



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94524 (13) C2
(51) МПК
G01V 3/08 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЕПІЦЕНТРУ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ, ЩО НАСУВАЄТЬСЯ

1

2

(21) а201002068

(22) 25.02.2010

(24) 10.05.2011

(46) 10.05.2011, Бюл.№ 9, 2011 р.

(72) ГАННОШИН ВІКТОР ПЕТРОВИЧ

(73) ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 88562 C2, 26.10.2009

UA 200901575, 10.07.2009

SU 1171737 A, 07.08.1985

RU 2147756 C1, 20.04.2000

US 2003078731 A1, 24.04.2003

EP 0819951 A4, 02.12.1998

(57) Спосіб визначення координат епіцентру землетрусу, що насувається, який включає вимірювання величини потоку високоенергетичних електронів, визначення координат значного, в чотири стандартні відхилення щодо середнього значення, збільшення потоку високоенергетичних електро-

нів, який відрізняється тим, що проводять вимірювання електронної концентрації іоносфери, за період часу від 0⁰⁰ до 3⁰⁰ годин ночі, чотирма іонозондами, які розташовані на землі в кутах квадрата і віддалені один від одного на відстань 141 км, визначають міжіонозондові нормовані розподіли електронної концентрації, обчислюють координати точок глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, потім обчислюють координати точки перетину двох прямих, які зв'язують координати глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, за обчисленим значенням координати точки перетину двох прямих, які зв'язують координати глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, визначають координати епіцентру сильного землетрусу, що насувається.

Винахід належить до геофізики, зокрема до сейсмології, і може бути використаний для безпомилкового визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається.

Задача винаходу - збільшення однозначності та точності правильного визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається. Дана задача вирішується тим, що проводять вимірювання електронної концентрації іоносфери, за період часу з 0⁰⁰ до 3⁰⁰ годин ночі, чотирма іонозондами, які розташовані на землі в кутах квадрата і віддалені один від одного на відстань 141 км, визначають міжіонозондові нормовані розподіли електронної концентрації, обчислюють координати точок глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, потім обчислюють координати точки перетину двох прямих, які зв'язують координати глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, по обчисленому значенню координати точки перетину двох прямих, які зв'язують координати глобальних мінімумів міжіонозондових нормованих розподілів електронної концентрації, визначають координати епіцентру сильного землетрусу, що насувається.

Спосіб визначення координат епіцентру зем-

летрусу, що насувається [Радон и проблема тектонических землетрясений (Уткин В.И., 2000), Науки о Земле, <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1133.html>], що включає вимірювання змісту радону в шахтах з глибиною від 300 до 600 м декількома вимірювальними станціями, які розташовані на відстані більше 25 км одна від одної, за час не більше 24 годин.

Використання даного способу для визначення координат епіцентру майбутнього землетрусу має свої недоліки, а саме:

1. Просторові зміни динаміки виділення радону носять нелінійний характер.

2. Покрити всю сейсмоактивну зону вимірювальними станціями, розташованими в шахтах з глибиною від 300 до 600 м, скрутно (особливо це стосується акваторій морів та океанів) і економічно не ефективно.

3. Місцезорозташування епіцентру землетрусу і його магнітуда наперед невідомі, тобто є випадковими величинами. Тому априорі невідомо, навколо якого досліджуваного регіону слід розташувати систему сейсмічних станцій.

Про ці недоліки аналога свідчить факт не виявлення землетрусу, що насувається, та визначення координат його епіцентру 21 вересня 2004

(13) C2

(11) 94524

(19) UA

р. поблизу Калінінграда.

Область Калінінграда розташована на сході Європи і належить 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 $M_s=4.3$ відчувалися в 13.32 UT. Цьому передував землетрус з магнітудою $M_s=4.0$ 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.

Спосіб визначення координат епіцентру землетрусу, що насувається [Бондур В. Г., Зверев А. Т., Кузнецова Л. В. Космический мониторинг геодинамических предвестников крупных землетрясений, www.iki.rssi.ru/earth/artieles06/vol2-184-189.pdf], заснований на методі оперативного аналізу геодинаміки сейсмонебезпечних територій, який пов'язаний з реєстрацією змінюваності систем лінеamentів, які виділяються на супутникових зображеннях.

Зокрема, проводиться автоматичне виділення лінеamentів по космічних зображеннях, а потім здійснюється побудова роздіаграм їх спрямованості, полів щільності і статистичний аналіз виявлених лінеamentів.

Проте, використанню даного способу, для визначення координат епіцентру майбутнього землетрусу, властиві наступні недоліки, а саме:

1. Для лінеamentного аналізу необхідно використовувати тільки ті зображення, які отримані в безхмарну погоду і фрагменти яких точно потрапляють на досліджуваний регіон. Похмура погода, опади у вигляді дощу, граду і особливо снігу, їх нерівномірний покрив на поверхні землі в часі і просторі, не дозволяють оперативно - за 3-5 днів до землетрусу, з магнітудою більше ніж 4 бали, отримати зображення лінеamentів і здійснити аналіз щільності їх січних, оскільки в періоді часу більше за 3-5 днів до землетрусу і через 3-5 днів після нього, кількість січних лінеamentів істотно знижується і відповідає спокійному (фоновому) стану для цього регіону.

2. Аномалії в поведінці лінеamentів (поява додаткових січних компонентів) виявляються і при сильних землетрусах, епіцентри яких знаходяться поза досліджуваною ділянкою, що не дозволяє однозначно встановити координати епіцентру майбутнього землетрусу.

Спосіб визначення координат епіцентру землетрусу, що насувається [Александрин С., Воронов С., Гальпер А. и др. Предвестники землетрясений в околоземном космическом пространстве. Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет) http://www.pereplet.ru/pops/quakes/quake_ru.html], який заснований на кореляції спостережуваних значних зростань потоків високоенергетичних електронів з сейсмічним процесом.

Значне збільшення (сплеск) потоку високоенергетичних електронів обумовлене явищем сейсмомагнітосферного зв'язку, що полягає в локальному

збуренні радіаційного поясу над епіцентром майбутнього землетрусу ультранизькочастотним електромагнітним випромінюванням, що утворюється у епіцентрі майбутнього землетрусу і розповсюджується через іоносферу в магнітосферу.

Реєстрація сплеску потоку високоенергетичних електронів здійснюється за допомогою системи сцинтиляційних, часоплинних і черенковських детекторів у поєднанні з сцинтиляційним калориметром, які встановлені на борт штучного супутника Землі.

Для обробки і виділення сплесків високоенергетичних електронів використовуються канали даних вищеперелічених приладів, які реєструють темпи рахування високоенергетичних електронів. Ця інформація прив'язана до універсального часу, що дозволяє, знаючи параметри орбіти космічного апарата, виконати прив'язку темпів рахування високоенергетичних електронів до географічних координат.

За сплески високоенергетичних електронів приймаються різкі короточасні (десятки секунд - хвилини) зростання темпів рахування з величиною відхилення, щодо середнього темпу рахування, більше, ніж чотири стандартних відхилення.

Проте, однозначне визначення координат епіцентру землетрусу, що насувається, за даним способом має свої недоліки, а саме:

1. Взаємодія випромінювання і геомагнітних захоплених електронів приводить до висипання останніх з радіаційного поясу, які розповсюджуються далі із-за довготного дрейфу навколо Землі уздовж дрейфової оболонки, на якій знаходиться епіцентр землетрусу. При цьому, утворюється хвиля електронів, які висипаються, яка рухається навколо Землі та може зробити один і більше оборотів навколо неї. Отже, реєстрація сплеску потоку високоенергетичних електронів буде здійснюватися на декількох штучних супутниках землі, що знаходяться на траєкторії дрейфової оболонки та на різних географічних координатах, що викличе неоднозначність у визначенні координат епіцентру майбутнього землетрусу.

2. Якщо розглядати майбутній землетрус як випадковий процес, без проведення прив'язки сплесків високоенергетичних електронів до часу і координат епіцентру майбутнього землетрусу, то визначити координати епіцентру майбутнього землетрусу неможливо (розподіл сплесків високоенергетичних електронів однорідний по простору і часу [Александрин С., Воронов С., Гальпер А. и др. Предвестники землетрясений в околоземном космическом пространстве. Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет) http://www.pereplet.ru/pops/quakes/quake_ru.html]).

3. Зона дії деформаційних процесів в період підготовки землетрусу безпосередньо залежить від його сили. Радіус R цієї зони може бути оцінений наступним співвідношенням [Захаренкова И. Е., Шагимуратов И. И. (pcizmiran@gazinter.net) и др. Исследование ионосферных предвестников для землетрясений класса $m \sim 5.0$. Электронный научный журнал «Исследовано в России». <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/039.pdf>].

$$R = 10^{0.43M} \text{ (км)}, \quad (1)$$

де M - магнітуда землетрусу.

4. Із співвідношення (1) виходить, що радіус R зони дії деформаційних процесів в період підготовки сильних, з магнітудою 5 і більше балів, землетрусів (магнітуда, яка дорівнює 5, була вибрана як опорна, бо при таких енергіях вже можливі руйнування будівель і споруд за шкалою MSK-64) може складати від 141 і більше кілометрів. У зв'язку з цим, радіус R взаємодії електронів з геомагнітним полем не носитиме точковий характер.

5. Під час сильних магнітних бур електрони не тільки прискорюються, але і висипаються з радіаційного поясу [Воронов С. А., Гальпер А. М., Дмитриенко В. В. и др. Ядерная физика, космическое излучение, астрономия. М. ГНТП, МГУ, 1994. <http://www.kosmofizika.ru/abmn/galper/galper.htm>]. Таким чином, під час сильних магнітних бур виникає неоднозначність в ухваленні рішення, тобто, не відомо, чим викликаний сплеск високоенергетичних електронів, - або магнітною бурєю, або землетрусом, що насувається.

У зв'язку з вищевикладеними недоліками аналогів, пропонується наступний спосіб прогнозу землетрусу.

З проведеного аналізу сейсмо-іоносферних варіацій електронної концентрації [Пилипенко В. А. 2006. Резонансные эффекты ультранизкочастотных волновых полей в околоземном пространстве // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Москва: Институт космических исследований РАН. 33 с. www.iki.rssi.ru/rus/var_avto.pdf. Захаренкова И. 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. Пулинец С. А., Лью Й. Я. Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью наземно-космических методов. Доклады конференции. Москва, 2-3 октября 1997. с. 27-44. Липеровский В. А., Похотелов О. А., Шалимов С. Л. Ионосферные предвестники землетрясений // М.: Наука, 1992. 304 с. Гохберг М. Б., Пилипенко В. А., Похотелов О. А. О сейсмических предвестниках в ионосфере // Физика Земли, 1983. Т. 10. с. 17-21. Пулинец С. А., Боярчук К. А., Ломоносов А. М., Хегай В. В., Лью Й. Я. Ионосферные предвестники землетрясений: предварительный анализ данных критических частот foF2 наземной станции вертикального зондирования ионосферы Чунг-Ли (о. Тайвань). // Геомагнетизм и аэрономия, 2002. Т. 42. № 4. с. 435-447. Дробжев В. И., Калиев М., Литвинов Ю. Г. Отклик ионосферы на Алма-Атинское землетрясение 4 марта 1991 г. Геомагнетизм и аэрономия, т. 32, № 4, с. 144-146, 1992. Липеровский В. А., Попов К. В., Похотелов О. А. Возмущения временного хода частоты fbEs ионосферы сейсмоактивного района. Физика Земли, № 12, с. 83-89, 1999. Михайлов Ю. М., Михайлова Г. А., Капустина О. В. Вариации различных атмосферно-ионосферных параметров

в периоды подготовки землетрясений на Камчатке: предварительные результаты. Геомагнетизм и аэрономия, т. 42, № 6, с. 805-813, 2002. Пулинец С. А., Боярчук К. А., Ломоносов А. М. Ионосферные предвестники землетрясений: предварительный анализ данных критических частот foF2 наземной станции вертикального зондирования ионосферы Чунг-Ли (о. Тайвань). Геомагнетизм и аэрономия, т. 42, № 4, с. 535-540, 2002. Пулинец С. А., Легенька А. Д., Зеленова Т. Н. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени. Геомагнетизм и аэрономия, т. 38, № 3, с. 178-183, 1998. Пулинец С. А., Лью Й. Я., Сафронова К. А. Интерпретация результатов статистического анализа вариаций критической частоты foF2 перед землетрясением по данным ионосферной станции Чунг-Ли (о. Тайвань). Геомагнетизм и аэрономия, т. 44, № 1, с. 113-118, 2004. Самарджиев Д., Пашова Ц. Волновые ионосферные возмущения, наблюдавшиеся после землетрясения 4.03.1977 г. в горах Вранга. Волг. геофиз. списание, т. 8, № 4, с. 44-51, 1982. 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. Фаткуллин М. Н., Гайворонская Т. В., Зеленова Т. И., Хусамеддинов С. С. Реакция области F ионосферы на повторные толчки в апреле 1984 г. после Газлийского землетрясения. Изв. вузов. Радиофиз., т. 31, № 7, с. 874-878, 1988. Хегай В. В., Легенька А. Д., Пулинец С. А., Ким В. П. Изменения в F₂-области ионосферы перед катастрофическим землетрясением на Аляске 28.03.1964 г. По данным наземных станций вертикального зондирования ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия, т. 42, № 3, с. 360-365, 2002.], в спокійних геомагнітних умовах, встановлене наступне:

1. Іоносферні передвісники є варіаціями щільності іоносферної плазми (відхилення від незбуреного значення), спостерігаються за 1-5 діб.

2. Тривалість варіації одного знаку невелика і складає від 4 до 6 годин. Тільки у разі дуже сильних землетрусів вона може бути значною (до 12 годин).

3. В середньому сейсмо-іоносферні варіації мають ту ж амплітуду, що і щоденна мінливість іоносфери (від 15 % до 25 %), але в певні моменти місцевого часу вони можуть перевищувати 100 %.

4. Знак і форма сейсмо-іоносферних варіацій залежать від місцевого часу.

5. За 1-5 діб до землетрусу, що насувається, відбувається порушення просторово-часового ходу в розподілі електронної концентрації в іоносфері, з утворенням неоднорідності останньої.

6. Форма неоднорідності представляє витягнутий в напрямі південь - північ еліпс.

7. Лінійні розміри неоднорідності електронної концентрації в іоносфері можуть складати від 300 до 1500 км по широті і від 600 до 4000 км по довготі, відносно епіцентру майбутнього землетрусу.

8. Розмір модифікованої області іоносфери на висоті максимуму шару F₂ іоносфери залежить від магнітуди землетрусу.

9. У епіцентральної області за 3-5 діб спостерігається зростання електронної концентрації в мак-

симумі шару F_2 , іоносфери, з подальшим її зменшенням за 1-3 доби. При цьому напередодні землетрусу (за 1-2 доби), відбувається порушення просторово-часового ходу максимуму електронної концентрації.

Крім цього, аналіз карт просторово-тимчасового диференціального відсоткового розподілу повної електронної концентрації (N_e) іоносфери (ТЕС), над епіцентром майбутнього землетрусу [Захаренкова І. Е., Шагмуратов І. І. (pcizmiran@gazinter.net) и др. Исследование ионосферных предвестников для землетрясений класса $m \sim 5.0$. Электронный научный журнал "Исследовано в России". <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/039.pdf>. Захаренкова І. Е. (zakharenkova@mail.ru), Шагмуратов І. І., Кранковски А., Лаговский А. Ф., Ионосферные аномалии, наблюдаемые в GPS ТЕС измерениях перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M6.8). Электронный научный журнал "Исследовано в

России", <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/110.pdf>. Скрипачев В. О. (skripatchev@inbox.ru), Суровцева І. В., Захаренкова І. Е., Падохин А. М., Тимофеев А. І. Возмущения ионосферы над республикой Кыргызстан перед сильным землетрясением по данным о характеристиках сигналов навигационных космических аппаратов GPS. Электронный научный журнал "Исследовано в России". <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/022.pdf>], свідчить про те, що ТЕС являє собою еліптичні зони з різною товщиною, яка залежить від відсоткового складу N_e іоносфери.

Для оцінки відстані рознесення на місцевості іонозондів, скористаємося співвідношенням для розрахунку радіуса зони дії деформаційних процесів в період підготовки землетрусу (1).

Результати розрахунку $R = f(M)$ представлені в табл.

Таблица

M (бали)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R (км)	3	7	19	52	141	380	1023	2754	7413	19953	53703	144544

На фіг. 1 представлена схема задачі визначення координат епіцентру землетрусу, що насувається. Точками А, В, С і D (див. фіг. 1) позначене місце розташування іонозондів, які розташовані в кутах квадрата й віддалені один від одного на відстані R, яка дорівнює 141 км (магнітуда землетрусу рівна 5 і більше балів, див. табл.). Координатна вісь X збігається з географічною довготою λ , а вісь Y збігається з географічною широтою φ . За початок координат т. А (див. фіг. 1) приймаються географічні координати (λ, φ) місця розташування пер-

шого іонозонда.

Кожним з іонозондів, які розташовані на місцевості в точках А, В, С і D (див. фіг. 1), роблять вимір N_e іоносфери. Для виключення впливу сонячної активності (магнітної бурі) на значення N_e іоносфери і її поведінки в часі, вимір N_e необхідно робити в опівнічний час з 0⁰⁰ до 3⁰⁰ ночі. Зміряні значення N_e іоносфери, отримані за період часу з 0⁰⁰ до 3⁰⁰ ночі, накопичуються. Роблять розрахунок міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери по наступних співвідношеннях:

$$f(N_{eDA}, N_{eAB}) = \frac{1}{2\pi G_{DA} G_{AB} \sqrt{1 - \rho_{DA} \rho_{AB}}} \times \exp \left[\frac{1}{2(1 - \rho_{DA} \rho_{AB})} \left[\frac{(N_{eDA} - m_{DA})^2}{G_{DA}^2} - 2\rho_{DA} \frac{(N_{eDA} - m_{DA})(N_{eAB} - m_{AB})}{G_{DA} G_{AB}} + \frac{(N_{eAB} - m_{AB})^2}{G_{AB}^2} \right] \right], \quad (2)$$

$$f(N_{eBC}, N_{eBA}) = \frac{1}{2\pi G_{BC} G_{BA} \sqrt{1 - \rho_{BC} \rho_{BA}}} \times \exp \left[\frac{1}{2(1 - \rho_{BC} \rho_{BA})} \left[\frac{(N_{eBC} - m_{BC})^2}{G_{BC}^2} - 2\rho_{BC} \frac{(N_{eBC} - m_{BC})(N_{eBA} - m_{BA})}{G_{BC} G_{BA}} + \frac{(N_{eBA} - m_{BA})^2}{G_{BA}^2} \right] \right], \quad (3)$$

$$f(N_{eBC}, N_{eCD}) = \frac{1}{2\pi G_{BC} G_{CD} \sqrt{1 - \rho_{BC} \rho_{CD}}} \times \exp \left[\frac{1}{2(1 - \rho_{BC} \rho_{CD})} \left[\frac{(N_{eBC} - m_{BC})^2}{G_{BC}^2} - 2\rho_{BC} \frac{(N_{eBC} - m_{BC})(N_{eCD} - m_{CD})}{G_{BC} G_{CD}} + \frac{(N_{eCD} - m_{CD})^2}{G_{CD}^2} \right] \right], \quad (4)$$

$$f(N_{eAD}, N_{eCD}) = \frac{1}{2\pi G_{AD} G_{CD} \sqrt{1 - \rho_{AD} \rho_{CD}}} \times \exp \left[\frac{1}{2(1 - \rho_{AD} \rho_{CD})} \left[\frac{(N_{eAD} - m_{AD})^2}{G_{AD}^2} - 2\rho_{AD} \frac{(N_{eAD} - m_{AD})(N_{eCD} - m_{CD})}{G_{AD} G_{CD}} + \frac{(N_{eCD} - m_{CD})^2}{G_{CD}^2} \right] \right], \quad (5)$$

де m - математичне очікування компонентів N_e ;

G - середні квадратичні відхилення компонентів N_e ;

ρ - коефіцієнт кореляції між компонентами двовимірної випадкової величини N_e ;

A, B, C і D - індекси, що відповідають точкам місця розташування іонозондів (див. фіг. 1).

У формулах (2-5) індексами AB, BC, CD і DA позначені попарні зв'язки між іонозондами (див. фіг. 1).

Для кожного розрахованого міжіонозондового нормованого розподілу N_e іоносфери (2-5), визначають їхні глобальні мінімуми N_e іоносфери, за допомогою градієнтного методу [http://www.sbras.ru/rus/textbooks/akhmerov/mo/3.html], а саме: $M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), M_3(x_3, y_3)$ і $M_4(x_4, y_4)$ (див. фіг. 1) - відповідні точки глобального мінімуму N_e іоносфери для розрахованих міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери. Для прив'язки отриманих глобальних мінімумів N_e іоносфери до географічних координат місця розташування іонозондів, використовують наступні співвідношення:

$$M_1(X_1, Y_1): X_1 = X_A + R \frac{N_{e \min AD}}{N_{e \max AD}},$$

$$Y_1 = Y_A + R \frac{N_{e \min AB}}{N_{e \max AB}}; \quad (6)$$

$$M_2(X_2, Y_2): X_2 = X_B + R \frac{N_{e \min BC}}{N_{e \max BC}},$$

$$Y_2 = Y_B - R \frac{N_{e \min BA}}{N_{e \max BA}}; \quad (7)$$

$$M_3(X_3, Y_3): X_3 = X_C - R \frac{N_{e \min CB}}{N_{e \max CB}},$$

$$Y_3 = Y_C - R \frac{N_{e \min CD}}{N_{e \max CD}}; \quad (8)$$

$$M_4(X_4, Y_4): X_4 = X_D - R \frac{N_{e \min AD}}{N_{e \max AD}},$$

$$Y_4 = Y_D + R \frac{N_{e \min AD}}{N_{e \max AD}}. \quad (9)$$

де $X_{A,D,C}$ та B - відповідні координати іонозондів, по осі λ ;

$Y_{A,D,C}$ та B - відповідні координати іонозондів, по осі φ ;

$N_{e \min A,B,C,D}$ - глобальні мінімуми міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери, отримані градієнтним способом;

$N_{e \max A,B,C,D}$ - максимуми вимірюваної іонозондами електронної концентрації іоносфери;

R - відстань між іонозондами (див. табл. 1).

Далі, використовують рівняння прямої, яка перетинає дві точки:

$$\frac{y - y_1}{y_3 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_3 - x_1}, \quad (10)$$

де x_1, x_2, y_1, y_2 - координати точок на координатній площині $X(\lambda)$ та $Y(\varphi)$.

Зі співвідношення (10) одержують загальне рівняння прямої лінії, що має наступний вигляд:

$$A_L x + B_L y + C_L = 0 \quad (11)$$

де A_L, B_L і C_L - коефіцієнти прямої лінії.

Тобто, для двох точок $M_1(X_1, Y_1)$ і $M_3(X_3, Y_3)$ (див. фіг. 1) одержують рівняння прямої лінії, яка з'єднує координати глобальних мінімумів для міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери $N_{eAB}(M_1)$ та $N_{eCD}(M_3)$ - пряма L_1 :

$$\frac{y - y_1}{y_3 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_3 - x_1}, \quad (12)$$

а для двох точок $M_2(X_2, Y_2)$ і $M_4(X_4, Y_4)$ (див. фіг. 1) одержують рівняння прямої лінії, яка з'єднує координати глобальних мінімумів для міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери $N_{eBC}(M_2)$ та $N_{eAD}(M_4)$ - пряма L_2 :

$$\frac{y - y_2}{y_4 - y_2} = \frac{x - x_2}{x_4 - x_2}. \quad (13)$$

Для визначення координат точки перетинання прямих L_1 і L_2 , які з'єднують координати глобальних мінімумів для міжіонозондових нормованих розподілів N_e іоносфери, складають та розв'язують систему із двох отриманих лінійних алгебраїчних рівнянь для L_1 (12) і L_2 (13), тобто:

$$\begin{cases} A_{L1}x + B_{L1}y + C_{L1} = 0 \\ A_{L2}x + B_{L2}y + C_{L2} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Результатом розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь (14) є географічні координати $x(\lambda)$ і $y(\varphi)$, з урахуванням прив'язки до географічних координат місця розташування іонозондів (т. A, B, C і D , див. фіг. 1), епіцентру землетрусу, що насувається.

Час виникнення землетрусу є випадковою величиною, тобто невідомо, коли необхідно проводити вище перелічені розрахунки. Для ухвалення рішення на проведення розрахунків (2)-(14) є перевищення значення квадрата коефіцієнта кореляції, між вимірними і екстрапольованими значеннями швидкості зміни квадрата критичних частот шару F_2 іоносфери, величини 0,5 [Патент України на винахід № 88562 "Спосіб раннього прогнозу землетрусу Ганношина". Бюл. № 20. "Міністерство освіти і науки. Департамент промислової власності". 28.10.2009].

Задача винаходу - збільшення однозначності та точності правильного визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається. Дана задача вирішується тим, що проводять вимірювання електронної концентрації іоносфери, за період часу з 0⁰⁰ до 3⁰⁰ годин ночі, чотирма іонозондами, які розташовані на Землі в кутах квадрата і віддалені один від одного на відстань 141 км. Виміряні значення електронної концентрації іонос-

фери накопичуються за період часу T :

$$T = Nt_n, \quad (15)$$

$$\text{де } t_n = \frac{1}{F_n};$$

F_n - частота повторення імпульсів іонозонда;

N - кількість вимірюваних значень електронної концентрації іоносфери, які зміряні з 0^{00} до 3^{00} годин ночі.

За інформацією про отримані значення електронної концентрації іоносфери, які надходять у процесор одного із іонозондів, розраховуються міжіонозондові нормовані розподіли N_e іоносфери (2)-(5), визначають їхні глобальні мінімуми N_e іоносфери, за допомогою градієнтного методу. Отримані глобальні мінімуми N_e іоносфери прив'язуються до географічних координат місця розташування іонозондів (6)-(9). По співвідношенням (12) та (13) отримують загальне рівняння прямої лінії. Складають систему лінійних алгебраїчних рівнянь (14), розв'язок отриманої системи дає географічні координати епіцентру землетрусу, що насувається, з урахуванням прив'язки до географічних координат місця розташування іонозондів (T , A , B , C і D , див. фіг. 1).

Реалізацію пропонованого способу визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається, розглянемо на прикладі роботи іонозонда "ПАРУС" [Іонозонд "ПАРУС". Документація Іонозонда ПАРУС-3 Демо версії. <http://top.izmiran.troitsk.ru/parus/1>].

Іонозонд "ПАРУС" призначений для діагностики іоносфери і оперативного прогнозу короткохвильового зв'язку. Конструкція іонозонда виконана за модульним принципом. Режим роботи іонозонда змінюється програмно, що дозволяє його легку адаптацію до конкретних потреб різних експериментальних комплексів діагностики іоносфери. За допомогою іонозонда можна проводити вимірювання амплітудних характеристик, спектра, форми і фази сигналу, що відбитий від іоносфери, та оперативного вимірювання N_e іоносфери.

В ході зондування процесор ЕОМ іонозонда контролює всі процеси в системі. Запуск циклу зондування можливий як по команді оператора, так і по сигналу таймера ЕОМ. Синхронізація роботи приймача, передавача і реєстратора здійснюється модулем синхронізації і управління. Тривалість імпульсу, що випромінює іонозонд, частота посилення імпульсів, довжина реалізації задаються програмно. Для роботи в комплексі з іншими іонозондами, використовуються зовнішній опорний високостабільний сигнал f_0 .

Програмний супровід іонозонда забезпечує оперативне управління всіма апаратними засобами в процесі зондування, автоматичне виявлення відбитих від іоносфери радіосигналів, високоточне вимірювання амплітудно-фазо-частотних характеристик, багатовимірне графічне представлення на екрані монітора результатів зондування та профілів N_e іоносфери. Вихідні дані іонозонда можуть зберігатися як у власному архіві на комп'ютері, так і швидко пересилатися в Світовий Центр Даних.

З чотирьох рознесених на місцевості іонозондів виберемо один, будь-який - ведучий іонозонд,

який здійснюватиме синхронізацію і управління режимами роботи всіх чотирьох іонозондів, що входять в систему визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається, та відносно якого буде здійснюватись прив'язка до географічних координат.

У кожному такті зондування відбитий (розсіяний) іоносферою сигнал через приймальну антену надходить на вхід процесора ЕОМ кожного із іонозондів. Вимірюні значення N_e іоносфери кожного з іонозондів, вимірювання значення N_e іоносфери здійснювалося з рознесенням на місцевості 141 км, надходять по безпроводній мережі на вхід процесора ведучого іонозонда, де:

- розраховуються міжіонозондові нормовані розподіли N_e іоносфери (2)-(5);

- визначаються їхні глобальні мінімуми N_e іоносфери;

- здійснюється прив'язка до географічних координат місця розташування ведучого іонозонда (6)-(9);

- отримують загальні рівняння прямої лінії (12), (13);

- здійснюється розв'язування системи лінійних алгебраїчних рівнянь (14), та отримують географічні координати епіцентру сильного землетрусу, що насувається.

На фіг. 2 і фіг. 3 представлена географія розміщення 7-ми іонозондів "ПАРУС" [Іонозонд "ПАРУС". Документація Іонозонда ПАРУС-3. Демо версії <http://top.izmiran.troitsk.ru/narus/>], і більше 70-ти іонозондів DPS-4 [Цифрової іонозонд DPS-4// Інститут Сонечно-Земной фізики СО РАН. Отдел физики верхней атмосферы и распространения радиоволн, <http://ulcar.uml.edu/>], що функціонують в даний час.

З представленої географії розміщення іонозондів виходить, що вони охоплюють всі сейсмонезбезпечні райони. Цей факт свідчить про те, що реалізація пропонованого способу визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається, не вимагає додаткових капіталовкладень.

Фіг. 1. Схема задачі визначення координат епіцентру сильного землетрусу, що насувається, а саме:

- точками A , B , C і D позначене місце розташування іонозондів;

- фігури, які позначені цифрами 1, 2, 3, та 4, відповідні міжіонозондові нормовані розподіли електронної концентрації іоносфери, які розраховані по співвідношенням (2)-(5) для карти просторово-тимчасового диференціального відсоткового розподілу повної електронної концентрації іоносфери, отриманої напередодні землетрусу у південній Греції (для 10 UT);

- $M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), M_3(x_3, y_3)$ і $M_4(x_4, y_4)$ - відповідні точки глобального мінімуму електронної концентрації;

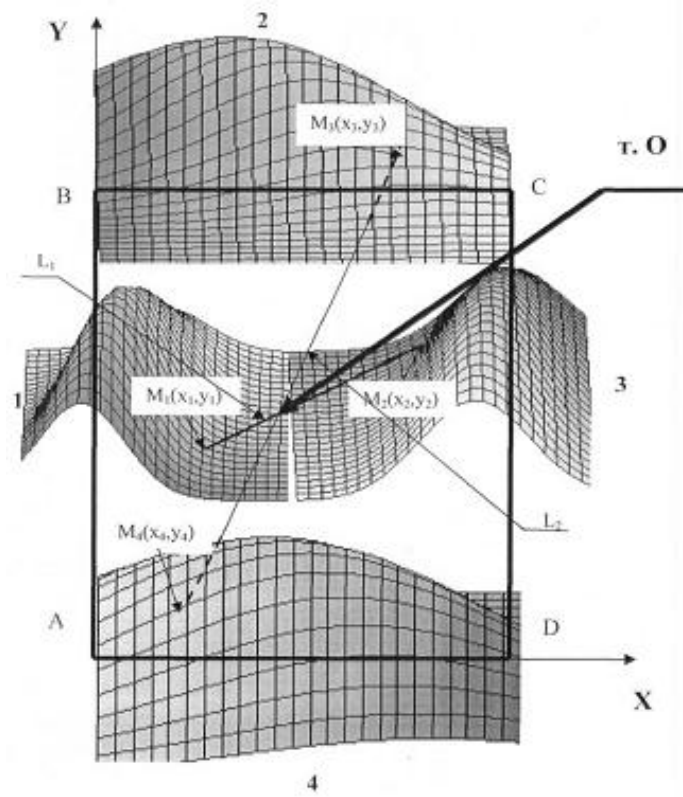
- L_1 та L_2 прямі лінії, які з'єднують координати глобальних мінімумів для точок $M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), M_3(x_3, y_3)$ і $M_4(x_4, y_4)$;

- O , точка перетину двох прямих ліній L_1 та L_2 , точка епіцентру сильного землетрусу, що насу-

вається.

Фіг. 2. Розміщення іонозондів "ПАРУС" в Європі та Азії.

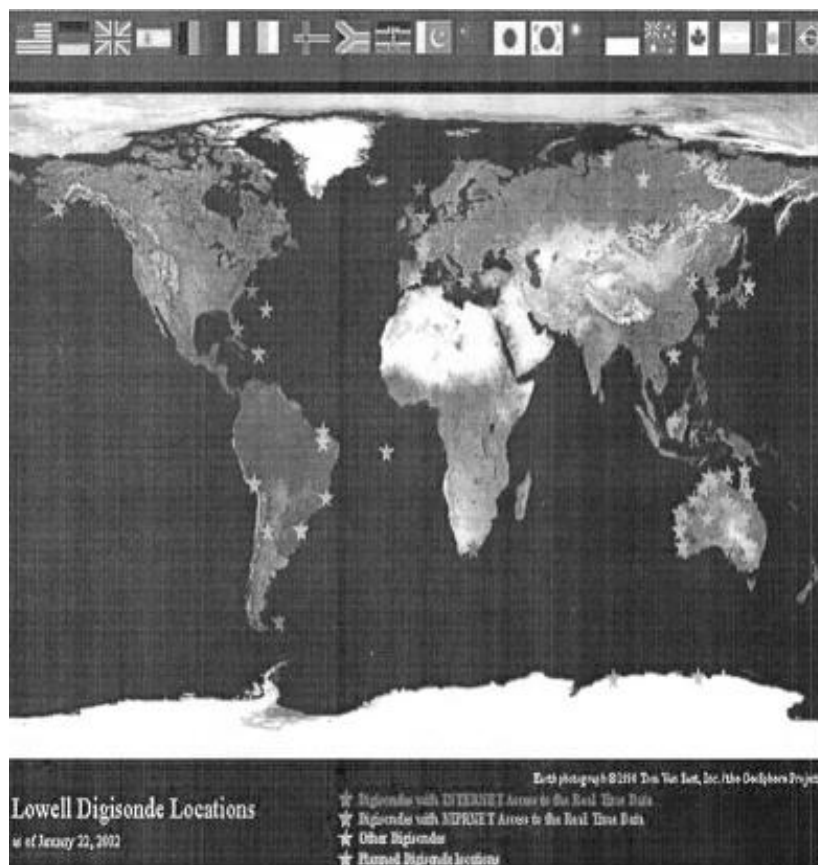
Фіг. 3. Розміщення іонозондів DPS-4 у науково-дослідних центрах світу.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3