Empirical relations converting M_P (magnitude used in Bulgarian Seismological Network) to M_L (Richter magnitude)

M. Popova[1], D. Solakov[1], S. Simeonova[1], P. Raykova[1]

[1]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-BAS,
Acad. G .Bonchev str., bl.3, BG-1113 Sofia, Bulgaria
e-mails: m.popova022@gmail.com, dimos@geophys.bas.bg, stelas@geophys.bas.bg, plamena.raikova@gmail.com

Keywords: earthquakes, magnitude, magnitude scale, Richter magnitude, Bulgarian seismological network

Abstract: Earthquakes range broadly in size. Magnitude is a measure of the energy released by the earthquake. Magnitude is the source parameter most often used to specify the strength of an earthquake, based on records of local ground motion. This reflects the original concept of the magnitude scale-that earthquakes releasing the same amount of seismic energy should be assigned the same magnitude. Since Richter first introduced the concept of earthquake magnitude, a number of different magnitude scales have been developed - generally to overcome deficiencies of earlier scales. In the present study empirical relations converting magnitude Mp (used in Bulgarian Seismological Network) to Richter magnitude (M_L) are developed.

Магнитудни релации конвертиращи магнитуд M_P (използван в българската сеизмологична мрежа) към M_L (локален магнитуд по Рихтер)

М. Попова, Д. Солаков, С. Симеонова, Пл. Райкова

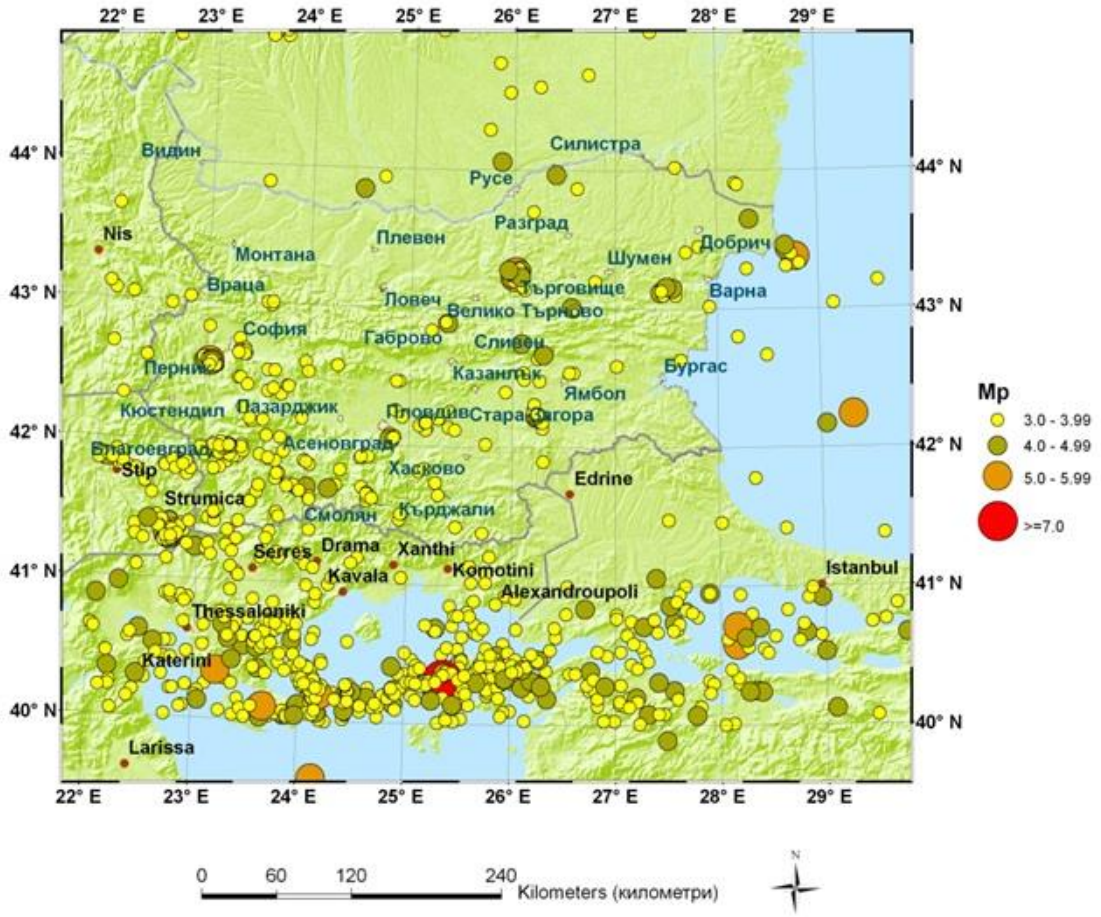
1. Въведение

Величината магнитуд е условен, скаларен, безразмерен показател за сеизмичната енергия, освободена в огнището на земетресението. Магнитудът, наречен локален магнитуд (M_L), е въведен от Рихтер през 1935 г. (Richter, 1935) за оценка на близки земетресения. Магнитудът е мярка за силата на земетресенията и основно понятие в сеизмологията. Въвеждането на магнитуда позволява да се сравнява силата на земетресенията по инструментални наблюдения в световен мащаб. За системна класификация на земетресенията се използват магнитудни скали. Класификацията е относителна: магнитуда на дадено земетресение се определя чрез сравнение и по отношение на нормиращото, еталонно земетресение. Повечето от съществуващите магнитудни скали са основани главно на емпирични зависимости, съдържащи няколко константи (или емпирично получени функции). Тези константи се определят по такъв начин, че магнитудните оценки по новата скала да са в съответствие (поне в определен магнитуден интервал) с вече съществуваща скала. Наличието на редица различни магнитудни скали е директно следствие от опита един толкова комплексен процес като земетресението, да се характеризира с едно единствено число.
Основна цел на настоящата разработка е получаване на релации между магнитудните оценки, прилагани в рутинната практика на НОТССИ (M_p, дефиниран в Christoskov et al., 2012), и локален магнитуд M_L (Richter, 1935- (често наричен магнитуд по Рихтер), които е използуван в много от балканските сизмологични центрове и Европейския Сеизмологичен Център (EMSC).
Потърсено е решение на задачата, чрез сравнение на магнитудните оценки за близки земетресения (отстоящи от територията на страната на разстояния до 150 km), определени от българския сеизмологичен център (SOF по M_p) с оценките (по скала - M_L) на Европейския Сеизмологичен Център (EMSC) и националните центрове в съседните балкански страни (Румъния – BUC; Гърция - THE; и Турция – KAN).

2. Входни данни и приложена методика

Изследването е проведено на базата на 372 земетресения, локализирани в пространствен прозорец 40.0º - 44.5º N; 21.0º – 29.0º E, реализирани във времеви интервал 2007 - 2011 г., с магнитуд (M_P) в интервала $3.0 \leq M_p \leq 5.4$ (долният магнитуден праг M=3.0 е определен спрямо НОТССИ -SOF).

Използваните в изследването данни с оценки на M_L са съответно: 315 земетресения, определени от EMSC; 88 земетресения, определени от BUC; 299 земетресения, определени от THE; 105 земетресения, определени от KAN.
Допълнително, за пространствен прозорец 40.0º - 44.0ºN; 20.0º - 29.0ºE е генериран файл със сеизмологична информация за периода 2006-2015 г., включващ 987 земетресения с магнитудни оценки M_L в интервала $2.0 \le M_L < 6.0$ (съгласно EMSC) и Mp в интервала $2.0 \le Mp < 6.0$ (съгласно SOF). Пространственото разпределение на епицентрите на събитията в избрания времеви и магнитудни интервали е представено на Фиг. 1.
В изследването е приложен регресионен анализ, минимизиращ средно квадратичното отклонение, използвайки два статистически метода:
Методът на най-малките квадрати (LSQ) – при който се предполага, че независимата променлива е точно определен без грешка;
Ортогонален регресионен анализ (OR) – при който се предполага, че двете променливи са оцени с грешка и се знае отношението на стандартните девиации.



Фиг. 1. Епицентрална карта на земетресенията, генерирани в пространствен прозорец 40.0º - 44.0ºN; 20.0º - 29.0ºE през периода 2006 - 2015 г. ($2.0 \le Mp < 6.0$)

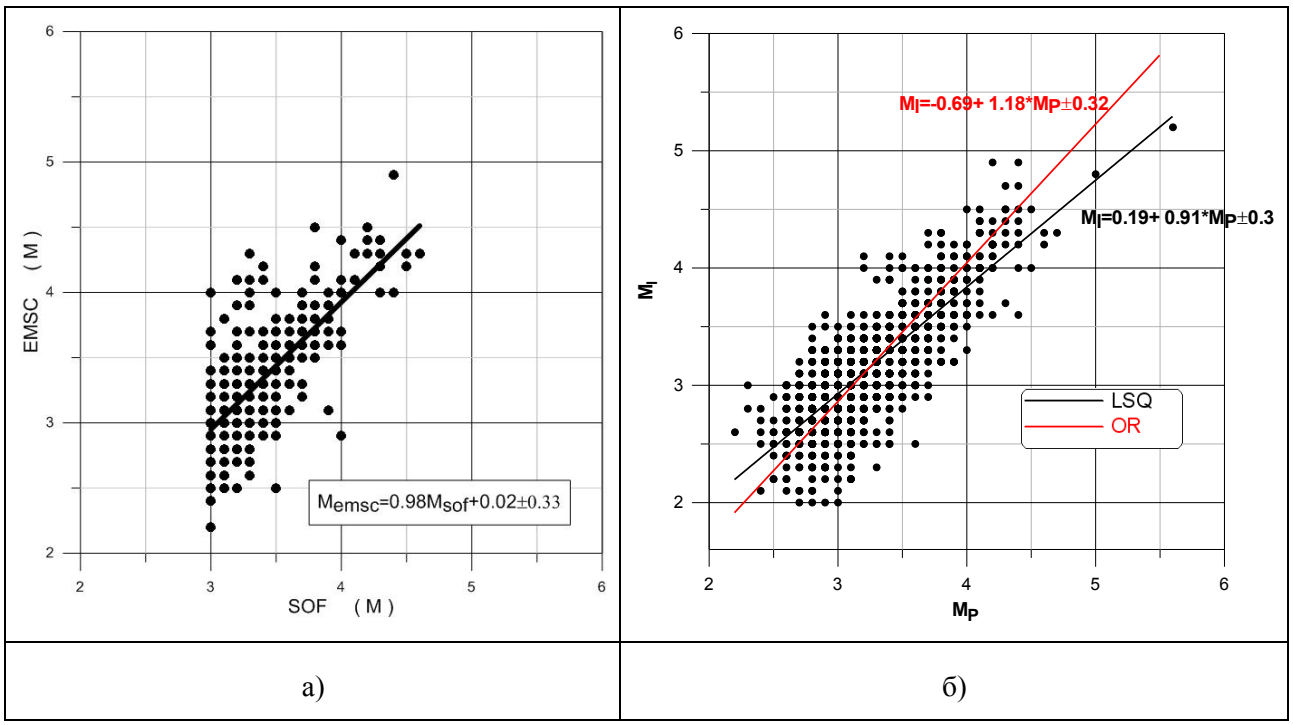
3. Резултати

На Фиг. 2а) са представени магнитудните оценки EMSC/SOF. Диаграмата е построена на базата на 315 магнитудни оценки за земетресения, реализирани в и около България за периода 2007 - 2011 г. в пространствен прозорец 40.0º - 44.5ºN; 21.0º – 29.0ºE. Очевидно е доброто съвпадение M_{EMSC} и M_{SOF}, което се илюстрира от релацията, получена по LSQ:

$$M_{EMSC} = 0.98\, M_{SOF} + 0.02 \pm 0.33 \qquad (1)$$

Получената регресионна зависимост показва, че в средно магнитудните оценки на SOF се различават незначително от тези на EMSC. Като цяло оценките на SOF са леко завишени спрямо оценките на EMSC. Дисперсията на данните е по-силно изразена при ниските магнитуди до 3.0-3.5. В този

магнитуден интервал се наблюдават отклонения от порядъка на една магнитудна единица. Дисперсията намалява за магнитуди над 3.5, достигайки стойност по-ниска от 0.3, което е точността на магнитудните определения.



а) б)

Фиг. 2. Магнитудни оценки EMSC (M_L) към SOF (M_P)

Фигура 2 б) илюстрира регресионните зависимости M_L/M_P (M_L-EMSC; M_P-SOF), оценени по LSQ (релация 2) и OR (релация 3) въз основа на 987 събития, генерирани в пространствен прозорец 40.0º - 44.0ºN; 20.0º - 29.0ºE за период 2006 - 2015 г.

$$M_L = 0.91M_P + 0.91 \pm 0.30 \qquad \text{(по LSQ)} \qquad (2)$$

$$M_L = 1.18\ M_P - 0.69 \pm 0.32 \qquad \text{(по OR)} \qquad (3)$$

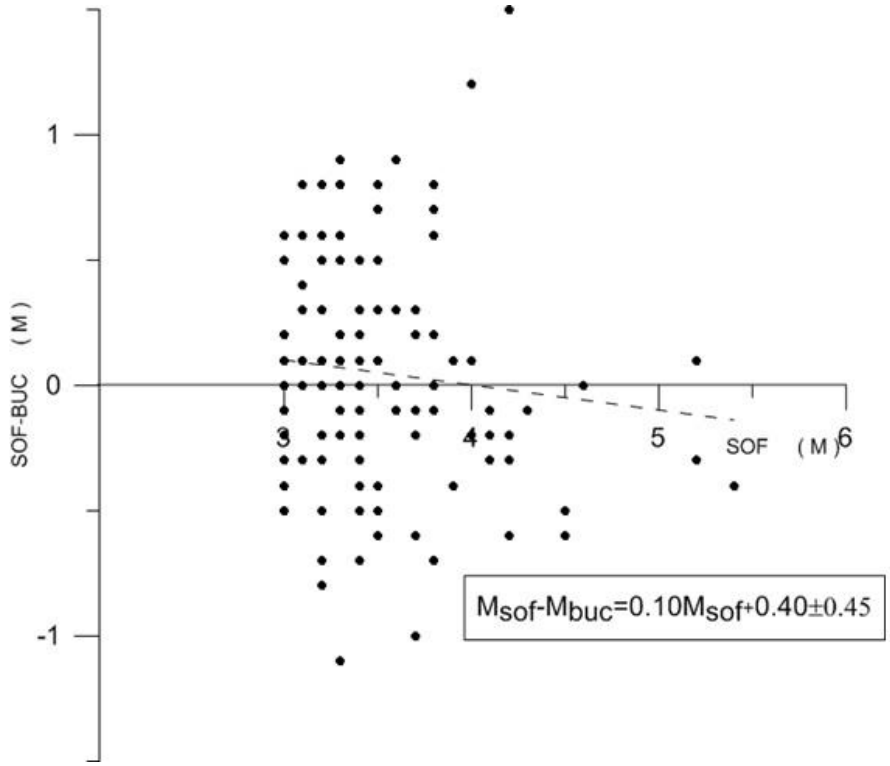
При двете релации се наблюдава тенденцията, която е установена и при по-малката извадка от данни (релация 1) - дисперсията на данните е по-силно изразена при по-ниските магнитуди и намалява с увеличаване на магнитудните оценки.

Магнитудните оценки на SOF (M_P) са сравнени с магнитудните оценки M_L на някои от балканските националните центрове: BUC (Румъния), THE (Гърция) и KAN (Турция). Получените резултати са представени на Фиг. 3-5. На фигурите са съпоставени магнитудните оценки на SOF с разликите SOF - BUC, SOF - THE, SOF - KAN,. За всяка двойка е оценена регресионна зависимост.

На Фиг. 3 са съпоставени магнитудните оценки на SOF с разликите SOF-BUC. Регресионната зависимост, получена по LSQ на базата на 88 събития в магнитуден интервал 3.0≤M<5.5, се дава с уравнението:

$$M_{SOF} - M_{BUC} = 0.1\ M_{SOF} + 0.40 \pm 0.45 \qquad (4)$$

Както се вижда от Фиг. 3 разликите варират основно между -1 и +1. По-високи стойности на разликите се наблюдават в 4 случая (2 положителни и 2 отрицателни разлики). В магнитудния интервал 3.0≤M≤4.0 разликите са силно диспергирани с почти равен брой положителни и отрицателни стойност. За мгнитуди над 4.0 преобладават отрицателни разлики, т.е магнитудните оценки на SOF са по-ниски от тези на BUC в разглеждания магнитуден интервал (3.0≤M<5.5).

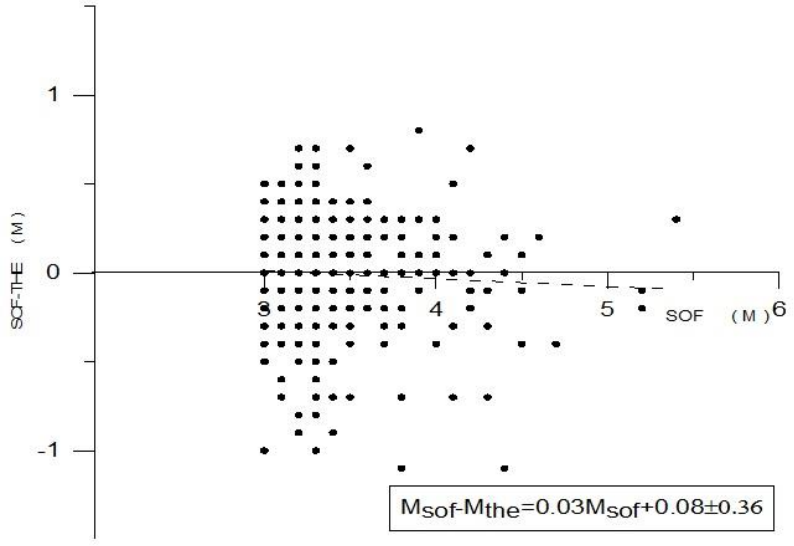


Фиг. 3. Магнитудни оценки на SOF (M_P) към магнитудните разлики SOF–BUC

На Фиг. 4 са съпоставени магнитудните оценки на SOF и разликите SOF-THE. Както се вижда от фигурата разликите варират основно между -1 и +1. По-високи стойности на разликите се наблюдават само в три случая (отрицателна разлика). В магнитудния интервал 3.0≤M≤4.0 разликите са диспергирани с почти равен брой положителни и отрицателни стойности. За мгнитуди над 4.0 преобладават отрицателни разлики, т.е магнитудните оценки на SOF са по-ниски от тези на THE.
Регресионната зависимост, получена по LSQ на базата на 299 събития в магнитуден интервал 3.0≤M<5.5 се дава с уравнението:

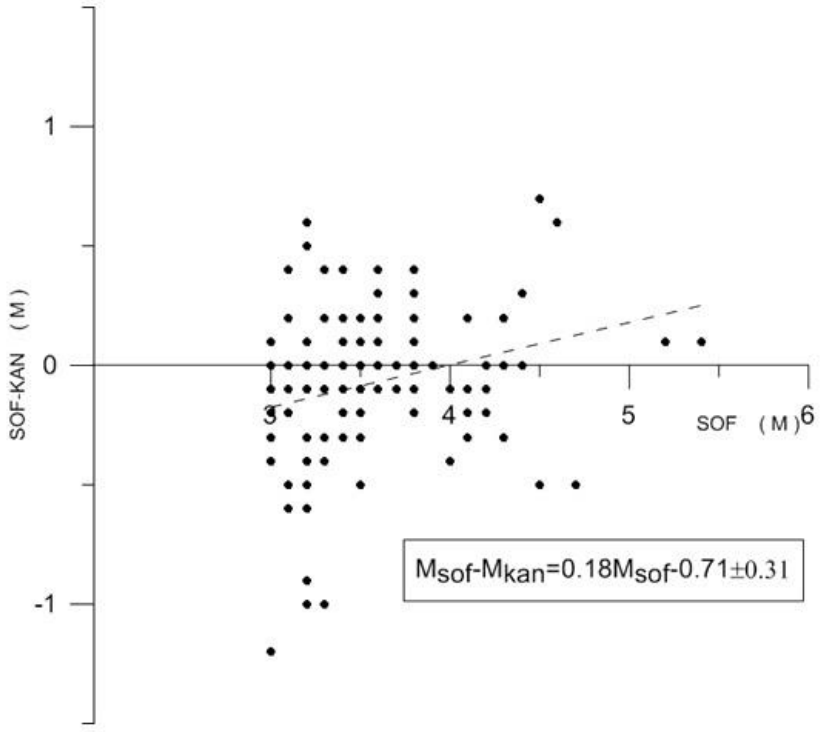
$$M_{SOF} - M_{THE} = 0.03\, M_{SOF} + 0.08 \pm 0.36 \qquad (5)$$

Като цяло, оценките на THE са завишени спрямо оценките на SOF в разглеждания магнитуден интервал (3.0≤M<5.5). Дисперсия на данните е по-силно изразена в магнитудния интервала – 3.0 - 4.0 и намалява за мгнитуди над 4.5.



Фиг. 4. Магнитудни оценки на SOF (M_P) към магнитудните разлики SOF– THE

На Фиг. 5 са съпоставени магнитудните оценки на SOF и разликите - SOF- KAN. Както се вижда от фигурата разликите варират основно между -0.7 и +0.7. По-високи стойности на разликите се наблюдават само в един случай (отрицателна разлика).



Фиг. 5. Магнитудни оценки на SOF(M_P) към магнитудните разлики SOF- KAN

За разглеждания магнитуден интервал 3.0≤M<5.5 преобладават отрицателни разлики, т.е магнитудните оценки на SOF са по-ниски от тези на KAN. Оценките на KAN са завишени спрямо оценките на SOF в магнитуден интервал 3.0≤M≤4.5, а за магнитуди над 5.0 (M>5.0) оценките на SOF са по-високи от тези на KAN.
Регресионната зависимост, получена по LSQ на базата на 105 събития в магнитуден интервал 3.0≤M<5.5 се дава с уравнението:

$$M_{SOF} - M_{KAN} = 0.18\, M_{SOF} - 0.71 \pm 0.31 \qquad (6)$$

Дисперсия на данните е силно изразена в целия магнитуден интервала 3.0≤M<5.5.

Литература

BUC, National Seismological Center, NIEPh, Bucarest, Romania, http://infp.ro/.
Christoskov L., L.Dimitrova, D.Solakov, 2012. Magnitude determinations of P wave by digital broadband seismometers of NOTSSI network for local and regional events. Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, 65 (5).
EMSC, European Mediterranean Seismological Center, http://www.emsc-csem.org/Earthquake/.
KAN, National Seismological Center, KOERI, Istanbul,Turkey, http://sismo.deprem.gov.tr/.
Richter, C., 1935. An instrumental earthquake scale: Seismological Society of America Bulletin, 25, 1, 1-32.
SOF, National Seismological Center, NIGGG-BAS, Sofia, Bulgaria, http://ndc.niggg.bas.bg/.
THE, Seismological Center, Department of Geophysics, Univ. of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece, http://geophysics.geo.auth.gr/.

Благодарности: Работата по настоящото изследване е подкрепена от Българска Академия на Науките по Програма за подпомагане на млади учени на БАН, договор ДФНП-10/20.04.2016.