСК для создания модели прогноза землетрясений в ближней зоне // Тези доповідей IV Міжнародної наукової конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища.” – Київ, 2003. – С. 41.
4. Гордиенко Ю.А. Оперативный контроль, диагностика и прогноз сейсмической обстановки на территории Украины и сопредельных государств на основе комплексного междисциплинарного мониторинга геофизических полей средствами наблюдения Главного центра специального контроля // Тези доповідей наукового семінару “Розробка та удосконалення космічних інформаційних систем”. – Х: ХВУ, 2003. – 35 с.
5. Гордиенко Ю.А. Направление создания системы контроля и диагностики сейсмической обстановки на базе геофизического измерительного комплекса // Тези доповідей XIV науково-технічної конференції “Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційних систем космічного і наземного базування.” – Житомир: ЖВІРЕ, 2004. – С. 43–44.
6. Габриэлов А.М. и др. Долгосрочный прогноз землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – 125 с.
7. Соболев Г.А., Чилидзе Т.Л. и др. Карты ожидаемых землетрясений основанные на комплексе сейсмологических признаков // Изв. АН СССР. Физика земли. – 1990. – № 11. – С. 45–56.
8. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалия в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1996. – № 4. – С. 64–74.
9. Kossobokov V.G., Keilis-Borok V.I. Localization of intermediate-term earthquake prediction // J.Geophys. Res.B. 1990. – Vol. 95, 312. – P. 763–772.
10. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
11. Гордієнко Ю.О. Аналіз геофізичної інформації методами фрактальної розмірності / Вісник ЖДТУ. № II (29). – 2004. – С. 170–175.
12. Новик О.Б. Электромагнитные и тепловые сигналы из недр земли. – М.: Издат. дом «Круглый год», 2001. – 255 с.
13. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 390 с.
14. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. – М.: Мир, 1975. – 532 с.
15. Марносов В.П., Шелухин А.Д. Геофизические методы обнаружения ядерных взрывов. Книга 1. Теоретические и технические основы сейсмического метода обнаружения ядерных взрывов. – М.: ВА им.Ф.Э. Дзержинского, 1977. – 312 с.

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.

E-mail: ua_gordienko@ukr.net

Подано 10.09.2004

Гордієнко Ю.О. Методика контролю та прогнозу сейсмічної обстановки у ближній зоні системою спостережень ГЦСК НКАУ

Гордиенко Ю.А. Методика контроля и прогноза сейсмической обстановки в ближней зоне системой наблюдений ГЦСК НКАУ

Gordienko Yu.O. The method of control and prognosis of seismic situation in a fellow creature area by the system of supervisions MCSM NSAU

УДК 550.34 : 621.371

Методика контролю та прогнозу сейсмічної обстановки у ближній зоні системою спостережень ГЦСК НКАУ / Ю.О. Гордієнко

У статті запропонована методика проведення контролю стану геофізичних *середовищ* засобами спеціального контролю, з метою виділення змін, викликаних процесами підготовки сейсмічної події, з наступною наданням рекомендацій для ухвалення рішення щодо прогнозу землетрусів на території України та суміжних держав.

УДК 550.34 : 621.371

Методика контроля и прогноза сейсмической обстановки в ближней зоне системой наблюдений ГЦСК НКАУ / Ю.А. Гордиенко

В статье предложена методика проведения контроля состояния геофизических полей средствами специального контроля, с целью выделения изменений, вызванных процессами подготовки сейсмического события, с последующей выдачей рекомендаций для принятия решения относительно прогноза землетрясений на территории Украины и смежных государств.

УДК 550.34 : 621.371

The method of control and prognosis of seismic situation in a fellow creature area by the system of supervisions MCSM NSAU / Yu.O. Gordienko

In the article the offered method of conducting of control of the geophysical fields by facilities of the special control with the purpose of selection of changes as a result of processes of preparation of seismic event, with following by the grant of recommendations for acceptance of decision in relation to the prognosis of earthquakes on territory of Ukraine and contiguous states.