



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91152 (13) C2
(51) МПК (2009)
G01V 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ КОРОТКОСТРОКОВОГО ВИЯВЛЕННЯ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ, ЩО НАСУВАЄТЬСЯ, ЗА ВИМІРЮВАНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

1

2

(21) а200904035

(22) 24.04.2009

(24) 25.06.2010

(46) 25.06.2010, Бюл.№ 12, 2010 р.

(72) БРОДСЬКИЙ ЮРІЙ БОРИСОВИЧ, ГАННО-ШИН ВІКТОР ПЕТРОВИЧ

(73) ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) Матрончик А.Ю. О генерации в гиротропном слое ионосферы геомагнитных пульсаций в период подготовки землетрясений и проведения подземных взрывов,

http://www.eltech.ru/science/Conf/table_of_contents.pdf

UA 24699, 17.09.2001

SU 1434378, 30.10.1988

SU 1378615, 15.12.1988

RU 2045086, 27.09.1995

US 4884030, 28.11.1989

EP 0067924, 02.10.1985

JP 2001281346, 10.10.2001

(57) Спосіб короткострокового виявлення сильного

землетрусу, що насувається, за вимірюваними значеннями геомагнітного поля, що включає вимірювання амплітуди геомагнітних пульсацій, порівнювання отриманих значень з встановленим пороговим значенням відносно стаціонарного фоновому значення геомагнітного поля, який **відрізняється** тим, що за допомогою магнітоваріаційної станції проводять вимірювання X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $B_b(x)$ в опівнічний час від 0^{00} до 3^{00} години ночі, за період часу T виміряні значення $B_\mu(x)$ накопичують, обчислюють квадрат відхилень $\Delta B^2(x)$ виміряних $B_b(x)$ та наперед розрахованих $B_\mu(x)$ за допомогою інтерактивного калькулятора значень X - складових вектора магнітної індукції поля Землі, визначають середнє значення пульсацій X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $\Delta B_{cp}(x)$ за період часу T , при перевищенні середнього значення пульсацій X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $\Delta B_{cp}(x)$ величини 1 нТл роблять висновок про виявлення сильного землетрусу, що насувається.

Винахід відноситься до геофізики, зокрема до сейсмології, і може бути використаний для безпомилкового виявлення сильного землетрусу що насувається.

Мета винаходу - збільшення вірогідності правильного виявлення сильного землетрусу що насувається. Спосіб короткострокового виявлення сильного землетрусу що насувається заснований на вимірюванні в опівнічний час від 0^{00} до 3^{00} годин ночі X - складової вектора магнітної індукції поля Землі за допомогою магнітоваріаційної станції.

У [Захаренкова Й.Е. 2007. Использование измерений сигналов системы GPS для обнаружения ионосферных предвестников землетрясений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Калининград: Российский государственный университет имени Иммануила Канта. 19 с. www.kantiana.ru/science/avt_zahar.doc] для виявлення іоносферних передвісників землетрусів використовувалася варіація повного електронного

змісту іоносфери, отримана за наслідками обробки вимірювань затримок сигналів навігаційних супутників системи GPS на частотах $1227,60$ МГц і $1575,42$ МГц.

Для відновлення повного електронного змісту іоносфери GPS техніка реалізовує одночасне вимірювання групових і фазових затримок сигналів на частоті $1575,42$ МГц і на частоті $1227,60$ МГц. Обчислюється диференціальна затримка цих двох сигналів, яка пропорційна повному електронному змісту іоносфери TEC (Total Electron Content).

У кожному сейсмічно-активному регіоні, що вивчається, виділяється мережа опорних GPS станцій. Для вибраних станцій вивчається поведінка добової варіації TEC: будується часовий ряд, який досліджується за допомогою методів статистичного аналізу. Визначається локальна область з найбільшими відхиленнями в TEC варіації. Для формування добової варіації TEC використовуються вимірювання всіх прольотів над станцією спостереження; тобто добова варіація обчислюється за допомогою усереднювання TEC по знач-

(13) C2

(11) 91152

(19) UA

ній просторовій області іоносфери. Тому для детальнішого дослідження картини зміни ТЕС вивчаються варіації ТЕС уздовж прольотів окремих супутників. Для супутників системи GPS період обертання складає 12 сидеричних годин, таким чином, кожен супутник з'являється через добу над однією і тією ж областю з тимчасовим зрушенням близько 4 хвилин, тому можна проводити порівняння варіації ТЕС уздовж певного прольоту на тимчасовому інтервалі в декілька днів.

Рішення про землетрус що наближається, в спокійних геомагнітних умовах, ухвалюється по зменшенню електронної концентрації над епіцентральною районом, або, що теж саме, зміні знаку сейсмо-іоносферного збурення.

Проте, використання одночасного вимірювання групових і фазових затримок сигналів техніки GPS на частоті 1575,42МГц і на частоті 1227,60МГц, для відновлення повного електронного змісту іоносфери, має свої недоліки, які не дозволяють оперативну і якісно провести прогноз майбутнього землетрусу. Зокрема:

1. Метод радіопросвічування іоносфери Землі спирається на обернення приведеної різниці фаз радіохвиль і математично відповідає оберненню інтегрального рівняння першого роду [Бовдур В.Г., Смирнов В.М. Метод мониторинга сейсмоопасных территорий по ионосферным вариациям, регистрируемым спутниковыми навигационными системами // Доклады Академии наук, 2005. Т.402. №5. с.675-679. Андрианов В.А., Смирнов В.М. Определение высотного профиля электронной концентрации ионосферы Земли по двухчастотным измерениям радиосигналов искусственных спутников Земли // Радиотехника и электроника, 1993. Т.38. №7. с. 1326-1335. Смирнов В.М. Решение обратной задачи радиопросвечивания ионосферы Земли градиентными методами // Радиотехника и электроника, 2001. №1. с.47-52.]. Проблема реалізації методів реконструкції параметрів іоносфери (наприклад, розподіл електронної концентрації) за даними радіопросвічування полягає в тому, що некоректність завдання відновлення не дозволяє отримати точний розв'язок основного інтегрального рівняння, яке було б стійким до малих змін вхідних даних.

2. Практична реалізація методу заснована на використанні вимірювань параметрів радіосигналів на трасі "супутник-наземний пункт" за спостереженнями з одного пункту. При проведенні спостережень під кутом місця від 10 до 90 градусів проекція точки перетину променя зору супутник-приймач з максимумом F_2 шару іоносфери може бути віддалена від пункту прийому на відстань до 1100км.

3. GPS техніка забезпечує вимірювання групових і фазових затримок сигналів на 1575,42МГц і 1228,60МГц з 30 секундним інтервалом одночасно для всіх супутників, що знаходяться в зоні радіовидимості над окремою станцією. Одночасно більше 5-6 супутників можуть спостерігатися в секторах різних азимутів. Як групові, так і фазові затримки є відносними, оскільки містять невідомі апаратні затримки або невідому початкову фазу.

4. Виявлення іоносферних ефектів землетру-

сів ускладнюється в періоди геомагнітних збурень, коли значно сильніші варіації параметрів іоносфери "маскують" слабкіші сейсмо-іоносферні ефекти. Геомагнітна активність обумовлена сонячною активністю і станом міжпланетного середовища.

5. Тенденція зменшення електронної концентрації над епіцентральною районом починається лише за 10-30 годин до землетрусу, що недостатньо для надійного упередження можливих важких наслідків землетрусу.

У [Авторское свидетельство СССР № 1434378 А1, кл. G01V 1/00] пропонується спосіб короткострокового прогнозу сильних землетрусів. Представлений спосіб включає рівномірну розстановку чотирьох сейсмічних станцій в радіусі до 250км від епіцентру майбутнього землетрусу, реєстрацію слабких землетрусів, вимірювання дисперсії часу пробігу Р- і S- хвиль і виділення моментів триразового відхилення поточної дисперсії від середньої величини передбачення про час сильного землетрусу.

Проте, місцерозташування епіцентру землетрусу і його магнітуда наперед невідомі, тобто є випадковими величинами. Тому апіорі невідомо, навколо якого досліджуваного регіону слід розташувати систему сейсмічних станцій. Крім того, виникає проблема розміщення станцій в тяжко доступних районах земної кулі, великих водних просторах, наприклад, в океані.

Про цей недолік аналогу свідчить факт прогнозування землетрусу 21 вересня 2004 р. поблизу Калінінграда.

Область Калінінграда розташована на сході Європи і відноситься до сейсмонебезпечного району. Вірогідність землетрусу більше 5 балів складає 1% протягом 50 років. Проте, 21 вересня 2004 р. поблизу Калінінграда відбулося декілька підземних поштовхів. Максимальні поштовхи по магнітуді $M=4.3$ відчувалися в 13.32 UT. Цьому передували землетрус з магнітудою $M=4.0$ в 11.05 UT. У 13.36 UT мав місце слабкий, майже непомітний, поштовх. Два перші сильні поштовхи відчувалися на всій території Калінінградської області і прилеглих прибалтійських держав, на півдні Фінляндії, в північних районах Польщі і Білорусії.

У [Матрончик А.Ю. О генерации в гиротропном слое ионосферы геомагнитных пульсаций в период подготовки землетрясения и проведения подземных взрывов,

http://www.eltech.ru/science/Conf/table_of_contents.pdf] указано, що під час підготовки землетрусів в епіцентральної зоні мають місце геомагнітні пульсації. Оцінка характерного часу геомагнітних пульсацій на поверхні Землі, як над епіцентром землетрусу так і для відстані порядку 1000км від епіцентру, складає від одної до декілька годин. Під час підготовки сильних землетрусів ($M>4,5$) амплітуда геомагнітних пульсацій може досягнути значень більше за 0,1нТл. Якщо амплітуда геомагнітних пульсацій перевищує 0,1нТл, відносно стаціонарного (фоновому) значення геомагнітного поля, приймається рішення про землетрус що насувається.

Проте, прийняття рішення по одному перевищенню виміряного значення амплітуди геомагніт-

них пульсації значення $0,1 \text{ нТл}$, не дозволяє впевнено виявити землетрус що насувається. Зокрема:

1. Переміщення земної поверхні при сильних землетрусах або вибухах приводять до генерації акустико-гравітаційних хвиль, які поширюються в сторони й нагору від джерела землетрусу або вибуху. Ці збурювання, так чи інакше, досягають іоносферних шарів, де взаємодія між нейтральними молекулами й іоносферною плазмою приводить до флуктуацій геомагнітного поля. Таким чином, наземні промислові й підземні ядерні вибухи приводять до схожих як по амплітуді так і по характеру протікання у часі, флуктуацій геомагнітного поля [Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Литосферно-іоносферная связь и ее моделирование. Российский журнал наук о Земле, т. 2, № 2, 2000.].

2. В експерименті з 5 кілотонним наземним вибухом виявлені незвичайно довго триваючі (до 1 години) регулярні флуктуації геомагнітного поля з 6-ти хвилинним періодом на відстанях 250 км від вибуху. Такі флуктуації є характерними для внутрішніх гравітаційних хвиль, які вважають основною причиною пульсацій геомагнітного поля перед землетрусами [Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Литосферно-іоносферная связь и ее моделирование. Российский журнал наук о Земле, т. 2, № 2, 2000.].

3. Проведеного аналізу пульсацій геомагнітного поля [Липеровский В.А. Физические модели связи в системе литосфера-атмосфера-ионосфера: Лекции БШФФ - 2006. - С. 58-65. - <http://bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2006/proceed2006/58-65.pdf>. Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в период подготовки сильнейшего землетрясения 25 марта 1998 г. в Антарктиде // Украинський антарктичний журнал. - 2003. - №1, - С. 54-60. Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Анализ геомагнитных вариаций в связи с землетрясениями в Крымско-Черноморском районе. Геофиз. ж., т.23, № 1, с.115-120, 2001. Наука, 1992. 304 с. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений // М.: Наука, 1992. 304 с. Захаренкова И.Е., Шагмуратов И.И., Лаговский А.Ф., Кранковский А. Исследование ионосферных предвестников для землетрясений класса $m \sim 5.0$. Электронный научный журнал «Исследовано в России» <http://zhurnal.ape.relam.ru/articles/2006/039.pdf>. В.П. Иванов, В.Л. Карвецкий, Н.А. Коренькова, В.С. Лещенко. Ионосферные и геомагнитные эффекты во время землетрясения 21.09.2004 в Калининградской области. Предварительные результаты. Вестник МГТУ, т. 9, вып. 3, с. 440-444, 2006. Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Литосферно-ионосферная связь и ее моделирование. Российский журнал наук о Земле, т. 2, № 2, 2000. Гохберг М.Б., Пилипенко В.А., Похотелов О.А., Партасарати С.. Акустическое возмущение от подземного ядерного взрыва как источник электростатической турбулентности в магнитосфере. Докл. АН СССР, 313, (3), 568-574, 1990. Гохберг М.Б., Сараев А.К., Пертель М.И. Исследования ионосферных возмущений, вызванных карьерными взрывами в диапазоне сверхнизких частот, в сб.: Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с по-

мощью радиофизических наземно-космических методов, с. 153-162, ОИФЗ РАН, Москва, 1999. Иванов-Холодный Г.С., Михайлов А.В.. Ионосферное прогнозирование (детерминированный подход), Гидрометеиздат, Ленинград, 1980. Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Зурошвили Д.Д.. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с ними возмущения атмосферы, Докл. АН СССР, 306, (2), 315-317, 1989. Пулинец С.А., Хегай В.В., Боярчук К.А., Ломоносов А.М.. Атмосферное электрическое поле как источник изменчивости ионосферы, УФН, 168, (5), 582-589, 1998. Шалимов С.Л., Гохберг М.Б.. Нелинейный отклик ионосферы на импульсное акустическое воздействие. Докл. РАН, 368, (2), 250-253, 1999.] встановлено, що:

1. Період підготовки землетрусів супроводжується, вимірюваними та зареєстрованими, часовими варіаціями напруженості атмосферного електричного поля та геомагнітними пульсаціями.

2. За декілька діб перед землетрусами в епіцентрі майбутнього землетрусу неодноразово спостерігались сплески атмосферного електричного поля $\delta E \leq 10^3 \text{ В/м}$ та амплітуди варіацій магнітного поля δB від 1 до 10 нТл , відносно незбуреного значення.

3. При реєстрації на супутниках низькочастотних випромінювань були виявлені інтенсивні магнітні збурення в зоні $\pm 6^\circ$ за довготою та $\pm 4^\circ$ на широті відносно епіцентру землетрусу що насувається. Амплітуда збурень складала до 10 нТл на частоті 140 Гц і близько 3 нТл на частоті 450 Гц .

4. Варіації складових геомагнітного поля, пов'язані з підготовкою сильного землетрусу, відрізняються від інших варіацій складових геомагнітного поля щодо фонових, які мають місце в сейсмічно спокійний час.

5. Варіації складових геомагнітного поля в період підготовки сильного землетрусу реєструються в магнітоспокійні періоди й проявляються в підвищенні локальної геомагнітної активності в районі епіцентру землетрусу що насувається.

6. Для досить сильних землетрусів варіації потоку пружної енергії можуть бути викликані так званими сейсмогравітаційними коливаннями, що мають період від 1 до 3 годин. Ці глобальні коливання існують постійно, але стають більше інтенсивними за кілька днів до сильних землетрусів.

7. Геомагнітні збурення можуть викликатись не тільки процесом підготовки землетрусу, але й впливом звичайних природних явищ, магнітними бурями, зміною дня і ночі тощо.

У зв'язку з вищевикладеними недоліками аналогів, пропонується наступний спосіб виявлення сильного землетрусу що насувається, який ліквідує вищевказані недоліки Мета винаходу - збільшення вірогідності правильного виявлення майбутнього сильного землетрусу що насувається. Дана мета досягається тим, що проводяться вимірювання варіацій X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $B_g(x)$ за допомогою магнітоваріаційної станції (МВС). Для виключення впливу геомагнітних збурень, обумовлених сонячною активністю і станом міжпланетного середовища, вимірювання X - складової вектора магнітної індукції

поля Землі слід проводити в опівнічний час. В зв'язку з тим, що час тривалості пульсації геомагнітного поля, які виникають при вибухах і "маскуються" під пульсації геомагнітного поля в період протікання сейсмічного процесу, становить до однієї години - період часу T виміру значень X - складової вектора магнітної індукції поля Землі повинен складати не менше трьох годин. Таким чином, вимірювання X - складової вектора магнітної індукції поля Землі слід проводити в опівнічний час від 0^{00} до 3^{00} години ночі.

Виміряні значення X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $V_b(x)$ накопичуються за період часу T . Кількість вимірюваних значень n , X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $V_b(x)$, визначається за формулою:

$$n = \frac{T}{t}; \quad (1)$$

де T - період часу на вимір X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $V_b(x)$,

t - дискретність вимірювань, що задається програмне у МВС.

Отримані значення вимірювань $V_b(x)$ порівнюють з результатами наперед розрахованими, на час вимірювань з 0^{00} до 3^{00} години ночі, значеннями X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $V_\mu(x)$, яка обчислюється за допомогою міжнародної моделі "IGRF10" - інтерактивний калькулятор

[http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWM_M.jsp]. Обчислюють квадрат відхилень $\Delta B^2(x)$ виміряних $V_b(x)$ та наперед розрахованих $V_\mu(x)$, за допомогою інтерактивного калькулятора, X - складових вектора магнітної індукції поля Землі та середнє значення пульсацій X - складової вектора магнітної індукції поля Землі $\Delta V_{cp}(x)$ за період часу T :

$$\Delta B^2(x) = \sum_{i=1}^n [V_{bi}(x) - V_{\mu}(x)]^2, \quad (2)$$

$$\Delta V_{cp}(x) = \sqrt{\frac{\Delta B^2(x)}{n}}, \quad (3)$$

де $\Delta B^2(x)$ - квадрат відхилень виміряних $V_b(x)$ та розрахованих $V_\mu(x)$ на час вимірювань з 0^{00} до 3^{00} години ночі, за допомогою інтерактивного калькулятора, X - складових вектора магнітної індукції поля Землі;

$V_b(x)$ - вимірювані, за період часу T , значення X - складової вектора магнітної індукції поля Землі;

$V_\mu(x)$ - наперед розраховані, на час вимірювань з 0^{00} до 3^{00} години ночі, значення X - складової вектора магнітної індукції поля Землі;

$\Delta V_{cp}(x)$ - середнє значення пульсацій X - складової вектора магнітної індукції поля Землі за період часу T .

Критерієм ухвалення рішення про виявлення сильного землетрусу що насувається, є перевищення середнього за період часу вимірювань T значення пульсацій $\Delta V_{cp}(x)$ величини порогу $1nTл$.

Реалізацію запропонованого способу коротко-

строкового виявлення сильного землетрусу що насувається, розглянемо на прикладі роботи магнітоваріаційної станції SG 1150 [<http://www.start-vector.com> Контактна інформація info@start-vector.com].

Призначення

Магнітоваріаційна станція SG 1150 призначена для автоматичного вимірювання, реєстрації і відображення на екрані або паперовому носіїві з прив'язкою до реального часу значень і варіацій компонент вектора індукції магнітного поля Землі.

Склад

До складу магнітоваріаційної станції SG 1150 входять:

1. Трикомпонентний прецизійний магнітометр.
2. Персональний комп'ютер.

3. Пристрій прийому, перетворення і передачі інформації з блоком живлення, платами аналого-цифрового адаптера і таймера. Таймер служить для завдання часу і дати (секунди, хвилини, години, день тижня, номер місяця в році). Живлення таймера здійснюється від вбудованої батареї, що забезпечує його безперервну роботу при відключення МВС від мережі 220В. Аналого-цифровий адаптер побудований на базі 24-розрядного АЦП і має 8 каналів для введення аналогової інформації з рівнями напруги від -5В до +5В.

4. Наставний столик для завдання необхідної орієнтації датчиків в просторі, вісь Z магнітометра встановлюється уздовж вектора магнітного поля Землі, вісь X - перпендикулярно вектору магнітного поля Землі в горизонтальній площині, вісь Y - перпендикулярно вектору магнітного поля Землі у вертикальній площині.

На дату та час проведення вимірювань X - складової вектора магнітної індукції поля Землі за допомогою інтерактивного калькулятора проводять розрахунки стаціонарної X - складової вектора магнітної індукції, отримані значення заносяться у постійну пам'ять персонального комп'ютера який входить до складу магнітоваріаційної станції SG 1150.

У встановлену дату та час у режимі 1 магнітоваріаційної станції SG 1150, який призначений для виконання програм обробки та накопичення інформації, здійснюють виміри X - складової вектора магнітної індукції поля Землі в опівнічний час від 0^{00} до 3^{00} години ночі. Виміряні у кожному такті роботи магнітоваріаційної станції SG 1150 X - складові вектора магнітної індукції поля Землі накопичуються у постійній пам'яті персонального комп'ютера. По закінченню періоду часу вимірювань T мікропроцесор персонального комп'ютера виконує обчислення, програмно, $\Delta B^2(x)$ та $\Delta V_{cp}(x)$ за формулами (2) та (3) відповідно. Отримане значення $\Delta V_{cp}(x)$ порівнюється з пороговим значенням $1nTл$ і вразі його перевищення - приймається рішення про виявлення сильного землетрусу що насувається.

