



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127519** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
G01V 1/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2018 01307</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.02.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2018</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2018, Бюл.№ 15</p>	<p>(72) Винахідник(и): Нагорний Володимир В'ячеславович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ СИЛИ ПЕРЕДБАЧУВАНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ**(57) Реферат:**

Спосіб прогнозування сили передбачуваного землетрусу полягає в тому, що здійснюють моніторинг ситуації принаймні в одній зоні очікуваної сейсмічної події, що належить досліджуваному сейсмоактивному регіонові, формують в сейсмоактивному регіоні спостережувану мережу з "N" пунктів, рознесених один від одного, одночасно і безперервно вимірюють контрольовані параметри в усіх пунктах спостережної мережі, що характеризують процеси в Земній корі, які порівнюють з граничними значеннями. Як контрольовані параметри використовують амплітуду визначеного типу сейсмічної хвилі передбачуваного землетрусу і відстань від пункту реєстрації даної сейсмічної хвилі до епіцентру передбачуваного землетрусу, порівнюють ці контрольовані параметри з граничними значеннями, за які приймають аналогічні параметри, прийнятого за еталонний, землетрусу, що стався раніше в даному сейсмоактивному регіоні, або на географічно близькій до нього території. Визначають магнітуду M_{II} передбачуваного землетрусу для прогнозування його сили за виразом

$$M_{II} = M_E + \text{Log}_{10} \left(\frac{A_{II.E}}{A_{E.E}} \right).$$

UA 127519 U

Корисна модель належить до геофізики і призначена для прогнозування сили передбачуваного землетрусу.

Сила землетрусу традиційно характеризується двома величинами інтенсивністю і магнітудою.

5 Відомий спосіб оцінки інтенсивності землетрусу, який характеризує зовнішній прояв підземних поштовхів та дозволяє за допомогою Європейської макросейсмічної шкали (EMS-98) описати за 12-ти бальною шкалою ступінь руйнівного (від непомітного (1 бал) до спустошливого (12 балів)) впливу землетрусу, що стався на території, яка знаходилася під його впливом. (ГОСТ Р57546-2017 "Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности", введений 10 9.01.2017 р.).

Недолік способу полягає в тому, що він оцінює силу землетрусу постфактум за результатами візуального обстеження місцевості, що зазнала впливу землетрусу, і тому в принципі не передбачає прогнозування сили передбачуваного землетрусу.

15 Загальновідомий спосіб оцінки магнітуди землетрусу, яка є його відносною енергетичною характеристикою, здійснюється за виразом

$$M = \log \frac{A}{A_X}, \quad (1)$$

де A - максимальна амплітуда визначеного типу сейсмічних хвиль даного землетрусу; A_X - амплітуда величиною 1 мкм визначеного типу сейсмічних хвиль еталонного землетрусу, 20 епіцентр якого розташовано на відстані 100 км від сейсмостанції.

(Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. Изд-во Ин. лит.: М – 1963 г. – 665 с.).

Недоліком способу є те, що при розрахунках необхідно вводити поправки:

- на глибину вогнища землетрусу;
- на випадок, якщо вимірювання були проведені сейсмографом, що відрізняється від 25 стандартного короткоперіодичного крутильного сейсмографа;
- на фактичну відстань між сейсмостанцією і епіцентром землетрусу, якщо він відрізняється від стандартної відстані величиною 100 км.

Для часткової компенсації цих недоліків було запропоновано спосіб оцінки сили землетрусів, магнітуда яких розраховується за такою формулою

$$30 \quad M = \log(A/T) + B \cdot \log L + \varepsilon, \quad (2)$$

де A і T - амплітуда і період коливань визначеного типу сейсмічної хвилі; L - відстань від сейсмостанції до епіцентру землетрусу, B і ε - константи, що залежать від умов взаємного розташування сейсмостанції і епіцентру землетрусу.

35 (Короновский Н.В. Общая геология: Учебник для студентов вузов. М.: МГУ, 2003. 448 с.)

Однак, даний спосіб так само не позбавлений до кінця зазначених вище недоліків, тому що вимагає введення поправочних констант B і ε , що визначаються за результатами набору істотної за обсягом статистичної інформації.

40 Загальним недоліком перерахованих вище способів визначення сили землетрусу є неможливість попереднього прогнозування сили передбачуваного землетрусу, тому що вони дозволяють оцінювати силу землетрусу тільки ретроспективно.

Як прототип прийнято спосіб (патент RU 2510053 СІ МПК: G01V9/00, опубліковано 20.03.2014 р.) динамічної оцінки сейсмічної небезпеки, яка полягає в тому, що здійснюють моніторинг ситуації принаймні в одній зоні очікуваної сейсмічної події, що належить 45 досліджуваному сейсмоактивному регіонові, формують в сейсмоактивному регіоні спостережувану мережу з "N" пунктів, рознесених один від одного, одночасно і безперервно вимірюють принаймні один контрольований параметр в усіх пунктах спостережної мережі, що характеризує процеси в Земній корі, визначають область з підвищеною сейсмічною активністю за результатами порівняння принаймні одного виміряного контрольованого параметра, що 50 характеризує процеси в Земній корі, з граничним значенням, визначеним на основі статистичного аналізу значень контрольованого параметра для попередніх сейсмічних подій в сейсмоактивному регіоні, який відрізняється тим, що вимір принаймні одного контрольованого параметра, що характеризує процеси в Земній корі, на всіх "N" пунктах спостережної мережі здійснюють з постійним і однаковим для всіх станцій кроком дискретизації по часу Δt і 55 реєструють його у вигляді електричного сигналу, формують для досліджуваного сейсмоактивного регіону регулярну мережу з $N \times M$ вузлів, де N - кількість вузлів в напрямку

зміни довготи і M - кількість вузлів в напрямку зміни широти, що покриває досліджуваний сейсмоактивних регіон, причому кожному з цих вузлів належить прилегла до нього зона досліджуваного сейсмоактивного регіону, вибирають часове вікно, що складається з певної кількості L , де $L \geq 64$, послідовних часових відліків з кроком дискретизації Δt , здійснюють

5 обробку електричних сигналів, отриманих від зазначених "N" пунктів, на основі яких обчислюють одночасно у всіх пунктах вимірювання для кожного з вузлів (i, j) , де $1 \leq i \leq N$, $1 \leq j \leq M$, регулярної сітки в зазначеному часовому вікні медіани нормалізованої ентропії шуму по деякому числу ν , де $\nu \geq 3$ змін контрольованого, принаймні, одного параметра, що характеризує процеси в Земній корі, після видалення тренда поліномом заданого порядку,

10 однакового для всіх пунктів вимірювання, по формулі $E_n = -\sum_{k=1}^N p_k \cdot \log(p_k) / \log(N)$, $0 \leq E_n \leq 1$ де

$$p_k = c_k^2 / \sum_{i=1}^N c_j^2, \text{ де } c_j - \text{вейвлета - коефіцієнти ортогонального вейвлета з деякого набору}$$

(словника) базисів, знайденого за умови мінімуму величини E_n , на основі яких будують матрицю значень медіан нормалізованої ентропії, відповідних вказаному поточному часовому вікну, на основі яких будують матрицю значень медіан нормалізованої ентропії, що відповідають

15 вказаному поточному часовому вікну, візуалізують її як карту, при цьому область з підвищеною сейсмічною активністю визначають як сукупність зон, прилеглих до вузлів (i, j) регулярної мережі, для якої нормалізована ентропія перевищує граничне значення E_n^* .

Недолік прототипу полягає в тому, що в ньому для динамічної оцінки сейсмічної небезпеки використовується величина ентропії E_n без вказівки порядку перерахунку її в магнітуду M , яка є загальноприйнятною в сейсмології характеристикою сили землетрусу. І, що важливо, спосіб не передбачає прогнозування сили передбачуваного землетрусу задовго до його настання.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу прогнозування сили передбачуваного землетрусу шляхом визначення його магнітуду, що дозволяє попередньо прогнозувати силу передбачуваного землетрусу, за рахунок чого своєчасно взяти необхідних

25 заходів з метою забезпечення мінімізації або, взагалі, виключення можливих людських жертв на території, яка опинилась під впливом даного стихійного лиха.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб прогнозування сили передбачуваного землетрусу, який полягає в тому, що здійснюють моніторинг ситуації принаймні в одній зоні очікуваної сейсмічної події, що належить досліджуваному сейсмоактивному регіонові, формують в сейсмоактивному регіоні спостережувану мережу з "N" пунктів, рознесених один від одного, одночасно і безперервно вимірюють контрольовані параметри в усіх пунктах спостережної мережі, що характеризують процеси в Земній корі, які порівнюють з граничними значеннями, згідно з корисною моделлю, як контрольовані параметри використовують амплітуду визначеного типу сейсмічної хвилі передбачуваного землетрусу і відстань від пункту реєстрації

30 даної сейсмічної хвилі до епіцентру передбачуваного землетрусу, порівнюють ці контрольовані параметри з граничними значеннями, за які приймають аналогічні параметри, прийнятого за еталонний, землетрусу, що стався раніше в даному сейсмоактивному регіоні, або на географічно близькій до нього території, після чого визначають магнітуду M_{II} передбачуваного землетрусу для прогнозування його сили за виразом

$$M_{II} = M_E + \text{Log}_{10} \left(\frac{A_{II.E}}{A_{E.E}} \right), \quad (3)$$

де M_E - магнітуду еталонного землетрусу; $A_{II.E} = \frac{1}{N_{II}} \sum_{i=1}^{N_{II}} \frac{A_{II i}}{L_{II i}}$ - амплітуда визначеного типу

сейсмічної хвилі передбачуваного землетрусу на відстані, що дорівнює одиниці, від його епіцентру, де $A_{II i}$ - амплітуда визначеного типу сейсмічної хвилі, що реєструється в і-тому

45 пункті спостережної мережі сейсмоактивного регіону; $L_{II i}$ - відстань від і-того пункту спостережної мережі сейсмоактивного регіону до епіцентру передбачуваного землетрусу; N_{II} -

кількість пунктів спостережної мережі сейсмоактивного регіону; $A_{E.E} = \frac{1}{N_E} \sum_{i=1}^{N_E} \frac{A_{E i}}{L_{E i}}$ - амплітуда

визначеного типу сейсмічної хвилі еталонного землетрусу на відстані, що дорівнює одиниці, від

його епіцентру, де A_{Ei} - амплітуда визначеного типу сейсмічної хвилі, зареєстрована в і-тому пункті спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус; L_{Ei} - відстань від і-того пункту спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус, до епіцентру даного землетрусу; N_E - кількість пунктів спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус.

Виконання способу прогнозування сили передбачуваного землетрусу в сукупності з усіма істотними ознаками, включаючи відмінні, дозволяє:

- протягом усього періоду спостереження (періоду, що відокремлює попередній землетрус від передбачуваного в майбутньому) завчасно з високою точністю і достовірністю прогнозувати силу передбачуваного землетрусу шляхом визначення його магнітуди;

- своєчасно вжити необхідних запобіжних організаційних заходів, щодо мінімізації або, взагалі, виключення можливих людських жертв на сейсмічно небезпечній території, яка буде знаходитися під впливом передбачуваного стихійного лиха.

Суть способу пояснюється кресленнями.

На Фіг. 1 показані сейсмоактивні регіони Японії із зазначенням пунктів спостережної мережі, за допомогою яких, як контрольовані параметри, вимірювались амплітуди визначеного типу сейсмічних хвиль протягом усього терміну спостереження, що передував землетрусам, які відбулися 25 вересня 2003 року і 11 березня 2011 року. На Фіг. 2 - зміна протягом терміну спостереження прогнозованої сили землетрусу у магнітудах, що стався 11 березня 2011 року.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Приклад.

Завдання наведеного прикладу полягало в імітуванні покрокового прогнозування протягом усього терміну спостереження сили передбачуваного землетрусу, для чого за допомогою виразу (3) покроково розраховувалось значення його магнітуди M_{II} . Якість прогнозування оцінювалась мірою збігу розрахункового (прогнозованого) і фактичного значення магнітуди передбачуваного землетрусу.

Як передбачуваний розглядався землетрус, що відбувся в Японії 11 березня 2011 року в околицях міста Фукусіма. Фактична сила землетрусу склала 9 магнітуд ($M_{\Phi} = 9$).

Як еталонний було прийнято землетрус, силою 8 магнітуд ($M_E = 8$), що стався раніше (25 вересня 2005 року) на географічно близькому від міста Фукусіма острові Хоккайдо.

Інформацію (Табл. 1), яка характеризувала силу еталонного землетрусу, отримано в результаті моніторингу сейсмічної ситуації на о. Хоккайдо в період з 1-го січня 2000 року до моменту початку цього землетрусу, що стався в даному сейсмоактивному регіоні 25 вересня 2003 року. На острові розміщена спостережувана мережа з 5-ти пунктів (Фіг. 1, пункти: KMU, HID, KSR, URH, NMR).

Вхідна для прогнозування сили передбачуваного землетрусу інформація (Табл. 2) отримана в результаті моніторингу сейсмічної ситуації в період з 1-го січня 2004 року до моменту початку землетрусу, що відбувся 11 березня 2011 року. Сейсмічна ситуація в сейсмоактивному регіоні, що оточує місто Фукусіма, контролювалася за допомогою розміщеної в цьому сейсмоактивному регіоні спостережуваної мережі, яка складалася з 5-ти пунктів (Фіг. 1, пункти: TSK, HRO, KSK, KSN, TYS).

Як контрольовані параметри в обох випадках на усіх рознесених один від одного "N" пунктах спостережуваної мережі одночасно і безперервно протягом усього терміну спостереження вимірювалася амплітуда A визначеного типу сейсмічної хвилі, за яку використовувалася поперечна сейсмічна хвиля, і визначалася відстань L від пункту реєстрації даної сейсмічної хвилі до епіцентру, відповідно, еталонного і передбачуваного землетрусів.

Таблиця 1

Календарний час вимірювань T_{CP} , рік	Кодове позначення, порядковий номер № сейсмостанції, координати її розташування (N,E), відстань від епіцентру землетрусу L_i , км і амплітуда зареєстрованої нею сейсмічної хвилі A , мкм									
	KMU		HID		KSR		URH		NMR	
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5	
	N°	E°	N°	E°	N°	E°	N°	E°	N°	E°
	42.24	142.96	42.82	142.41	42.88	144.48	42.93	143.67	43.37	145.74
	26.9	103.2	155.9	117.1	270.7					
1	2	3	4	5	6					
2000.091	0.027	0.123	0.173	0.151	0.124					
2000.317	1.480	0.10	1.067	0.145	0.120					
2000.453	1.809	0.163	0.251	0.133	0.121					
2000.578	1.230	0.191	0.561	0.121	0.136					
2000.720	1.353	0.367	0.191	0.108	0.120					
2000.851	1.280	0.213	0.163	0.140	0.158					
2000.987	1.269	0.103	0.153	0.246	0.135					
2001.118	1.164	0.060	1.467	0.134	0.141					
2001.242	1.446	0.123	0.151	0.157	0.100					
2001.379	2.035	0.191	0.161	0.141	0.117					
2001.508	1.607	0.267	0.091	0.146	0.111					
2001.636	1.307	0.113	0.163	0.175	0.109					

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
2001.773	1.819	0.128	0.161	0.139	0.077
2001.897	1.697	0.139	0.179	0.143	0.107
2002.049	0.726	0.108	0.120	0.136	0.120
2002.180	1.337	0.009	0.137	0.126	0.096
2002.317	1.737	0.003	0.146	0.077	0.110
2002.453	1.274	0.003	0.193	0.086	0.109
2002.578	1.438	0.840	0.186	0.203	0.079
2002.714	1.365	0.156	0.131	0.182	0.098
2002.851	0.163	0.198	0.033	0.152	0.181
2002.987	0.104	0.054	0.047	0.215	0.179
2003.118	0.187	0.057	0.065	0.102	0.176
2003.242	0.112	0.110	0.151	0.211	0.124
2003.379	0.500	0.064	0.103	0.209	0.120
2003.515	0.193	0.185	0.099	0.204	0.121
2003.658	0.104	0.129	0.039	0.351	0.196
2003.773	0.076	0.116	0.046	0.445	0.220
2003.778	0.173	0.045	0.090	0.333	0.258
2003.822	0.285	4.051	1.720	0.508	0.341

5 Наведений в таблицях календарний час подавався в частках року T_{CP} , які розраховувались на основі календарної дати (доба (D), місяць (M), рік (P)) за такою формулою:

$$T_{CP} = P + \frac{M}{12} + \frac{D}{365}, \text{рік}$$

Таблиця 2

Календарний час вимірювань $T_{цр}$, рік	Кодове позначення, порядковий номер № сейсмостанції, координати її розташування (N,E), відстань від епіцентру землетрусу L_i і амплітуда зареєстрованої нею сейсмічної хвилі A, мкм									
	TSK		HRO		KSK		KSN		TYS	
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5	
	N°	E°	N°	E°	N°	E°	N°	E°	N°	E°
	36.21	140.10	37.27	140.90	38.26	140.60	38.97	141.50	39.58	141.60
	309.8		176.0		156.3		102.6		155.4	
1	2		3		4		5		6	
2004.102	2.287		23.053		2.244		12.734		20.021	
2004.438	1.289		42.723		25.205		41.108		32.654	
2004.578	1.725		23.076		1.194		21.693		29.843	
2004.748	1.274		31.997		7.302		22.827		7.297	
2004.897	1.298		5.216		29.331		7.260		44.184	
2005.081	3.169		2.553		14.885		11.418		15.470	

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
2005.285	2.973	27.705	17.354	7.343	17.435
2005.605	1.369	19.057	32.707	7.209	49.167
2005.804	1.159	33.559	2.602	22.065	2.049
2006.285	1.240	32.949	14.981	30.990	37.394
2006.426	2.536	30.132	17.812	10.350	6.793
2006.730	2.595	24.268	14.198	2.054	17.439
2007.301	2.509	34.737	16.697	22.715	78.744
2007.515	1.128	29.514	21.166	93.389	5.660
2007.667	2.427	12.828	16.873	44.334	29.865
2007.818	1.671	2.161	19.007	11.433	24.498
2008.424	2.748	13.637	11.654	12.367	20.891
2008.621	2.615	3.292	24.564	23.819	8.523
2008.773	1.072	10.551	2.312	12.537	10.392
2008.913	0.247	17.611	25.653	5.727	3.025
2009.106	2.368	20.147	22.334	23.639	23.342
2009.262	2.287	18.649	4.866	3.650	4.519
2009.773	1.289	24.142	19.650	12.383	31.108
2009.972	1.725	34.284	21.282	21.232	42.111
2010.096	1.274	29.081	15.774	33.118	9.827
2010.605	1.441	17.183	17395.11	21.582	12.749
2010.919	1.329	17.409	17397.77	17.615	38.635
2011.217	2.268	17.509	17401.65	29.935	42.752
2011.233	1.718	19.320	342.594	28.295	40.889
2011.270	2.155	36.286	52367.76	678.573	45.979
2011.285	4.746	34.498	1587.047	25.682	49.891

5 Результати прогнозування представлені у вигляді графіка на Фіг. 2 і в табл. 3. На Фіг. 2 у вигляді прямої приведена також фактична магнітуда землетрусу ($M_{\phi} = 9$) і усереднене значення прогнозу ($M_{VC.П} = 9.06$). Як впливає з Фіг. 2 і табл. 3 розрахункові значення магнітуди $M_{П}$ незначно відрізняються від її фактичної величини M_{ϕ} .

Таблиця 3

Дата прогнозування	19.7.05	19.5.06	8.7.07	19.5.08	23.6.09	19.8.10	11.3.11
Прогноз магнітуди M_{II}	9.18	9.07	9.04	9.03	9.03	9.03	9.02

5 Розглянутий приклад наочно свідчить про те, що пропонуваний спосіб прогнозування сили передбачуваного землетрусу дозволяє нарешті знайти рішення задачі, яке вважалося раніше таким, що не піддається розв'язанню, причому прогнозування виконується задовго (у прикладі за 6 років) до моменту настання передбачуваного землетрусу.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

10 Спосіб прогнозування сили передбачуваного землетрусу, який полягає в тому, що здійснюють моніторинг ситуації принаймні в одній зоні очікуваної сейсмічної події, що належить досліджуваному сейсмоактивному регіонові, формують в сейсмоактивному регіоні спостережувану мережу з "N" пунктів, рознесених один від одного, одночасно і безперервно вимірюють контрольовані параметри в усіх пунктах спостережної мережі, що характеризують процеси в Земній корі, які порівнюють з граничними значеннями, який **відрізняється** тим, що як
 15 контрольовані параметри використовують амплітуду визначеного типу сейсмічної хвилі передбачуваного землетрусу і відстань від пункту реєстрації даної сейсмічної хвилі до епіцентру передбачуваного землетрусу, порівнюють ці контрольовані параметри з граничними значеннями, за які приймають аналогічні параметри, прийнятого за еталонний, землетрусу, що
 20 стався раніше в даному сейсмоактивному регіоні, або на географічно близькій до нього території, після чого визначають магнітуду M_{II} передбачуваного землетрусу для прогнозування його сили за виразом

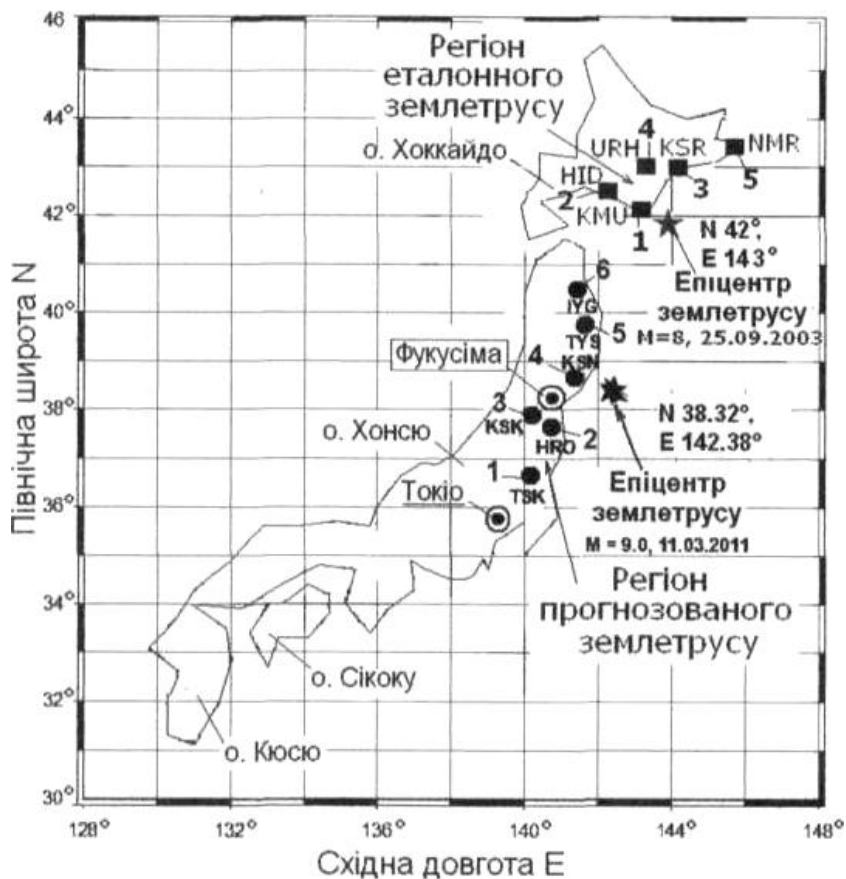
$$M_{II} = M_E + \text{Log}_{10} \left(\frac{A_{II.E}}{A_{E.E}} \right),$$

де M_E - магнітуду еталонного землетрусу; $A_{II.E} = \frac{1}{N_{II}} \sum_{i=1}^{N_{II}} \frac{A_{II i}}{L_{II i}}$ - амплітуда сейсмічної хвилі

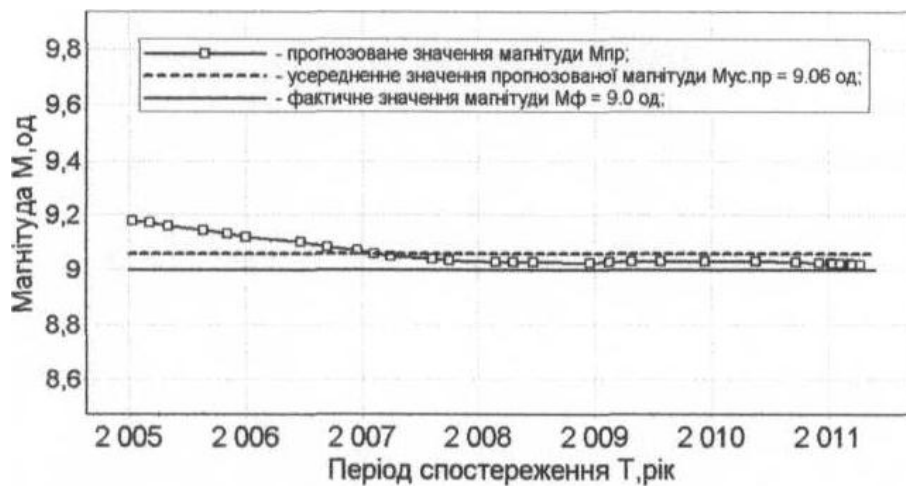
25 передбачуваного землетрусу на відстані, що дорівнює одиниці, від його епіцентру, де $A_{II i}$ - амплітуда сейсмічної хвилі, що реєструється в і-тому пункті спостережної мережі сейсмоактивного регіону; $L_{II i}$ - відстань від і-того пункту спостережної мережі сейсмоактивного регіону до епіцентру передбачуваного землетрусу; N_{II} - кількість пунктів спостережної мережі

сейсмоактивного регіону; $A_{E.E} = \frac{1}{N_E} \sum_{i=1}^{N_E} \frac{A_{E i}}{L_{E i}}$ - амплітуда сейсмічної хвилі еталонного

30 землетрусу на відстані, що дорівнює одиниці, від його епіцентру, де $A_{E i}$ - амплітуда сейсмічної хвилі, зареєстрована в і-тому пункті спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус; $L_{E i}$ - відстань від і-того пункту спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус, до епіцентру даного землетрусу; N_E - кількість пунктів спостережної мережі регіону, де стався еталонний землетрус.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

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