

## Върху геодинамиката на северобългарските сеизмични зони

Валентина Протопопова, Иван Георгиев, Емил Ботев, Димитър Димитров

Национален институт по Геофизика, Геодезия и География, БАН, ул. Акад. Г.Бончев, бл.3, София, България, e-mail: valia.pr@gmail.com

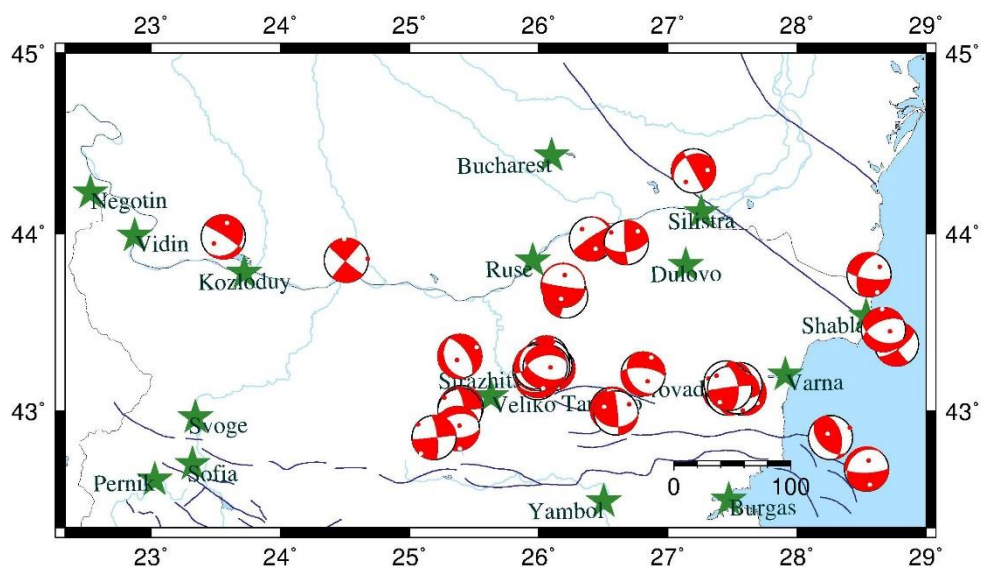
**Резюме:** Публикацията акцентува върху сеизмологичните аспекти на геодинамиката на сеизмичните зони в Северна България. Събрани са всички досегашни решения на механизми на огнищата на земетресения за изследвания регион и са определени възможно най-голям брой нови механизми на слаби земетресения. Използван е методът на първото встъпление на Р-вълната. Определен е тензорът на регионалните напрежения на базата на наличните фокални механизми, за всички възможни сеизмогенни зони в северна България. Резултатите са съпоставени с други наблюдения и хипотези.

**Ключови думи:** Геодинамика, сеизмичност, напрежения

България се разделя на няколко големи морфотектонски области, които се различават съществено една от друга по геолого-историческо развитие и строеж (Бончев, 1955), именно пет основни области – Мизийска плоча, Балканиди, Южни Карпати, Краищици и Родопски. Към Мизийската плоча се отнася Дунавската равнина (цяла северна България – северно от Стара планина) и цялата Влашка низина. Това е най-голямата равнина на Балканския полуостров, (Бончев, 1955).

Територията на страната се характеризира с висока степен на земетръсна опасност, като тази оценка се дава на база големия брой силни и слаби земетресения, от древни времена до сега (Вацов, 1902; Григорова и др., 1979; Христосков и др., 1979 и др.). По тази причина изследването на геодинамичната обстановка в района е от съществена важност. За целите на настоящото изследване са събрани всички досегашни решения на механизми на огнищата на земетресения и са определени възможно най-голям брой нови механизми на слаби земетресения за северна България.

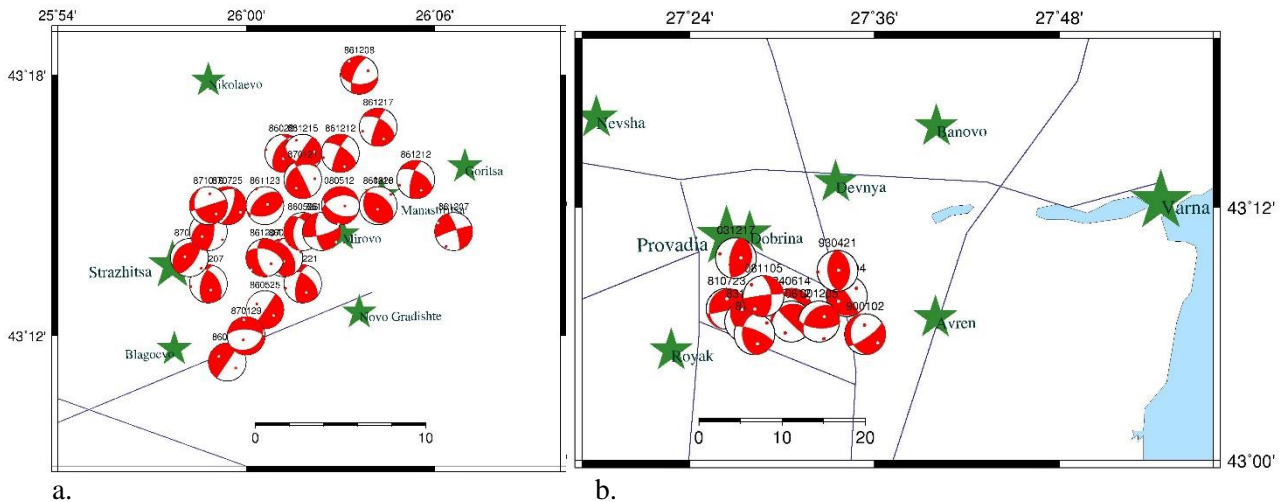
За определяне на фокалните механизми е използван методът на първото встъпление на Р-вълната и програмата FOCMEC (Focal Mechanism Determinations, Snoke, 2009). На фиг.1. са представени 59 решения за механизми (43 събрани от различни статии и каталози и 16 новоопределени) на по-силни земетресения за периода 1981-2014 г., станали по севернобългарските земи и в близост до границите на България. Като цяло земетресенията с определени фокални механизми на огнищата са разпръснати по цяла северна България, като се забелязва по-голям брой механизми в областта на гр. Стражица и гр. Провадия.



Фиг. 1. Териториално разпределение на 59 фокални механизма в Северна България, Тектонска карта: Barrier et al. (2004), Georgiev et al.(2007), Георгиев и др. (1985), Боков и Чемберски (1987), Botev et al. (2007).

В западната част на разглеждания регион се забелязва ниския брой на определени фокални механизми, едва два – разседно-отседен и чисто отседен механизъм. Северозападна България е именно районът с най-ниска сеизмичност в страната. Ниският брой налични фокални механизма са недостатъчни за определяне на поле на напреженията в района.

В централната част на северна България (Горнооряховска сеизмична зона) са определени общо 41 фокални механизма, като възседният и разседният тип са приблизително еднакъв брой (фиг.1.). През последните повече от 25 години зоната се характеризира със сравнително ниска сеизмичност. Едва 9 от наличните 41 броя фокални механизма са определени след 1990 г., всички останали събития са станали в периода 1980-1989 г., като основният брой е реализиран 1986-1987 г. по Стражишката разломна система. Нодалните плоскости на събитията за сеизмична зона Горна Оряховица са с големи вариации, поради което не може да се говори за обединяващ тренд в техните азимутални направления и наклони.



Фиг. 2. Териториално разпределение на: а. 27 фокални механизма в огнищна зона Стражица. б. 11 фокални механизма в сеизмична зона Североизточна България, огнище Провадия. Тектонска карта: BARRIER et al. (2004), Георгиев и др. (1985), Боков и Чемберски (1987), Botev et al. (2007).

По североизточното продължение на Ресенско-Масларевския ров (Стражишката депресия), през 1986 г. се реализира дълга земетръсна поредица с максимален магнитуд  $M_s=5.7$  (Onicescu et al., 1990). В тази огнищна зона преобладаващият вид разломно движение е възседния фокален механизъм, но значима част от решенията на механизмите (10 от общо 27 на брой) са разседно-отседни (фиг.2.a.). Забелязва се известно североизток-югозапад направление на поне една от нодалните равнини, като ъглите на затъване са с големи вариации.

Само две от единайсетте определени фокални механизма за огнище Провадия са от разседен тип (фиг. 2.b.). Някои от механизмите притежават известна отседна компонентата. Не се забелязва общ тренд в направлението на нодалните плоскости, нито в направлението и наклоните на Р- и Т-осите на локалните напрежения.

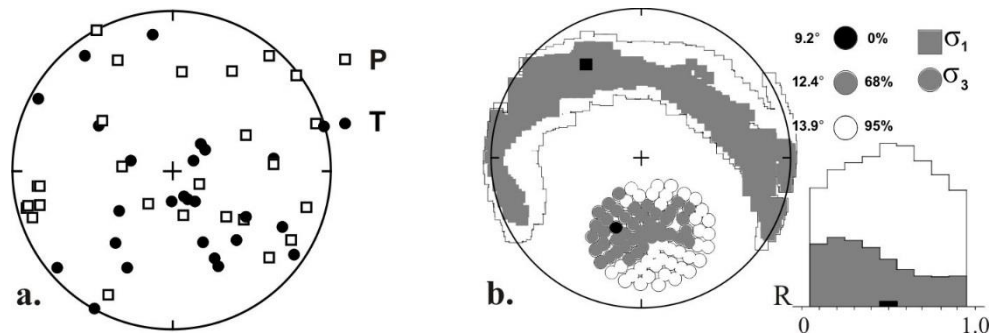
В акваторията на Черно море, по Калиакренската разломна система са определени едва 5 фокални механизма – два разседно-отседни, два възседно-отседни и един отседно-възседен механизъм. Основната причина за ниския брой решения в Черно море е големият азимутален GAP (максимален ъгъл без станции), който се разкрива от изток. Няма ясен азимутален тренд на разпространение на нодалните равнини, осите на опън и натиск и съответстващите им ъгли на затъване.

Посредством прилагане на инверсия метод разработен от Gephart and Forsyth (1984) и Gephart (1990) – програмата FMSI (focal mechanisms stress inversion), чрез множество от различни по вид решения за механизми на огнището на земетресения, (е определено регионалното поле на напреженията за отделните огнищни зони.

Използваната методика дава ориентацията на главните напрежения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  (съответно максималното, междинното и минималното напрежение на компресия) и относителната им големина, чрез параметъра R ( $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$ ), а също така дава реалистична оценка за грешката  $\Theta$  (misfit) на решението. Параметърът R ( $0 \leq R \leq 1$ ) позволява теоретически да се определи преобладаващият режим на напреженията.

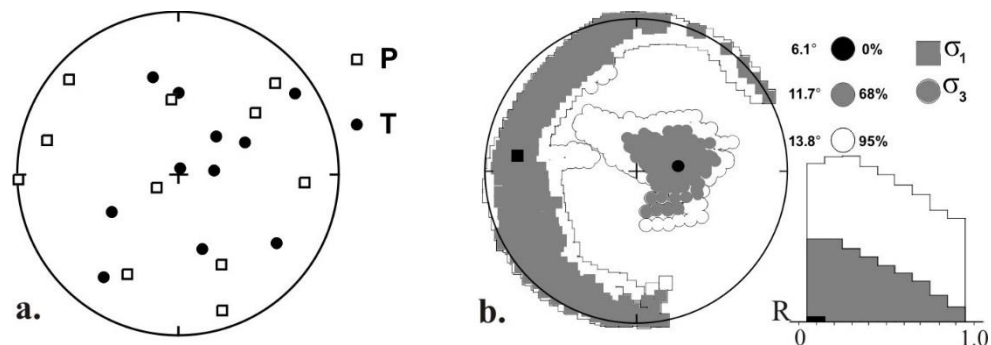
Броят на определените фокални механизми в огнищна зона Стражица е 27, но при провеждане на изчисленията с всички налични механизми се получава грешка  $\Theta > 11^\circ$ . За намаляване на грешката е

изключени фокалният механизъм на единственото земетресение, което не попада в периода 1986-1987. Така грешката е намалена на  $9.2^\circ$ .



Фиг. 4. Долна фокална полусфера на Вулф: а. Проекции на осите на опън Т и натиск Р на 26 бр. фокални механизма в сеизмична зона Горна Оряховица, огнищна зона Стражица; б. Решение за полето на регионалните напрежения с диаграма на 68% и 95% доверителни интервали.

На фиг. 4.а. е показано разпределението на осите на опън и натиск на използваните 26 броя фокални механизми, като не се забелязва групиращ параметър на осите. От диаграмата на 68% доверителен интервал се вижда, че с най-голяма вероятност параметъра R заема стойностите 0.2-0.3 (фиг. 4.б.), което се обяснява с големия брой възседни фокални механизми. Най-достоверна е стойността на  $R = 0.5$ , което означава, че има равенство на трите главни напрежения с посоки (pl/az)  $\sigma_1 = 29^\circ/330^\circ$ ,  $\sigma_2 = 26^\circ/83^\circ$ ,  $\sigma_3 = 49^\circ/199^\circ$ .



Фиг. 5. Долна фокална полусфера на Вулф: а. Проекции на осите на опън Т и натиск Р на 11 бр. фокални механизма в сеизмична зона Североизточна България, огнищна зона Провадия; б. Решение за полето на регионалните напрежения с диаграма на 68% и 95% доверителни интервали.

На фиг. 5.а. е показано хаотичното разпределение на осите на опън и натиск на използваните 11 броя фокални механизми в областта на Мировското солно находище. Решението за полето на регионалните напрежения показва силно доминиращ субхоризонтален компресионен режим  $R = 0.1$  в западно направление - посоки на напреженията (pl/az)  $\sigma_1 = 22^\circ/277^\circ$ ,  $\sigma_2 = 5^\circ/185^\circ$ ,  $\sigma_3 = 67^\circ/84^\circ$ , фиг. 5.б. От диаграмата на 68% и 95% доверителни интервали се вижда, че параметърът R заема с най-голяма вероятност стойността 0.1, което значи, че големината на междинното нормално напрежение е почти равна на тази на максималното ( $\sigma_2 \approx \sigma_1$ ), т.е. в зоната има режим на двуосна девиаторна компресия.

Основният резултат от анализа на фокалните механизми и тензорите на регионалните геодинамични напрежения по сеизмологични данни е преобладаването на слаб компресионен режим в севернобългарските земи. Екстензионните оси са с големи ъгли на затъване надвишаващи  $50^\circ$  и направление север-североизток – юг-югозапад. Ъглите на затъване на максимална компресия са в порядъка  $20^\circ$ - $30^\circ$ , в изток-западно направление. Обяснение за доминиращият компресионен режим в западна посока, може да се потърси в тектонския натиск от изток на плочата с океански тип земна кора, предизвикан от меридионалното отваряне на кората в централната част на Черно море (Botev et al., 2002).



## References

- Barrier, E., N. Chamot-Rooke, G. Giordano, 2004. Geodynamic map of the Mediterranean, Sheet 1- Tectonics and Kinematics, CGMW, France.
- Botev, E., D. Slejko, G. Bressan, B. Bragato, 2002. Stress and strain modeling of the Bulgarian area from the focal mechanisms. 3<sup>th</sup> Balkan Geophysical Congress and Exhibition, 24-28 June 2002, Sofia, Book of abstracts, 329-330.
- Botev, E., D. Slejko, G. Bressan, B. Bragato, R. Glavcheva, 2007. In the geodynamics of Bulgarian lands through seismological data. Monograph on the Geodynamics of the Balkan Peninsula within the Framework of CERGOP-2. Warszawa, 2007, pp 149-168.
- Gephart, J. W. and D. W. Forsyth, 1984. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquakes focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.*, 89, 9305 – 9320.
- Gephart, J. W., 1990. FMSI: A FORTRAN program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor. *Comput. Geosci.*, 16, 953-989.
- Georgiev, I., D. Dimitrov, T. Belijashki, L. Pashova, S. Shanov, G. Nikolov, 2007. Geodetic constraints on kinematics of southwestern Bulgaria from GPS and leveling data, Geological Society, London, Special Publications, 2007; 291: 143-157.
- Oncescu, M. C., C. I. Trifu, T. Hristova, S. Simeonova, D. Solakov, 1990. A detailed analysis of the Strazhitsa (Bulgaria) seismic sequences of 1986: location, focal mechanism and regional stress tensor. *Tectonophysics*, 172, 121-134.
- Snoke J. A, 2009. FOCMEC: FOCal MECanism Determinations. VirginiaTech, Blacksburg, VA, USA, 2009, Manual.
- Боков, П. и Хр. Чемберски, 1987. Геоложки предпоставки за нефтогазността на Североизточна България. Техника, София, с. 332.
- Бончев, Ек., 1955. Геология на България. Наука и изкуство, София.
- Вацов, С., 1902. Земетресенията в България през XIX век. Ц.М.См., С., Д.П., 1-93
- Георгиев, Г.В., П. Д. Мандев, С. П. Вълчева, Т. К. Минчева, С. К. Желев, 1985. Нефтогазосна перспектива на мезозойските седименти в Провадийската синклинала и Горночифлишкия хорст. Год. На Софийски университет, Геология, 78, кн.3, 150-170.
- Григорова, Е., Д. Сокурова, Л. Христосков, С. Рижикова, 1979. Каталог на земетресенията в България за периода 1900-1977 г. Фонд на Геофиз. и-т БАН, София.
- Христосков, Л., Д. Сокурова, С. Рижикова, 1979. Нов каталог на земетресенията в България за периода I в.пр.н.е.-XIX в., Фонд на Геофиз. и-т БАН, София.

## Geodynamics of Northern Bulgarian seismic zones

*Valentina Protopopova, Ivan Georgiev, Emil Botev, Dimitar Dimitrov*

NIGGG – BAS: [valia.pr@gmail.com](mailto:valia.pr@gmail.com)

Key words: Geodynamics, Seismicity, Stress

**Abstract:** The paper presents seismological aspects on the geodynamics of the seismic zones in Northern Bulgaria. All available focal mechanisms of earthquakes for observed area are collected and the largest numbers of new solutions of stronger earthquakes are determined. The method of P-wave first motion polarities for beach balls determination is used. The stress tensor inversion method in all seismogenic zones in northern Bulgaria is used. The results are compared with other observations and hypothesis for same areas.