



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126808** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
G01V 1/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 00119	(72) Винахідник(и): Нагорний Володимир В'ячеславович (UA)
(22) Дата подання заявки: 03.01.2018	(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2018	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2018, Бюл.№ 13	

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСУ ЧЕРГОВОГО ЗЕМЛЕТРУСУ

(57) Реферат:

Спосіб прогнозування часу чергового землетрусу включає реєстрацію сейсмосигналів, які проводять в режимі реального часу за допомогою сейсмодатчиків, розташованих у вузлах регулярної мережі, яка покриває сейсмоактивний регіон.

UA 126808 U

Корисна модель належить до сейсмології і призначена для прогнозування часу чергового землетрусу.

5 Прогнозування землетрусів засноване на реєстрації різних за характером і природою: геофізичних, геохімічних, механічних, геологічних, метеорологічних та інших передвісників землетрусів, чисельність яких перевищує три сотні (Т. Рикитаке "Предсказание землетрясений", перевод с англ. - М.: Мир, 1979 г. - ст. 314, таблиця 15.13).

10 Для моніторингу зазначених параметрів відбираються сейсмонебезпечні території, на яких розміщують мережу сейсмічних станцій, які безперервно реєструють величини контрольованих параметрів середовища з метою прогнозування моменту настання чергового землетрусу. З цією метою, наприклад, за результатами аналізу значної статистики про час і силу землетрусу, розроблені регресійні залежності між логарифмом часу настання землетрусу T у добах і магнітудою очікуваного землетрусу M (формула Гуттенберга - Рихтера: $\lg T = 0.79 M - 1.88 = a M - b$, Т. Рикитаке "Предсказание землетрясений", перевод с англ. - М.: Мир, 1979 г. - ст. 242).

15 Для ряду передвісників на основі більш ніж 1000 спостережень, окремо для кожного з них отримано такі аналогічні регресійні залежності:

- $\lg T = 0.77 M - 4.40$ (деформаційне поле);

- $\lg T = 0.54 M - 3.37$ (сейсмічні хвилі);

- $\lg T = 0.30 M - 1.84$ (електроопір);

- $\lg T = 0.18 M - 2.50$ (земні струми);

20 - $\lg T = 0.24 M - 2.47$ (дебіт флюїдів).

("Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов", Доклады конференции, ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН, М., 1998 г., ст. 10-12).

Недоліками даного методу прогнозування є:

25 - непрямий характер спостережуваних ознак-передвісників, для яких ці залежності отримані;
- для багатьох землетрусів, що відбулися, не вдавалося виділити аномалії фізичних полів, що описуються даними ознаками;

- відсутня методологія поділу фонових і аномальних ознак - передвісників;

30 - великий діапазон, де змінюються значення регресійних коефіцієнтів a і b , що знижує точність прогнозу.

Слід зазначити, що непрямий характер, як ключовий недолік подібних передвісників, в меншій мірі належить до сейсмосигналу, що характеризує безпосередньо коливання (тряску) земної поверхні, звідки, власне, і пішла назва "землетрус" розглянутого природного явища.

35 Відомий спосіб (патент RU на винахід №: 2233461 від 19.6.2002 р.) прогнозування катастрофічних сейсмічних коливань, що включає реєстрацію і використання цифрових записів сейсмоколивань, які в реальному масштабі часу перетворюються в діагностичний параметр, що характеризує ступінь хаосу в системі в даний момент часу, і в разі перевищення цим параметром його гранично допустимої величини, видається сигнал повідомлення про можливість настання катастрофічного землетрусу.

40 Недоліком цього способу є, по-перше, невизначеність в призначенні гранично допустимої (межової) величини діагностичного параметра, так як кожний з землетрусів характеризується своїм неповторним, ні до, ні після нього, граничним рівнем хаосу і, по-друге, не пропонується метод визначення часу досягнення цієї межі, що, власне, і є основною метою прогнозування землетрусів.

45 Відомий спосіб спостереження за сейсмічною активністю вогнища землетрусу (авторське свідоцтво СРСР № 819770, G01V 1/00, 1981), що включає розміщення сейсмодатчиків, реєстрацію та інтерпретацію сейсмічної інформації, причому коливання реєструють тільки в точках, розташованих по одну сторону вогнища землетрусу в сейсмічно спокійних областях на відстані не ближче 500 км від епіцентру при магнітуді, яка дорівнює 8. Таке розміщення і реєстрація показань сейсмодатчиків дозволяє проводити впевнену кореляцію і виділення змін рівнів активності від сейсмодатчика до сейсмодатчика. Значна і різка зміна амплітуди сейсмічного сигналу є прогностичною ознакою, що передуює початку землетрусу.

50 Недоліком способу є занадто велике віддалення реєструючих сейсмодатчиків від епіцентру, що, по-перше, призводить до втрати оперативності прогнозування землетрусу і, по-друге, для реалізації способу на практиці необхідний досить високий рівень вхідного сейсмосигналу, величина якого становить не менше 8-ми магнітуд, що відповідає за силою руйнівному землетрусу, що виключає необхідність прогнозування моменту його настання, так як воно вже відбулося.

60 Відомим є спосіб (патент RU № 2370790, G01V 1/00, 2008) прогнозу землетрусів, що включає виявлення сейсмогенеруючих зон, розміщення в них набору пунктів вимірювань

геофізичних величин, проведення вимірювань, до складу яких включені записи стаціонарних сейсмічних станцій і їх подальша обробка.

Недоліком способу є низька достовірність і точність прогнозу землетрусів, пов'язана з відсутністю врахування впливу на процес підготовки землетрусів сторонніх і різних за фізичною причиною як природних, так і техногенних факторів, що призводить до сильних змін інтенсивності і великої дисперсії вимірюваних геофізичних параметрів і тим самим знижує достовірність і точність прогнозу.

Відомим також є спосіб прогнозування землетрусу (авторське свідоцтво СРСР № 894632, G01V 1/00, 1981), що включає реєстрацію коливань безпосередньо в сейсмонебезпечному районі, коли реєструються короткоперіодні імпульси акустичних хвиль і інтервали часу між ними в певній смузі частот. За часом їх появи судять про час майбутнього землетрусу.

Недоліком способу є те, що можливість його застосування обмежена смугою частот акустичних хвиль, що змінюється в межах від 20 до 60 кГц. Відсутність низькочастотної смуги спектра не дозволяє отримати дані для довгострокового прогнозу.

Як прототип прийнято спосіб прогнозу сейсмічних подій (WO 2012161606 A1), оснований на вимірах, що проводяться в режимі реального часу за допомогою сейсмодатчиків, розташованих у вузлах регулярної мережі, що покриває сейсмоактивний регіон, і подальшої спільної обробки результатів вимірювань, що полягає у визначенні для вибраного змінного часового вікна, величини ряду прогностичних параметрів, за результатами сукупного і синхронізованого за кількома сейсмодатчиками аналізу котрих судять про початок чергового землетрусу.

Недоліком прототипу є те, що заздалегідь неможливо визначити, який з розглянутих в способі передвісників буде найбільш ефективним при прогнозуванні чергового землетрусу.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення точності прогнозування часу чергового землетрусу, причому, у міру наближення моменту здійснення прогнозу до часу чергового землетрусу характер прогнозу змінюється, переходячи поступово, від довгострокового до середньострокового і далі до короткострокового.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб прогнозування часу чергового землетрусу, що включає реєстрацію сейсмосигналів, які проводять в режимі реального часу за допомогою сейсмодатчиків, розташованих у вузлах регулярної мережі, яка покриває сейсмоактивний регіон, згідно з корисною моделлю додатково серед реєстрованих сейсмосигналів вибирають сейсмосигнали підвищених рівнів, які піддають спектральному аналізу для виділення частотної складової $A_{\text{чс}}$, з періодом, що дорівнює періоду повторення місячно-сонячних приливів, фіксують рівень цієї складової, календарний час вимірів, координати розташування сейсмодатчиків, за допомогою яких ці вимірювання проводяться, один з котрих приймають як головний (опорний), для кожного з сейсмодатчиків складають часові ряди "рівень частотної складової сейсмосигналу - календарний час вимірювань", сукупність яких піддають апроксимації як за календарним часом вимірювань, так і за простором розташування сейсмодатчиків для визначення шляхом мінімізації функціонала U , прогнозованого часу T чергового землетрусу

$$U = \sum_{i=2}^m \left[\sum_{j=1}^n \bar{A}_j^2(t_i) - F^2(t_i, \gamma, \alpha, \beta, \eta, T_{1,2}) \right]_{\text{MN}}^2, \quad (1)$$

де $\bar{A}_j(t_i) = \frac{A_{\text{чс}_j}(t_i)}{A_{\text{чс}_1}(t_i)} \cdot \frac{R_i}{R_1} \cdot \exp[0.5K_{\text{зг}}(R_j - R_1)]$, де $A_{\text{чс}_j}(t_i)$, $A_{\text{чс}_1}(t_i)$ - рівень частотної складової сейсмосигналу, зареєстрованого j -тим сейсмодатчиком, відповідно, в початковий (t_1) і поточний (t_i) моменти часу; $K_{\text{зг}}$ - коефіцієнт згасання; R_1 , R_j - відстань до епіцентру чергового землетрусу, відповідно, від головного (опорного) і від кожного з j -тих сейсмодатчиків, при цьому відстань R_j визначають за формулою:

$$R_j = \arctg \left\{ \frac{\sqrt{(\cos \varphi_E \sin \Delta \lambda)^2 + [\cos \varphi_j \sin \varphi_E - \sin \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda]^2}}{\sin \varphi_j \sin \varphi_E + \cos \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda} \right\} \cdot 6371 \text{ км},$$

де φ_j , φ_E - геодезична широта місця розташування, відповідно, сейсмодатчика і епіцентру чергового землетрусу; $\Delta \lambda = \lambda_E - \lambda_j$ - різниця геодезичної довготи місця розташування епіцентру (λ_E) і j -того сейсмодатчика (λ_j); n - кількість сейсмодатчиків, яка задіяна для вимірювання сейсмосигналів; m - число членів часового ряду (кількість вимірювань, проведених до поточного моменту прогнозування);

$$F(t_i, \gamma, \alpha, \beta, \eta, T_{1,2}) = \frac{1}{\left[1 + (\gamma - 1) \left(\frac{t_i - t_1}{T_1 - t_1}\right)^\alpha\right] \cdot \left[1 - (1 - \eta) \left(\frac{t_i - t_1}{T_2 - t_1}\right)^\beta\right]}$$

- апроксимуюча функція, де α, β - показники ступеня; γ, η - коефіцієнти форми графіка апроксимуючої функції; $T_{1,2}$ - параметри апроксимуючої функції, які мають розмірність часу (доба, місяць, рік), при цьому час чергового землетрусу T визначають, як інтервал його зміни із зазначенням його найімовірнішої величини

5 $T_{НВ}$

$$T_{НМ} < T < T_{ВМ} \quad (2)$$

$$\text{де } T_{ВМ} = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} \text{ - верхня межа прогнозного діапазону; } \quad (3)$$

$$T_{НМ} = t_i \cdot (1 - P) + T_{ВМ} \cdot P \text{ - нижня межа прогнозного діапазону, } \quad (4)$$

де t_i - час виконання вимірювань; P - ймовірність відсутності землетрусу в момент часу t_i ,

10 де $P = \exp(-t_i / T_{ВМ})$;

$$T_{НВ} = \frac{T_{ВМ} + T_{НМ}}{2} \text{ - найімовірніша величина часу чергового землетрусу. } \quad (5)$$

Виконання способу прогнозування часу чергового землетрусу в сукупності з усіма істотними ознаками, включаючи відмінні, дозволяє:

15 - протягом усього періоду спостереження (періоду, що відокремлює попередній землетрус від чергового) завчасно прогнозувати з високою точністю і достовірністю час чергового землетрусу, регулярно підтверджувати і уточнювати прогноз, переходячи від довгострокового прогнозу (за кілька років до землетрусу) до середньострокового (за рік до землетрусу) та до короткострокового (за місяць (тиждень, добу) до прогнозованої сейсмічної події) у міру скорочення інтервалу часу між прогнозованим часом землетрусу та поточною датою виконання прогнозу;

20 - своєчасно вжити необхідні запобіжні організаційні заходи, що мінімізують або, взагалі, виключають можливі людські жертви на сейсмічно небезпечній території, що потрапить під вплив чергового землетрусу.

Суть способу пояснюється кресленнями.

25 На фіг. 1 показано розташування на сейсмонебезпечній території 6-ти сейсмостанцій, де встановлені сейсмодатчики, за допомогою яких протягом 7-ми років напередодні землетрусу, що стався в Японії 11 березня 2011 року, реєструвалися сейсмосигнали. На фіг. 2 - інтервал зміни часу чергового землетрусу T із зазначенням його найімовірнішої величини $T_{НВ}$ при довгостроковому виді прогнозування, що проводилося з жовтня 2004 р. до 31 грудня 2009 року. 30 На фіг. 3 - інтервал зміни часу чергового землетрусу T із зазначенням його найімовірнішої величини $T_{НВ}$, отриманих при середньостроковому прогнозуванні в період з 1.1.2010 р. по 31.12.2010 р. з кроком по часу, який вимірюється в місяцях. На фіг. 4 - інтервал зміни часу чергового землетрусу T із зазначенням його найімовірнішої величини $T_{НВ}$, отриманих при короткостроковому прогнозуванні, в період з 1.1.2011 р. по 11.3.2011 р. з кроком по часу, який 35 вимірюється в добах.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Приклад.

40 Пропонований спосіб прогнозування часу чергового землетрусу розглянуто на прикладі ретроспективного прогнозування часу руйнівного землетрусу, що стався в Японії 11 березня 2011 року.

45 Як вхідні для розрахунку дані використовувалися сейсмосигнали, зареєстровані за допомогою сейсмодатчиків, розташованих у вузлах регулярної мережі, яка покривала сейсмоактивний регіон Японії в околицях міста Фукусіма (фіг. 1). З цих даних були вибрані сейсмосигнали підвищених рівнів, які потім були піддані спектральному аналізу для виділення частотної складової $A_{\text{чс}}$, період якої дорівнював періоду повторення місячно-сонячних приливів. Фіксувався рівень цієї складової, календарний час її вимірів в частках року і координати розташування сейсмодатчиків в кількості 6-ти, за допомогою яких ці вимірювання проводилися (табл. 1). Календарний час при цьому представлявся в частках року $K_{\text{чр}}$, які розраховувались на основі календарної дати (доба (Б), місяць (М), рік (Р)) за такою формулою

$$K_{\text{ЧР}} = P + \frac{M}{12} + \frac{D}{326}, \text{ рік}.$$

Далі, для кожного з сейсмодатчиків були складені часові ряди "рівень частотної складової - календарний час вимірювань" (стовпці в табл. 1). Сукупність цих рядів піддавалася апроксимації як за календарним часом вимірювань, так і за простором розташування сейсмодатчиків.

5 В процесі апроксимації, шляхом мінімізації функціонала U (1), знаходились параметри апроксимуючої функції, у тому числі параметри T_1 і T_2 , які мають розмірність часу і використовувались для розрахунку верхньої $T_{\text{ВМ}}$ за формулою (3) і нижньої $T_{\text{НМ}}$ за формулою (4) меж інтервалу, де за формулою (2) змінюється прогнозований час T чергового землетрусу. Крім того за формулою (5) також знаходилась найімовірніша величина $T_{\text{НВ}}$ прогнозованого часу

10 T .

Розрахунки виконувалися зі змінним кроком по часу, переходячи послідовно від довгострокового (крок в роках) до середньострокового (крок в місяцях) і закінчуючи короткостроковим (крок в добах) видом прогнозування.

Таблиця 1

Календарний час вимірювань $K_{\text{ЧР}}$, рік	Кодове позначення, порядковий номер № сейсмостанції, координати їх розташування (N, E) і амплітуда частотної складової $A_{\text{ЧС}}$, мкм сейсмосигналу, зареєстрованого за допомогою розміщеного на станції сейсмодатчика											
	TSK		HRO		KSK		KSN		TYS		IYG	
	№1		№2		№3		№4		№5		№6	
	№	E°	№	E°	№	E°	№	E°	№	E°	№	E°
	36.21	140.1	37.27	140.9	38.26	140.6	38.97	141.5	39.58	141.6	40.12	141.5
1	2		3		4		5		6		7	
2004.102	2.287		23.053		2.244		12.734		20.021		19.107	
2004.438	1.289		42.723		25.205		41.108		32.654		25.256	
2004.578	1.725		23.076		1.194		21.693		29.843		22.423	
2004.748	1.274		31.997		7.302		22.827		7.297		92.452	
2004.897	1.298		5.216		29.331		7.260		44.184		25.997	
2005.081	3.169		2.553		14.885		11.418		15.470		13.372	
2005.285	2.973		27.705		17.354		7.343		17.435		23.056	
2005.605	1.369		19.057		32.707		7.209		49.167		21.673	
2005.804	1.159		33.559		2.602		22.065		2.049		20.664	
2006.285	1.240		32.949		14.981		30.990		37.394		13.939	
2006.426	2.536		30.132		17.812		10.350		6.793		14.122	
2006.730	2.595		24.268		14.198		2.054		17.439		15.160	
2007.301	2.509		34.737		16.697		22.715		78.744		49.447	
2007.515	1.128		29.514		21.166		93.389		5.660		3.197	
2007.667	2.427		12.828		16.873		44.334		29.865		21.127	
2007.818	1.671		2.161		19.007		11.433		24.498		21.923	
2008.424	2.748		13.637		11.654		12.367		20.891		31.022	
2008.621	2.615		3.292		24.564		23.819		8.523		12.970	
2008.773	1.072		10.551		2.312		12.537		10.392		9.391	
2008.913	0.247		17.611		25.653		5.727		3.025		11.988	
2009.106	2.368		20.147		22.334		23.639		23.342		3.926	
2009.262	2.287		18.649		4.866		3.650		4.519		15.291	
2009.773	1.289		24.142		19.650		12.383		31.108		21.044	
2009.972	1.725		34.284		21.282		21.232		42.111		6.339	
2010.096	1.274		29.081		15.774		33.118		9.827		12.969	
2010.605	1.441		17.183		17395.11		21.582		12.749		17.336	
2010.919	1.329		17.409		17397.77		17.615		38.635		13.847	
2011.217	2.268		17.509		17401.65		29.935		42.752		24.382	
2011.233	1.718		19.320		342.594		28.295		40.889		24.893	
2011.270	2.155		36.286		52367.76		678.573		45.979		24.360	
2011.285	4.746		34.498		1587.047		25.682		49.891		24.997	

15

Результати прогнозування наведені на фіг. 2-4 і в табл. 2 і 3. На рисунках показані верхні (T_{BM}) і нижні (T_{HM}) межі інтервалу часу, в рамках якого протягом спостережуваного періоду змінювався прогноз часу T чергового землетрусу при довгостроковому (фіг. 2), середньостроковому (фіг. 3) та короткостроковому (фіг. 4) прогнозах.

5

Таблиця 2

Вид прогнозу (часовий інтервал, в якому здійснювалося прогнозування)	Усереднене значення нижньої межі прогнозованого інтервалу $T_{ус.нм}$, $K_{чр}$, рік (дата)	Усереднене значення найімовірнішої величини прогнозу $T_{ус.нв}$, $K_{чр}$, рік (дата) (фактична дата $Tф$)	Усереднене значення верхньої межі прогнозованого інтервалу $T_{ус.вм}$, $K_{чр}$, рік (дата)
Довгостроковий прогноз (з 1.1.2005 р. по 31.12.2010 р.)	2010.64 р. (21.7.2010 р.)	2011.13 р. (17.1.2011 р.) (11.3.2011 р.)	2011.63 р. (17.7.2011 р.)

На малюнках також відзначені усереднені величини як меж ($T_{ус.нм}$, $T_{ус.вм}$), так і найімовірнішої величини ($T_{ус.нв}$) прогнозу. Усереднені величини зображені на малюнках у вигляді штрихових ліній, а їх числове значення наведено в табл. 2. На малюнках для наочності у вигляді суцільної лінії, паралельної осі часу, зображено також фактичний час землетрусу ($Tф=2011.28$ р).

10

Результати середньострокового і короткострокового видів прогнозу отримані при зменшенні кроку у часі до місяця при середньостроковому прогнозуванні, відраховуючи його від 1 січня 2010 року (фіг. 3, табл. 3), і до доби - при короткостроковому, відраховуючи його від 1 січня 2011 року (фіг. 4, табл. 3).

15

Таблиця 3

Вид прогнозу (часовий інтервал, в якому здійснювалося прогнозування)	Усереднене значення нижньої межі $T_{ус.нм}$	Усереднене значення найімовірнішої величини прогнозу $T_{ус.нв}$ (фактичний час землетрусу $Tф$)	Усереднене значення верхньої межі $T_{ус.вм}$
Середньостроковий прогноз (з 1.1.2010 р. по 31.12.2010 р.)	13.25 міс.	14.65 міс. (15.36 міс.)	16.0 міс.
Короткостроковий прогноз (з 1.1.2011 р. по 11.3.2011 р.)	93.4 діб	103.3 діб (102.2 діб)	113.2 діб

З наведених на малюнках даних випливає, що межі прогнозного інтервалу охоплюють фактичний час землетрусу, а сам інтервал звужується в міру наближення моменту виконання прогнозу до фактичного часу чергового землетрусу, при цьому усереднене значення найімовірнішої величини прогнозу ($T_{ус.нв}$) відрізняється від фактичного часу землетрусу менше ніж на два місяці для довгострокового, одного місяця при середньостроковому, та, практично, доби при короткостроковому видах прогнозу.

20

Таким чином, розглянутий приклад свідчить про те, що запропонований спосіб прогнозування часу чергового землетрусу має достатню точність, що дозволяє, нарешті, вирішити, як раніше здавалося, не підлягаюче розв'язанню завдання - прогнозування часу чергового землетрусу, у тому числі, задовго до моменту його настання.

25

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30

Спосіб прогнозування часу чергового землетрусу, що включає реєстрацію сейсмосигналів, які проводять в режимі реального часу за допомогою сейсмодатчиків, розташованих у вузлах регулярної мережі, яка покриває сейсмоактивний регіон, який **відрізняється** тим, що додатково серед реєстрованих сейсмосигналів вибирають сейсмосигнали підвищених рівнів, які піддають спектральному аналізу для виділення частотної складової $A_{чс}$, з періодом, що дорівнює періоду повторення місячно-сонячних приливів, фіксують рівень цієї складової, календарний час вимірів, координати розташування сейсмодатчиків, за допомогою яких ці вимірювання проводяться, один з котрих приймають як головний (опорний), для кожного з сейсмодатчиків

35

складають часові ряди "рівень частотної складової сейсмосигналу - календарний час вимірювань", сукупність яких піддають апроксимації як за календарним часом вимірювань, так і за простором розташування сейсмодатчиків для визначення шляхом мінімізації функціонала U , прогнозованого часу T чергового землетрусу

$$5 \quad U = \sum_{i=2}^m \left[\sum_{j=1}^n \bar{A}_j^2(t_i) - F^2(t_i, \gamma, \alpha, \beta, \eta, T_{1,2}) \right]_{\text{MIN}}^2, \quad (1)$$

де $\bar{A}_j(t_i) = \frac{A_{\text{чСj}}(t_i)}{A_{\text{чС1}}(t_i)} \cdot \frac{R_i}{R_1} \cdot \exp[0.5K_{\text{зг}}(R_j - R_1)]$, де $A_{\text{чСj}}(t_i)$, $A_{\text{чС1}}(t_i)$ - рівень частотної складової сейсмосигналу, зареєстрованого j -тим сейсмодатчиком, відповідно, в початковий (t_1) і поточний (t_i) моменти часу; $K_{\text{зг}}$ - коефіцієнт згасання; R_1 , R_j - відстань до епіцентру чергового землетрусу, відповідно, від головного (опорного) і від кожного з j -тих сейсмодатчиків, при цьому

10 відстань R_j визначають за формулою:

$$R_j = \arctg \left\{ \frac{\sqrt{(\cos \varphi_E \sin \Delta \lambda)^2 + [\cos \varphi_j \sin \varphi_E - \sin \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda]^2}}{\sin \varphi_j \sin \varphi_E + \cos \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda} \right\} \cdot 6371 \text{ км},$$

де φ_j , φ_E - геодезична широта місця розташування, відповідно, сейсмодатчика і епіцентру чергового землетрусу; $\Delta \lambda = \lambda_E - \lambda_j$ - різниця геодезичної довготи місця розташування епіцентру (λ_E) і j -того сейсмодатчика (λ_j); n - кількість сейсмодатчиків, яка задіяна для вимірювання

15 сейсмосигналів; m - число членів часового ряду (кількість вимірювань, проведених до поточного моменту прогнозування);

$$F(t_i, \gamma, \alpha, \beta, \eta, T_{1,2}) = \frac{1}{\left[1 + (\gamma - 1) \left(\frac{t_i - t_1}{T_1 - t_1} \right)^\alpha \right] \cdot \left[1 - (1 - \eta) \left(\frac{t_i - t_1}{T_2 - t_1} \right)^\beta \right]} - \text{апроксимуюча функція, де } \alpha, \beta -$$

показники ступеня; γ , η - коефіцієнти форми графіка апроксимуючої функції; $T_{1,2}$ - параметри апроксимуючої функції, які мають розмірність часу (доба, місяць, рік), при цьому час чергового землетрусу T визначають як інтервал його зміни із зазначенням його найімовірнішої величини $T_{\text{НВ}}$:

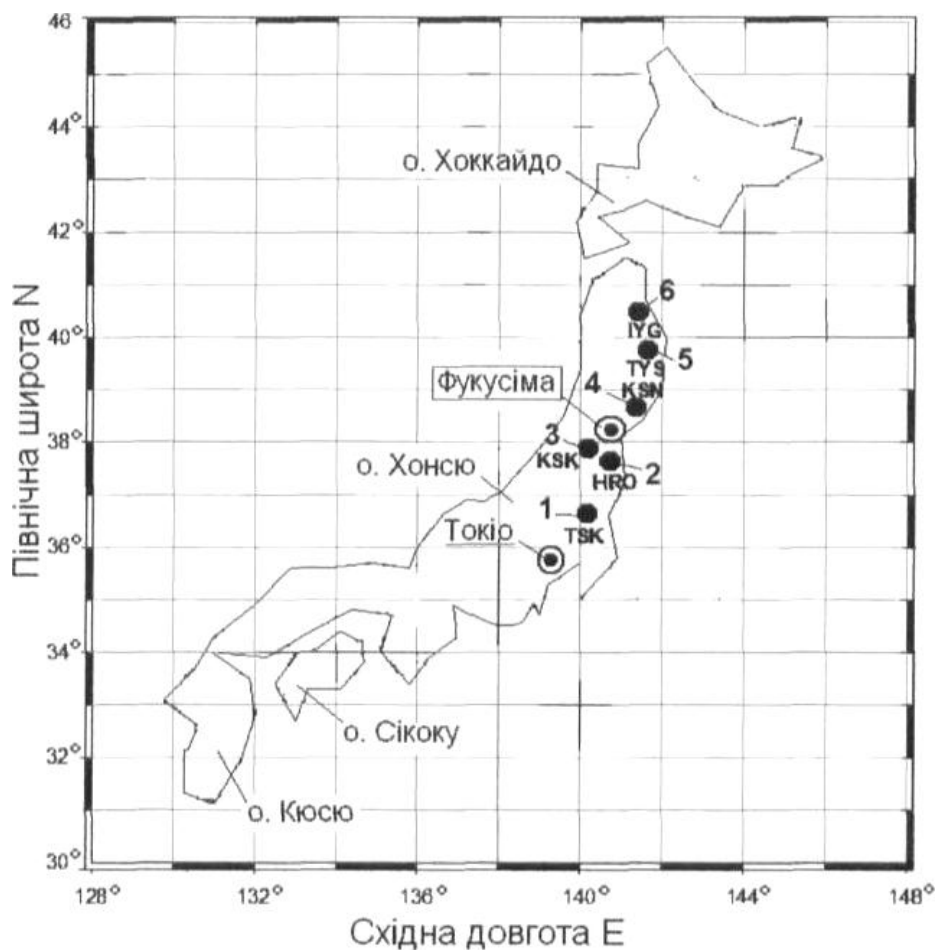
$$T_{\text{НМ}} < T < T_{\text{ВМ}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{ВМ}} = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$ - верхня межа прогнозного діапазону; (3)

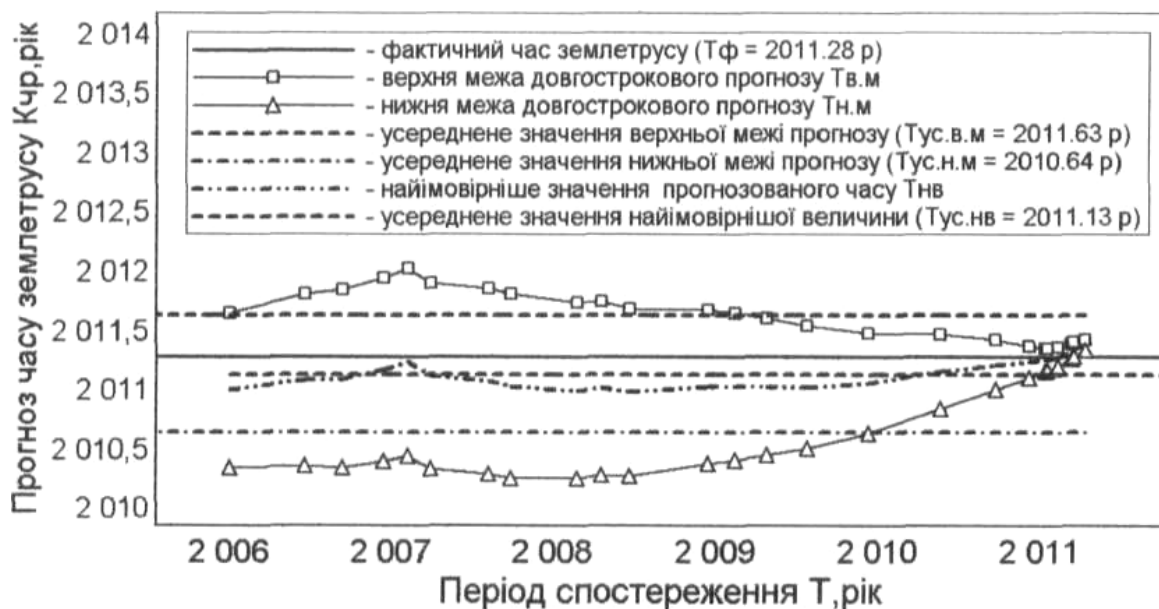
$$T_{\text{НМ}} = t_i \cdot (1 - P) + T_{\text{ВМ}} \cdot P - \text{нижня межа прогнозного діапазону, (4)}$$

25 де t_i - час виконання вимірювань; P - ймовірність відсутності землетрусу в момент часу t_i , де $P = \exp(-t_i / T_{\text{ВМ}})$;

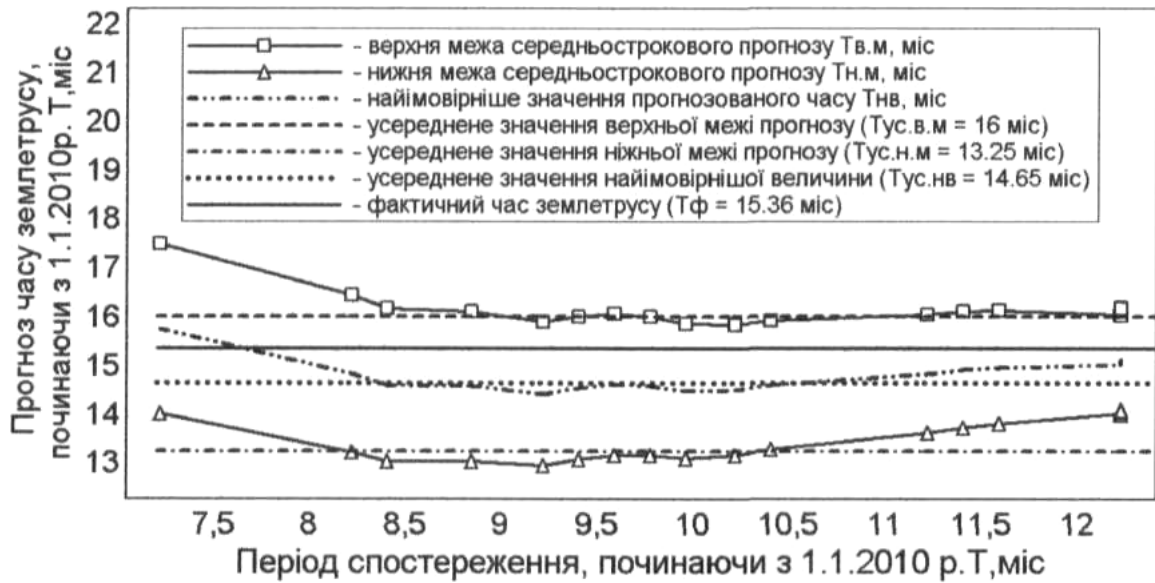
$$T_{\text{НВ}} = \frac{T_{\text{ВМ}} + T_{\text{НМ}}}{2} - \text{найімовірніша величина часу чергового землетрусу, (5).}$$



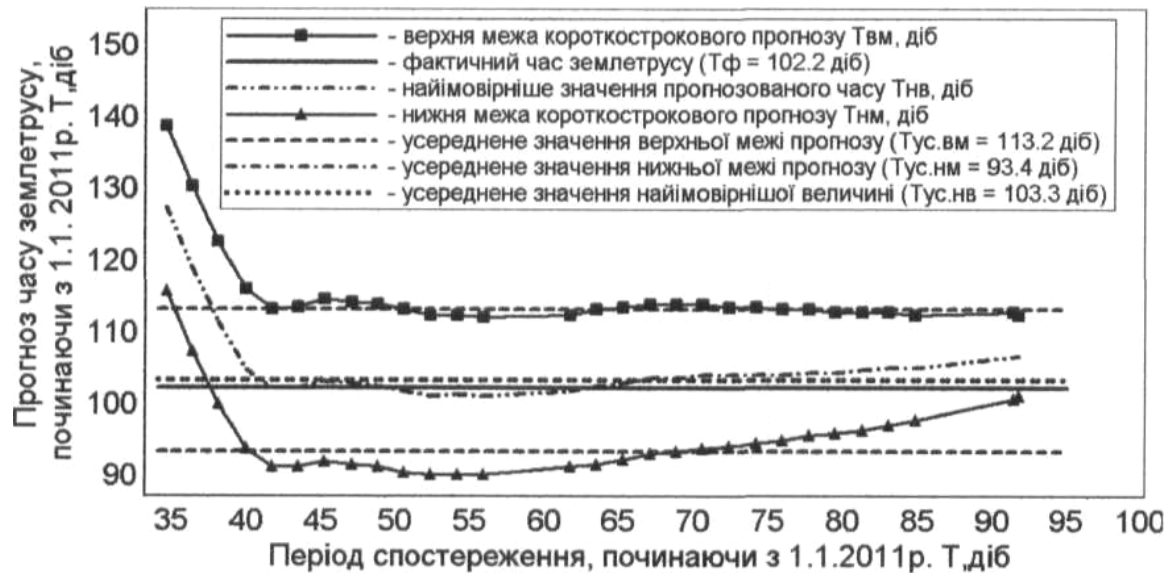
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601