

EVOLUȚIA UNOR PARAMETRI AI ACTIVITĂȚII SEISMICE, ÎN RELAȚIE CU PRODUCEREA CUTREMURELOR PUTERNICE DIN REGIUNEA VRANCEA

LUMINIȚA ARDELEANU, OLIVIA BAZACLIU

*Institutul Național de Cercetare–Dezvoltare pentru Fizica Pământului
C. P. MG-2, 077125, București*

1. INTRODUCERE

Existența unui catalog al cutremurelor produse în regiunea Vrancea, omogen din punctul de vedere al estimării magnitudinii locale și al adâncimii hipocentrale, permite în momentul de față o analiză, cu grad ridicat de confidență, a evoluției în timp a unor indicatori ai activității seismice: coeficientul b al relației frecvență–magnitudine pentru recurența cutremurelor și energia seismică eliberată.

Coeficientul b din relația Gutenberg – Richter pentru recurența cutremurelor este un parametru larg studiat în toate zonele seismogene; valorile lui b au fost puse în relație cu stresul tectonic – un stres mare induce valori mici ale parametrului și vice versa – sau cu omogenitatea mediului – un mediu heterogen implică valori mari ale lui b , iar un mediu omogen valori mici (Mogi, 1962a,b).

Capacitățile predictive ale acestui indicator al activității seismice au fost analizate sistematic în regiunile generatoare de cutremure majore, cu efecte distrugătoare. Studiile au condus la rezultate contradictorii și au provocat multe discuții, unii seismologi susținând o scădere a valorilor lui b , iar alții, dimpotrivă, o creștere a acestora înaintea cutremurelor puternice (Rikitake, 1976, 1979; Li *et al.*, 1978; Ma, 1978; Robinson, 1979; Ding, 1980; Huang, Feng, 1980; Li *et al.*, 1980; Smith, 1981; Zhang, Song, 1981).

Cercetări asupra variației temporale și cu adâncimea a coeficientului b în segmentul subcrustal al sursei seismice vrâncene, realizate atât pe serii de cutremure moderate, cât și pe serii de cutremure slabe, au relevat faptul că șocurile puternice sunt precedate de maxime accentuate ale valorilor parametrului. Astfel, analiza seriilor de evenimente cu magnitudini $M_s \geq 4,0$, produse în perioada 1935–1988 (Radu *et al.*, 1988; Radu, Ardeleanu, 1989), a pus în evidență maxime pronunțate ale funcției $b(t)$ înaintea cutremurelor puternice din 1945 ($M_s = 6,5$ și $M_s = 6,0$), 1977 ($M_s = 7,2$) și 1986 ($M_s = 7,0$), iar studiul evenimentelor cu magnitudine $M_s \geq 1,9$ produse în perioada iunie 1977 – mai 1988 (Radu, Ardeleanu,

1989) a semnalat un maxim notabil – atât din punctul de vedere al amplitudinii, cât și al duratei – al funcției $b(t)$ înaintea seismului major din 30 august 1986 ($M_s = 7,0$).

Evoluția în timp a eliberării energiei seismice furnizează indicii de importanță deosebită asupra dinamicii unei zone seismogene.

Studiul energiei eliberate prin cutremure a atras atenția asupra unui minim pronunțat al funcției $E_{\Delta T}(t)$ (energia seismică eliberată într-un interval de timp ΔT) înaintea șocului din 30 august 1986, în regiunea replicilor acestuia (intervalul de adâncimi 125–150 km); minimul este bine evidențiat pentru ferestre mobile cu dimensiuni între 1 și 13 luni (Ardeleanu, Popescu, 1991). O analiză mai detaliată (Ardeleanu, 1992) a relevat faptul că minimul energetic apare clar definit pentru ferestre mobile de până la 30 de luni, în domeniul de adâncimi 130–145 km.

Prin contrast, cutremurul puternic din 30 mai 1990 nu a fost precedat de o scădere a energiei eliberate, nici în zona replicilor sale ($70 \leq h \leq 100$ km), nici într-un interval de adâncimi mai restrâns în jurul hypocentrului; dimpotrivă, s-a constatat o ușoară creștere, din punct de vedere energetic, a activității seismice înaintea evenimentului major (Ardeleanu, 1992).

Având la dispoziție un set de date deosebit de omogen, pentru o perioadă de peste 20 de ani, lucrarea de față își propune o analiză de detaliu a variației în timp a coeficientului b și a energiei seismice eliberate, urmărind în ce măsură fluctuațiile în valorile celor doi parametri pot fi puse în relație cu producerea cutremurelor vrâncene subcrustale puternice.

2. ANALIZA DATELOR

Setul de date are la bază catalogul elaborat de Trifu *et al.* (1990), adus la zi.

Adâncimea cutremurelor vrâncene subcrustale este evaluată printr-o procedură originală, pe baza diferențelor dintre timpii de sosire ai undelor S și P (t_{s-p}) la stațiile Vrâncioaia (VRI) și Muntele Roșu (MLR). Pentru calibrarea curbelor $h = f(t_{s-p})$ s-au utilizat 281 evenimente cu $h > 60$ km, localizate prin metoda JHD (Oncescu, 1988) și având eroarea statistică $\sigma_h = 4$ km. Metoda propusă permite estimarea adâncimii hipocentrale a cutremurelor subcrustale detectabile, cu abatere standard de 5 km.

Magnitudinea locală a cutremurelor considerate în studiul de față este determinată cu relația propusă de Trifu și Radulian (1991):

$$M_L = a_1 + 2 \log \tau + 0,082 t_{s-p} \quad (1)$$

unde τ reprezintă durata totală a înregistrării, t_{s-p} diferența dintre timpii de sosire ai undelor S și P, iar constanta a_1 este calculată pentru stațiile Vrâncioaia

(VRI) și Muntele Roșu (MLR): $a_1^{\text{VRI}} = -1,20$, $a_1^{\text{MLR}} = -1,30$. Valorile pentru a_1 au fost obținute prin calibrare cu magnitudinile locale estimate cu formula lui Lahr *et al.* (1974), utilizând setul de date menționat mai sus: 281 evenimente cu $h > 60$ km, localizate prin metoda JHD (Oncescu, 1988), cu eroarea în estimarea adâncimii $\sigma_h = 4$ km. Magnitudinea locală evaluată cu relația (1) are o eroare $\sigma_{ML} < 0,1$ pentru întregul domeniu $M_L > 2,0$.

Cele două metode simple de estimare a adâncimii (Trifu *et al.*, 1990) și magnitudinii (Trifu, Radulian, 1991) cutremurelor subcrustale, bazate pe înregistrările a numai două stații seismice, care au funcționat continuu în perioada investigată, asigură o omogenitate deosebită a setului de date, indispensabilă realizării analizei propuse în studiul de față.

Catalogul este complet pentru magnitudini $M_L \geq 3,0$.

Pentru calculul parametrului b s-a aplicat metoda probabilității maxime (Utsu, 1964):

$$b = \log e / (\bar{M} - M^*) \quad (2)$$

unde \bar{M} reprezintă magnitudinea medie, iar M^* magnitudinea minimă în seria respectivă de cutremure. Deviația standard a coeficientului b pentru o secvență de n cutremure este b/\sqrt{n} , iar intervalul de confidență de 95% este $2b/\sqrt{n}$.

$E_{\Delta T}$ – energia seismică eliberată în intervalul de timp ΔT – a fost evaluată prin suma energiilor cutremurelor reprezentative (evenimente cu magnitudine locală mai mare decât 3,0) produse în fereastra temporală respectivă.

Pentru estimarea energiei s-a utilizat relația (Richter, 1958):

$$\log E = 11,8 + 1,5 M_s \quad (3)$$

iar magnitudinea M_s a fost calculată din magnitudinea locală M_L (Båth, 1983):

$$M_s = -2,14 + 1,43 M_L - 0,018 M_L^2 \quad (4)$$

3. REZULTATE

Variația temporală $b(t)$ a fost determinată pentru ferestre mobile, cu dimensiuni alese astfel încât să asigure erori rezonabile în estimarea parametrului.

Pentru analiza seriilor de cutremure slabe, intervalul de timp considerat este ianuarie 1982 – martie 2005, iar magnitudinea minimă 3,0. Rezultatele obținute pentru serii de 50 și respectiv 100 de cutremure sunt prezentate în figurile 1 și 2.

În primul caz se constată că maximele cele mai pronunțate apar înaintea evenimentelor majore din 1986 și 1990. Alte două maxime notabile ($b > 1,0$) sunt urmate de cutremure relativ puternice, cu magnitudini locale de 6,2 și respectiv 5,9.

Evenimentul din 27 octombrie 2004, cu magnitudine locală 6,0, nu este precedat de un maxim semnificativ.

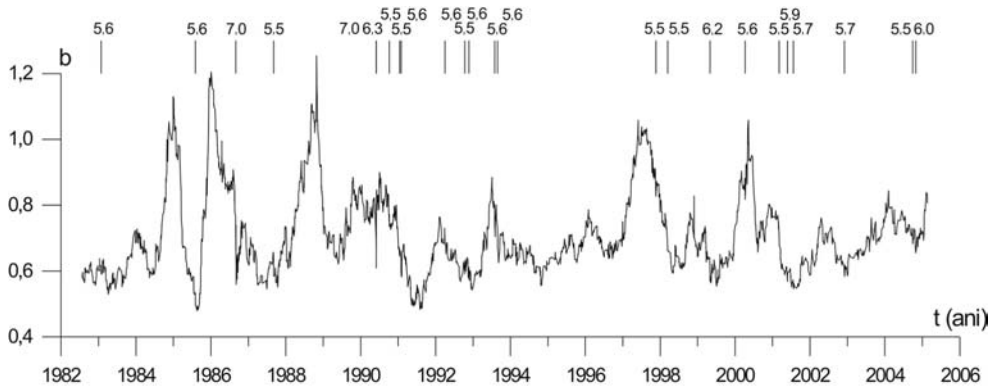


Fig 1 – Variația temporală a parametrului b ; cutremure cu magnitudinea $M_L \geq 3,0$ produse în perioada 1982–2005; fereastră de 50 de evenimente. Barele verticale indică șocurile subcrustale cu magnitudine locală mai mare decât 5,5.

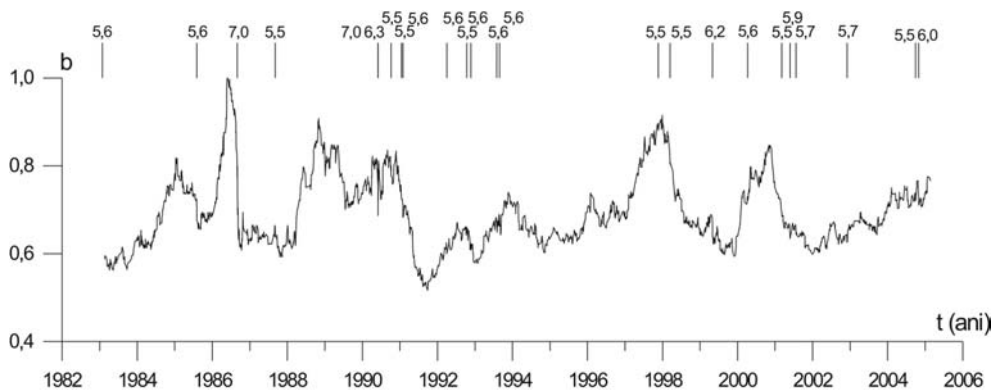


Fig 2 – Variația temporală a parametrului b ; cutremure cu magnitudinea $M_L \geq 3,0$ produse în perioada 1982 – 2005; fereastră de 100 de evenimente. Cutremurele subcrustale cu magnitudine locală mai mare decât 5,5 sunt indicate cu bare verticale.

Pentru seriile de 100 de evenimente, maximul cel mai accentuat este situat înaintea cutremurului major din 30 august 1986. Maxime importante (valori ale lui $b > 0,9$) preced, de asemenea, evenimentele din 30 mai 1990 (magnitudine locală 7,0) și 28 aprilie 1999 (magnitudine locală 6,2).

Analiza seriilor de șocuri moderate a fost realizată pentru perioada 1974–2005, pragul ales pentru magnitudine fiind $M_L = 4,5$. Rezultatele evidențiază faptul că maximele principale ale funcției $b(t)$ apar înaintea seismelor majore din 1986 și

1990 (figura 3). Se constată, de asemenea, o scădere semnificativă a valorilor parametrului b după producerea celor două cutremure puternice din 30 și,

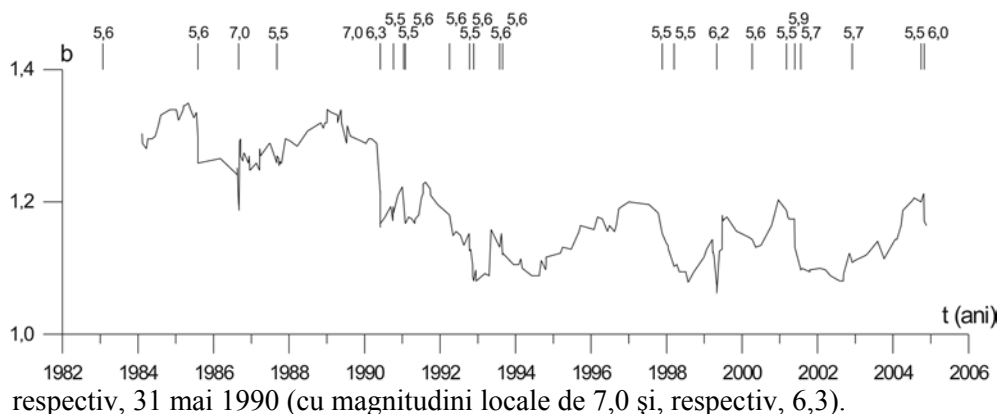


Fig 3 – Variația temporală a parametrului b ; cutremure cu magnitudinea $M_L \geq 4,5$ produse în perioada 1974 – 2005; fereastră de 100 de evenimente.

Eliberarea energiei seismice a fost studiată în detaliu, în întreaga regiune seismogenă subcrustală. Au fost investigate diferite intervale de adâncime, de grosimi diferite (grosimea minimă de 10 km, în acord cu precizia localizării hipocentrului) și s-au utilizat ferestre de timp mobile cu durată între o lună și trei ani. S-a urmărit evidențierea unor variații anormale ale funcției $E_{\Delta T}(t)$, în relație cu producerea cutremurelor puternice – cu magnitudine locală mai mare decât 6 (tabelul 1).

Tabelul 1

Cutremurele vrâncene cu magnitudine locală mai mare decât 6, produse în perioada ianuarie 1982 – martie 2005

Nr.	Data	Ora h : min : sec	Adâncimea (km)	Magnitudinea locală
1	30. 08. 1986	21 : 28 : 37	138	7,0
2	30. 05. 1990	10 : 40 : 06	90	7,0
3	31. 05. 1990	00 : 17 : 48	85	6,3
4	28. 04. 1999	08 : 47 : 56	149	6,2
5	27. 10. 2004	20 : 34 : 38	101	6,0

Minimul energetic care precede evenimentul din 30 august 1986, semnalat de Ardeleanu și Popescu (1991) și Ardeleanu (1992), este bine pus în evidență cu setul

de date considerat în lucrarea de față, în intervalul de adâncimi 130–150 km. Două exemple sunt prezentate în figura 4.

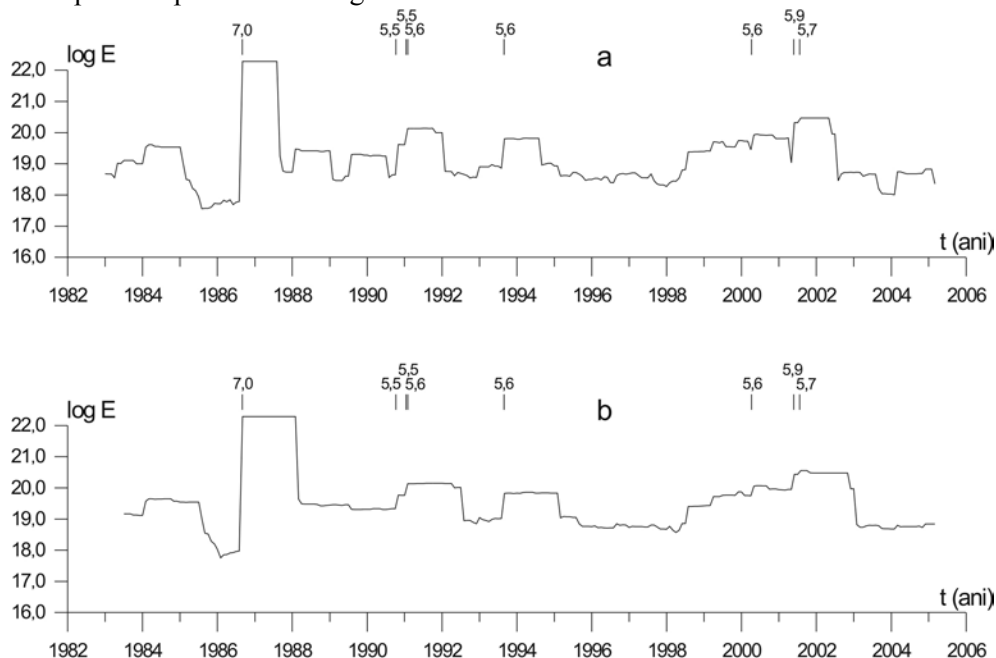


Fig. 4 – Variația în timp a energiei seismice eliberate ($\log E$) în intervalul de adâncimi 130 – 145 km: a – fereastră de 12 luni; b – fereastră de 18 luni. Sunt indicate evenimentele moderate și puternice (cu magnitudine $M_L \geq 5,5$) produse în domeniul de adâncimi analizat.

Cele două cutremure puternice din 30 și 31 mai 1990 nu au fost precedate de o reducere a energiei seismice eliberate; un minim energetic semnificativ, care s-a încheiat cu aproximativ 19 luni înainte de producerea celor două seisme, poate fi însă observat în zona replicilor acestora. Figurile 5–7 ilustrează variația funcției $E_{\Delta T}(t)$ pentru diferite domenii de adâncime (între 75 și 105 km) și ferestre temporale.

Cutremurul din 28 aprilie 1999 urmează unui minim local al funcției $E_{\Delta T}(t)$, în intervalul de adâncimi 140–160 km, dar un minim semnificativ ca durată și amplitudine este pus în evidență cu aproximativ 16 luni înainte de producerea evenimentului cu magnitudine 6,2 (figurile 8 și 9).

O scădere a energiei seismice eliberate se observă și înaintea cutremurului din 27 octombrie 2004, cu un minim pronunțat, bine definit în domeniul 75–110 km (figurile 7 și 10).

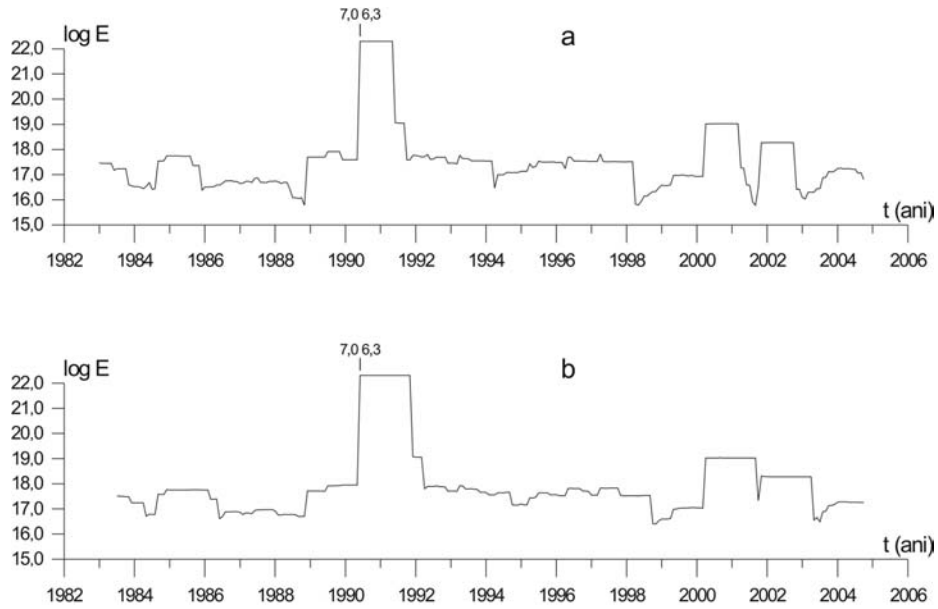


Fig. 5 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în intervalul de adâncimi 80 – 95 km:
a – fereastră de 12 luni; b – fereastră de 18 luni. Barele verticale indică evenimentele cu $M_L \geq 5,5$

din domeniul de adâncimi considerat.

Fig. 6 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în domeniul de adâncimi 80 – 100 km:

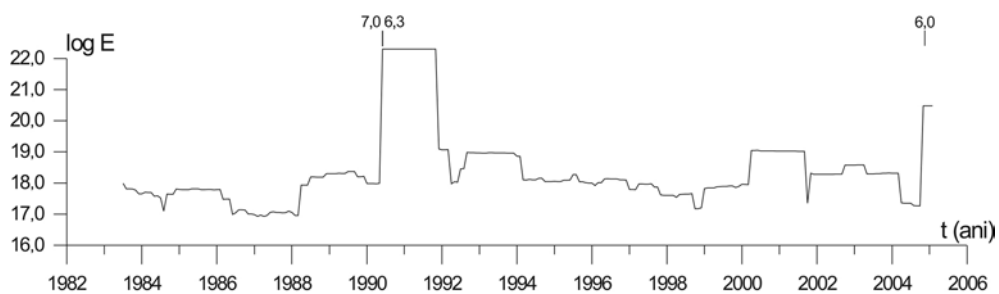
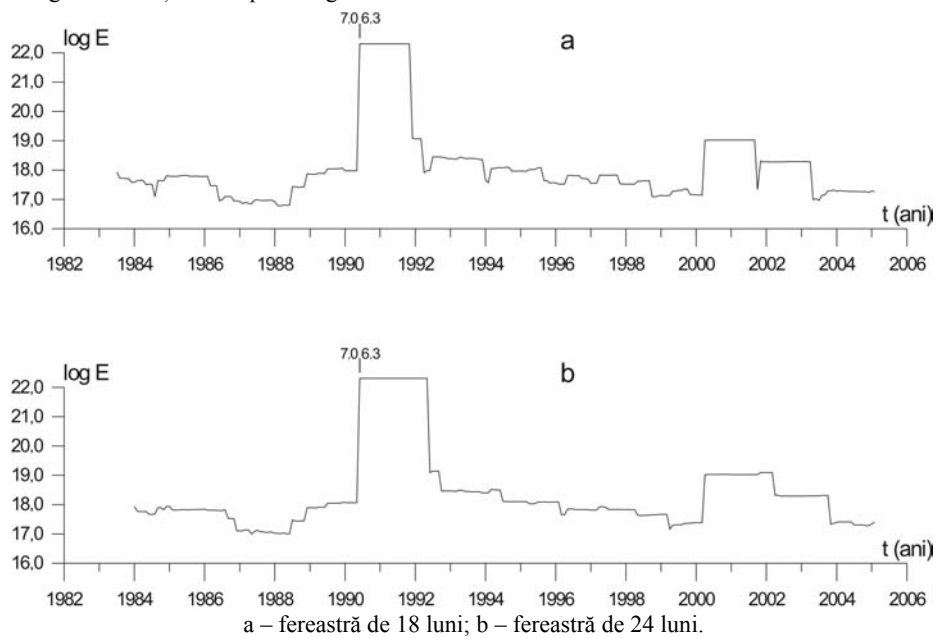
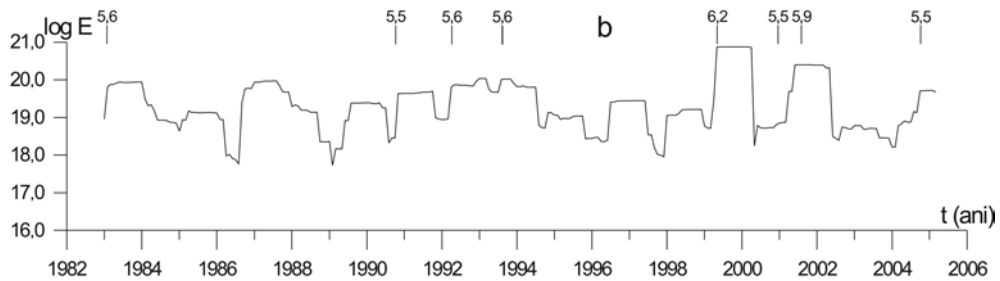
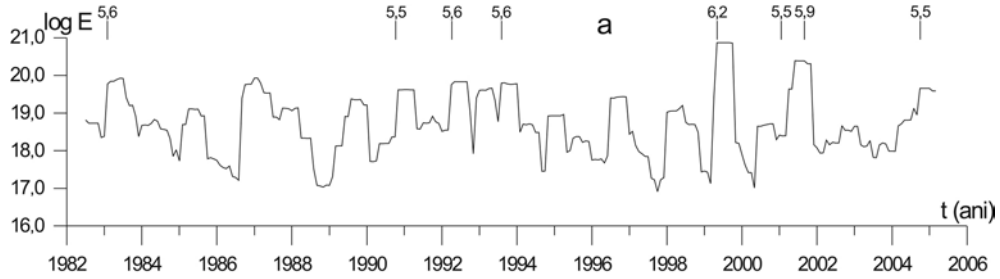
Fig. 7 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în intervalul de adâncimi 75 – 105 km:
fereastră de 18 luni.

Fig. 8 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în domeniul de adâncimi 140 – 155 km:



a – fereastră de 6 luni; b – fereastră de 12 luni.

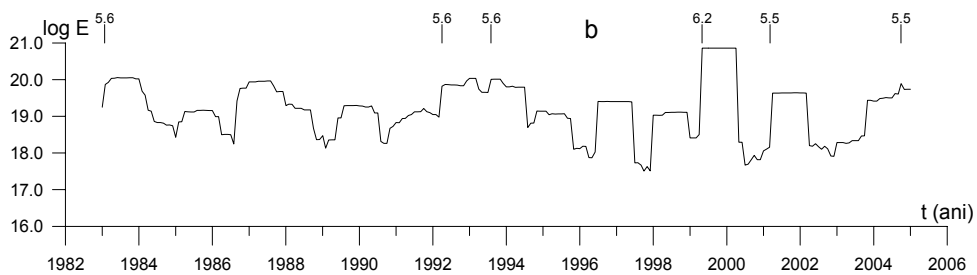
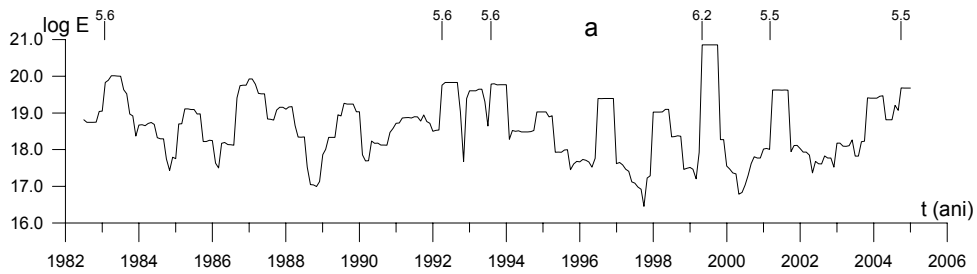


Fig. 9 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în intervalul de adâncimi 145 – 160 km:
a – fereastră de 6 luni; b – fereastră de 12 luni.

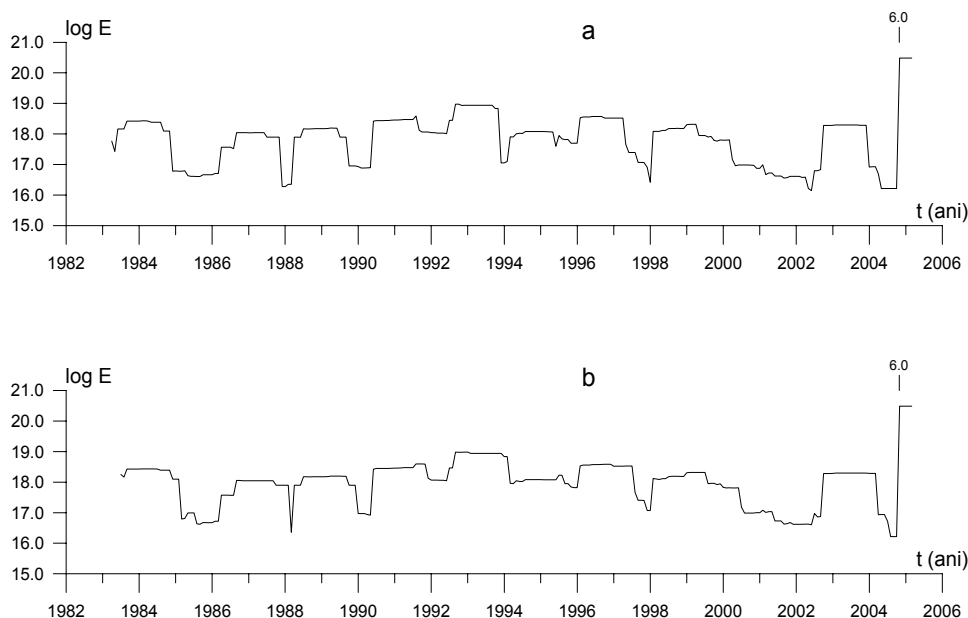


Fig. 10 – Variația în timp a energiei seismice eliberate în intervalul de adâncimi 95 – 110 km:
a – fereastră de 15 luni; b – fereastră de 18 luni.

4. CONCLUZII

Lucrarea de față realizează un studiu de detaliu asupra evoluției în timp a coeficientului b din relația Gutenberg – Richter și a energiei seismice eliberate, în intervalul 1982–2005, pe baza unui set de date deosebit de omogen.

Rezultatele nu evidențiază o relație directă, simplă între fluctuațiile valorilor celor doi parametri analizați și producerea cutremurelor vrâncene subcrustale cu magnitudine locală mai mare decât 6. Astfel, nici amplitudinea maximelor funcției $b(t)$ și nici durata și amplitudinea minimelor funcției $E_{\Delta T}(t)$ nu se corelează cu magnitudinea evenimentelor puternice care le urmează. De asemenea, intervalul de timp dintre observarea valorilor anormale ale celor doi parametri și producerea unui șoc puternic rămâne incert.

Totuși, observarea unor regularități înaintea cutremurelor de magnitudine mare – maxime ale valorilor lui b și minime ale energiei eliberate – recomandă monitorizarea celor doi indicatori ai activității seismice, evoluția lor în timp putând furniza informații de interes pentru predicția seismelor majore din regiunea Vrancea.

Primit în redacție: 25 martie 2005
 Acceptat pentru publicare: 27 mai 2005

BIBLIOGRAFIE

- ARDELEANU, L. (1992), *The release of the seismic energy related to the occurrence of the Vrancea strong earthquakes*. Rom. J. Phys., **37**, 921–928.
- ARDELEANU, L., POPESCU, E. (1991), *The seismic energy released – possible precursor of the large intermediate depth events of Vrancea, Romania*. Rev. roum. Géophys., **35**, 15–20.
- BÁTH, M. (1983), *Introduction in Seismology*. Birkhäuser Verlag, Basel and Stuttgart, 395 pp.
- DING, W.J. (1980), *Physical basis of earthquake prediction by the b-value*. Acta Seismologica Sinica, **2**, 4, 378–387.
- HUANG, D.Y., FENG, H. (1981), *Time and space scanning of parameters of seismicity over a broad region before strong earthquakes*. Acta Seismologica Sinica, **3**, 3, 283–291.
- LAHR, J.C., PAGE, R.A., THOMAS, J.A. (1974), *Catalogue of earthquakes in South-Central Alaska, April – June 1972*. U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 74–648.
- LI, Q.L., CHEN, J.B., YÜ, L., HAO, B.L. (1978), *Time and space scanning of the b-value – A method for monitoring the development of catastrophic earthquakes*. Acta Seismologica Sinica, **21**, 101–125.
- LI, Z.Q., LIU, Y.M., HE, J.H., TIAN, K.Y. (1980), *A preliminary study of the process of development and occurrence*. Acta Seismologica Sinica, **2**, 4, 388–394.
- MA, H.C. (1978), *Variations of the b-values before several large earthquakes occurred in North China*. Acta Geophysica Sinica, **21**, 101–125.
- MOGI, K. (1962a), *Study of the elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relation to earthquake phenomena*. Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, **40**, 125–173.
- MOGI, K. (1962b), *Magnitude – frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and same problems in earthquakes*. Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, **40**, 831–853.
- RADU, C., ARDELEANU, L. (1989), *Analysis of temporal variation of d-ratio, b-coefficient, and $e_{\Delta T}$ -average energy, as precursors of Vrancea intermediate earthquakes*. Proceedings, XXI General Assembly of the European Seismological Commission, Sofia, Bulgaria, 1988, Sofia, 508–514.
- RADU, C., APOLOZAN, L., ȚENEĂ, L. (1988), *Contributions to the prediction of the Vrancea intermediate earthquakes*. Recent seismological investigations in Europe, Proceedings of the XIX General Assembly of the European Seismological Commission, Moscow, 1984, eds. I.L. Nersesov, J.M. Van Gils and N.V. Kondorskaya, Nauka, Moscow, 174–179.
- RICHTER, L. F. (1958), *Elementary Seismology*. W. H. Freeman, San Francisco, 768 pp.
- RIKITAKE, T. (1976), *Earthquake Prediction*. Elsevier, Amsterdam.
- RIKITAKE, T. (1979), *Classification of earthquake precursors*. Tectonophysics, **54**, 293–309.
- ROBINSON, R. (1979), *Variation of energy release, rate of occurrence and b-value of earthquakes in the Main seismic region, New Zealand*. Phys. Earth Planet. Inter., **18**, 209–220.
- SMITH, W.D. (1981), *The b value as an earthquake precursor*. Nature, **289**, 136–139.
- TRIFU, C. I., RADULIAN, M. (1991), *Frequency – magnitude distribution of earthquakes in Vrancea. Relevance for a discrete model*. J. Geophys. Res., **96**, 4301–4311.
- TRIFU, C. I., RADULIAN, M., POPESCU, E. (1990), *Characteristics of the intermediate depth seismicity in Vrancea region*. Rev. Geofisica, **46**, 75–82.
- UTSU, T. (1964), *On the statistical formula showing the magnitude – frequency relation of earthquakes*. Quart. J. Seism., **28**, 79–88.

ZHANG, J.Z., SONG, L.Y. (1981), *On the method of estimating b-value and its standard errors*. Acta Seismologica Sinica, **3**, 3, 292–301.

Mulțumiri. Studiul de față a fost realizat cu suport de la Ministerul Educației și Cercetării, Programul CERES, Proiect Prioritar 10 / 22.11.2002.

**TIME EVOLUTION OF SEISMIC ACTIVITY PARAMETERS
RELATED TO THE OCCURRENCE OF THE STRONG EARTHQUAKES
OF VRANCEA REGION**

LUMINIȚA ARDELEANU, OLIVIA BAZACLIU

(ABSTRACT)

Taking advantage of the availability of an earthquake catalogue for the Vrancea region, very homogeneous – from the point of view of both local magnitude and hypocenter depth estimates – for a period longer than 20 years, the temporal variation of the coefficient b from the Gutenberg – Richter relation for earthquake recurrence, and the time evolution of the seismic energy release within the zone of subcrustal foci are analyzed, aiming to find out how the fluctuations of the values of these indicators of the seismic activity are related to the occurrence of the strong earthquakes.

Cuvinte cheie: regiunea seismică Vrancea, seismicitate subcrustală, coeficientul b , eliberarea de energie seismică.