

ПРО ВІДТВОРЮВАНІСТЬ ВЗАЄМНОГО РОЗТАШУВАННЯ ВОГНИЩ ПОВТОРНИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ ЗА ДАНИМИ ОДНІЄЇ СТАНЦІЇ

На основі припущення про те, що коефіцієнти взаємної кореляції між хвильовими формами повторних землетрусів на одній і тій самій станції залежать лише від відстані між їхніми вогнищами і спадають експоненціально з її збільшенням, було розроблено алгоритм і програму для визначення взаємного розташування вогнищ. Варіанти взаємного розташування землетрусів мукачівської серії 2005-2006 р.р., визначені незалежно за даними чотирьох станцій Закарпаття, мало відрізнялися один від одного, що свідчить про те, що характер схожості хвильових форм не залежить від азимута й епіцентральної відстані приймача.

Ключові слова: повторні землетруси, хвильові форми, коефіцієнт кореляції, релокація.

Вступ

Коли схожість хвильових форм повторних землетрусів на одній і тій самій станції використовують для визначення дуже точних відносних вступів їхніх фаз і подальшої релокації вогнищ – яке іноді дає просто вражаючі результати [Shearer, 2005; Gнур, 2009, 2010] – корисну інформацію становлять відносні зміщення максимумів функції взаємної кореляції між записами у вікні довкола початково визначених вступів фаз. Утім, не менш цінна інформація може міститися – що само по собі інтуїтивно зрозуміло – й у самій величині цих максимумів. Досліджуючи, зокрема, розсіювання сейсмічних хвиль на їхньому шляху між джерелом і приймачем, автори [Menke, 1999] дійшли до висновку, що величина максимумів взаємної кореляції між записами залежить лише від відстані між джерелами і спадає експоненціально з її збільшенням. Якщо це справді так, то набори коефіцієнтів кореляції між записами повторних землетрусів на даній станції автоматично перетворюються на набори відстаней між їхніми вогнищами, які у свою чергу однозначно визначають взаємне розташування вогнищ.

Визначення взаємного розташування вогнищ мукачівських землетрусів 2005-2006 р.р.

На основі ідеї Менке [Menke, 1999] в [Гнип, 2011] і [Гнур, 2013] було розроблено алгоритм і програму для визначення взаємного розташування вогнищ повторних землетрусів за наборами коефіцієнтів кореляції між їхніми записами лише на одній станції. Варіанти взаємного розташування вогнищ двох груп повторних землетрусів, що відбувалися протягом 2005-2006 р.р. на відстані біля 6 км на пн.-сх. від сейсмічної станції Мукачеве, визначені з використанням розробленого алгоритму за коефіцієнтами кореляції між їхніми записами на станції Мукачеве для різних випадковим чином заданих початкових координат, виявили стійку тенденцію до збіжності і практично не відрізнялися між собою в кожній із груп.

В обох групах вогнища розташовувалися у чітко окреслених площинах, що можна розглядати як підтвердження – нехай і непряме – як достовір-

ності самої залежності Менке, так і ефективності розробленого на її основі алгоритму, адже за своєю природою повторні землетруси можуть відбуватися лише в одній і тій самій площині розриву.

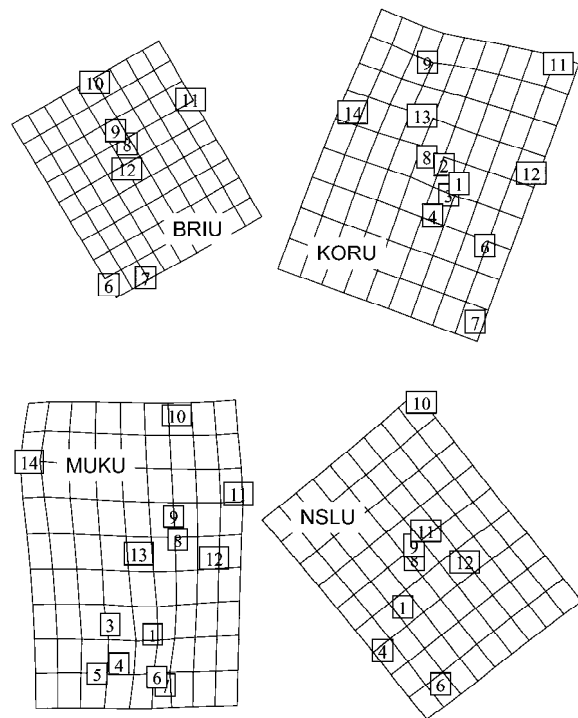


Рис. 1. Варіанти взаємного розташування вогнищ мукачівських землетрусів групи А (Табл. 1), визначені незалежно один від одного за коефіцієнтами кореляції між їхніми записами на сейсмічних станціях Брід, Королеве, Мукачеве, Нижнє Селище (BRIU, KORU, MUKU, NSLU) з кроком дискретизації 0,02 с. Вогнища апроксимовано 3D поверхнею, побудованою за методом кореляційних сіток [Davis, 1986], і показано незалежно від орієнтації поверхні відносно осей умовної системи координат.

Зрозуміло, що величина взаємної кореляції між записами істотно залежатиме і від інших – окрім

відстаней між вогнищами – чинників, таких як співвідношення сигнал/шум на даній станції, або характеристики середовища на шляху хвиль між вогнищем і станцією та ін.

Таблиця 1

Параметри мукачівських землетрусів 2005-2006 рр. груп А і В [Гнур, 2010]. Магнітуда M_{SH} за [Сейсмологический..., 2006, 2007], затінено рядки найсильніших подій у групі.

Група/номер	Дата	Час у джерелі (GMT), год., хв., с	Епіцентральні координати		Глибина км	M_{SH}
			ϕ град.	λ град.		
A1	25.03.05	11 38 23,25	48,483	22,769	5,8	1,3
A2	25.04.05	22 31 47,01	48,472	22,777	14,6	1,2
A3	6.06.05	9 45 41,95	48,472	22,783	5,2	1,0
A4	22.06.05	15 32 16,64	48,484	22,758	8,8	
A5	22.06.05	23 25 59,43	48,482	22,748	10,1	
A6	7.07.05	19 56 18,09	48,473	22,779	4,8	1,8
A7	7.07.05	20 31 49,95	48,470	22,786	4,4	
A8	31.09.05	19 33 8,41	48,477	22,776	5,0	
A9	31.09.05	21 09 37,07	48,476	22,774	5,2	
A10	31.09.05	21 10 50,98	48,472	22,774	7,0	
A11	14.05.06	5 8 38,83	48,481	22,755	6,0	1,1
A12	18.05.06	20 9 49,53	48,474	22,769	6,5	0,9
A13	10.08.06	5 0 54,73	48,503	22,797	4,3	1,5
A14	12.08.06	19 14 39,70	48,487	22,761	7,1	0,4
B1	6.02.06	3 31 9,54	48,497	22,749	3,5	0,9
B2	6.02.06	3 44 2,82	48,497	22,750	3,4	0,8
B3	28.02.06	21 34 55,35	48,498	22,742	3,1	0,7
B4	4.03.06	0 48 52,51	48,496	22,749	2,3	
B5	25.03.06	14 51 44,18	48,502	22,740	3,5	0,6
B6	26.03.06	15 8 27,86	48,507	22,730	4,3	0,6
B7	26.03.06	15 19 56,26	48,507	22,730	4,4	0,7
B8	31.03.06	4 53 52,70	48,500	22,740	3,3	1,5
B9	31.03.06	13 28 41,37	48,498	22,738	4,1	
B10	31.03.06	13 31 6,04	48,495	22,745	2,9	
B11	2.04.06	21 51 22,07	48,507	22,732	4,0	

Аби оцінити ступінь впливу сторонніх чинників у пропонованій роботі було поставлено за мету перевірити можливість незалежного відтворення взаємного розташування вогнищ мукачівських землетрусів 2005-2006 р.р. за наборами коефіцієнтів кореляції між їхніми записами на інших сейсмічних станціях місцевої мережі, попри меншу ніж станції Мукачеве повноту і точність відповідних наборів на більших епіцентральних відстанях. Достатньої кількості записів двох груп (А і В) виявилось ще лише на трьох станціях мережі: Брід, Королеве і Нижнє Селище (на епіцентральних відстанях 29, 49 і 64 км, відповідно). Варіанти взаємного розташування вогнищ групи А, визначені для випадковим чином заданих початкових наближень умовних

координат, зображено на рис. 1. Попри невеликі відмінності – можливо пов'язані і з дещо різними кутами зору – легко помітно схожий характер групування вогнищ у всіх варіантах. Більше відмінностей виявилось між варіантами, визначеними для групи В (рис. 2), що вочевидь пов'язано з тим, що вона складалася з слабших ніж попередня група подій, записи яких зазнали більшого спотворення шумами. В обох групах зберігалася водночас і стійка тенденція до розташування вогнищ у доволі чітко окресленій площині, що може розглядатися як додатковий аргумент на користь вірогідності визначених варіантів. Схожість варіантів взаємного розташування, визначених для дещо різних наборів вогнищ на кожній зі станцій, свідчить про високий ступінь однозначності розв'язку оберненої задачі, навіть за наявності шумів у записах і спотворень, зумовлених різною будовою середовища та різним хвильовим складом відрізків записів, між якими обчислювалися коефіцієнти взаємної кореляції.

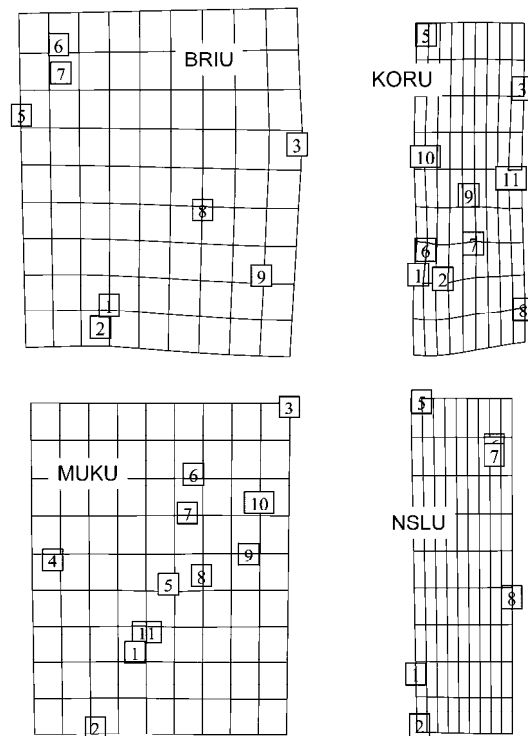


Рис. 2. Варіанти взаємного розташування мукачівських землетрусів групи В (Табл. 1), визначені незалежно за коефіцієнтами кореляції між їхніми записами на станціях Брід, Мукачеве, Нижнє Селище (BRIU, MUKU, NSLU) з кроком дискретизації 0,02 с, і Королеве (KORU) – 0,2 с.

Висновки

Таким чином, можна зробити висновок, що характер схожості наборів коефіцієнтів взаємної кореляції між записами повторних землетрусів на різних станціях визначається безпосередньо в

близькому околі вогнищевої зони землетрусів і не залежить від епіцентральної відстані та азимуту приймача (принаймні у розглянутому діапазоні їхньої зміни). Утім, єдиним – і непрямим – свідченням на користь того, що ступінь схожості хвильових форм повторних землетрусів визначається саме – і лише – відстанню між їхніми вогнищами можна вважати виявлену стійку тенденцію до розташування вогнищ у чітко окресленій площині, оскільки – як уже зазначалося – повторні землетруси можуть відбуватися лише в єдиній площині розриву (не можуть мати різного механізму вогнища).

Література

- Гнип А. Р. Уточнення взаємного розташування повторних землетрусів у Закарпатті за даними однієї сейсмічної станції // Геодинаміка. – 2011. – 2(11). – С. 69-71.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год. // Ред. Б.Г. Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2007. – 205 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. // Ред. Б.Г. Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2008. – 295 с.
- Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology. – John Wiley & Sons, Inc., Second edition, 1986. – 383 p.
- Menke, W. Using waveform similarity to constrain earthquake locations // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1999. – 89, – № 4. – P. 1143-1146.
- Gnyп A. Refining locations of the 2005 Mukacheve, West Ukraine, earthquakes based on similarity of their waveforms // Acta Geophysica. – 2009. – 57, № 2. – P. 330-345, DOI: 10.2478/s11600-008-0071-5.
- Gnyп A. Refining locations of the 2005-2006 recurrent earthquakes in Mukacheve, West Ukraine, and implications for their source mechanism and the local tectonics // Acta Geophysica. – 2010. – 58, № 4. – P. 587-603, DOI: 10.2478/s11600-010-0006-9.
- Gnyп A. Recovering relative locations of the 2005-2006 Mukacheve earthquakes from similarity of their waveforms at a single station // Acta Geophysica. – 2013. – 61, – №5. – P. 1074-1087, DOI: 10.2478/s11600-012-0096-7.
- Shearer P.M. Improving local earthquake locations using L1 norm and waveform cross correlation: Application to the Whittier Narrows, California, aftershock sequence // Journal of Geophysical Research. – 1997. – 102, – № 3. – P. 8269-8283.

О ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЧАГОВ ПОВТОРНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ ОДНОЙ СТАНЦИИ

А.Р. Гнып

На основе предположения, что коэффициенты взаимной корреляции между волновыми формами повторных землетрясений на одной станции зависят только от расстояния между их очагами и убывают экспоненциально с его увеличением, были разработаны алгоритм и программа определения взаимного расположения очагов. Варианты взаимного расположения землетрясений мукачевской серии 2005-2006 г.г., полученные независимо на четырех станциях Закарпатья, почти не отличались между собой, что свидетельствует о том, что характер сходства волновых форм не зависит от азимута и эпицентрального расстояния приемника.

Ключевые слова: повторные землетрясения, волновые формы, коэффициент корреляции, релокация.

ON REPRODUCIBILITY OF RELATIVE LOCATIONS OF RECURRENT EARTHQUAKES RECOVERED AT A SINGLE STATION

A. Gnyп

Based on the idea that the cross-correlation coefficients between the waveforms of recurrent earthquakes at a station depend only on separation between their sources and decay exponentially with it an algorithm and a computer program were developed recovering the locations. Versions of relative locations of the 2005-2006 recurrent earthquakes in Mukacheve, Ukraine, recovered at the four Carpathian network stations independently of each other appeared very similar which imply in turn that the sets of cross-correlation coefficients at the stations remain similar at different azimuths and epicentral distances.

Key words: recurrent earthquakes, waveforms, correlation, relocation.

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Надійшла 26.07.2013 м. Львів, Україна