

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ВОГНИЩ ЗЕМЛЕТРУСІВ
ГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ У РАЙОНІ СЕРЕДЗЕМНОМОР'Я

Д.В. Малицький, О.Д. Грицай, О.О. Муйла, О.І. Кутнів, О.О. Обідіна, О.А. Асташкіна, А.Ю. Павлова,
Е.М. Козловський

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, вул. Наукова, 3-Б, Львів 79060,
Україна, e-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua, grycaj.oksana@gmail.com, orest-aro@rambler.ru, okutniv@yahoo.com,
obidinaeriol@gmail.com, sac1@ukr.net, susyinet@gmail.com, kem2406@gmail.com

Розглянуто задачу визначення механізму вогнища землетрусу та вплив швидкісної моделі середовища на її розв'язання. Для розв'язання цієї задачі запропоновано графічний метод, за допомогою якого побудовано механізми вогнищ двох землетрусів у районі Середземного моря. Показано важливість вибору коректної моделі середовища та її вплив на значення кута виходу прямої P -хвилі як одного з основних параметрів у графічному методі, особливо в разі малої кількості сейсмічних станцій, що зареєстрували подію. Для визначення механізмів вогнищ використано інформацію про нечіткі вступу P -хвилі на вертикальній компоненті сейсмічного запису. Отримано результати щодо параметрів фокальних механізмів розглянутих землетрусів, ці параметри порівняно з параметрами фокальних механізмів, визначеними іншими методами.

Ключові слова: механізм вогнища, графічний метод, модель середовища, сейсмічний момент, вогнище землетрусу.

Вступ. Вивчення напружено-деформованого стану гірських порід є одним з основних завдань сейсмології, вирішення якого потребує розв'язання важливої задачі – визначення механізмів вогнищ землетрусів. Особливо ця проблема є актуальною для Карпатського регіону України, оскільки там розміщено обмежену кількість сейсмологічних станцій. За цих обставин неможливо визначити механізми вогнищ землетрусів, що відбулись у досліджуваному регіоні, за допомогою стандартного програмного пакета. Для розв'язання згаданої задачі запропоновано графічний метод [1, 2], який ґрунтується на полярності першого вступу P -хвиль. У зв'язку з невеликою кількістю станцій, які можуть знаходитися в одному азимутальному районі відносно епіцентру землетрусу, використаємо інформацію про неточні вступу P -хвиль [1, 5], а також співвідношення між амплітудами S - та P -хвиль [1, 9]. Цей метод застосовано для визначення механізмів вогнищ землетрусів, що відбулись у Карпатському регіоні [1].

Для того щоб виявити особливості застосування заданої методики, розглянуто два землетруси вже з відомими параметрами площини розлому [6, 11]: перший з них відбувся 24 квітня 2011 р. о 13:02:12.00 з магнітудою $M_l = 4,1$ у Середземному морі неподалік о-ва Мальта ($\varphi = 35,92^\circ$, $\lambda = 14,95^\circ$) на глибині 10 км [6], другий – 29 грудня 2013 р. о 17:08:43.00 з магнітудою $M_l = 4,9$ в Італії в районі Південних Апеннін ($\varphi = 41,369^\circ$, $\lambda = 14,445^\circ$) на глибині 10,5 км [11].

Механізм вогнища землетрусу, що відбувся 24 квітня 2011 р. біля о-ва Мальта. Цей землетрус зареєстровано 23 станціями, більшість з яких розташовані на о-ві Сицилія (рис. 1).

З метою визначення механізму вогнища цієї події важливим вхідним параметром є швидкісна модель середовища, тому що вона безпосередньо впливає на кут виходу прямої P -хвилі. Оскільки у статті [6] не було даних щодо швидкісної моделі середовища, яку використано для визначення параметрів вогнища досліджуваного землетрусу, розглянуто кілька варіантів моделей. Для кожного варіанта визначали механізм вогнища і параметри механізму порівнювали з параметрами, визначеними у статті [6] (табл. 1). У результаті вибрано найвірогіднішу модель середовища і за її даними визначено фокальний механізм цього землетрусу з використанням графічного методу.

Для початку розглянемо модель середовища для центрального району Середземного моря (рис. 2) [3, 7, 8].

За даними щодо швидкості P -хвиль з моделі на рис. 2 визначено відповідні кути виходу та азимуту на станцію. Згідно з отриманими даними на стереографічну проекцію нижньої півкулі нанесено проекції променів для кожної станції (рис. 3). Там же нанесено проекції площин розриву з параметрами орієнтації за даними табл. 1.

На рис. 3 подальні лінії заданих площин не розділяють проекції променів на зони стиску–розтягу. Якщо вважати, що глибина є точно визначеною, то єдиним параметром, який може

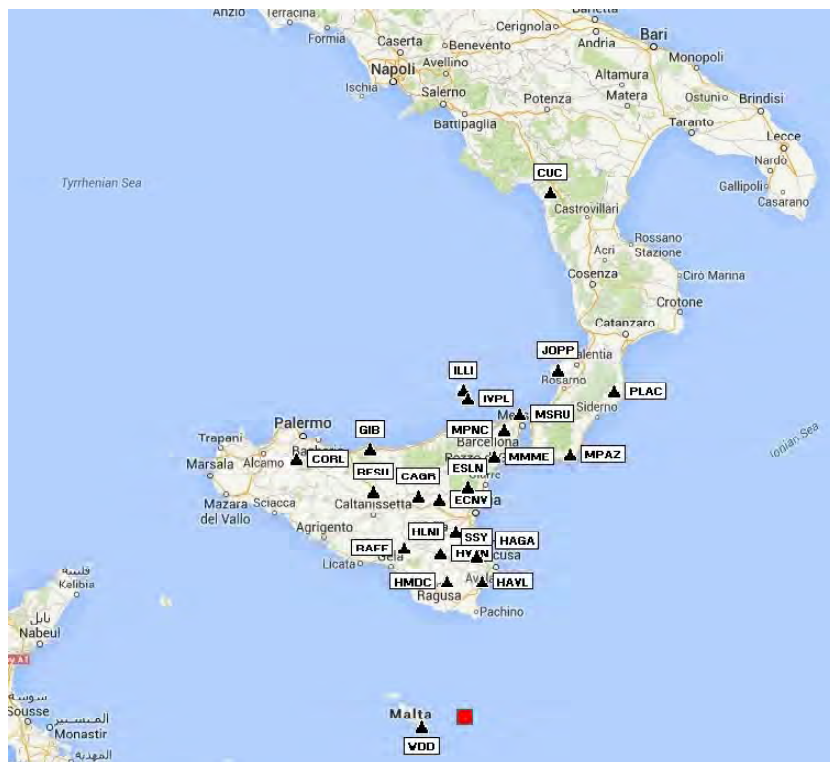


Рис. 1. Епіцентр землетрусу 24.04.2011 р. о 13:02:12.00 ($\varphi = 35,92^\circ$, $\tau^m = 14,95^\circ$, $h = 10$ км) (позначено червоним квадратом) та розміщення сейсмічних станцій (позначено чорними трикутниками)

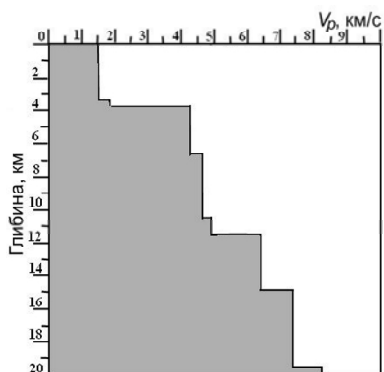


Рис. 2. Швидкісна модель середовища центральної частини Середземного моря

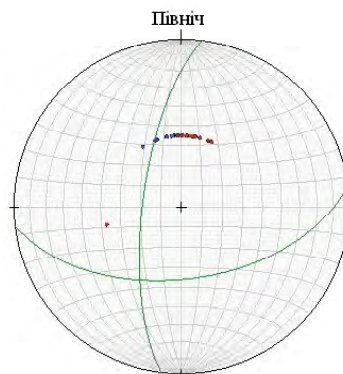


Рис. 3. Проекції променів на станції, побудовані за даними швидкісної моделі (див. рис. 2) і проекції нодальних площин з параметрами, наведеними в табл. 1. Червоним кольором показано точки стиску, синім – розтягу, чорним – нечіткий вступ

Таблиця 1. Параметри фокального механізму землетрусу 24.04.2011 р. 13:02:12.00 біля о-ва Мальта, за даними [6]

Нодальна площина	Простягання, град	Кут нахилу, град	Зміщення, град
1	187	71	38
2	83	54	156

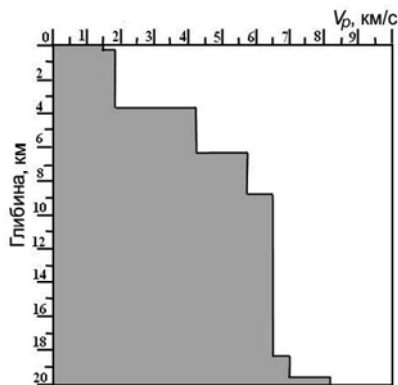


Рис. 4. Швидкісна модель середовища для Мальтійського плато

вплинути на кут виходу, а отже, і на розділення нодальними лініями станцій, що зафіксували стиск і розтяг, є швидкісна модель середовища. Тому вважаємо за необхідне використання іншої швидкісної моделі.

За даними моделі середовища для Мальтійського плато (рис. 4) [3, 10] визначено кути виходу і відповідно до отриманих даних побудовано проекції променів на кожен станцію і заданих площин розриву (рис. 5).

На рис. 5 нодальні лінії значно краще розділяють зони стиску і розтягу. Очевидно, що для таких даних моделі середовища можна побудувати нодальні лінії, що добре розділятимуть точки, які позначають стиск і розтяг, а механізм вогнища не буде особливо відрізнятися від механізму, визначеного у статті [6].

У моделі середовища для Мальтійського плато верхній шар — це вода, відповідно швидкість P -хвилі в цьому шарі дорівнює близько 1500 м/с. Оскільки глибина залягання вогнища досліджуваного землетрусу 10 км, можна припустити, що основний вплив на кут виходу матиме швидкісна модель під джерелом, де швидкість значно вища, і першою прийде хвиля, яка не проходить через шар з водою. Тому припустимо, що на кут

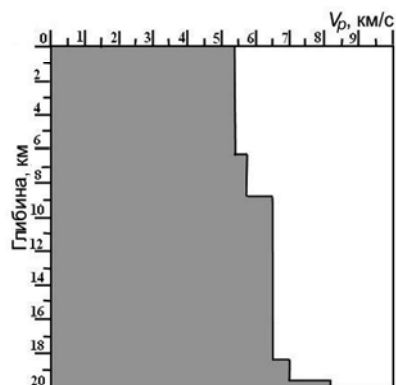


Рис. 6. Скоректована модель середовища для Мальтійського плато

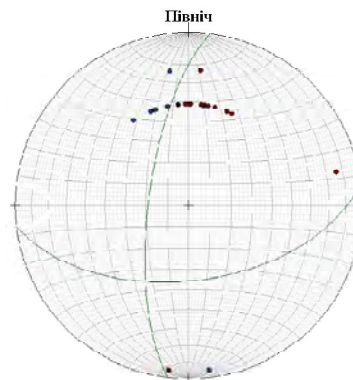


Рис. 5. Проекції променів на станції побудовані за даними швидкісної моделі (див. рис. 4), та проекції нодальних площин з параметрами, наведеними в табл. 1

виходу можуть вплинути шари над джерелом, які знаходяться лише під станціями. Згідно з даними робіт [3, 10], модель середовища під станцією на о-ві Мальта така сама, як і під станцією на півдні Сицилії. Більшість станцій, що зареєстрували цю подію, знаходяться на о-ві Сицилія та півдні Італії (див. рис. 1), тому для верхнього шару моделі середовища використано середню швидкість для цих районів. Таким чином, за скоректованою моделлю середовища для Мальтійського плато (рис. 6) визначено кути виходу і за одержаними даними (табл. 2) побудовано стереографічну проекцію променів на станції та заданих площин розриву (рис. 7). За отриманими результатами можна дійти висновку, що скоректована модель середовища для Мальтійського плато (див. рис. 6) є найбільш вдалою.

Отже, для визначення механізму вогнища цього землетрусу графічним методом використано вхідні дані з табл. 2, визначені відповідно до скоректованої моделі для Мальтійського плато. За розділенням точок, що позначають стиск і розтяг нодальними лініями, виділено кілька варіантів (рис. 8). Усі варіанти побудовано з огляду на те, що на станції ECVN спостерігали нечіткий вступ P -хвилі. Остаточним варіантом, з урахуванням

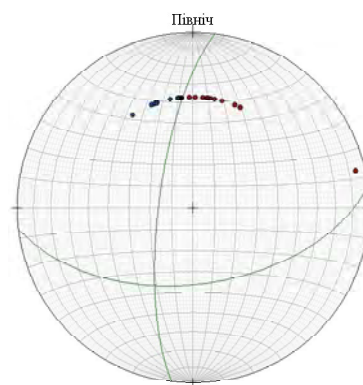


Рис. 7. Проекції променів на станції, побудовані за даними швидкісної моделі (див. рис. 6), та проекції нодальних площин з параметрами, наведеними в табл. 1

Таблиця 2. Вхідні дані для визначення фокального механізму землетрусу біля о-ва Мальта

Станція	Знак вступу	Епіцентральна відстань, км	Азимут, град	Кут падіння, град
WDD	+	39,56	257	-96
HMDC	-	116,26	353	53
HA VL	-	116,32	7	53
SSY	+	137,72	5	53
HVZN	-	141,17	352	53
HAGA	+	152,58	7	53
RAFF	-	153,88	340	53
HLNI	+	158,62	357	53
ECNV	Нечіткий вступ	187,21	354	53
CAGR	-	193,11	348	53
ESLN	+	196,78	1	53
RESU	-	207,57	338	53
MMME	+	225,26	7	53
GIB	-	244,02	341	53
MPAZ	+	244,48	22	53
MPNC	+	249,64	8	53
CORL	-	263,65	327	53
MSRU	+	264,84	11	53
IVPL	+	272,6	1	53
ILLI	+	280,35	360	53
JOPP	+	309,57	15	53
PLAC	+	310,22	25	53
CUC	+	458,58	9	53

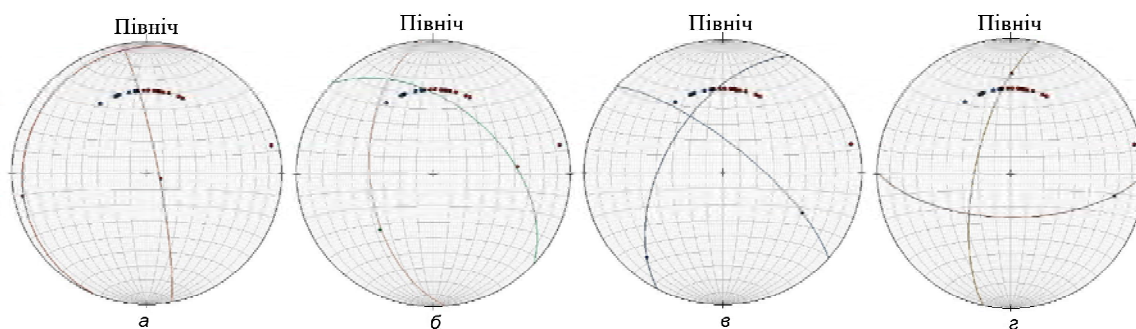


Рис. 8. Варіанти механізму вогнища землетрусу біля о-ва Мальта

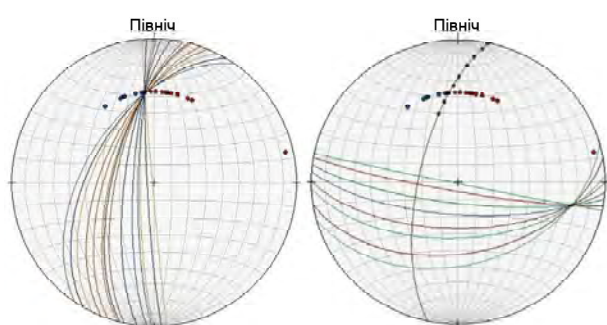


Рис. 9. Сімейство нодальних площин, за якими усередненням визначено остаточний варіант механізму вогнища для землетрусу біля о-ва Мальта

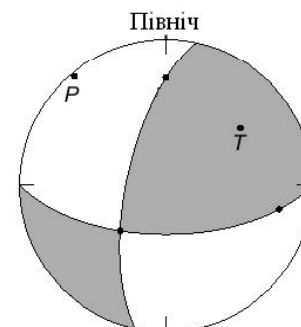


Рис. 10. Фокальний механізм землетрусу біля о-ва Мальта. Точки *P* і *T* – вихід осей стиску і розтягу

Таблиця 3. Параметри механізму вогнища землетрусу біля о-ва Мальта

Площина 1			Площина 2			P		T		N	
Прос-тяган-ня, град	Кут нахи-лу, град	Змі-щен-ня, град	Прос-тяган-ня, град	Кут нахи-лу, град	Змі-щен-ня, град	Ази-мут, град	Кут заглиб-лення, град	Ази-мут, град	Кут заглиб-лення, град	Ази-мут, град	Кут заглиб-лення, град
192	68	30	90	63	155	320	3	52	36	226	54

співвідношення амплітуд прямих *S*- і *P*-хвиль на деяких станціях та розломної характеристики досліджуваного регіону [10], вибрано варіант, показаний на рис. 8, *з*. Для нього побудовано сімейства нодальних ліній (рис. 9), а їх усереднення, згідно з графічним методом, є остаточним варіантом (рис. 10) з параметрами орієнтації нодальних площин, посувань по розриву та осей стиску, розтягу і нульової осі (табл. 3).

Таким чином, за даними рис. 7, 10 і значеннями параметрів механізмів (див. табл. 1, 3), механізм вогнища, побудований графічним методом (рис. 10), є близьким до механізму, побудованого за даними статті [6]. Цей механізм свідчить про зсувний характер розлому, що характерно для механізмів досліджуваного регіону.

Визначення механізму вогнища землетрусу в районі Південних Апеннін. Цей землетрус [11] зареєстрували 62 сейсмологічні станції (рис. 11).

З метою визначення вхідних даних, необхідних для побудови механізму вогнища землетрусу, використано швидкісну модель середовища для



Рис. 11. Епіцентр землетрусу 29.12.2013 р. о 17:08:43.00 ($\varphi = 41,369^\circ$, $\lambda = 14,445^\circ$, $h = 10,5$ км) та розміщення станцій, що його зареєстрували

© Д.В. Малицький, О.Д. Грицай, О.О. Муйла, О.І. Кутнів, О.О. Обідіна, О.А. Асташкіна, А.Ю. Павлова, Е.М. Козловський
ISSN 1684-2189 ГЕОІНФОРМАТИКА, 2015, № 4 (56)

району Південних Апеннін [4] (рис. 12). Їх не уточнювали, оскільки, по-перше, район достатньо добре досліджений і більшість моделей середовища несуттєво відрізняються одна від одної, по-друге, землетрус зареєстрований 62 станціями і незначні зміни в швидкісній моделі середовища істотно не впливають на кут виходу прямої *P*-хвилі.

Згідно з цією моделлю визначено кути виходу (табл. 4) і на стереографічну сітку нанесено проекції променів на станції (рис. 13) відповідно до даних з табл. 4. Зважаючи на велику кількість станцій, які зареєстрували подію, варіантів розподілу на зони стиску та розтягу небагато, і параметри нодальних ліній різняться практично одним градусом. Остаточним вибрано варіант, в якому нодальні лінії максимально близько проходять через проекції променів на станції, що зареєстрували нечіткий вступ *P*-хвилі на вертикальній компоненті (рис. 13). Параметри орієнтації площин розриву, посувань по розриву, осей стиску, розтягу та нульової подано в табл. 5.

Для району Південних Апеннін характерний вид розлому – скид [12], і механізм вогнища землетрусу 29 грудня 2013 р., що відбувся в цьому регіоні, цілком відповідає такому виду розлому. Крім того, визначений графічним методом фокальний механізм порівняно з фокальним механізмом, отриманим за даними Saint Louis University Earthquake Center [11] методом інверсії хвильових форм (рис. 14, табл. 6).

За даними рис.13, 14 і табл. 5, 6, фокальні механізми, визначені графічним методом і методом інверсії хвильових форм, є подібними, а значення їх параметрів близькі.

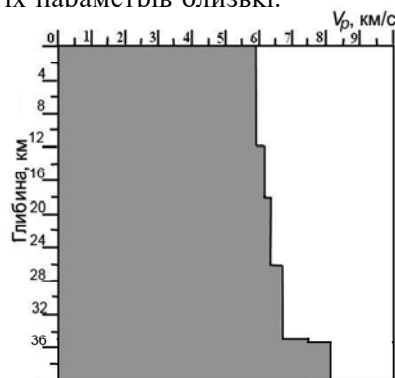


Рис. 12. Швидкісна модель середовища для Південних Апеннін

Таблиця 4. Вхідні параметри для визначення механізму вогнища землетрусу 29.12.2013 р. о 17:08:43.00 в Італії

Станція	Знак вступу	Епіцентральна відстань, км	Азимут, град	Кут падіння, град
VAGA	+	18,38	286	-131
SACR	-	22,06	82	-127
BSSO	+	23,28	32	-126
PIGN	+	29,08	230	-120
MIDA	+	34,27	332	-108
PSB1	-	35,21	118	-108
PAOL	+	38,92	165	-106
GATE	-	42,83	67	-105
CERA	+	43,82	306	-104
RNI2	+	44,44	327	-106
TRIV	+	45,08	11	-104
CIGN	+	49,78	50	-102
MRB1	-	51,67	122	-102
MODR	+	53,6	243	-101
MOCO	Нечіткий вступ	59,67	90	-101
OVO	+	60,34	184	-100
MELA	-	68,14	56	-99
FRES	+	69,65	15	-99
POFI	+	72,37	303	-99
CAFÉ	-	76,49	119	-98
LPEL	+	78,32	344	-98
SNAL	-	80,92	127	-98
SGTA	-	81,4	108	-98
INTR	+	84,32	328	-98
VVLD	+	88,29	309	-97
MCRV	-	89,06	137	-97
CAFR	+	95,68	355	-96
GUAR	Нечіткий вступ	105,65	297	-96
VULT	-	108,54	115	-96
MRLC	-	111,1	127	-96
PTQR	+	113,23	310	-96
SGRT	+	116,57	68	-96
CDRU	Нечіткий вступ	121,68	143	-95
FAGN	””	122,69	325	-95
MSAG	+	128,08	72	67
CMPR	Нечіткий вступ	137,36	148	67
CERT	-	137,93	298	67
AQU	-	139,58	322	67
PZUN	Нечіткий вступ	139,95	125	67
ACER	+	141,55	117	67
RDP	-	150,52	287	49
MRVN	+	150,82	103	49
RMP	-	153,45	289	49
MA9	-	155,53	287	49
CAMP	-	155,55	327	49
TERO	-	155,79	334	49
MTCE	-	159,34	298	49
MTSN	-	164,85	138	49
MGR	-	165,75	145	49
TRTR	+	165,82	345	49
SIRI	-	178,39	137	49
MIGL	Нечіткий вступ	188,28	116	49
CUC	-	191,74	142	49
NRCA	-	196,53	326	49
CESX	-	206,52	312	49
FDMO	-	216,55	329	49
TOLF	-	217,68	292	49
CESI	-	221,89	326	49
ARVD	-	266,96	333	49
CELI	-	280	141	49
ASQU	-	346,91	322	49

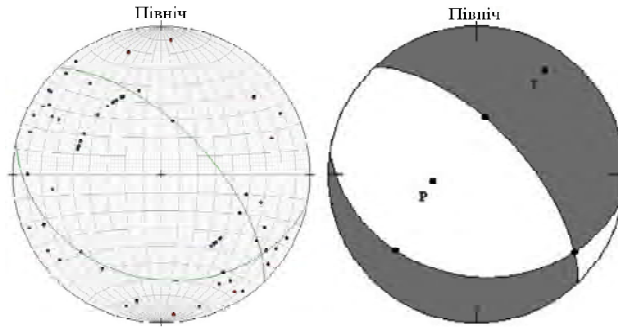


Рис. 13. Механізм вогнища землетрусу в Італії

Таблиця 5. Параметри механізму вогнища землетрусу в Італії 29.12.2013 р.

Площина 1			Площина 2			P		T		N	
Простягання, град	Кут нахилу, град	Зміщення, град	Простягання, град	Кут нахилу, град	Зміщення, град	Азимут, град	Кут заглиблення, град	Азимут, град	Кут заглиблення, град	Азимут, град	Кут заглиблення, град
316	64	-73	102	30	-120	257	67	33	17	129	15

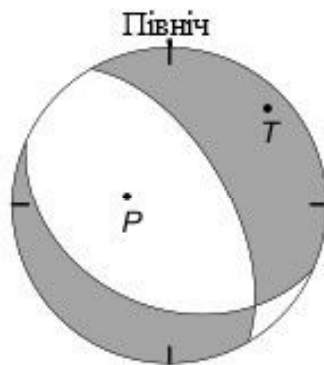


Рис. 14. Фокальний механізм землетрусу в Італії 29.12.2013, визначений методом інверсії хвильових форм

Таблиця 6. Параметри фокального механізму землетрусу в Італії 29.12.2013, визначені методом інверсії хвильових форм

Нодальна площина	Простягання, град	Кут нахилу, град	Зміщення, град
1	330	60	-70
2	114	35	-121

Висновки. На прикладі двох подій, що відбулися в районі Середземномор'я, розглянуто ефективність використання графічного методу для визначення механізмів вогнищ. Показано, що інформація про неточні вступі прямих *P*-хвиль на станціях є важливою, як і вибір швидкісної моделі. Розвиток графічного методу та його модифікацій буде представлено у наступних роботах для визначення механізмів вогнищ землетрусів Карпатського регіону.

1. *Малицький Д.В.* Визначення механізмів вогнищ землетрусів Карпатського регіону / Д.В. Малицький, О.Д. Грицай, О.О. Муйла, О.І. Кутнів, Е.М. Козловський // Геофиз. журн. – 2014. – Т. 36, № 4. – С. 118–135.
2. *Воронина Е.В.* Механика очага землетрясения. Спецкурс / Е.В. Воронина. – М.: Физический фак-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 92 с.
3. *Catalano R.* Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt / R. Catalano, M. Agate, C. Albanese, G. Avellone, L. Basilone, M. G. Morticelli, C. Gugliotta, A. Sulli, V. Valenti, C. Gibilaro, S. Pierini // AAPG Int. conf & Exhibition – Milan. 2011. Geol.F.Trips, – 2013. – V. 5, N 2.3. – 213 p. – DOI:10.3301/GFT.2013.05 (accessed 10.02.2015).
4. *Chiarabba C.* Minimum 1D velocity models in Central and Southern Italy: a contribution to better constrain hypocentral determinations / C. Chiarabba, A. Frepoli // Ann. Geofisica. – 1997. – V. 40, N 4. – P. 937–954.
5. *Cronin V.S.* A primer on focal mechanism solutions for geologists [Electronic resource] // Mode of access: http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf (accessed: 10.02.2015).
6. *D'Amico S.* Source parameters related to a small earthquake swarm off-shore of Malta (Central Mediterranean) / S. D'Amico // Development in Earth Science. – 2014. – V. 2. – P. 8–13.
7. *De Voogd B.* Two-ship deep seismic soundings in the basins of the Eastern Mediterranean Sea (Pasiphae cruise) / B. de Voogd, C. Truffert, N. Chamot-Rooke, P. Huchon, S. Lallemand, X. Le Pichon // Geophys. J. Int. – 1992. – V. 109. – P. 536–552.
8. *Gallais F.* Propagation of a lithospheric tear fault (STEP) through the western boundary of the Calabrian accretionary wedge offshore eastern Sicily (Southern Italy) / F. Gallais, D. Graindorge, M.-A. Gutscher, D. Klaeschen // Tectonophysics. – 2013. – V. 602. – P. 141–152. – DOI:10.1016/j.tecto.2012.12.026 (accessed 10.02.2015).
9. *Hardebeck J.L.* Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of small earthquakes / J.L. Hardebeck, P.M. Shearer // Bull. Seismol. Soc. America. – 2003. – V. 93, N. 6. – P. 2434–2444.
10. *Manuella F.C.* A crustal-upper mantle model for southeastern Sicily (Italy) from the integration of petrologic and geophysical data / F.C. Manuella, A. Brancato, S. Carbone, S. Gresta // Journal of Geodynamics. – 2013. – V. 66. – P. 92–102.
11. *Saint Louis University Earthquake Center* [Electronic resource] // Mode of access: http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_mt/MECH.IT/20131229170843/index.html (accessed 10.02.2015).
12. *Serpelloni E.* Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks / E. Serpelloni, M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, A. Galvani // Geophys. J. Int. – 2005 – V. 161. – P. 861–880. – DOI: 10.1111/j.1365–246X.2005.02618.x.

Надійшла до редакції 25.05.2015 р.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В РАЙОНЕ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ

Д.В. Малицкий, О.Д. Грицай, О.О. Муйла, О.И. Кутнив, О.А. Обидина, А.А. Асташкина, А.Ю. Павлова, Э.М. Козловский

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, ул. Научная, 3-б, г. Львов, 79060, Украина, e-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua, grycaj.oksana@gmail.com, orest-aro@rambler.ru, okutniv@yahoo.com, obidinaeriol@gmail.com, sac1@ukr.net, susyinet@gmail.com, kem2406@gmail.com

Рассмотрены задача определения механизма очага землетрясения и влияние скоростной модели среды на ее решение. Предложен графический метод, с помощью которого построены механизмы очагов двух землетрясений в районе Средиземного моря. Показаны важность выбора правильной модели среды и ее влияние на значение угла выхода, одного из основных параметров в графическом методе, особенно в случае малого количества сейсмических станций, зарегистрировавших событие. Для определения механизмов очагов использована информация о нечетких вступлениях *P*-волны на вертикальной компоненте сейсмической записи. Приведено сравнение полученных значений параметров фокальных механизмов рассмотренных землетрясений с параметрами фокальных механизмов, определенными другими методами.

Ключевые слова: механизм очага, графический метод, модель среды, сейсмический момент, очаг землетрясения.

ON DETERMINING FOCAL MECHANISMS OF EARTHQUAKES IN THE MEDITERRANEAN REGION USING GRAPHIC METHOD

D. Malyskyy, O. Hrytsai, O. Muyla, O. Kutniv, O. Obidina, O. Astashkina, A. Pavlova, E. Kozlovskyy
Carpathian Branch of the Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 3-b Naukova Str., Lviv 79060, Ukraine,
e-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua, grycaj.oksana@gmail.com, orest-aro@rambler.ru, okutniv@yahoo.com,
obidinaeriol@gmail.com, sac1@ukr.net, susyinet@gmail.com, kem2406@gmail.com

Purpose. The purpose of this paper is to show the effectiveness of the graphic method to solve the problem of determining the focal mechanisms of earthquakes and also to define the impact of the velocity model on the problem solution with a small number of stations. The focal mechanisms of earthquakes in the Mediterranean area were determined: 24.04.2011, 13:02:12,00 near Malta $\varphi = 35,92^\circ$, $\lambda = 14,95^\circ$, $h = 10$ km MI = 4,1 and 29/12/2013, 17:08:43,00 in Italy $\varphi = 41,369^\circ$, $\lambda = 14,445^\circ$, $h = 10,5$ km, MI = 4,9. The obtained results were compared with the known focal mechanisms of these earthquakes.

Design/methodology/approach. To determine the focal mechanism of earthquakes, the graphic method based on the polarity of the first arrival of *P*-waves was applied, as well as the information on fuzzy arrivals of *P*-waves and the S/*P*- wave amplitude ratio.

Findings. The focal mechanism parameters of the two earthquakes in the Mediterranean Sea have been obtained. By determining one of the focal mechanisms, we demonstrated the impact of the velocity model on the important parameter necessary build up the focal mechanism by using graphic method – the take off angle.

Practical value/implications. The paper proves the effectiveness of the graphic method to determine the focal mechanisms since the results obtained by the graphic method and other methods are close we have demonstrated. The importance of the information on fuzzy arrivals of direct *P* waves at stations closely correlated as well as the choice of a velocity model. The development of the graphic method and its modifications may be applied to determine the focal mechanisms of earthquakes in the Carpathian region.

Keywords: focal mechanism, a graphic method, environmental model, seismic moment, earthquake source.

References:

1. Malyskyy D., Hrytsai O., Muyla O., Kutniv O., Kozlovskyy E. *Vyznachennya mekhanizmiv vohnyshch zemletrusiv Karpats'koho rehionu* [Determining the focal mechanisms of earthquakes of Carpathian region]. *Geophysical Journal*, 2014, vol. 36, no. 4, pp. 118-135.
2. Voronina Ye. *Mekhanika ochaga zemletryaseniya. Spetskurs* [The mechanics of the earthquake source. Special Course]. Moscow, *Fizicheskyy fakul'tet Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta imeni M.V. Lomonosova*, 2004, 92 p.
3. Catalano R., Agate M., Albanese C., Avellone G., Basilone L., Morticelli M. G., Gugliotta C., Sulli A., Valenti V., Gibilaro C., Pierini S. Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt. AAPG International Conference & Exhibition - Milan 2011. *Geological Field Trips*, 2013, vol. 5, no. 2.3, 213 p. DOI:10.3301/GFT.2013.05 (Accessed 10 February 2015).
4. Chiarabba C., Frepoli A. Minimum 1D velocity models in Central and Southern Italy: a contribution to better constrain hypocentral determinations. *Annali Di Geofisica*, 1997, vol. 40, no. 4, pp. 937-954.
5. Cronin V.S. A primer on focal mechanism solutions for geologists. Available at: http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf (Accessed 10 February 2015).
6. D'Amico S. Source parameters related to a small earthquake swarm off-shore of Malta (Central Mediterranean). *Development in Earth Science*, 2014, vol. 2, pp. 8-13.
7. De Voogd B., Truffert C., Chamot-Rooke N., Huchon P., Lallemand S., Le Pichon X. Two-ship deep seismic soundings in the basins of the Eastern Mediterranean Sea (Pasiphae cruise). *Geophysical Journal International*, 1992, vol. 109, pp. 536-552.
8. Gallais F., Graindorge D., Gutscher M.-A., Klaeschen D. Propagation of a lithospheric tear fault (STEP) through the western boundary of the Calabrian accretionary wedge offshore eastern Sicily (Southern Italy). *Tectonophysics*, 2013, vol. 602, pp. 141-152, DOI:10.1016/j.tecto.2012.12.026 (Accessed 10 February 2015).
9. 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, pp. 2434-2444.
10. Manuella F.C., Brancato A., Carbone S., Gresta S. A crustal-upper mantle model for southeastern Sicily (Italy) from the integration of petrologic and geophysical data. *Journal of Geodynamics*, 2013, vol. 66, pp. 92-102.
11. Saint Louis University Earthquake Center. Available at: http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_mt/MECH.IT/20131229170843/index.html (Accessed 10 February 2015).
12. Serpelloni E., Anzidei M., Baldi P., Casula G., Galvani A. Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks. *Geophysical Journal International*, 2005, vol. 161, pp. 861-880, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x (Accessed 10 February 2015).

Received 25/05/2015