

Contractor: Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pamantului

Cod fiscal : 5495458

(anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,

DIRECTOR GENERAL

Dr. Ing. Constantin Ionescu

Avizat,

DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Mircea Radulian

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 15N/16.03.2018

Proiectul: PN18150101: Aplicarea analizelor moderne în estimarea hazardului la cutremur si tsunami în vederea evaluării si reducerii riscurilor asociate

Faza: 3. Modelarea proceselor seismice grupate din zonele seismotectonice ale Romaniei, in scopul parametrizarii sursei cutremurelor

Termen: 30 mai 2018

1. Obiectivul proiectului: Aplicarea metodelor moderne in estimarea hazardului seismic regional si local si evaluarea si reducerea riscului seismic.
2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului: Acest proiect are ca obiectiv realizarea unei investigatii complexe care sa evidentieze interconectarea fenomenelor care au loc în interiorul Pamantului cu cele de la suprafata, in scopul modelarii proceselor seismice si a fenomenelor tectonice si identificarea relatiei spatio-temporale dintre structura geologica, tensiunile crustale, potentialul seismogen si modelele de propagare ale undelor seismice în scopul evaluarii hazardului si riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Pentru a indeplini acest obiectiv se au in vedere mai multe directii de cercetare: (1) estimarea si masurarea efectelor cutremurelor in cazul diferitelor amplasamente, modelarea propagarii undelor seismice prin structuri cu anumite caracteristici, in vederea introducerii lor ca date de intrare pentru proiectarea antiseismica, (2) evidentierea relatiei complexe dintre structura geologica, tensiunile crustale si potentialul seismogene al unor arii seismic active,

(3) determinarea parametrilor surselor seismice crustale si subcrustale: momentul seismic scalar, căderea de tensiune, raza si durata sursei, frecventa de colt, pentru cutremurele ale caror inregistrari au un raport semnal/zgomot mai mare decat 5, (4) parametrizarea gruparilor seismice din zonele seismogene ale Romaniei, (5) dezvoltarea de noi relatii de atenuare a intensitatii macroseismice pentru cutremurele crustale si subcrustale pentru realizarea unor analize de risc bazate pe scenarii seismice, (6) evaluarea post-seismică a stării structurii clădirilor, în cazul cutremurelor puternice, (7) estimarea pagubelor si evaluarea rapida a efectelor macroseismice si (8) evaluarea unor hazarde secundare asociate cutremurelor si anume fenomenul tsunami din zona litoralului romanesc al Marii Negre.

3. Obiectivul fazei: Scopul acestei faze este de a analiza caracteristicile producerii cutremurelor din zonele crustale Campulung-Fagaras si Maramures. In completare se face o sinteza a proprietatilor de scalare pentru parametrii de sursa din toate zonele crustale din Romania pe baza cutremurelor inregistrate in ultimii 30 de ani. De asemenea, este realizata o baza de date cu parametrii de sursa pentru un set de 117 de cutremure crustale produse in ultimii 10 ani pe teritoriul Romaniei.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei: Pentru realizarea obiectivului fazei au fost selectate formele de unda cu raport semnal/zgomot satisfactor (24 de cutremure pentru secventele de la Campulung-Fagaras si 14 pentru Maramures) care permit aplicarea metodelor relative de analiza: metoda rapoartelor spectrale si deconvolutia cu functii Green empirice. Aplicand formule consacrate pentru calculul marimilor cutremurelor descrise in forma extinsa a fazei, se determina parametrii de sursa in cazul celor 38 de evenimente: momentul seismic, magnitudinea din moment, frecventa de colt, raza sursei, caderea de tensiune, functia de timp a sursei. Cu parametrii astfel obtinuti se realizeaza relatii de scalare de tip magnitudiune din moment-magnitudine locala, moment seismic-magnitudine, moment seismic-frecventa de colt si moment seismic-cadere de tensiune pe fiecare zona in parte. Pentru o caracterizare exhaustiva a surselor seismice de pe teritoriul Romaniei se realizeaza o sinteza a relatiilor de scalare pentru cutremurele generate in ultimii 30 de ani si se compara cu relatii obtinute pentru alte regiuni seismice de pe Glob. Pentru indeplinirea in intregime a cerintelor fazei prezente, se prezinta o Anexa cu parametrii de sursa estimati pentru 117 de cutremure crustale inregistrate in ultimii 10 ani care vor fi introdusi in baza de date a INCDFP.

5. Rezumatul fazei:

Pentru intocmirea rezumatului fazei vom prezenta in prima parte o sinteza a studiului secventelor din zonele crustale de pe teritoriul Romaniei prin prezentarea relatiilor de scalare ale parametrilor de sursa estimati. Numerele tabelelor, ale ecuatiilor si ale figurilor corespund celor din faza extinsa.

Pentru realizarea in intregime a obiectivelor fazei proiectului se va prezenta si o Anexa cu parametrii de sursa ai cutremurelor crustale produse in Romania in ultima decada. In Anexa sunt prezentati si parametrii de sursa pentru secventele de la Campulung-Fagaras si Maramures din 2015 care au fost analizate in extenso in aceasta faza impreuna cu marimile caracteristice pentru alte 79 de cutremure generate in alte zone crustale ale Romaniei in ultimii 10 ani.

Relatii de scalare sintetizatoare pentru toate zonele crustale din Romania, studiate in ultimii 30 de ani

Consideram ca cele mai potrivite concluzii referitoare la parametrizarea sursei seismice a cutremurelor secventelor crustale din Romania sunt relatiile de scalare dintre marimile fizice ce caracterizeaza procesul din focarul seismic pentru regiunile seismic active identificate.

Activitatea seismica de tip secvente si roiuri a mai fost studiata anterior in vecinatatea zonei de adancime intermediara Vrancea (Ramnicu Sarat si Vrancea), Sinaia (1993), zona adiacenta retelei seismice BURAR (iunie 2011), zona din apropierea orasului Tg-Jiu (decembrie 2011-ianuarie 2012), zona Hateg (martie 2011 si septembrie 2013), zona Caransebes-Mehadia (octombrie 2014) si zona Marasesti (22 noiembrie 2014) (Enescu et al. 1996; Popescu, 2000; Popescu si Radulian, 2001; Popescu et al., 2011; 2012; Radulian et al., 2014, Placinta et al. 2015).

Parametrii de sursa estimati de-a lungul timpului (in secventele mentionate in paragraful anterior), alaturi de aceia evaluati in aceasta lucrare si impreuna cu relatiile lor de scalare sunt investigati ca indicatori ai particularitatilor geotectonice ale Romaniei.

Pentru toate cutremurele analizate, in scopul parametrizarii sursei seismice (socuri principale si functii Green empirice), s-au calculat ca medii pe toate valorile frecventelor de colt ale undelor P si S si razele sursei cu relatia (2), momentul seismic cu relatia (5), magnitudinea din moment si caderea de tensiune cu formula (3) (faza extinsa).

Am reprezentat mai intai scalarile magnitudinea din moment seismic in functie de magnitudinea locala si moment seismic M_0 cu magnitudinea locala (**Fig. 15, 16**). Relatiile matematice ce reprezinta scalarile au coeficientul de corelatie 0.89 si respectiv 0.84 si sunt prezentate de liniile de regresie (12, 13):

$$M_W = (0.68 \pm 0.04)M_L + (0.84 \pm 0.11) \quad (96 \text{ date}) \quad (12)$$

$$R = 0.89, \sigma = 0.27$$

$$\log M_0 = (1.51 \pm 0.07)M_L + (8.67 \pm 0.21) \quad (193 \text{ date}) \quad (13)$$

R=0.84, sigma=0.92

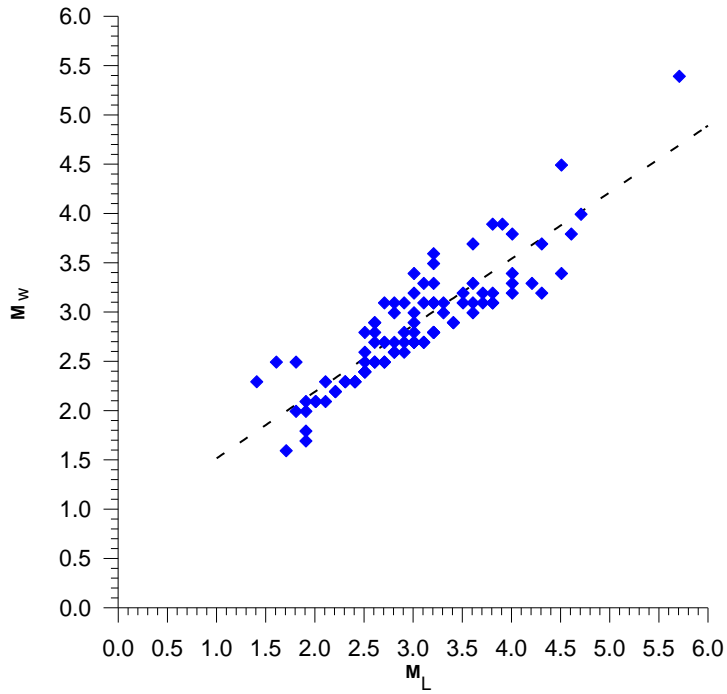


Fig. 15. Dependenta magnitudinii din moment de magnitudine locala. Dreapta de regresie este data de ecuatia (12)

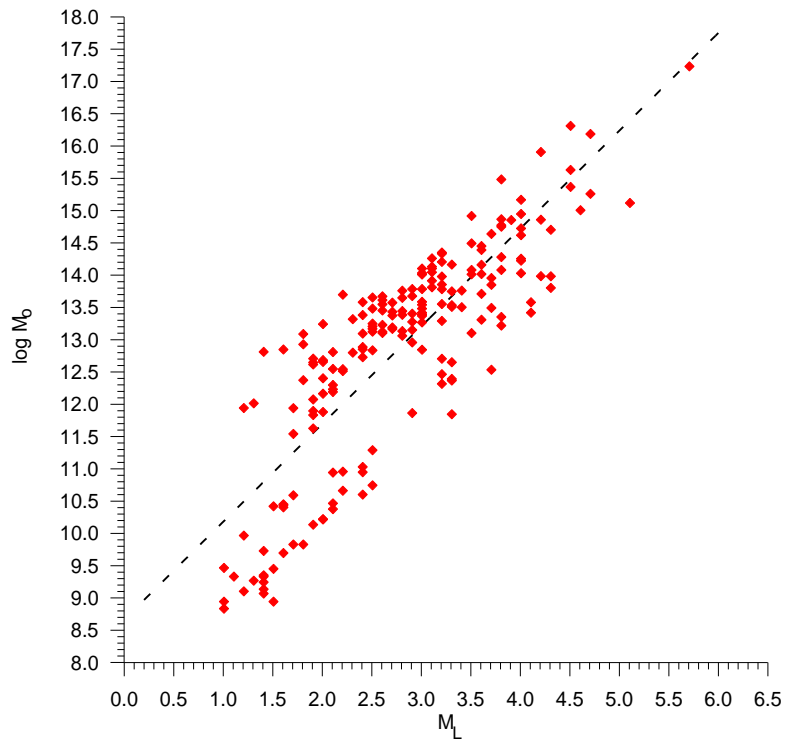


Fig. 16. Dependenta momentului seismic de magnitudinea locala. Dreapta de regresie este data de ecuatia (13)

Scalarea este similara cu determinarile obtinute pentru diferite regiuni seismice de pe Glob pentru dependenta momentului seismic de magnitudinea locala (Bakun si Lindh, 1977; Archuleta et al., 1982; Fletcher et al., 1984; De Luca et al., 2000; Bindi et al., 2001; Dutta et al., 2003; Bora et al., 2013). Astfel, valoarea pantei se situeaza in intervalul obtinut anterior de alti autori ~ 1.1 (e.g., Fletcher et al., 1984; De Luca et al., 2000; Bindi et al., 2001) si ~ 2.5 (e.g., Bakun si Lindh, 1977; Dutta et al., 2003; Bora et al., 2013).

Dependenta momentului seismic de frecventa de colt este prezentata in **Fig. 17** si este aproximata de relatia (14).

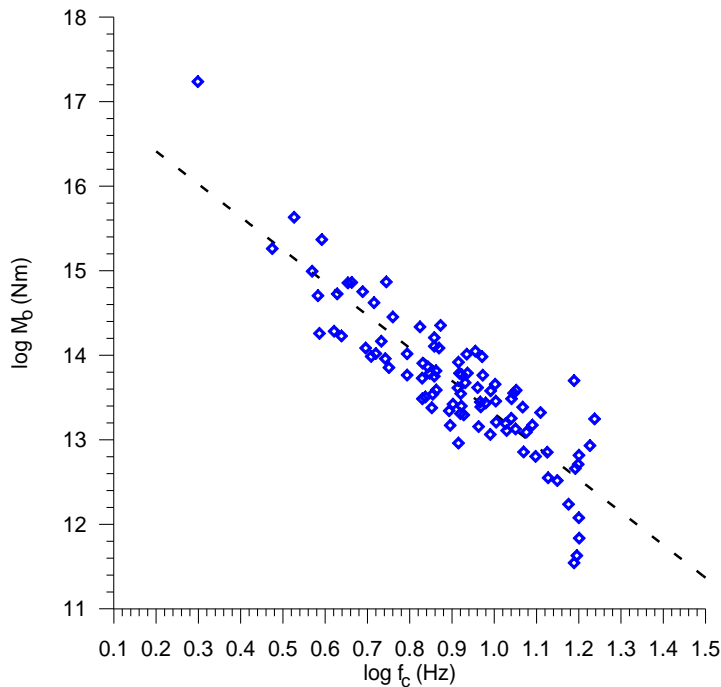


Fig. 17. Dependenta momentului seismic de frecventa de colt. Dreapta de regresie este data de ecuatia (14)

Panta scalarii moment seismic – frecventa de colt (-3.88) este mai mare decat panta teoretica (-3). Diferenta se poate explica prin tendinta de subestimare a frecventei de colt in cazul celor mai mici cutremure deoarece, inevitabil, erorile sunt mai mari la frecvente mai mari din cauza zgomotului prezent in formele de unda.

$$\log M_o = -(3.88 \pm 0.22) \log f_c + (17.19 \pm 0.20) \quad (95 \text{ date}) \quad (14)$$

$$R=0.88, \text{ sigma}=0.40$$

In cazul secventelor crustale produse in Romania in ultimii 30 de ani, valorile caderii de tensiune sunt dispersate pe un interval foarte mare, intre 1 si 100 MPa. Avand in vedere erorile mari implicate, este dificil de tras o concluzie privind caracterul invariant al caderii de tensiune pe falie. Valorile caderii de tensiune sunt sistematic mai

mici in cazul cutremurelor mici si moderate, asa cum s-a observat in mai multe studii (Enescu et al., 1996; Popescu et al., 2001; 2003; Radulian et al. 2014, Placinta et al., 2015), in timp ce pentru evenimentele mai mari caderea de tensiune pare sa se stabilizeze la o valoare constanta (**Fig.18**). Deoarece frecventa de colt la cutremurele mici este foarte probabil subestimata (respectiv dimensiunea sursei este supraestimata) scaderea sistematica a caderii de tensiune la cutremurele mici este pusa pe seama acestor erori sistematice.

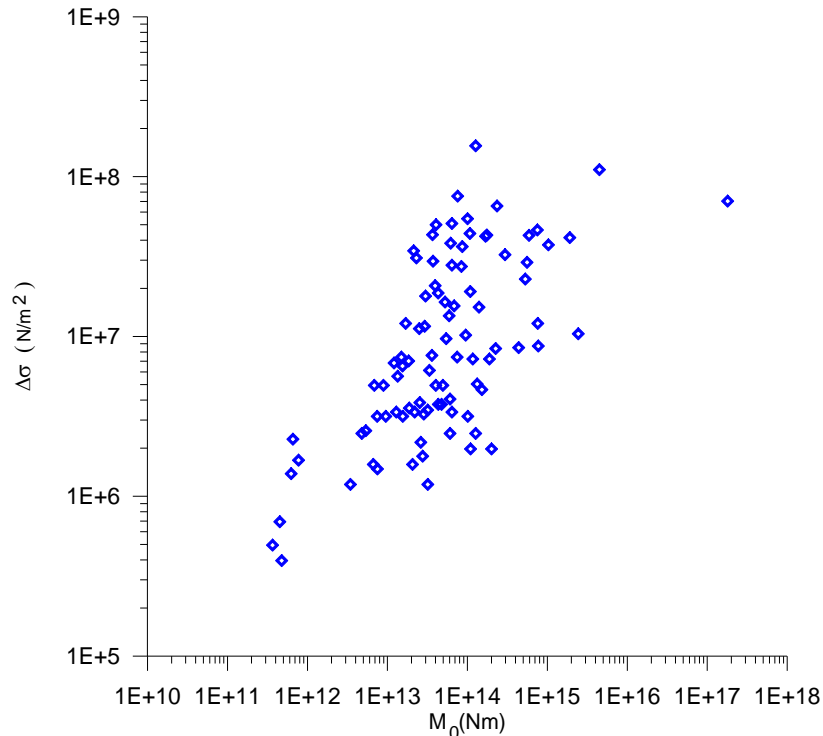


Fig. 18. Dependenta caderii de tensiune de momentul seismic (93 date)

Dependentele duratei sursei si a frecventei de colt de magnitudinea locala sunt reprezentate in **Fig. 19** si **Fig. 20**. Dupa cum era de asteptat, cresterea liniara aproximata prin dreapta de regresie (15) si, echivalent, scaderea liniara aproximata prin dreapta de regresie (16) reflecta faptul ca durata sursei este direct proportionala cu dimensiunea acesteia si implicit cu magnitudinea, in timp ce frecventa de colt este invers proportionala cu dimensiunea sursei si implicit cu magnitudinea.

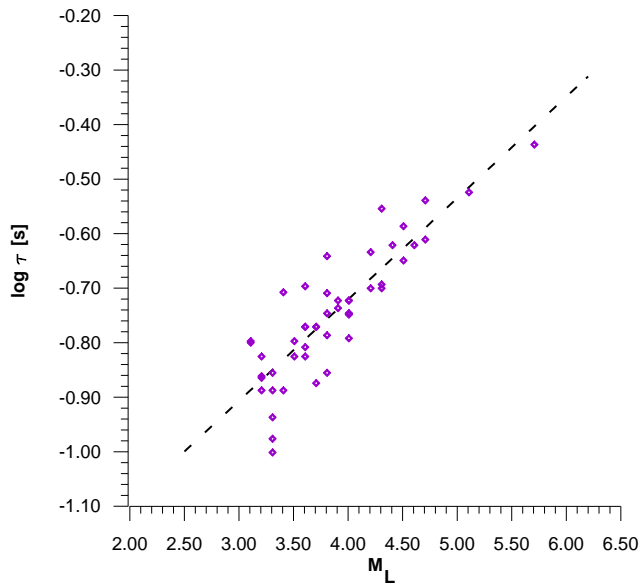


Fig. 19. Dependenta duratei sursei de magnitudinea locala. Dreapta de regresie este data de ecuatie (15)

$$\text{Log } \tau = (0.19 \pm 0.02)M_L - (1.46 \pm 0.06) \quad 49 \text{ date} \quad (15)$$

$$R=0.87, \sigma=0.06$$

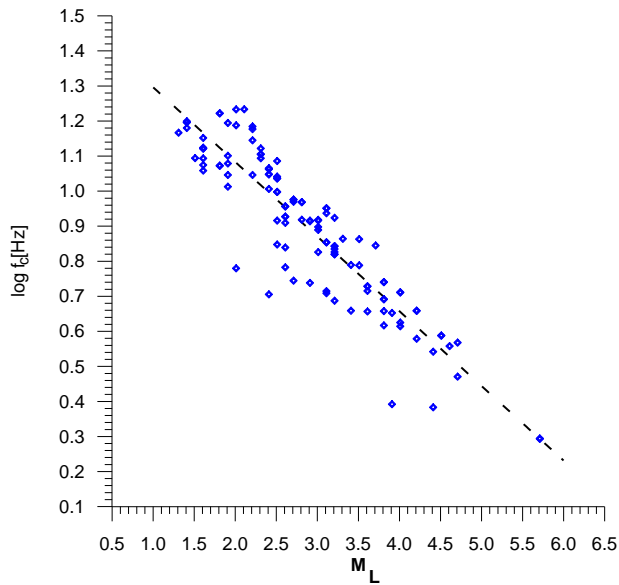


Fig. 20. Dependenta frecventei de colt a sursei de magnitudinea locala. Dreapta de regresie este data de ecuatie (16)

$$\text{Log } f_c = -(0.21 \pm 0.01)M_L + (1.51 \pm 0.03) \quad (121 \text{ date}) \quad (16)$$

$$R=0.91, \sigma=0.09$$

Concluzii

O privire de ansamblu asupra valorilor duratei sursei și a frecvenței de colt de-a lungul întregii arii a Carpatilor Meridionali și a părții de nord a Carpatilor Rasariteni (zona BURAR) este prezentată în **Fig. 19** și **Fig 20** și de liniile de regresie (15) și (16). Am inclus în aceste grafice estimările din acest raport și rezultatele anterioare obținute pentru secvențele de la Râmnicu Sărat, Vrincioaia și Sinaia, Tg-Jiu, Hateg din 2011 și 2013, Caransebes-Mehadia din 2014, Marasesti din 2014, Fagaras-Campulung din 2015, Maramures din 2015 (Popescu, 2000; Popescu and Radulian, 2001; Ardeleanu, 2011; Răileanu et al., 2012, Tugui et al., 2009, Radulian et al., 2014, Placinta et al. 2015).

Eforturile făcute în ultimii ani de a îmbunătăți monitorizarea seismică a României (Enescu et al. 1996; Popescu, 2000; Popescu and Radulian, 2001; Popescu et al., 2011; 2012; Radulian et al., 2014, Placinta et al. 2015) au condus la mărirea setului de date observational și la estimarea parametrilor de sursă pentru un număr însemnat de cutremure care au oferit oportunitatea actualizării caracterizării regionale a seismicității din România.

A fost o adevărată provocare evaluarea parametrilor în cazul cutremurelor mici la distanțe regionale datorită dificultății de a controla fenomenul complex al propagării și efectul amplasamentului și al nivelului scăzut al raportului semnal/zgomot. De aceea metodele relative folosite în acest proiect corectează cel mai bine aceste efecte (Bakun and Bufe, 1975; Frankel, 1982; Mueller, 1985; Mori and Frankel, 1990; Hough et al., 1991).

Rezultatele obținute în cazul zonelor crustale studiate în ultimii 30 de ani arată un model de sursă cu rupere simplă pe arii relativ mici și cu căderi de tensiune relativ mari (în medie 10 MPa). Aceste proprietăți se regăsesc în forma funcției de timp a sursei (**Fig. 4.** și **Fig. 11**).

Relațiile de scalare estimate pentru parametrii de sursă sunt compatibile cu relațiile caracteristice altor zone seismice de pe Glob.

Pentru îndeplinirea în întregime a cerințelor fazei prezente s-a constituit o bază de date cu parametrii de sursă estimați pentru 117 de cutremure crustale (vezi Anexa din faza extinsă).

Bibliografie

Archuleta, R. J., E. C. Cranswick, C. Muller, Spudich, P., 1982. Source parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California, earthquakes sequence. J. Geophys. Res. 87, 4595–4607.

Ardeleanu, L., 2011. Reliability of source parameters of low magnitude crustal earthquakes of Vrancea retrieved by high frequency waveform inversion. Rom. Journ. Phys. 56, 827-841.

Bakun, W. H., Bufe, C. G., 1975. Shear-wave attenuation along the San Andreas Fault zone in Central California. Bull. Seismol. Soc. Am. 65, 439–460.

Bakun, W. H., Lindh, A. G., 1977. Local magnitudes, seismic moments and coda duration for earthquakes near Oroville, California. Bull. Seismol. Soc. Am. 67, 615–629.

Bindi, D., D. Spallarossa, P. Augliera, Cattaneo, M., 2001. Source parameters estimated from the aftershocks of the 1997 Umbria-Marche (Italy) seismic sequence. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 91, 448–455.

Boatwright, J., 1980. A spectral theory for circular seismic sources: simple estimates of source duration, dynamic stress drop, and radiated energy. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 70, 1–28.

Bora, D. K., Baruah, S., Biswas, R., Gogoi, N. K., 2013. Estimation of source parameters of local earthquakes originated in Shillong–Mikir Plateau and its adjoining region of Northeastern India. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 103, 437-446.

De Luca, G., Scarpa, R., Filippi, L., Gorini, A., Marcucci, S., Marsan, P., Milna, G., Zambonelli, E., 2000. A detailed analysis of two seismic sequences in Abruzzo, central Apennines, Italy. *J. Seismol.* 4, 1–21.

Dutta, U., Biswas, N., Martirosyan, A. Papageorgiou, A., Kinoshita, S., 2003. Estimation of earthquake source parameters and site response in Anchorage, Alaska, from strong-motion network data using generalized inversion method. *Phys. Earth Planet. Int.* 137, 13–29.

Enescu, D., Popescu, E., Radulian, M., 1996. Source characteristics of the Sinaia (Romania) sequence of May-June 1993. *Tectonophysics* 261, 39-49.

Fletcher, J., J. Boatwright, L. Haar, L. Hanks, and A. McGarr, Source parameters for aftershocks of the Oroville, California, earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 74, 1101–1123, 1984.

Frankel, A., Precursors to a magnitude 4.8 earthquake in the Virgin Islands: spatial clustering of small earthquakes, anomalous focal mechanisms, and earthquake doublets. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 72, 1277–1294, 1982.

Hough, S. E., Seeber, L., Lerner-Lam, A., Armbruster, G., Guo, H., 1991. Empirical Green's function analysis of Loma Prieta aftershocks. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 81, 1737–1753.

Mori, J., Frankel, A., 1990. Source parameters for small events associated with the 1986 North Palm Springs, California earthquake determined using empirical Green functions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 80, 278-285.

Mueller, C. S., 1985. Source pulse enhancement by deconvolution of an empirical Green's function. *Geophys. Res. Lett.* 12, 33–36.

Placinta, A.O., E.Popescu, F. Borleanu, M. Radulian and M. Popa (2016), Analysis of source properties for the earthquake sequences in the south-western Carpathians (Romania), accepted for publication in *Romanian Reports in Physics*, 68, No. 3.

Popescu, E., 2000. Complex study of the earthquake sequences on the Romanian territory, PhD Thesis, 281p, Institute of Atomic Physics, Bucharest (in Romanian).

Popescu, E., Radulian, M., 2001. Source characteristics of the seismic sequences in the Eastern Carpathians foredeep region (Romania). *Tectonophysics* 338, 325-337.

Popescu, E., Popa, M., Radulian, M., 2003. Efficiency of the spectral ratio method to constrain the source scaling properties of the Vrancea (Romania) subcrustal earthquakes. *Rom. Rep. Phys.* 55, 149-169.

Popescu, E., Neagoe, C., Rogozea, M., Moldovan, I. A., Borleanu, F., Radulian, M., 2011. Source parameters for the earthquake sequence occurred in the Ramnicu Sarat area (Romania) November-December 2007. Rom. Journ. Phys. 56, 265-278.

Popescu, E., Borleanu, F., Rogozea, M., Radulian, M., 2012. Source analysis for earthquake sequence occurred in Vrancea (Romania) region on 6 to 30 September 2008. Rom. Rep. Phys. 64, 571-590.

Radulian, M., E. Popescu, F. Borleanu and M. Diaconescu (2014), Source Parameters of the December 2011 - January 2012 Earthquake Sequence in Southern Carpathians, Romania, Tectonophysics, 623, 23-38.

Răileanu, V., Tătaru, D., Grecu, B., 2012. Crustal models in Romania – I. Moesian platform. Romanian Report Phys. 64, 539-554.

Tugui, A., Craiu, M., Rogozea, M., Popa, M., Radulian, M., 2009. Seismotectonics of Vrancea (Romania) zone: the case of crustal seismicity in the foredeep area. Rom. Rep. Physics 61, 325-334.

Anexa: Parametrii de sursa pentru 117 de cutremure crustale ale secventelor seismice produse in ultimii 10 ani pe teritoriul Romaniei

| Nr. | An/luna/zi | hh:mm | M ₀ (Nm) | r (km) | f _c | Δσ (MPa) | M _w | M _L |
|-----|------------------|----------------|---------------------|--------|----------------|----------|----------------|----------------|
| | Campulung | Fagaras | | | | | | |
| 1 | 2009/04/12 | 14:49 | 3.52e+13 | 126 | 6.98 | 7.7 | 2.9 | 3.3 |
| 2 | 2009/04/12 | 14:58 | 3.27e+13 | 132 | 6.86 | 6.2 | 2.8 | 3.4 |
| 3 | 2010/06/16 | 16:50 | 5.29e+13 | 133 | 6.51 | 9.8 | 3.0 | 3.6 |
| 4 | 2010/11/30 | 17:10 | 9.32e+12 | 109 | 8.47 | 3.2 | 2.5 | 2.9 |
| 5 | 2011/02/06 | 21:35 | 7.27e+13 | 162 | 5.51 | 7.5 | 3.1 | 3.7 |
| 6 | 2011/04/23 | 11:08 | 2.50e+13 | 113 | 9.25 | 34.7 | 2.7 | 2.8 |
| 7 | 2012/03/03 | 03:25 | 6.67e+13 | 123 | 6.95 | 15.7 | 3.0 | 3.1 |
| 8 | 2012/04/09 | 06:33 | 1.18e+13 | 91 | 9.96 | 6.9 | 2.6 | 2.8 |
| 9 | 2012/08/23 | 17:47 | 9.29e+13 | 158 | 5.56 | 10.3 | 3.2 | 3.7 |
| 10 | 2013/02/27 | 02:26 | 3.96e+13 | 70 | 7.18 | 50.5 | 2.8 | 3.0 |
| 11 | 2013/02/27 | 12:30 | 1.85 e+14 | 223 | 3.84 | 7.3 | 3.4 | 4.0 |
| 12 | 2013/02/28 | 00:06 | 5.77e+13 | 123 | 7.17 | 13.6 | 3.1 | 3.3 |
| 13 | 2013/02/28 | 02:59 | 2.92e+13 | 89 | 10.02 | 18.1 | 2.8 | 2.6 |
| 14 | 2013/02/28 | 04:04 | 3.63e+13 | 81 | 10.76 | 29.9 | 3.0 | 2.6 |
| 15 | 2013/02/28 | 04:19 | 1.59e+13 | 99 | 10.59 | 7.2 | 2.7 | 2.7 |
| 16 | 2013/03/03 | 23:22 | 1.46e+13 | 95 | 9.21 | 7.5 | 2.6 | 2.9 |
| 17 | 2013/06/19 | 23:19 | 1.51e+13 | 100 | 7.57 | 6.6 | 2.5 | 2.7 |
| 18 | 2015/12/29 | 18:56 | 2.10E+14 | 255 | 5.10 | 3.2 | 3.2 | 4.3 |
| 19 | 2015/12/29 | 19:22 | 1.22E+12 | 85 | 15.8 | 0.7 | 1.7 | 1.9 |
| 20 | 2015/12/29 | 20:42 | 1.76E+12 | 89 | 14.9 | 0.7 | 1.8 | 2.1 |
| 21 | 2015/12/29 | 21:28 | 3.62E+12 | 99 | 13.3 | 0.4 | 1.8 | 2.1 |
| 22 | 2015/12/29 | 21:49 | 7.00E+11 | 82 | 15.8 | 0.4 | 1.6 | 1.9 |
| 23 | 2015/12/29 | 21:57 | 4.35E+11 | 84 | 15.6 | 0.5 | 1.7 | 1.9 |
| 24 | 2015/12/29 | 23:35 | 3.57E+11 | 68 | 15.4 | 0.5 | 1.6 | 1.7 |
| | Maramures | | | | | | | |
| 1 | 2015/07/19 | 10:56 | 2.55e+13 | 194 | 8.32 | 2.2 | 2.7 | 3.0 |
| 2 | 2015/07/19 | 11:30 | 1.96e+14 | 385 | 4.16 | 2.0 | 3.1 | 3.8 |

| | | | | | | | | |
|----|--------------------|-------------------|----------------|------|-------|-----|-----|-----|
| 3 | 2015/07/19 | 11:49 | 1.52e+13 | 130 | 12.25 | 3.2 | 2.4 | 2.5 |
| 4 | 2015/07/19 | 12:23 | 5.93e+13 | 241 | 6.19 | 2.5 | 2.9 | 3.4 |
| 5 | 2015/07/19 | 13:41 | 3.12e+13 | 236 | 6.73 | 1.2 | 2.7 | 3.0 |
| 6 | 2015/07/19 | 15:14 | 2.69e+13 | 201 | 7.94 | 1.8 | 2.7 | 3.0 |
| 7 | 2015/07/19 | 17:51 | 4.67e+12 | 101 | 15.48 | 2.5 | 2.1 | 2.0 |
| 8 | 2015/07/19 | 17:53 | 6.49e+12 | 128 | 12.47 | 1.6 | 2.3 | 2.3 |
| 9 | 2015/07/19 | 18:58 | 3.36e+12 | 114 | 14.03 | 1.2 | 2.2 | 2.2 |
| 10 | 2015/07/19 | 21:14 | 2.01e+13 | 189 | 8.43 | 1.6 | 2.8 | 3.2 |
| 11 | 2015/07/19 | 21:14 | 1.07e+14 | 305 | 5.22 | 2.0 | 3.0 | 3.6 |
| 12 | 2015/07/20 | 15:29 | 7.31e+12 | 137 | 11.68 | 1.5 | 2.3 | 2.4 |
| 13 | 2015/07/21 | 02:32 | 5.24e+12 | 102 | 15.72 | 2.6 | 2.1 | 1.9 |
| 14 | 2015/07/21 | 03:08 | 1.83e+13 | 149 | 10.92 | 3.6 | 2.4 | 2.5 |
| | Marasesti | | | | | | | |
| 1 | 2014/11/22 | 19:14 | 1.76e+17 | 1075 | 1.98 | 71 | 5.4 | 5.7 |
| 2 | 2014/11/22 | 19:27 | 1.80e+13 | 116 | 17.21 | 7 | 2.1 | 2.1 |
| 3 | 2014/11/22 | 20:24 | 5.92e+13 | 192 | 9.35 | 4 | 2.6 | 2.8 |
| 4 | 2014/11/22 | 20:30 | 1.14e+14 | 200 | 8.98 | 7 | 2.7 | 3.1 |
| 5 | 2014/11/23 | 01:14 | 4.63e+13 | 179 | 10.00 | 4 | 2.4 | 2.5 |
| 6 | 2014/11/23 | 02:21 | 3.11e+13 | 164 | 10.94 | 3 | 2.4 | 2.5 |
| 7 | 2014/11/23 | 04:01 | 4.23e+13 | 180 | 9.09 | 4 | 2.5 | 2.6 |
| 8 | 2014/11/23 | 05:27 | 3.93e+13 | 161 | 11.22 | 5 | 2.3 | 2.4 |
| 9 | 2014/11/23 | 10:16 | 2.78e+13 | 175 | 9.50 | 3 | 2.5 | 2.7 |
| 10 | 2014/11/23 | 23:22 | 2.14e+13 | 140 | 12.81 | 3 | 2.3 | 2.3 |
| 11 | 2014/11/24 | 00:45 | 2.48e+13 | 157 | 11.62 | 4 | 2.3 | 2.4 |
| 12 | 2014/11/25 | 01:52 | 2.21e+14 | 248 | 6.64 | 8 | 2.8 | 3.2 |
| 13 | 2014/12/07 | 21:04 | 2.39e+15 | 510 | 3.89 | 11 | 3.4 | 4.5 |
| 14 | 2015/01/19 | 23:53 | 7.55e+14 | 356 | 5.53 | 9 | 3.1 | 3.8 |
| 15 | 2015/01/20 | 02:52 | 5.12e+13 | 117 | 15.37 | 17 | 2.2 | 2.2 |
| | | | | | | | | |
| 16 | 2014/12/14 | 17:24 | 1.30e+14 | 225 | 7.18 | 5 | 2.7 | 3.1 |
| 17 | 2014/12/14 | 18:24 | 4.83e+13 | 200 | 8.50 | 5 | 2.5 | 2.6 |
| 18 | 2015/01/12 | 06:08 | 7.43e+14 | 329 | 4.58 | 12 | 3.3 | 4.2 |
| 19 | 2015/01/18 | 22:41 | 8.71e+12 | 98 | 16.76 | 5 | 2.0 | 1.8 |
| | | | | | | | | |
| 20 | 2015/06/29 | 22:20 | 4.28e+14 | 304 | 5.17 | 9 | 3.2 | 4.0 |
| 21 | 2015/07/01 | 04:34 | 6.24e+13 | 213 | 7.00 | 3 | 2.8 | 3.2 |
| | | | | | | | | |
| 22 | 2013/03/16 | 00:34 | 1.24e+14 | 304 | 4.94 | 2 | 3.2 | 3.8 |
| 23 | 2013/03/16 | 00:41 | 7.26e+12 | 116 | 13.30 | 3 | 2.5 | 1.6 |
| 24 | 2013/02/13 | 05:18 | 1.18e+13 | 125 | 13.37 | 4 | 2.5 | 2.6 |
| 25 | 2013/03/20 | 19:43 | 1.49e+14 | 286 | 5.38 | 5 | 3.3 | 3.6 |
| 26 | 2013/03/20 | 21:05 | 1.26e+13 | 126 | 11.89 | 3 | 2.5 | 1.8 |
| 27 | 2013/03/21 | 03:07 | 6.68e+12 | 97 | 15.79 | 5 | 2.3 | 1.4 |
| | | | | | | | | |
| 28 | 2012/08/23 | 07:56 | 6.95e+13 | 238 | 7.03 | 3 | 3.0 | 3.4 |
| 29 | 2012/08/23 | 08:58 | 5.18e+12 | 106 | 15.9 | 2 | 2.3 | 2.3 |
| | Depresiunea | Caransebeş | Mehadia | | | | | |
| 1 | 2014/10/31 | 23:00 | 1.94e+15 | 228 | 3.71 | 72 | 4.1 | 4.7 |
| 2 | 2014/10/31 | 23:05 | 1.10e+13 | 78 | 10.20 | 10 | 2.5 | 2.4 |
| 3 | 2014/10/31 | 23:41 | 2.36e+13 | 95 | 8.28 | 12 | 2.7 | 1.6 |

| | | | | | | | | |
|----|--------------------|--------------|-----------|-----|-------|------|-----|-----|
| 4 | 2014/10/31 | 23:08 | 8.23e+12 | 76 | 11.93 | 8 | 2.5 | 1.6 |
| 5 | 2014/10/31 | 23:11 | 8.55e+12 | 65 | 14.25 | 14 | 2.5 | 2.5 |
| 6 | 2014/11//01 | 05:37 | 6.59e+12 | 57 | 11.50 | - | 2.4 | 1.6 |
| 7 | 2014/11/01 | 07:16 | 8.62e+12 | 88 | 10.35 | 6 | 2.5 | 1.9 |
| 8 | 2014/11/01 | 12:10 | 2.04e+12 | 62 | 14.75 | 4 | 2.1 | 1.3 |
| 9 | 2014/11/02 | 04:17 | 3.36e+12 | 64 | 12.68 | 6 | 2.2 | 1.9 |
| 10 | 2014/11/02 | 19:39 | 4.77e+12 | 69 | 13.30 | 6 | 2.3 | 1.4 |
| 11 | 2014/11/05 | 08:42 | 2.95e+12 | 74 | 12.46 | 3 | 2.2 | 1.6 |
| 12 | 2014/11/18 | 04:27 | 4.55e+12 | 76 | 12.05 | 5 | 2.4 | 1.9 |
| 13 | 2014/12/03 | 10:34 | 5.90e+12 | 74 | 12.48 | 6 | 2.4 | 1.5 |
| 14 | 2014/12/15 | 09:24 | 3.16e+12 | 54 | 15.22 | 9 | 2.2 | 1.4 |
| | Depresiunea | Hateg | | | | | | |
| 1 | 2011/03/24 | 11:02 | 1.24e+14 | 70 | 7.37 | 158 | 3.1 | 3.5 |
| 2 | 2011/03/25 | 12:01 | 1.06e+14 | 134 | 6.19 | 19 | 3.2 | 3.5 |
| 3 | 2011/03/25 | 15:12 | 1.72e+14 | 120 | 4.33 | 44 | 3.3 | 4.0 |
| 4 | 2013/09/08 | 13:00 | 5.18e+14 | 214 | 3.81 | 23 | 3.6 | 4.2 |
| 5 | 2013/09/08 | 13:22 | 1.87e+15 | 269 | 2.97 | 42 | 4.0 | 4.7 |
| 6 | 2013/10/31 | 06:10 | 7.38 e+13 | 75 | 6.94 | 77 | 3.0 | 2.6 |
| 7 | 2013/09/08 | 14:21 | 1.37e+13 | 73 | 11.18 | 15 | 2.5 | 2.2 |
| 8 | 2013/09/09 | 15:30 | 2.44 e+13 | 98 | 7.08 | 11 | 2.7 | 2.5 |
| | Tg-Jiu | | | | | | | |
| 1 | 2012/01/01 | 23:57 | 4.39e+15 | 270 | 3.37 | 112 | 4.5 | 4.5 |
| 2 | 2012/01/02 | 00:17 | 5.45e+14 | 217 | 4.23 | 29 | 3.8 | 4.0 |
| 3 | 2012/01/02 | 00:23 | 7.35e+14 | 202 | 4.48 | 47 | 3.9 | 3.9 |
| 4 | 2011/12/30 | 07:30 | 9.80e+13 | 98 | 9.28 | 55 | 3.3 | 3.2 |
| 5 | 2012/01/01 | 20:00 | 2.90e+14 | 164 | 6.50 | 33 | 3.7 | 3.6 |
| 6 | 2012/01/02 | 00:04 | 1.31e+13 | 96 | 10.64 | 6 | 2.8 | 2.6 |
| 7 | 2012/01/02 | 00:06 | 3.86e+13 | 97 | 9.76 | 21 | 3.1 | 2.7 |
| 8 | 2012/01/02 | 00:08 | 1.05e+14 | 107 | 8.57 | 45 | 3.4 | 3.0 |
| 9 | 2012/01/02 | 00:12 | 1.65e+13 | 91 | 10.06 | 12 | 2.8 | 2.5 |
| 10 | 2012/01/02 | 00:15 | 8.44e+13 | 110 | 8.19 | 37 | 3.3 | 3.1 |
| 11 | 2012/01/02 | 01:08 | 1.65e+14 | 127 | 7.18 | 43 | 3.5 | 3.2 |
| 12 | 2012/01/02 | 01:33 | 5.78e+14 | 190 | 5.28 | 43 | 3.9 | 3.8 |
| 13 | 2012/01/02 | 01:45 | 2.30e+14 | 123 | 7.43 | 66 | 3.6 | 3.2 |
| 14 | 2012/01/02 | 01:51 | 6.26e+13 | 106 | 8.60 | 28 | 3.2 | 3.0 |
| 15 | 2012/01/02 | 02:15 | 2.85e+13 | 104 | 8.38 | 12 | 3.0 | 2.8 |
| | Vecinatatea | Array | | | | | | |
| 1 | 2011/06/24 | 13:08 | 1.01e+15 | 227 | 3.72 | 37.8 | 3.8 | 4.6 |
| 2 | 2011/06/24 | 13:06 | 6.25e+13 | 81 | 8.24 | 51.5 | 3.1 | 2.9 |
| 3 | 2011/06/24 | 13:31 | 6.03e+13 | 88 | 8.33 | 38.7 | 3.1 | 2.8 |
| 4 | 2011/06/24 | 16:18 | 3.58e+13 | 71 | 8.16 | 43.8 | 2.9 | 2.6 |
| 5 | 2011/06/25 | 00:13 | 4.20e+13 | 99 | 8.29 | 18.9 | 2.9 | 3.0 |
| 6 | 2011/06/25 | 01:43 | 8.21e+13 | 109 | 6.74 | 27.7 | 3.1 | 3.2 |
| 7 | 2011/06/30 | 21:21 | 2.25e+13 | 68 | 7.79 | 31.3 | 2.8 | 3.0 |
| 8 | 2011/06/30 | 21:22 | 2.08e+13 | 64 | 8.28 | 34.7 | 2.8 | 2.9 |
| 9 | 2011/07/01 | 22:20 | 1.35e+13 | - | - | - | 2.6 | 2.5 |
| | Ramnicu | Sarat | | | | | | |
| 1 | 2007/11/29 | 18:50 | 7.40e+14 | 387 | 2.48 | 9.0 | 3.1 | 3.9 |
| 2 | 2007/11/29 | 18:54 | 4.02e+14 | 194 | 5.10 | 2.5 | 2.3 | 2.4 |
| 3 | 2007/12/01 | 03:14 | 3.36e+14 | 163 | 6.09 | 4.0 | 2.5 | 2.6 |

| | | | | | | | | |
|---|------------|-------|----------|-----|------|-----|-----|-----|
| 4 | 2007/12/01 | 07:55 | 4.54e+14 | 198 | 4.54 | 2.6 | 2.5 | 2.7 |
|---|------------|-------|----------|-----|------|-----|-----|-----|

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare

Prin rezultatele prezentate referitoare la parametrizarea sursei cutremurelor secventelor din zonele Campulung-Fagaras si Maramures, sinteza relatiilor de scalare ale parametrilor sursei seismice crustale din ultimii 30 de ani si parametrii de sursa determinati pentru 117 de cutremure crustale consideram ca **obiectivele fazei au fost indeplinite in totalitate** si ca **angajamentele asumate au fost** atinse, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru aceasta faza.

Propuneri pentru continuarea proiectului:

In această etapă, **obiectivul a fost indeplinit integral** iar **rezultatele obtinute sunt in concordanta cu tintele propuse** venind in sprijinul implementarii proiectului. Cu toate acestea, activitatile trebuie continuate, calculele trebuie realizate in mod permanent si rezultatele imbunatatite, pe masura aparitiei de noi secvente de cutremure pe teritoriul Romaniei. De asemenea, vor fi actualizate datele cu parametrii de sursa ai cutremurelor de adancime intermediara din zona Vrancea.

Indicatori: Rezultatele obtinute in acesta faza au fost si vor fi prezentate la conferinte stiintifice nationale si internationale.

Conferinte

EGU 2018, European Geosciences Union General Assembly, 9 - 13 aprilie 2018

1. Mihai A., Petrescu L., Radulian M., Lithospheric structure across the Trans-European Suture Zone in Eastern Carpathians from surface wave dispersion (EGU2018-419, poster)
2. Borleanu F., Petrescu L., Popa M., Radulian M., Enescu B., The missing craton edge: crustal structure of the East European Craton edge beneath the Carpathian Orogen as revealed by double-difference tomography (EGU2018-1662, poster)

IBWAP-10-13 iulie 2018, Constanta-Prezentari acceptate

1. Oros, E., A.O. Placinta, M. Diaconescu, M. Popa, I.A. Moldovan, Active stress and strain fields in the southeastern border of Pannonian Basin. case study: western seismogenic zones of Romania, poster.
2. Placinta, A.O., M. Radulian, F. Borleanu, E. Popescu, Seismicity clustering properties in space and time in front of the South-eastern Carpathians bend zone, poster.

3. Radulian, M., A. Bala, L. Ardeleanu, E. Popescu, A.O. Placinta, D. Toma-Danila, E.Oros, Revised catalog of earthquake mechanisms for the events occurred in Romania until the end of XX century – RCEMXX.

ESC 2-9 September, 2018, Malta-Prezentari acceptate

1. E. Oros, A. O. Placinta, M. Popa, M. Diaconescu, I. A. Moldovan, Seismic sequences tipology and stress-strain pattern in the southern part of Pannonian Basin. case study: the western seismogenic zones of Romania, (poster).

2. A.O. Placinta, E., Popescu, M. Radulian and F. Borleanu (poster). Source characteristics of the crustal moderate earthquakes occurred in the last 30 years in the Carpathians area, Romania, (poster).

3.Radulian M., Borleanu F., Popescu E., Placinta A. O., Space-time clustering and source characteristics in the crustal seismicity in front of the South-Eastern Carpathians Arc bend.

4.Rogozea M., Borleanu F., Radulian M., Popa M., Space-time variation of low magnitude seismic events occurred in the north-western part of Romania as revealed by waveforms cross-correlation and spectral analysis.

5.Radulian M., Borleanu F., Dinu C., Munteanu I., Oros E., Popa M., Seismicity and seismotectonic characterization of the western branch of the South Carpathians in Romania.

Publicatii - aparute si in curs de aparitie la reviste cu referenti cotate ISI:

Bălă A., Radulian M., Popescu E., Toma-Danilă D., Catalogue of earthquake mechanism and correlation with the most active seismogenic zones in south-eastern part of Romania, in Vacareanu R., Ionescu C. (eds) Seismic Hazard and Risk Assessment. Springer Natural Hazards. Springer, 23 - 37, 2018.

Radulian M., Bala A., Popescu E., Toma-Danila D., Earthquake mechanism and characterization of seismogenic zones in south-eastern part of Romania, *Annals of Geophysics* 61 (1), SE108, doi: 10.4401/ag-7443, 2018.

Popescu E., Radulian M., Bala A., Toma-Danila D., Earthquake mechanism in the Vrancea subcrustal source and in the adjacent crustal seismogenic zones of the South-Eastern Romania, *Romanian Reports in Physics*, 2018 (in press).

Responsabil proiect

Dr. Emilia Popescu

Responsabil proiect

Dr. Iren Adelina Moldovan