

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОВТОРНИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ
В ЗАКАРПАТТІ 06.01.2012 р. І 10.01.2012 р.**

Представлено результати побудови механізмів вогнищ для подій зі схожими хвильовими формами: 06.01.2012р. ($\varphi=48.5309^\circ$, $\lambda=23.8365^\circ$, $h=5.1\text{км}$), 10.01.2012р. ($\varphi=48.5367^\circ$, $\lambda=23.8378^\circ$, $h=5.7\text{км}$). Механізми побудовано графічним методом, використовуючи повні записи із станцій і протоколи про ці події. Визначено спектральні параметри вогнищ землетрусів.

Ключові слова: механізм вогнища землетрусу; сейсмічний момент; тензор сейсмічного моменту; повторні землетруси.

Вступ

Параметри механізму вогнища є важливою характеристикою виду розлому і напружено-деформованого стану. Через малу сейсмічну активність в районі Закарпаття буває важко побудувати механізми вогнищ для землетрусів в даному регіоні. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є побудова механізмів з допомогою графічного методу [Малицький та ін., 2013]. Однак навіть з використанням цього методу будь-яка додаткова інформація є корисною.

Паралельно з інформацією про нечіткі вступу Р-хвиль [Cronin, 2004] можна використовувати інформацію про логарифм відношення амплітуди S-хвилі до амплітуди Р-хвилі [Hardebeck, Shearer, 2003], що є цілком логічно, адже амплітуда S-хвилі біля нодальної площини прямує до максимальних значень, а амплітуда Р-хвилі до мінімальних значень [Аки и др., 1983]. Така інформація виявиться корисною для визначення нодальних ліній на фокальній площині.

Відомо, що для повторних землетрусів, для яких характерна схожість хвильових форм, механізми вогнищ, відповідно, мають бути однаковими [Гнип, 2011]. Таким чином, можна уточнити знаки вступу Р-хвилі на станціях, на записях з яких вступ Р-хвилі є на рівні шуму.

Побудова механізмів вогнищ та визначення спектральних параметрів для землетрусів 6.01.2012р. і 10.01.2012р.

(р-н НПП „Синевир”, Закарпаття)

Аналізуючи записи землетрусів 6 і 10 січня, які відбулися близько один до одного, виявлено схожість хвильових форм (рис. 1), що свідчить про повторність землетрусів. На фільтрованих записах за схожістю хвильових форм уточнено момент вступу Р-хвилі для кількох станцій (рис. 2). Уточнення часу вступу Р-хвилі на рис. 2 допомогло визначити знак вступу цієї ж хвилі вже на нефільтрованому записі на рис. 3. Таким чином, із записів визначено знаки вступу Р-хвилі на кількох станціях, при цьому враховувалась інверсія знаків на станціях NSLU і KORU.

На основі даних із записів і протоколів про ці події та з допомогою програмного комплексу [Персональний...] визначено вихідні дані для побудови механізмів вогнищ: знаки вступу Р-хвиль на станціях, азимуту на станції, кути виходу, логарифм відношення амплітуд (табл. 1, 2).

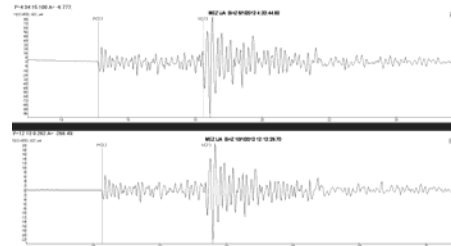


Рис. 1. Порівняння хвильових форм на записах на станції MEZ для подій 6 і 10 січня 2012 р.

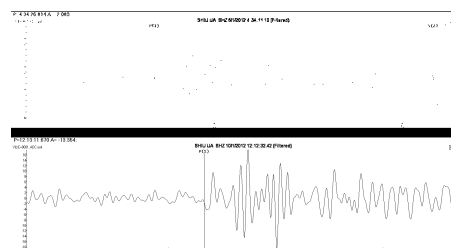


Рис. 2. Порівняння хвильових форм на фільтрованих записах на станції SHIU з уточненим моментом вступу Р-хвилі

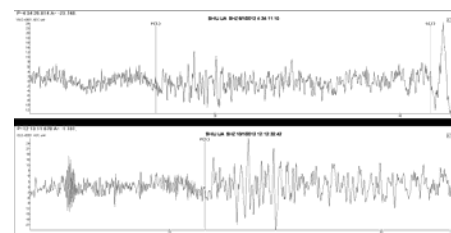


Рис. 3. Порівняння хвильових форм на нефільтрованих записах на станції SHIU з уточненням знаку вступу Р-хвилі

Таблиця 1

Вихідні дані для побудови механізму вогнища для події 6.01.2012 р.

Станція	Знак	Азимут	Кут виходу	$\lg A_s/A_p$
MEZ	-	265.1°	29°	0.48
NSLU	+	217.2°	29°	0.72
RAKU	+	156.4°	29°	0.33
BRIU	+	250.7°	29°	1.28
KORU	+	231.6°	29°	0.53
SHIU	-	335.8°	35°	0.58
MUKU	-	264.7°	35°	0.41
BERU	+	249.9°	35°	0.35
STZU	-	301.7°	35°	

Таблиця 2

Вихідні дані для побудови механізму вогнища для події 10.01.2012 р.

Станція	Знак вступу	Азимут на станцію	Кут виходу	lg As/Ar
MEZ	-	263.6°	29°	0.49
NSLU	+	216.9°	29°	0.8
BRIU	+	250.2°	29°	1.32
KORU	+	231.2°	29°	0.63
SHIU	-	335.6°	35°	
MUKU	-	264.2°	35°	0.5
BERU	+	249.5°	35°	0.48
STZU	-	301.4°	35°	0.35

За допомогою графічного методу побудовано декілька варіантів механізму вогнища для події 6 січня 2012р. (рис. 4). З огляду на те, що хвильові форми для двох подій схожі, відповідно і механізми будуть схожі. Таким чином варіанти розміщення нодальних ліній будуть і для події 10 січня 2012р.

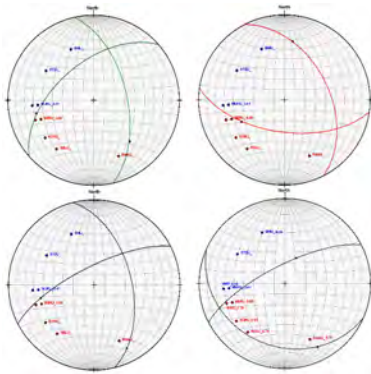


Рис. 4. Варіанти механізму вогнища для події 6 січня 2012 р.

Для вибору найкращого варіанту використано логарифм відношення амплітуд S- і P-хвиль. Чим більша величина логарифму, тим ближче точка до нодальної лінії. Таким чином, із можливих варіантів на рис.4 було визначено механізм вогнища для подій 6 і 10 січня 2012р. (рис. 5, 6) з відповідними параметрами (табл. 3, 4).

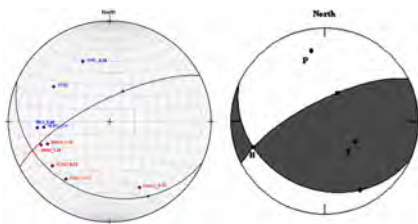


Рис. 5. Механізм вогнища для події 06.01.2012 р.

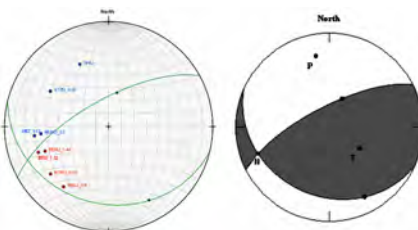


Рис. 6. Механізм вогнища для події 10.01.2012 р.

Таблиця 3

Параметри механізму вогнища для події 06.01.2012 р.

Нодальна площина 1			Нодальна площина 2		
Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip
243°	72°	69°	114°	27°	138°
Вісь P		Вісь T		Вісь N	
Azm	Plunge	Azm	Plunge	Azm	Plunge
349°	24°	125°	58°	250°	20°

Таблиця 4

Параметри механізму вогнища для події 10.01.2012 р.

Нодальна площина 1			Нодальна площина 2		
Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip
241°	69°	72°	104°	27°	129°
Вісь P		Вісь T		Вісь N	
Azm	Plunge	Azm	Plunge	Azm	Plunge
345°	22°	125°	62°	248°	17°

Для обох подій на кожній станції визначено значення сейсмічного моменту M_0 згідно (1), геометричні розміри вогнища згідно дислокаційної моделі Бруна: радіус дислокації R і площу розриву A (2), середню подвижку \bar{D} (3), скинене напруження $\Delta\sigma$ (4), сейсмічну енергію E_s (5), магнітуду ML (6) [Baumbach, Wortmann, 2011].

$$M_0 = 4\pi r v_p^3 \rho u_0 / (\theta S_a) \quad (1)$$

де r – гіпоцентральна відстань, v_p – швидкість Р-хвилі у вогнищі, ρ – густина порід довкола вогнища, u_0 – спектральна густина (плато) Р-хвилі, визначена із спектру переміщень (рис. 7), θ – середнє значення діаграми випромінювання ($\theta = 0.64$ для Р-хвилі), S_a – поверхневе підсилення для Р-хвилі. Як значення сейсмічного моменту для кожної події взято середнє значення по всіх станціях (табл. 5).

$$R = 3.36 v_s / 2\pi f_{cp} \quad (2)$$

$$A = \pi R^2$$

де $v_s = v_p / \sqrt{3}$ – швидкість S-хвилі у вогнищі, f_{cp} – кутова швидкість Р-хвилі, визначена із спектру переміщень (рис. 7).

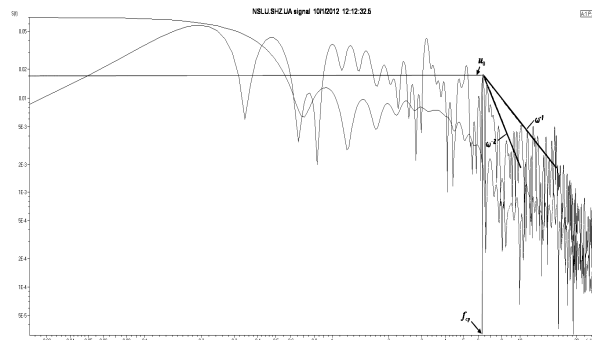


Рис. 7. Амплітудний спектр переміщення на станції NSLU для події 10.01.2012 р.

$$\bar{D} = M_0 / \mu A, \quad (3)$$

де $\mu = v_s^2 \rho$ - модуль зсуву.

$$\Delta \sigma = 7M_0 / 16R^3 \quad (4)$$

$$E_s = M_0 * 1.6 * 10^{-5} \quad (5)$$

$$ML = (\lg E_s - 4) / 1.8 \quad (6)$$

Таблиця 5

Спектральні параметри вогнищ повторних землетрусів

Подія	6.01.2012	10.01.2012
M_0 , Нм	2.1255e+12	6.4227e+12
f_{cp} , Гц	7.22	6.25
R , м	235.1929	271.6949
A , м ²	1.7378e+05	2.3191e+05
\bar{D} , м	5.2204e-04	1.2e-03
$\Delta \sigma$, Па	7.1476e+04	1.401e+05
E_s , Дж	3.4007e+07	1.0276e+08
ML	1.96	2.23

Маючи сейсмічний момент і параметри механізму вогнища побудовано для обох подій тензор сейсмічного моменту згідно (7) [Аки и др., 1983]:

$$M_{xx} = -M_0(\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi_s + \sin 2\delta \sin \lambda \sin^2 \phi_s),$$

$$M_{yy} = M_0(\sin \delta \cos \lambda \cos 2\phi_s + \frac{1}{2} \sin 2\delta \sin \lambda \sin 2\phi_s) = M_{yy}, \quad (7)$$

$$M_{xz} = -M_0(\cos \delta \cos \lambda \cos \phi_s + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \phi_s) = M_{zx},$$

$$M_{yy} = M_0(\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi_s - \sin 2\delta \sin \lambda \cos^2 \phi_s),$$

$$M_{yz} = -M_0(\cos \delta \cos \lambda \sin \phi_s - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \phi_s) = M_{zy},$$

$$M_{zz} = M_0 \sin 2\delta \sin \lambda$$

Для події 06 січня 2012р. тензор сейсмічного моменту:

$$\begin{pmatrix} -1.4931e+12 & 5.2298e+10 & -1.3361e+12 \\ 5.2298e+10 & 3.4255e+11 & 9.4568e+11 \\ -1.3361e+12 & 9.4568e+11 & 1.1506e+12 \end{pmatrix}$$

Для події 10 січня 2012р. тензор сейсмічного моменту:

$$\begin{pmatrix} -4.6632e+012 & 6.7232e+011 & -3.7179e+012 \\ 6.7232e+011 & 6.2514e+011 & 2.7846e+012 \\ -3.7179e+012 & 2.7846e+012 & 4.0381e+0121 \end{pmatrix}$$

Висновки

Для побудови механізмів вогнищ для малої сейсмічної активності, що є характерним для Закарпатського регіону, є важливими точність і кількість вихідних даних. Подібність хвильових форм у кількох землетрусів може розглядатися як додаткова інформація при побудові механізму вогнищ. Механізми таких землетрусів є схожими. Порівнюючи записи таких подій можна уточнено час і знак вступу Р-хвилі, особливо, коли вступ Р-хвилі є на рівні шуму.

Література

Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы: в 2 т – М.: Мир. – 1983. – С.520.
 Гнип А.Р. Уточнення вогнищ повторних землетрусів у Закарпатті // Геодинаміка. – 2011 – № 2(11) – С. 66-68.
 Малицький Д., Грицай О., Муйла О. Особливості побудови механізмів вогнищ місцевих землетрусів на прикладі Берегівської події 23.11.2006р. ($\varphi=48.2^\circ$, $\lambda=22.52^\circ$, $h=12.3$ км, $MD=4.2$) // Вісник Київ. Ун-ту, Геологія. – К., в. 60. – 2013.
 Персональний Блог Гричуха Константина Васильевича http://grinikkos.com/view_post.php?Id=153
 Baumbach M., Bormann P. Determination of source parameters from seismic spectra. // DOI: 10.2312 // GFZ.NMSOP-2_EX_3.4 – Potsdam. – 2011.
 Cronin V. A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists. – Baylor University – 2004.
 Hardebeck J.L., Shearer P.M. Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America – 2003 – Vol. 93, No.6 – P. 2434-2444.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВТОРНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАКАРПАТЬЕ 06.01.2012 г. и 10.01.2012 г.

Д.В. Малицкий, О.Д. Грицай, О.О. Муйла, Ю.Т. Вербицкий, О.И. Кутнив

Представлены результаты построения механизмов очагов для событий с похожими волновыми формами: 06.01.2012 г. ($\varphi=48.5309^\circ$, $\lambda=23.8365^\circ$, $h=5.1$ км), 10.01.2012 г. ($\varphi=48.5367^\circ$, $\lambda=238.378^\circ$, $h=5.7$ км). Механизмы построены графическим методом, используя полные записи из станций и протоколы об этих событиях. Определены спектральные параметры очагов землетрясений.

Ключевые слова: механизм очага землетрясения, сейсмический момент, тензор сейсмического момента, повторные землетрясения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SIMILAR EARTHQUAKES OF 06.01.2012 AND 10.01.2012 IN THE TRANCARPATHIANS

D.V. Malytskyu, O.D. Hrytsai, O.O. Muyla, Yu.T. Verbytskyi, O.I. Kutniv.

The results of determination of focal mechanisms for similar events of 06.01.2012 ($\varphi=48.5309^\circ$, $\lambda=23.8365^\circ$, $h=5.1$ км) and 10.01.2012 ($\varphi=48.5367^\circ$, $\lambda=238.378^\circ$, $h=5.7$ км) are presented. Mechanisms were determined with the use of graphic method and complete records of the earthquakes at the stations, and station protocols. Spectral parameters of the sources were determined.

Key words: focal mechanism, seismic moment, seismic moment tensor, repeated earthquakes.