

УТОЧНЕННЯ ВОГНИЩ ПОВТОРНИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ У ЗАКАРПАТТІ

Три групи повторних подій було виявлено в мукачівській серії землетрусів 2005–2006 років. Після релокації з використанням уточнених відносних вступів і станційних поправок їхні вогнища розташувалися у майже вертикальній площині вздовж азимуту $\sim 120^\circ$, яка приблизно збіглася з площиною скиду визначеного для землетрусів єдиного механізму вогнища. Ці результати узгоджуються з даними як щодо деяких інших місцевих механізмів вогнища, так і щодо режиму розтягу в земній корі епіцентральної зони землетрусів і значного горизонтального градієнту вертикальних рухів земної поверхні у цій зоні.

Ключові слова: повторні землетруси; схожість хвильових форм; відносні вступу; станційні поправки; релокація; механізм вогнища.

Протягом кількох останніх десятиліть дедалі більшої ваги набуває вивчення землетрусів малої сили, які становлять невичерпне джерело інформації про природу сейсмотектонічних процесів і причини виникнення землетрусів. До них належать і так звані повторні землетруси, ототожнювані за ознакою схожості їхніх хвильових форм на одній і тій самій сейсмічній станції. Найчастіше цю схожість використовують для визначення дуже точних відносних вступів фаз, а відтак і для уточнення взаємного розташування вогнищ повторних землетрусів, результати якого часто бувають вражаючі – точність релокації досягає порядку кількох десятків метрів [Shearer, 1997]. Повторні землетруси характерні і для Закарпаття, одного з регіонів України з підвищеним рівнем сейсмічної активності, у західній частині якого протягом останнього десятиліття було зареєстровано декілька таких серій. Найповніші дані спостережень Карпатською мережею сейсмічних станцій [Вербицький, Вербицький, 2005] були наявні щодо мукачівської серії 2005–2006 років, яка складалася з близько 40 неглибоких слабких землетрусів з магнітудою M_{SH} не вище 1,8 [Сейсмологический..., 2006, 2007] і в якій було виявлено принаймні три групи повторних подій – А, В і С. Визначення відносних вступів мукачівських землетрусів відбувалося шляхом обчислення функції взаємної кореляції між їхніми записами на кожній зі станцій мережі у вікні довкола початкового вступу фази прямих P і S -хвиль. Врахування зміщення максимуму функції для однієї з пари подій відносно іншої дозволило уточнити вступу у тих із них, де вони були невиразні через мале співвідношення сигнал/шум [Гнип, 2009, 2010]. У кожній з трьох груп відносні вступу визначалися щодо найсильнішого – а відповідно і з найчіткішими вступами – землетрусу (Рис. 1). Релокація вогнищ відбувалася одночасно із визначенням т.зв. станційних поправок, що мали враховувати відхилення швидкостей поширення сейсмічних хвиль у місцях розташування станцій від використаного в роботі модельного годографа [Кутас и др., 1999]. Релоковані вогнища землетрусів характеризувалися значно меншим розкидом ніж ті, що наведені в [Сейсмологический..., 2006, 2007] (Рис. 2); виявилася також і виразна тенденція до їхнього розмежування за

глибиною. Вогнища групи А опинилися на глибинах більших за 4 км, а В і С – на менших. У просторі релоковані вогнища усіх трьох груп утворили майже ідеальну вертикальну площину з $Az \approx 120^\circ$ (Рис. 3).

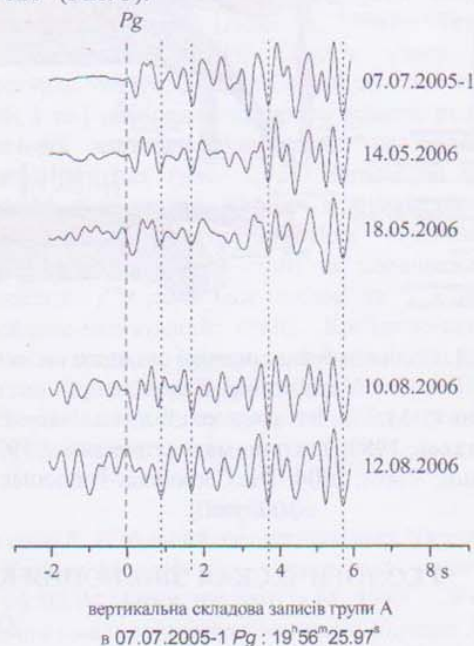


Рис. 1. Записи вертикальної складової швидкості землетрусів групи А у вікні довжиною 8 с і з початком за 2 с до вступів P -хвиль, уточнених відносно землетрусу 07.07.2005-1. Сейсмічна станція Королеве; записи нормалізовано відносно їхньої найбільшої амплітуди в межах вікна

Схожість хвильових форм повторних землетрусів можна використати і з метою визначення механізму їхніх вогнищ, який – очевидно – у них однаковий. Якщо на деяких станціях неможливо чітко визначити полярності перших вступів від якоїсь однієї з повторних подій, то з огляду на однаковий механізм – а відповідно й однакові полярності – можна використати виразніші на даній станції полярності від інших подій. Оскільки полярності перших вступів поздовжних хвиль на кожній зі станцій мережі в усіх трьох групах мукачівських землетрусів були однакові, було зроблено висновок про однаковий механізм вогнища у них.

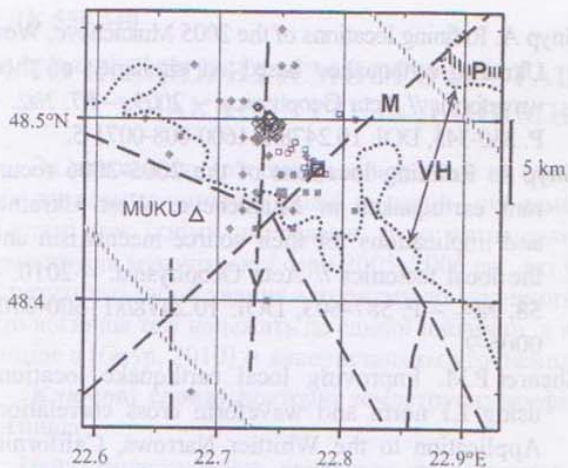


Рис. 2. Уточнені епіцентри землетрусів мукачівської серії 2005-06 років: порожні квадратики – групи А, ромбики – груп В і С. Епіцентри груп за даними бюлетеня [Сейсмологический..., 2007, 2008] – сірі квадратики і ромбики. Квадратиками і ромбиками більшого розміру показано епіцентри 07.07.2005-1 і 31.03.2006-1. У тлі: трикутник – сейсмічна станція Мукачеве (MUKU); товсті штрихові лінії – розломи донеогенового фундаменту (М – Мукачівський, V – Визницький), товсті лінії з косим штрихуванням – головні тектонічні розломи; товсті лінії з кружечками – південний та північний обриси Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма (VH); товста лінія з косим штрихуванням і з позначкою Р у верхньому правому куті – Пенінська зона. Елементи тектоніки подано за [Хоменко, 1971, 1987] і [Тектоническая..., 1986]

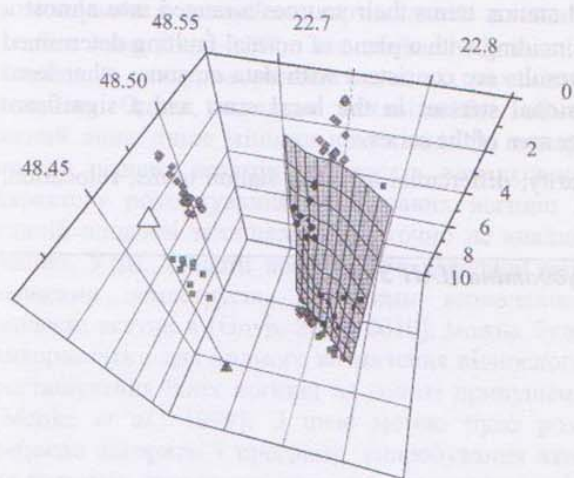


Рис. 3. Тривимірне представлення уточнених гіпоцентрів мукачівських землетрусів групи А (квадратики) і В і С (ромбики); трикутник – сейсмічна станція Мукачеве (MUKU). Вертикальний масштаб – кілометри, горизонтальний – градуси північної широти і східної довготи

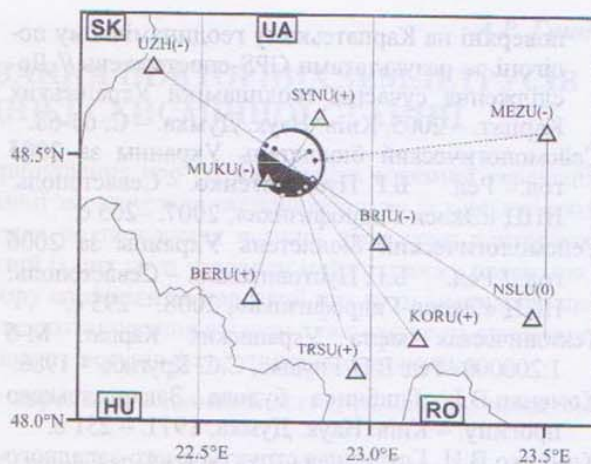


Рис. 4. Визначення фокального механізму мукачівських землетрусів групи А з використанням сукупної множини полярностей перших вступів Р-хвиль на сейсмічних станціях Карпатської мережі для уточненої глибини вогнища 4,8 км. Сейсмічні станції – трикутники з полярностями, зазначеними в дужках. Назви станцій подано відповідно до міжнародного коду

Визначений класичним методом [Касахара, 1985] та з урахуванням особливостей поширення сейсмічних хвиль у різних частинах Карпатського регіону [Кутас и др., 2003] механізм виявився скидового типу вздовж азимута $\sim 120^\circ$, з падінням $\sim 80^\circ$ і кутом вектора ковзання між -90° і -100° (Рис. 4), площина скиду якого майже збіглася з площиною, у якій розташувалися вогнища після їхньої релокації з використанням уточнених вступів і станційних поправок.

Отримані в роботі результати узгоджуються як з даними про механізми деяких інших місцевих землетрусів, так і з наявністю зовнішнього поля напружень розтягу й істотного градієнта вертикальних рухів в епіцентральної зоні мукачівської серії 2005–2006 рр. [Островський та ін., 2005].

Література

- Вербицький С.Т., Вербицький Ю.Т. Сучасні засоби отримання та обробки сейсмологічної інформації // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – 2005, Київ: Наукова Думка. – С. 80-86.
- Касахара К. Механика землетрясений. – Москва: Мир, 1985. – 264 с.
- Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф Р- и S-волн и неоднородности литосферы // Геофиз. журн. – 1999. – 21, №3. – С. 45-55.
- Кутас В.В., Дрогицкая Г.М., Корчагин И.Н. Природа объемных волн, регистрируемых в Закарпатье при коровых землетрясениях и промышленных взрывах // Геофиз. журн. – 2003. – 25, №6. – С. 3-14.
- Островський А.Л., Заблоцький Ф.Д., Серант О.В., Смірнова О.М., Третьяк К.Р. Результати визначення просторових рухів і деформацій земної

- поверхні на Карпатському геодинамічному полігоні за результатами GPS-спостережень // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – 2005, Київ: Наук. Думка. – С. 63-68.
- 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.
- Тектоническая карта Украинских Карпат. М-б 1:200000 / Ред. В.В. Глушко, С.С. Круглов. – 1986.
- Хоменко В.І. Глибина будова Закарпатського прогину. – Київ: Наук. Думка, 1971. – 231 с.
- Хоменко В.И. Глубинная структура юго-западного края Восточно-Европейской платформы. – Киев: Наук. Думка, 1987. – 140 с.

- Gnyup 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.
- Gnyup 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.
- 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**. – P. 8269-8283.

УТОЧНЕНИЕ ОЧАГОВ ПОВТОРНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАКАРПАТЬЕ

А.Р. Гнып

Три группы повторных событий идентифицировано в мукачевской серии землетрясений 2005–2006 гг. После релокации с использованием уточненных относительных вступлений и станционных поправок их очаги расположились в почти вертикальной плоскости вдоль азимута $\sim 120^\circ$, которая приблизительно совпадала с плоскостью сброса определенного для землетрясений единого механизма очага. Эти результаты согласовываются с данными как о некоторых других местных механизмах очага, так и о режиме растяжения в земной коре в эпицентральной зоне землетрясений и существенного горизонтального градиента вертикальных движений земной поверхности в этой зоне.

Ключевые слова: повторные землетрясения; подобие волновых форм; относительные вступления; станционные поправки; релокация; механизм очага.

REFINING THE SOURCES OF RECURRENT EARTHQUAKES IN THE TRANSACARPATIANS

A. Gnyup

Three groups of recurrent earthquakes have been identified within the Mukacheve series of 2005–2006. After relocation with application of differential arrivals and station terms their sources arranged into almost a vertical plane along the azimuth of $\sim 120^\circ$, approximately coinciding with a plane of normal faulting determined for all the earthquakes as a single source mechanism. The results are consistent with data on some other local source mechanisms as also on an ambient field of extensional stresses in the local crust and a significant horizontal gradient of vertical movements across the epicenter area of the series.

Key words: recurrent earthquakes; waveform similarity; differential arrivals; station terms; relocation; source mechanism.

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України