

КОМПЛЕКСНІ ПІДХОДИ ДО ПОШУКУ ЙМОВІРНИХ ПРОВІСНИКІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ В РАЙОНІ ГІР ВРАНЧА

Вступ

Одним з ключових функціональних елементів Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) НКАУ є Автономний пункт спостереження (АПС), що розташований поблизу м. Кам'янець-Подільський. В силу своєї відносної близькості від сейсмоактивного регіону Вранча, АПС був вибраний у якості комплексної геофізичної лабораторії в рамках Договору між ГЦСК та Національним антарктичним науковим центром МОНУ про проведення спостережень за небезпечними геодинамічними процесами. Основна мета лабораторії – комплексний моніторинг різних геофізичних полів, виявлення та дослідження провісників землетрусів.

Лабораторія розташована на значній відстані від джерел антропогенних перешкод (населених пунктів, автомобільних шляхів, ліній електропередач), що забезпечує унікальні умови для дослідження геофізичних полів. Відносно низький рівень індустріальних перешкод дає змогу реалізувати максимальну чутливість виміральної апаратури.

Використання вимірюваних даних, отриманих різними технічними засобами геофізичних методів виявлення, показало необхідність створення алгоритмів для комплексної обробки, що виявляли б значимі прогностичні ефекти у геофізичних полях і при цьому враховували зміни властивостей середовища у результаті кожного циклу землетрусів. Створення таких алгоритмів неможливе без розуміння фізичної суті явищ, що відбуваються, та встановлення загальних припущень, що дали б нам можливість побудувати модель підготовки землетрусу.

Сучасні моделі підготовки землетрусів побудовані на підставі зіставлення досвіду лабораторного моделювання і результатів польових спостережень за сейсмічністю. Теоретичну основу становлять уявлення механіки і фізики руйнування матеріалів і гірських порід. Акт землетрусу розглядається як наслідок довготривалої еволюції накопичення деформацій і напружень в землі, що викликає утворення різноманітних порушень структури речовини земної кори та мантиї від мікроскопічних (точкові і лінійні – дислокації, дефекти, мікротріщини та ін.) до макроскопічних і глобальних (границі блоків різних масштабів, розломи). У різних моделях приділяється різна увага масштабу даних геологічних розривів, їхньому розташуванню в просторі, додатковим фізико-механічним чинникам, що впливають на

хід процесу підготовки землетрусу [1–6].

Модель виникнення провісників

При пошуку можливих провісникових ефектів перед землетрусами району Вранча треба визначитися з фізичними полями, де, на нашу думку, такі ефекти можуть проявитися, і вимірювальними засобами, що їх виявлять. Після вивчення зареєстрованих у світі геофізичних провісників землетрусів та спираючись на досвід власних досліджень [7] нами зроблено припущення, які ілюструє рис. 1. Власне, землетрус є утворення розриву в напруженому середовищі, при якому відбувається випромінювання у всіх геофізичних полях і релаксація напруженого стану середовища в околицях вогнища землетрусу (хоча є моделі, що розглядають власне землетрус як проходження потужної ударної хвилі). Із збільшенням механічних напружень у зоні вогнища майбутнього землетрусу зростає і кількість дефектів у кристалічній решітці породи, в результаті чого ростуть амплітуди фонових значень геофізичних полів. Так розвиваються події, поки система не наблизиться до точки біфуркації – точки переходу в нестійкий стан відносно утворення магістральної тріщини.

Збільшення радіусу кореляції флуктуацій в околі точки біфуркації вказує на тенденцію до встановлення узгодженості у всьому об'ємі системи, яка тим самим готується до колективного переходу в новий стан [8]. У статистичній фізиці рідин така поведінка відома як «критична опалесценція», або аномальна дисперсія, яка розглядається як один з універсальних індикаторів катастрофи, що наближається [9]. Було також показано у загальному вигляді [10], що у будь-якій нелінійній системі поблизу точки біфуркації зростають флуктуації динамічних змінних системи. Так у результаті утворення дефектів внаслідок зміни напружено-деформованого стану порід земної кори перед землетрусом, виникають електромагнітні хвилі та підземні акустичні шуми. Це пов'язано з тим, що кожен акт утворення мікро- і макродефекту супроводжується збудженням акустичних і оптичних коливань кристалічної ґратки, а отже, і випромінюванням акустичних і електромагнітних хвиль. Своєю чергою випромінювання акустичних хвиль може привести до прискорювального механізму Чиркова–Флерова [11]. Його суть у тому, що інтенсивне утворення дефектів, яке генерується стресовою деформацією порід в районі майбутнього епіцентру

землетрусу, утворює ультразвукові хвилі, які істотно збільшують швидкість переносу газів (радону зокрема) у матриці гірських порід. Ймовірно такий механізм є природною реалізацією так званого аномального капілярного ефекту Степанова, в якому вода в капіляри,

опущеному в рідину, що знаходиться під дією ультразвуку на частоті $f \sim 10$ кГц, піднімається не на висоту, зумовлену відомим законом Лапласа, а буквально фонтанує на висоту порядку 1 м.

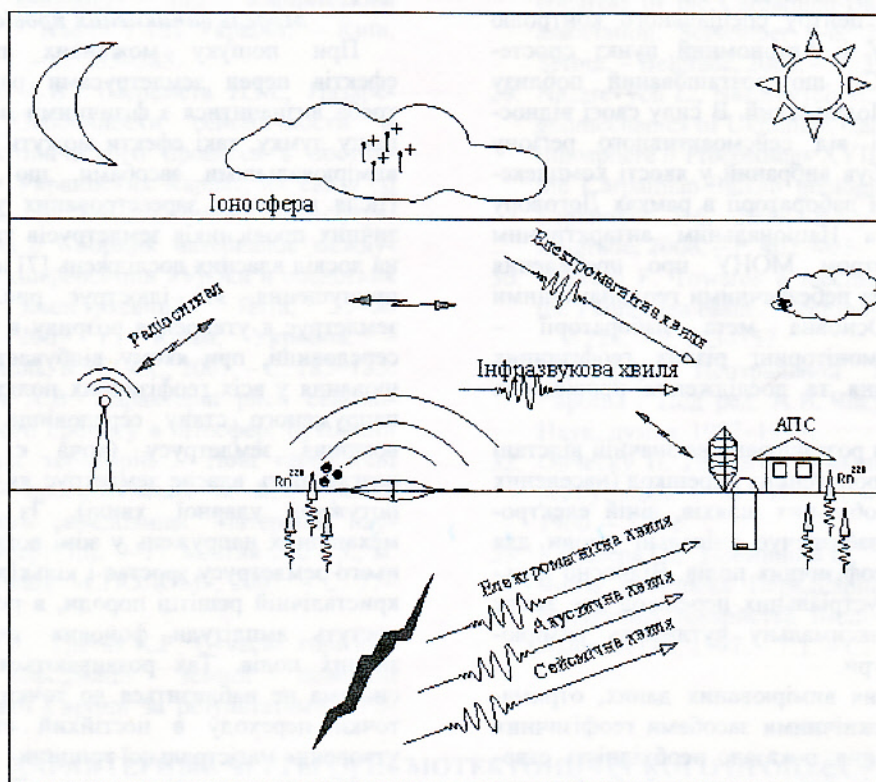


Рис. 1. Ілюстрація механізму виникнення провісникових ефектів при підготовці землетрусу

У результаті виходу з порід на поверхню радіоактивного газу радону відбувається іонізація атмосфери і виникає аномальне електромагнітне випромінювання в атмосфері [12]. Збільшення напружень приводить до розуцільнення породи в місці майбутнього вогнища землетрусу, внаслідок чого також відбувається інтенсивний вихід газів із земних надр [13] (т.з. ефект дегазації). При формуванні магістрального розриву, коли система вже знаходиться в нестійкому стані, виникають і шумові довгоперіодні коливання земної поверхні, які приводять до появи вертикальних низькочастотних акустичних коливань – інфразвуку. Досягаючи верхніх шарів атмосфери (іоносфери), інфразвук починає впливати на хаотичний рух заряджених частинок (іонів). Рух іонів набуває певної спрямованості, в результаті чого виникають іоносферні струми. Такі струми можуть бути достатньо значними, і експериментально доведено [14], що вони можуть характеризуватися напруженістю електромагнітного поля в точці випромінювання в десятки мВ/м. Іоносферні струми, викликані коливаннями земної кори, а також

іонізована перед землетрусом атмосфера можуть вплинути на поширення низькочастотних радіохвиль ДНЧ-діапазону, які поширюються в хвилеводі Земля-іоносфера.

Також при розгляді процесу виникнення провісникових ефектів під час розвитку землетрусу необхідно враховувати явища, що можуть бути спусковим механізмом на кінцевих стадіях підготовки землетрусу (тригерний ефект). У деяких випадках, наприклад, припливи, метеорологічні фактори можуть сприяти або навпаки, заважати реєстрації ймовірних провісників, особливо якщо вони проявляються на рівні фону. При цьому ефекти від таких причин накладаються, маскуючи і зашумляючи один одного.

Виявлення і можлива реєстрація перелічених явищ залежать від енергії, що накопичується, а також часу, коли починають відбуватися зміни. Користуючись класифікацією прояву провісників у часі, можна сказати, що всі зазначені нами явища можна віднести до середньострокових (місяці-дні) та короткострокових (дні-години) провісників землетрусів. Допов-

нимо, що всі провісникові явища, що реєструються після переходу системи в нестійкий стан, будуть *короткостроковими провісниками*.

Враховуючи вищесказане, на нашу думку система для виявлення можливих провісникових ефектів має включати в себе в першу чергу сейсмічні, геоакустичні, магнітні, електромагнітні, інфразвукові, радонові вимірювання та може доповнюватись іншими геофізичними методами. Апаратура для вимірювань повинна бути орієнтована на вимірювання низькочастотних фонових процесів в земній корі та атмосфері. Під такими процесами маються на увазі варіації геофізичних полів, що постійно існують і мають випадковий характер з характерним періодом від декількох хвилин до декількох місяців і років (залежно від загальної тривалості спостережень), оскільки саме вони, очевидно, є носієм інформації про процеси, що відбуваються у земній корі.

Апаратура та методика вимірювань

Реєстрація провісникових ефектів на АПС поблизу Кам'янця-Подільського можлива вже

встановленим тут комплексом геофізичної апаратури. Зараз на пункті спостережень реалізовані такі види безперервних вимірювань:

- трикомпонентна реєстрація сейсмічних сигналів і фону (0–10 Гц);
- реєстрація варіацій низькочастотних електромагнітних полів за допомогою трикомпонентного ферозондового магнітометра (0,01–10 Гц);
- виміри концентрації радону в приповерхневому шарі ґрунту;
- реєстрація електромагнітного випромінювання в ДНЧ діапазоні (10–30 кГц);
- вимірювання інфразвукових сигналів (0,03–12 Гц);
- реєстрації метеорологічних параметрів (температура повітря, атмосферний тиск, вологість).

Для сейсмічних, інфразвукових, магнітних методів спостережень реалізована цифрова реєстрація вимірювальної інформації з дискретністю 40 Гц, формат CSS 3.0. Концентрація радону, метеорологічні параметри у цифровому вигляді зчитуються з інтервалом 85 хвилин.

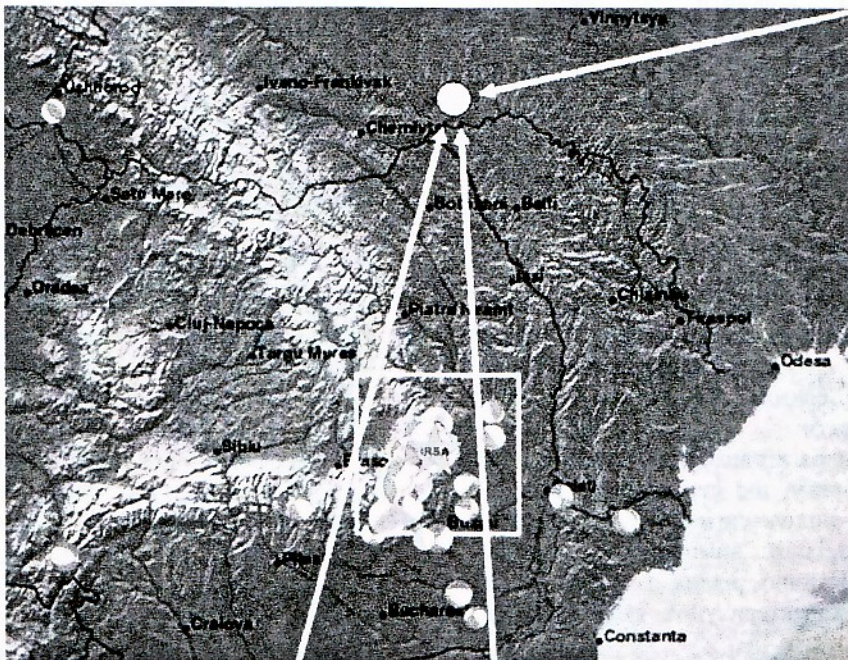


Рис. 2. Схема радіотрас від станцій точного часу та частоти до пункту “Кам’янець-Подільський”

У радіотехнічному комплексі квантування відбувається з частотою 48/96 кГц. Суть методики вимірювань впливає з описаної вище моделі. Так, за допомогою радіопеленгатора планується реєструвати несучі частоти (амплітуду і фазу) від станцій ДНЧ діапазону, розташованих в Італії та Греції, траса поширення хвиль проходить через район Вранча (рис. 2). За еталонну станцію приймаємо радіостанцію точ-

ного часу, розташовану в Брянську (Росія). Порівнюючи сигнали з двох напрямків, можна виявити варіації, притаманні саме району Вранча.

Сейсмічними станціями реєструється безперервний фон із району Вранча. Для цього використовується поляризаційний фільтр, налаштований на сектор $\alpha=170\pm 200^\circ$ та регіональні частоти $f=1\pm 5$ Гц. За отриманими даними обчислюється значення дисперсії у вікні заданої

тривалості. Дані від землетрусів із обрахунку усуваються. Перевищення певного порогу дисперсії вважається аномалією.

Для магнітної станції розраховується повний вектор магнітної індукції, після чого, як і у випадку із сейсмічним фоном, обчислюється дисперсія. Для району Вранча виявлено певну залежність між інтенсивністю низькочастотного магнітного поля та сейсмічністю. Наш висновок підтверджується і роботами інших авторів, які проводили незалежні дослідження [15].

Дослідження в інфразвуковому діапазоні теж спрямовані на вивчення акустичного фону в атмосфері та метеорологічних параметрів у регіоні спостережень. Розроблений проект створення акустичної групи у АПС, що дасть можливість контролювати, як і у випадку сейсмічної трикомпонентної станції, явища з певного азимуту і відстані.

Добре зарекомендованим методом прогнозу землетрусів є моніторинг варіацій концентрації радону [16, 17]. У ряді випадків перед сильним землетрусом візуально спостерігається різке зниження концентрації радону, яке зростає за добу перед землетрусом. Тривалість такого зниження може залежати від магнітуди землетрусу, що готується і бути пов'язаною з режимом вогнища землетрусів.

Висновки

Отже, пропонується узагальнена робоча модель підготовки землетрусу, яку можна застосувати до даних, отримуваних за допомогою наявних технічних засобів геофізичного моніторингу, встановлених в Автономному пункті спостережень «Кам'янець-Подільський», з метою виділення провісників землетрусів зони Вранча. Модель враховує взаємодію геофізичних полів при підготовці землетрусу та можливі тригерні ефекти.

Метою аналізу багатовимірних часових рядів системи моніторингу, що створюється, пропонується вважати пошук сигналів синхронізації, узгодженості варіацій виміряних в пункті спостереження фізично різних величин та їх параметрів, що характеризують стан вогнища землетрусів.

Для сейсмічного, акустичного, магнітного та радонового часових рядів пропонується розраховувати дисперсію у ковзному вікні у міру надходження даних із подальшим застосуванням порогового сигналізатора для використання в автоматичному режимі, оскільки саме аномальна дисперсія розглядається як один з універсальних індикаторів катастрофи, що наближається.

Для подальшого розроблення алгоритмів пошуку провісникових ефектів пропонується використовувати як класичні методи багатовимірних параметричних моделей і перетво-

рення Фур'є, так і порівняно недавно створені методи вейвлет-перетворень, елементи теорії катастроф, методи аналізу флуктуацій, застосовувати статистичні методи аналізу даних для пошуку і аналізу загальної закономірності, якою запропоновано вважати феномен збільшення колективної поведінки або синхронізації геофізичних полів в області підготовки землетрусу.

Література

1. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. – М.: ИФЗ АН СССР, 1991. – 217 с.
2. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
3. Яначихара К., Иосимацу Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1968.
4. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 388 с.
5. Эйби Дж. А. Землетрясения. – М.: Недра, 1982.
6. Касахара К. Механика землетрясений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
7. Ващенко В.М., Русов В.Д., Павлович В.М., Шапка В.М., Лящук О.І. Моніторинг концентрації радону для прогнозу землетрусів у регіоні Антарктичного півострова // Київ. III Міжнародна антарктична конференція. 2006 р. Збірник тез. – Київ, 2006. – С. 48.
8. Лящук О.І., Ващенко В.М., Павлович В.М. Синхронні комплексні дослідження за геодинамічними процесами в сейсмонезбезпечних регіонах Вранча та морі Скоша // Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища». Київ, 2007. – Київ, 2007. – С. 103-104.
9. Ніколас Г. Пригожин И. Познание сложности. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
10. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф: в 2-х книгах. – М.: Мир, 1984. – 350 с. и 285 с.
11. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
12. Flerov G.N., Chirkov A.M., Tretyakova S.P., Dzholos L.V., Merkina K.I. The Use of Radon as an Indicator of Volcanic Processes // Izvestiya Earth Physics. – 1986. – V.22. – P. 213-216.
13. Бончковский В.Ф. Изменения градиента электрического потенциала атмосферы как один из возможных предвестников землетрясений // Тр. Геофизического ин-та. – 1954. – № 25 (152). – С. 193-206.
14. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 250 с.
15. Moore G. Magnetic disturbances preceding the 1964 Alaska earthquake // Nature. – 1964. Vol.

203. – №. 4944. – Р. 508.

16. Седова Ф.И., Мозговая Т.А., Бахмутов В.Г. О морфологических признаках в структуре геомагнитных вариаций накануне и в момент землетрясения в Крымско-Черноморском и Карпатском регионах // Геофиз. журн. – 2001. – Т.23, №4. – С. 61–68.
17. Ляшук О.І., Ващенко В.М., Павлович В.М.

Синхронні комплексні дослідження за геодинамічними процесами в сейсмонебезпечних регіонах Вранча та морі Скоша // Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. Київ, 2007. – Київ, 2007. – С. 103–104.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОИСКУ ВЕРОЯТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ ГОР ВРАНЧА**

А.И. Ляшук, В.Ю. Савельев, В.Н. Павлович

В работе предложена обобщенная рабочая модель подготовки землетрясения, которую возможно адаптировать для поиска предвестников землетрясений в районе гор Вранча с использованием технических средств, установленных в Автономном пункте наблюдения “Каменец-Подольский” Главного центра специального контроля. Основой модели является факт взаимодействия и синхронизации геофизических полей при подготовке землетрясения. Модель учитывает также возможные триггерные эффекты от приливов, магнитных бурь и метеорологических факторов.

Предложен состав комплекса технических средств геофизического мониторинга для регистрации возможных предвестниковых эффектов и методика обработки данных, полученных с помощью этих средств.

**THE COMPLEX APPROACHES TO SEARCH OF CREDIBLE PRECURSORS
OF EARTHQUAKES IN VRANCHEA MOUNTAINS AREA**

A.I. Liashchuk, V.U. Savel'ev, V.N. Pavlovich

The generalized working model of preparation of earthquake, which it is possible to adapt for the search of precursors of earthquakes in the district of mountains of Vrancea with the use of hardwares of set in the Autonomous observation post “Kamenets-Podol'sky” of the Main center of the special control, is offered in this work. The fact of co-operation and synchronization of the geophysical fields is model basis at preparation of earthquake. A model takes into account also possible triggers effects from the waves, magnetic boraxes and meteorological factors.

Composition of complex of hardwares of the geophysical monitoring is offered for registration of possible precursors effects and method of the measuring data got by these facilities processing.

¹Головний центр спеціального контролю, м. Київ

²Інститут ядерних досліджень, м. Київ

Надійшла 5.12.2007