



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90613 (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

1

2

(21) а200901575

(22) 23.02.2009

(24) 11.05.2010

(46) 11.05.2010, Бюл.№ 9, 2010 р.

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

(73) ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕ-  
КОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) SU 1193620, 23.11.1985

SU 1171737, 07.08.1985

RU 2147756, 20.04.2000

US 7277797, 02.10.2007

US 6018244, 25.01.2000

US 6822574, 23.11.2004

(57) Спосіб короткострокового виявлення сильного землетрусу, що насувається, який включає вимірювання значень електронної концентрації шару F іоносфери за допомогою іонозонда, порівнювання вимірних значень електронної концентрації з фоновими значеннями та ухвалення рішення про майбутній землетрус при виявленні області з під-

вищеним значенням електронної концентрації, який **відрізняється** тим, що за допомогою трьох іонозондів, які розташовують у вершинах рівностороннього трикутника на відстані 141 км один від одного на землі, проводять вимірювання коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу, відбитого від шару F іоносфери, виміряні значення коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу накопичують за період часу T, по накопичених значеннях коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу кожного із іонозондів, які входять в систему короткострокового виявлення сильного землетрусу, що насувається, розраховують попарні міжіонозондові коефіцієнти кореляції, для коефіцієнтів автокореляції радіолокаційного сигналу іонозондів розраховують середньоарифметичне значення квадратів коефіцієнтів кореляції, при перевищенні середньоарифметичного коефіцієнта кореляції значення 0,8 роблять висновок про виявлення майбутнього землетрусу, що насувається.

Винахід відноситься до радіофізики, зокрема до вивчення іоносферних передвісників землетрусів, і може бути використаний для безпомилкового виявлення землетрусу, що насувається. Мета винаходу - зменшення часу на отримання достовірних ранніх відомостей та збільшення вірогідності правильного виявлення майбутнього землетрусу, що насувається. Спосіб короткострокового виявлення сильного землетрусу, що насувається заснований на вимірюванні коефіцієнту автокореляції радіолокаційного сигналу, відбитого від шару F іоносфери, трьома іонозондами які розташовані на землі навколо контрольованого району на відстані 141км один від іншого.

У [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](http://www.kantiana.ru/science/avt_zahar.doc)] для вияв-

лення іоносферних передвісників землетрусів використовувалася варіація повного електронного змісту іоносфери, отримана за наслідками обробки вимірювань затримок сигналів навігаційних супутників системи GPS на частотах 1227,60МГц і 1575,42МГц.

Для відновлення повного електронного змісту іоносфери GPS техніка реалізує одночасне вимірювання групових і фазових затримок сигналів на частоті 1575,42МГц і на частоті 1227,60МГц. 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

(13) C2

(11) 90613

(19) UA

спостереження; тобто добова варіація обчислюється за допомогою усереднювання ТЕС по значній просторовій області іоносфери. Тому для детального 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 епіцентральним 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 оперативно 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 [Бондур 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 землетрусів 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 епіцентральним районом починається лише за 10-30 годин до землетрусу, що недостатньо для надійного упередження можливих важких наслідків землетрусу.

У [Н. Данилкин. Прогноз землетрясений из космоса. Новости космонавтики. №11. 2002. [http://www.novosti-](http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/238/26.shtml)

[kosmonavtiki.ru/content/numbers/238/26.shtml](http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/238/26.shtml)] для виявлення майбутнього землетрусу пропонується проводити зондування іоносфери за допомогою іонозонда, встановленого на борт космічного апарату, орбіта якого знаходиться на висоті нижче за висоту шару максимуму електронної концентрації в іоносфері. Виміряні значення електронної концентрації порівнюються з фоновими значеннями. При виявленні області з підвищеним значенням електронної концентрації (на 20%-25% щодо фонового значення), так зване "Облако Калинина", ухвалюють рішення про майбутній землетрус.

Використання зондування іоносфери іонозондом, встановленим на борт космічного апарату, вимірювання електронної концентрації шару іоносфери, розташованого нижче за висоту максимуму іоносферної електронної концентрації, з подальшим порівнянням виміряних значень з фоновими значеннями, має свої недоліки, які не дозволяють, до теперішнього часу, оперативно і достовірно виявляти майбутній землетрус. А саме:

1. Виявлення іоносферного передвісника землетрусу, заснованого на виявленні області з підвищеним вмістом електронної концентрації, повинне здійснюватися за рахунок постійного спостереження заданої області іоносфери, розташованої над епіцентральним районом майбутнього землетрусу. Епіцентр майбутнього землетрусу і його магнітуда є випадковими величинами щодо спостерегаючої сторони. Окрім цього, до найбільш активних сейсмічних районів відносяться: Тихоокеанський і Альпійсько-гімалайський сейсмічні пояси, в межах яких виділяється приблизно 80%-85% і 10%-15% всієї сейсмічної енергії планети [Гусев А.А. 1979. Доповіді АН СРСР. Т. 244. с.544-548], що мають великі просторові розміри.

Отже, забезпечити одночасне спостереження за всіма сейсмоактивними районами за допомогою однієї орбітальної станції (одного космічного апарату), не представляється можливим.

2. Для забезпечення виявлення майбутнього землетрусу, по виявленню області іоносфери з підвищеним вмістом електронної концентрації, необхідно створити мережу космічних апаратів, здатних автоматично обробляти виміряні значення, з єдиним наземним центром збору і обробки інформації. Цей факт приведе до значних капіталовкладень і тимчасових витрат по введенню системи космічного прогнозу землетрусів.

3. Час "життя" космічних апаратів, на висотах порядку 300км, невеликий, що приводить до необхідності включати до складу системи космічного прогнозу землетрусів керованих із землі, або автоматично керованих, космічних апаратів. Це ще більше ускладнює систему космічного прогнозу землетрусів.

4. "Облако Калинина" лише свідчить про факт майбутнього землетрусу, а його переміщення в просторі, не дозволяє точно і достовірно встановити час до майбутнього землетрусу і його епіцентр. Для визначення епіцентру майбутнього землетрусу необхідно додатково застосовувати мережу наземних сейсмічних станцій.

З проведеного аналізу сейсмо-іоносферних варіацій електронної концентрації [Пилипенко В.А. 2006. Резонансные эффекты ультра-низкочастотных 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](http://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. 19с. [www.kantiana.ru/science/avt\\_zahar.doc](http://www.kantiana.ru/science/avt_zahar.doc). Пулинец С.А., Лью И.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. 304с. 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., Лю И.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 1991г. Геомагнетизм и аэрономия, т.32, №4, с. 144-146, 1992. Липеровский В.А., Попов К.В., Похотелов О.А. Возмущения временного хода частот 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., Лю И.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 4.03.1977г. в горах Вранга. Бот. 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 1984г. 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 F<sub>2</sub>-области ионосферы перед катастрофическим землетрясением на Аляске 28.03.1964г. По данным наземных станций вертикального зондирования ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия, т.42, №3, с.360-365, 2002.], в спокойных 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 (15%-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 майбутнього землетрусу 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 1500км по широті і від 600 до 4000км по довготі, відносно епіцентру майбутнього землетрусу.

8. Розмір модифікованої області іоносфери на висоті максимуму шаруючи F<sub>2</sub> залежить від магнітуди землетрусу. Радіус зони дії деформаційних процесів в період підготовки землетрусу безпосередньо залежить від його сили і може бути оцінений наступним співвідношенням:  $R_d = 10^{0.43M}$ .

9. Положення максимуму модифікованої області в іоносфері не співпадає з вертикальною проекцією епіцентру майбутнього землетрусу.

10. У епіцентральної області за 3-5 діб спостерігається зростання електронної концентрації в максимумі шару F<sub>2</sub>, з подальшим її зменшенням за 1-3 добу. При цьому напередодні землетрусу (за 1-2 доби), відбувається порушення просторово-часового ходу максимуму електронної концентрації.

Надалі під модифікованою областю іоносфери будемо розуміти область значного підвищення значень вмісту електронної концентрації (Ne) (більше 15%-25% від фонового).

Для подальшого розгляду модифікованої області іоносфери, що виникає в період протікання сейсмічного процесу, розглянемо деякі характеристики іоносфери.

Структура іоносфери за своїм складом неоднорідна і складається з дрібномасштабних неоднорідностей Ne. Формою дрібномасштабні іоносферні неоднорідності близькі до еліпсоїдів кругового перетину, сильно витягнутих уздовж напрямку силових ліній магнітного поля Землі. Відношення подовжньої осі до поперечної коливається від 3-4 до 10. Масштаби іоносферних неоднорідностей складають від метра (або декілька менше [М.В. Успенський. Анизатропное (ракурсное) рассеяние УКВ радиоволн, ж. Солнечно - Земная физика. <http://www.kosmofizika.ru/papers/uspensky.htm>] до десятків кілометрів [Т.Е. Рыжжина, Л.В. Федорова. Исследование статистических и спектральных характеристик трансатмосферных радиосигналов УКВ-СВЧ диапазона. Журнал Радиоэлектроники. №2, 2001].

Поперечний масштаб іоносферних неоднорідностей в середнєширотній і приполярній іоносфері складає близько 1км. У екваторіальній іоносфері цей масштаб можна вважати рівним 0,5км. Тоді з урахуванням того, що модельна величина відношення подовжнього масштабу до поперечного складає від 3 до 10, можна прийняти, що зовнішній масштаб іоносферних неоднорідностей складає величину 5км для середньширотної і приполярної іоносфери, і 2км - для екваторіальної [Т.Е. Рыжжина, Л.В. Федорова. Исследование статистических и спектральных характеристик трансатмосферных радиосигналов УКВ-СВЧ диапазона. Журнал Радиоэлектроники. №2, 2001. <http://jre.cplire.ru/koi/feb01/3/text.html>].

В період протікання сейсмічного процесу у іоносфері утворюється крупномасштабна неоднорідність Ne (модифікована область іоносфери), яка є витягнутою за довготою, відносно епіцентра майбутнього землетрусу, еліпс. Наявність дрібномасштабних неоднорідностей Ne у складі крупно-

масштабної - призведе до того, що передній до іонозонду, фронт модифікованої області іоносфери буде шерсткою поверхнею.

Розміри дрібномасштабних неоднорідностей різні і, у свою чергу, змінюються у часі. У зв'язку з цим, крупномасштабна іоносферна неоднорідність Ne для працюючого іонозонда є шерсткою статистично нерівною поверхнею.

Розміри модифікованої області іоносфери не є постійними у часі, а залежать від енергії моноенергетичного потоку електронів із верхньої магнітосфери, часу з початку появи моноенергетичного потоку електронів, коефіцієнтів ударної об'ємної іонізації і рекомбінації, коефіцієнта дифузії, швидкості дрейфу електронів тощо. Крім того, іоносферні неоднорідності постійно знаходяться в русі (швидкість дрібномасштабних іоносферних неоднорідностей складає від 430 до 470м/с [М.В. Успенський. Анизатропное (ракурсное) рассеяние УКВ радиоволн, ж. Солнечно - Земная физика. <http://www.kosmofizika.ru/papers/uspensky.htm>] і сама модифікована область іоносфери рухається із швидкістю 1100м/с [Смирнов В.М. Интерпретация ионосферных возмущений в период землетрясений. Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ». <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/012.pdf>].

Аналіз розмірів іоносферних неоднорідностей і їх швидкості переміщення в іоносфері дозволяє зробити висновок про те, що радіолокаційний сигнал іонозонда, розсіяний іоносферними неоднорідностями, є некогерентним. У некогерентно розсіяного сигналу коефіцієнт автокореляції і час кореляції близький до нуля, при цьому середньквадратичне відхилення фази може приймати значення від 0 до 180 градусів [Т.Е. Рыжжина, Л.В. Федорова. Исследование статистических и спектральных характеристик трансатмосферных радиосигналов УКВ-СВЧ диапазона. Журнал Радиоэлектроники. №2, 2001. <http://jre.cplire.ru/koi/feb01/3/text.html>].

Розглянемо співвідношення для автокореляційної функції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від переднього фронту модифікованої області іоносфери, що рухається (див. вираз (25), додаток).

$$R(\tau, t_2) \approx \frac{1}{2} R_e \left\{ u(\tau + \tau_{кр}) u^*(\tau - \tau_{кр}) e^{i\tau(\omega_0 + \omega_e)} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{\omega_0^2}{48} \left( \frac{v_r \tau}{h} \right)^2 \cdot \left[ \left( \frac{2\omega_0}{c} G_h \right)^4 - 2 \left( \frac{2\omega_0}{c} G_h \right)^2 \right] \right\}. \quad (1)$$

Аналіз отриманого виразу для  $R(\tau, t_1)$  свідчить про те, що автокореляційна функція радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від переднього фронту модифікованої області іоносфери що рухається, залежить від: ширина діаграми спрямованості антени іонозонда  $\langle \theta \rangle$ , радіусу просторової кореляції висот нерівностей  $\langle h \rangle$ , серед-

ньоквадратичного відхилення висоти нерівностей  $\langle G_h \rangle$  і швидкості руху переднього фронту модифікованої області іоносфери  $\langle v_r \rangle$ .

Для кількісного і якісного визначення характеру зміни  $R(\tau, t_1)$  від перерахованих параметрів, проведемо розрахунок  $R(\tau, t_1)$  для характерних

розмірів дрібномасштабних неоднорідностей, що входять до складу модифікованої області іоносфери, що рухається, їх швидкості і технічних характеристик іонозонда "Парус" [Іонозонд "ПАРУС". Документація іонозонда ПАРУС-3 Демо версії, <http://top.izmiran.troitsk.ru/parus/>].

Результати розрахунку  $R_{d,t_1}$  для різних параметрів переднього фронту модифікованої області іоносфери і робочих частот іонозонда "Парус", представлені на Фіг.1, Фіг.2, Фіг.3 та Фіг.4.

Аналіз представлених на Фіг.1, Фіг.2, Фіг.3 та Фіг.4 результатів розрахунку

$R_{d,t_1} = f(\chi, G_h, v_r, \omega_0)$  дозволяє зробити висновок - коефіцієнт автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від переднього фронту модифікованої області іоносфери, що рухається, за час тривалості імпульсу, близькі до одиниці.

Когерентність відбитого від рухомої модифікованої області іоносфери радіолокаційного сигналу іонозонда, по своїх характеристиках, - діаметрально протилежні радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого (розсіяного) іоносферою в сейсмоскопійні дні.

Таким чином, вимірюючи коефіцієнт автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від іоносфери, можна судити про утворення модифікованої області іоносфери і виявити землетрус, що насувається.

Проте, може виникнути ситуація, коли діаграма спрямованості антени іонозонда "захоплює" лише деяку частину модифікованої області іонос-

фери (див. Фіг.5), тобто частина діаграма спрямованості антени іонозонда направлена в нейтральну область іоносфери, а інша - в ту, що модифікується. В цьому випадку сигнал іонозонда включатиме дві складові: перша - включає відбиту від області іоносфери, що модифікується, друга - розсіяна нейтральною іоносферою. Ця обставина приведе до зменшення значення коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого (розсіяного) іоносферою.

Для виключення залежності місцезнаходження іонозонда від просторових розмірів області іоносфери, що модифікується і з метою підвищення достовірності ухвалення рішення про землетрус, що насувається, до складу системи виявлення землетрусу, що насувається, замість одного іонозонда, необхідно включити три, рознесені на місцевості, іонозонда.

Для оцінки відстані рознесення на місцевості іонозондів, скористаємося співвідношенням для розрахунку радіусу зони дії деформаційних процесів в період підготовки землетрусу [Захаренкова І.Е., Шагмуратов І.І., Лаговський А.Ф., Кранковський А. 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>]:

$$R_d = 10^{0.43M} \quad (2)$$

Результати розрахунку  $R_d = f(M)$  представлені в табл. 1.

Таблиця 1

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

Розглянемо коротку характеристику інтенсивності землетрусів за шкалою MSK-64 (класифікація дійсна тільки не для сейсмостійких будівель):

1 бал - коливання ґрунту відчувуються тільки приладами;

2 бали - землетрус відчувається в окремих випадках людьми, що знаходяться в спокійному стані;

3 бали - коливання відчувуються не багатьма людьми;

4 бали - землетрус відчувуються багатьма людьми; можливе деренчання стекол;

5 балів - гойдання висячих предметів, багато сплячих прокидаються;

6 балів - багато людей лякаються і вибігають з будівель, легкі пошкодження в будівлях, тонкі тріщини в штукатурці, в не багатьох випадках в сирих ґрунтах можливі тріщини до 1см, в гірських районах окремі випадки обвалів, спостерігаються зміни дебіту джерел і рівня води в колодязях;

7 балів - більшість людей перелякана і вибігають їх приміщень, багато людей насилу утримуються на ногах, коливання відчувуються особами, ведучими автомашини, дзвенять великі дзвони, тріщини в штукатурці і відколювання окремих шматків, тонкі тріщини в стінах, в не багатьох ви-

падах виникають нові або пропадають існуючі джерела води;

8 балів - переляк, паніка, подекуди обломлюються гілки дерев, зрушується і іноді перекидаються важкі меблі, частина висячих ламп ушкоджується, великі тріщини в стінах, падіння карнизів, димарів, тріщини в ґрунтах досягають декількох сантиметрів, виникають нові водоймища;

9 балів - загальна паніка, великі пошкодження меблів, тварини перелякані, в деяких будівлях обвали, тріщини в ґрунті досягають 10см, скелі вкачуються;

10 балів - загальне руйнування будівель, тріщини в ґрунті можуть досягати 1м, в прибережних районах переміщуються великі піщані і мулисті маси, виникають нові озера;

11 балів - катастрофа, серйозні пошкодження навіть будівель хорошої споруди, значні пошкодження ґрунту у вигляді широких тріщин, розривів, і переміщень у вертикальному і горизонтальному напрямках, численні гірські обвали;

12 балів - зміни рельєфу, сильне пошкодження або руйнування практично всіх наземних і підземних споруд, радикальні зміни земної поверхні.

3 представлених розрахунків  $R_d = f(M)$  (див. табл. 1) і характеристики інтенсивності землетру-

сів за шкалою MSK-64, можна зробити висновок, що для виявлення сильного землетрусу, з магнітудою більше 5 балів, необхідно, щоб іонозонди знаходилися у вершинах рівностороннього трикутника з довжиною сторони (відстанню між вершинами трикутника на місцевості) не більше 141км.

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

Мета винаходу - зменшення часу на отримання достовірних ранніх відомостей та збільшення вірогідності правильного виявлення майбутнього землетрусу що насувається. Дана мета досягається тим, що проводяться вимірювання коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу, відбитого від шару F іоносфери, трьома іонозондами які розташовані у вершинах рівностороннього трикутника на відстані 141км один від одного. Виміряні значення коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від шару F іоносфери, накопичуються за період часу T:

$$T = Nt_n, \quad (3)$$

де  $t_n = \frac{1}{F_n}$ ;  $F_n$  - частота повторення імпульсів іонозонда; N - кількість вимірюваних значень коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від іоносфери.

Кількість вимірюваних значень N коефіцієнта автокореляції радіолокаційного сигналу іонозонда, відбитого від іоносфери, визначаються виходячи з необхідної вірогідності правильного виявлення сильного землетрусу, що насувається, із нерівності Чебишова [Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. - М: Мир, 1989. - 540с.]. За інформацією про коефіцієнти автокореляції радіолокаційних сигналів іонозондів, що поступають у процесор одного із іонозондів, розраховуються попарні міжіонозондні коефіцієнти кореляції для коефіцієнтів автокореляції радіолокаційного сигналу іонозондів  $\rho_{1,2}$  (між першим і другим іонозондом),  $\rho_{1,3}$  (між першим і третім іонозондом),  $\rho_{2,3}$  (між другим і третім іонозондом) по наступному співвідношенню [Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 540с.]:

$$\rho_{n,m} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - N\bar{x}\bar{y}}{\left[ \left( \sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{x}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^N y_i^2 - N\bar{y}^2 \right) \right]^{1/2}}, \quad (4)$$

де  $x = R_n(t, t_1)$ ;

$y = R_m(t, t_1)$ ;

$n, m = 1, 2; 1, 3; 2, 3$ .

У процесорі одного із іонозондів розраховується середньоарифметичне значення квадратів коефіцієнтів кореляції  $\rho$ :

$$\rho = \frac{\rho_{1,2}^2 + \rho_{1,3}^2 + \rho_{2,3}^2}{3}. \quad (5)$$

Критерієм виявлення майбутнього землетрусу що насувається, служить перевищення середньоарифметичного коефіцієнта кореляції значення 0,8.

Реалізацію пропонованого способу короткострокового прогнозу землетрусів, розглянемо на прикладі роботи іонозонда "ПАРУС" [Ионозонд "ПАРУС". Документация Ионозонда ПАРУС-3 Демо версии. <http://top.izmiran.troitsk.ru/parus/>].

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, спектру, форми і фази сигналу, що відбитий.

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, частота послідовних 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. Вихідні дані іонозонда можуть зберігатися як у власному архіві на комп'ютері, так і швидко пересилатися в Світовий Центр Даних.

З трьох рознесених на місцевості іонозондів виберемо один будь-який - ведучий іонозонд, який здійснюватиме синхронізацію і управління режимами роботи всіх трьох іонозондів, що входять в систему короткострокового виявлення сильного землетрусу, що насувається.

У кожному такті зондування відбитий (розсіяний) іоносферою сигнал через приймальну антену поступає на вхід процесора ЕОМ іонозонда, де обчислюється коефіцієнт автокореляції відбитого (розсіяного) іоносферою сигналу. Обчислені значення коефіцієнта автокореляції відбитого (розсіяного) іоносферою сигналу кожного з іонозондів, вимірювання у яких здійснювалося з рознесенням на місцевості 141км, поступають по безпроводній мережі на вхід процесора ведучого іонозонда.

У процесорі ведучого іонозонда проводять обчислення попарних міжіонозондних коефіцієнтів кореляції для коефіцієнтів автокореляції радіолокаційного сигналу всіх трьох іонозондів, що входять в систему короткострокового виявлення сильного землетрусу, що насувається:  $\rho_{1,2}$  (4) (між першим і другим іонозондом),  $\rho_{1,3}$  (4) (між першим і третім іонозондом),  $\rho_{2,3}$  (4) (між другим і

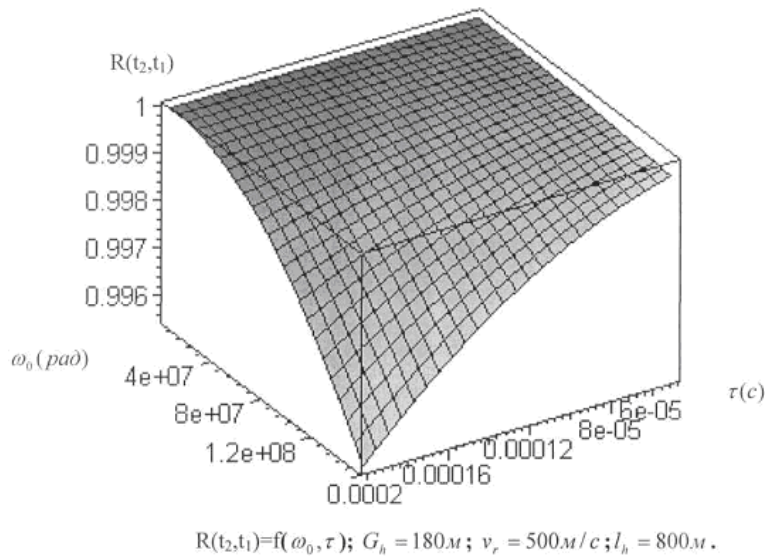
третім іонозондом). У процесорі ведучого іонозонда розраховується середньоарифметичне значення коефіцієнта кореляції  $\rho$  (5).

При перевищенні середньоарифметичного коефіцієнта кореляції  $\rho$  значення порогу 0,8, ухвалюється рішення про виявлення майбутнього землетрусу, що насувається.

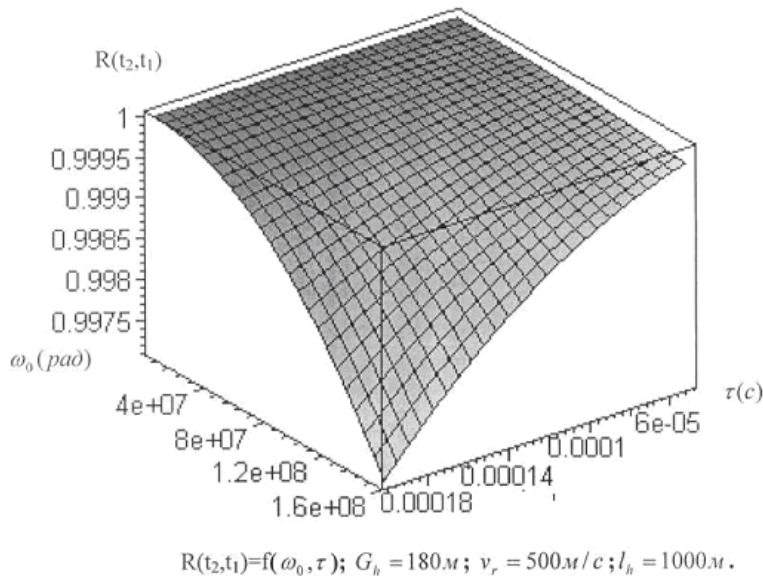
На Фіг.6 і Фіг.7 представлена географія розміщення 7-ми іонозондів "ПАРУС" [Ионозонд "ПАРУС". Документация Ионозонда ПАРУС-3. Демо версии \ http://top.izmiran.troitsk.ru/parus/], і більше

70-ти іонозондів DPS-4 [Цифровой ионозонд DPS-4 \ \ Институт Солнечно-Земной физики СО РАН. Отдел физики верхней атмосферы и распространения радиоволн, <http://ulcar.uml.edu/>], що функціонують в даний час.

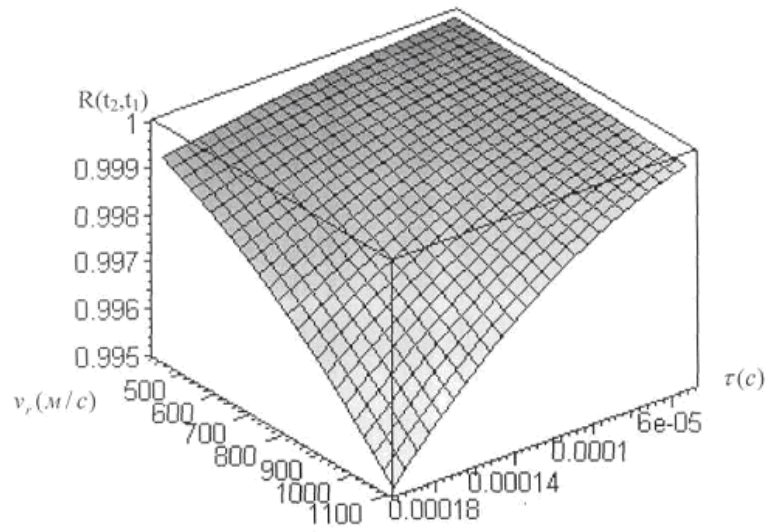
З представленої географії розміщення іонозондів виходить, що вони охоплюють всі сейсмонебезпечні райони. Цей факт свідчить про те, що реалізація запропонованого способу прогнозу землетрусу не вимагає додаткових капіталовкладень.



Фіг. 1

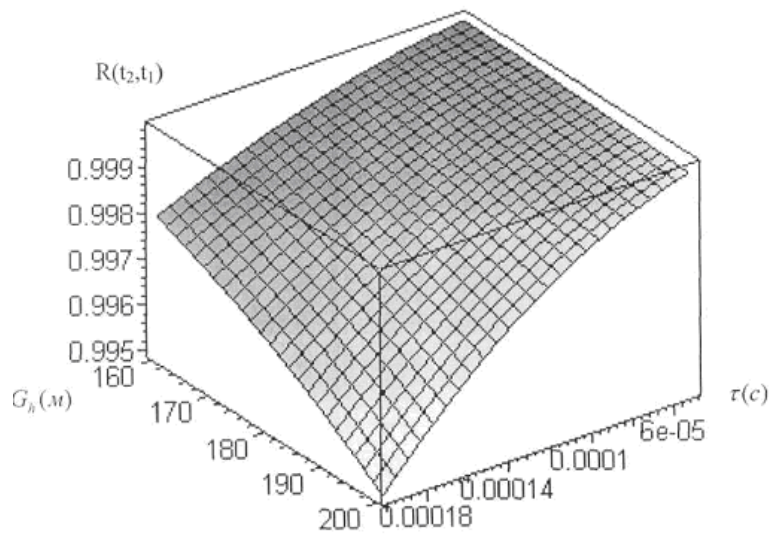


Фіг. 2



$$R(t_2, t_1) = f(v_r, \tau); G_h = 180 \text{ m}; \omega_0 = 7,5 \cdot 10^7 \text{ rad}; l_h = 800 \text{ m}.$$

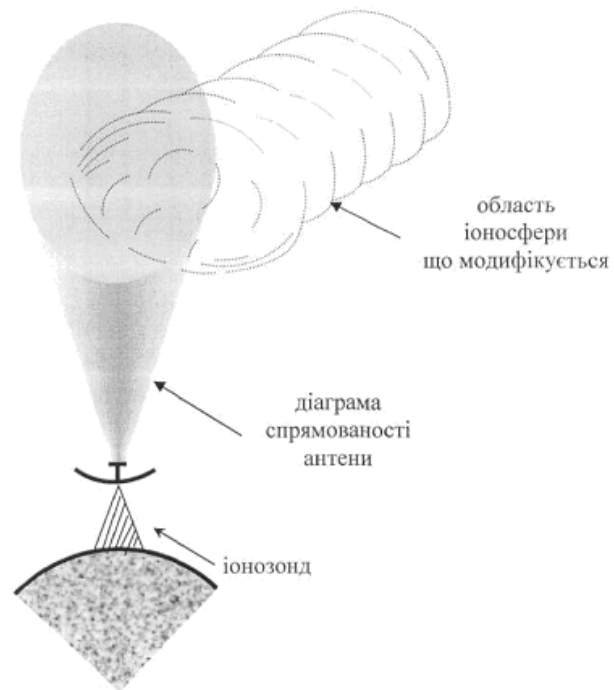
Фиг. 3



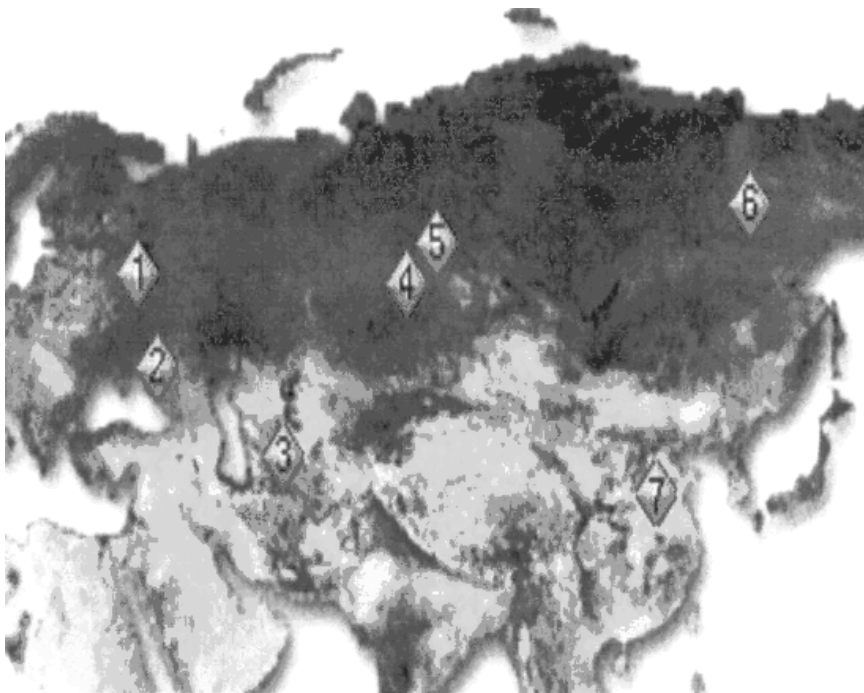
$$R(t_2, t_1) = f(G_h, \tau); v_r = 900 \text{ m/c}; \omega_0 = 7,5 \cdot 10^7 \text{ rad}; l_h = 800 \text{ m}.$$

Фиг. 4

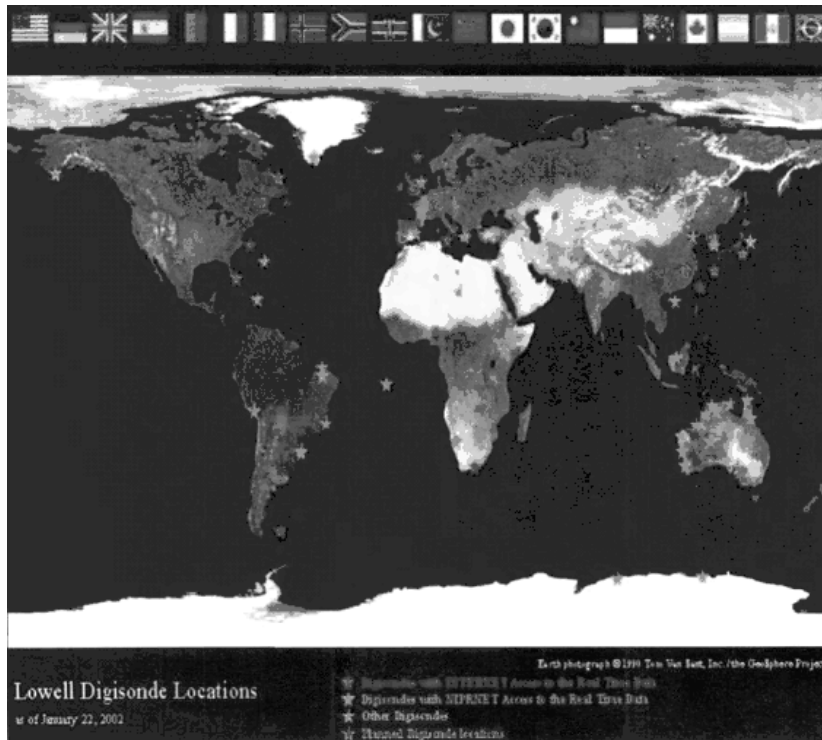




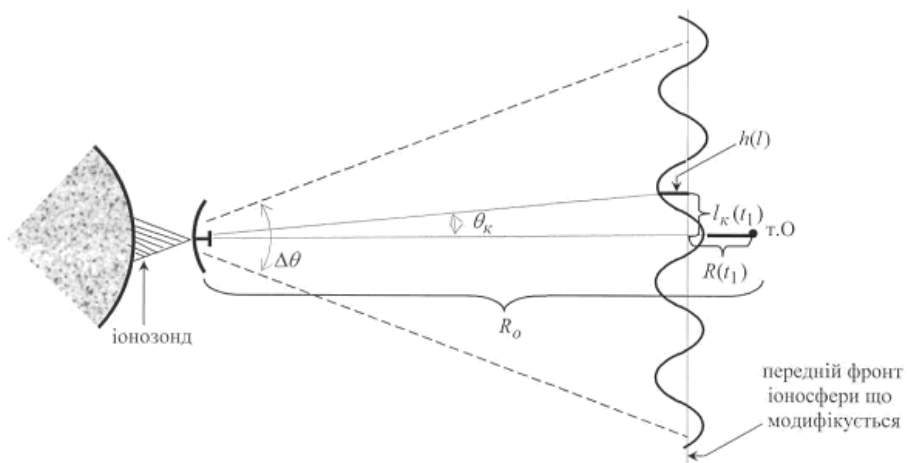
Фіг. 5. Можливий варіант розташування іонозонда та області іоносфери що модифікується.



Фіг. 6. Розміщення іонозондів "ПАРУС" в Європі та Азії



Фіг. 7. Розміщення іонозондів DPS-4 у науково-дослідних центрах миру



Фіг. 8. Схема задачі