

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕИЗМОГЕННИЯ ВИТОШКИ РАЗЛОМ С КОСМИЧЕСКИ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРАНЕ

Димитър Димитров

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: clgdimi@abv.bg*

Ключови думи: *Витошки разлом, GNSS, InSAR данни*

Резюме: *За изследване на сеизмогенният Витошки разлом са приложени космическите технологии GNSS и InSAR. Получените от изследванията с GNSS резултати показват движения около Витошкия разлом от $2-3 \pm 1$ mm/y, спрямо стабилна Евразия. Тези резултати са съвместими с определените с методът InSAR потъвания в софийския грабен, както и с данните от геодезическия мониторинг с прецизна геометрична нивелация и с регионалните тектонски хипотези. Малките стойности на скоростите на регионалните движения, ограниченият брой данни и тяхното разположение спрямо разлома, не позволиха еднозначно да се определят чрез моделиране с обратната геофизична задача, сеизмотектонските параметри на Витошкия разлом. Мониторингът с космическите технологии GNSS и InSAR в района ще осигури данни за активността на Витошкия разлом, за оценка на тектонските напрежения и сеизмичния риск.*

STUDY OF SISMOGENIC VITOCHA FAULT BY SPACE TECHNOLOGY AND MODELING

Dimitar Dimitrov

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: clgdimi@abv.bg*

Key words: *Vitocha fault, GNSS, InSAR data*

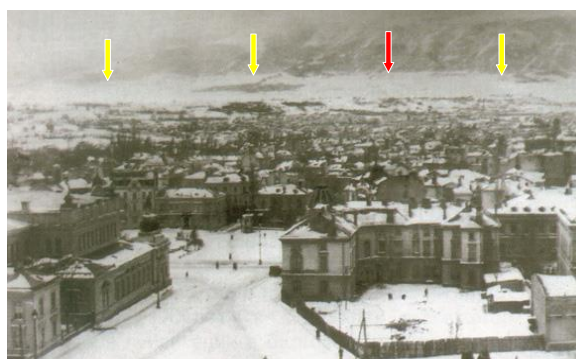
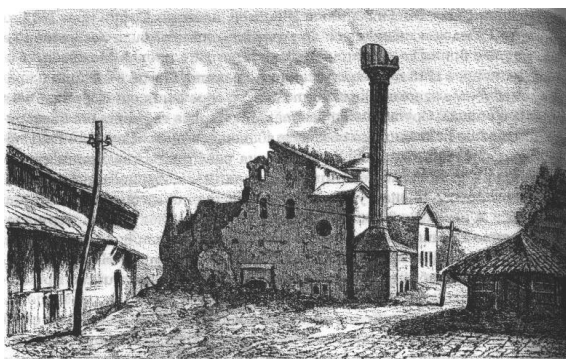
Abstract: *We study seismogenic Vitocha fault by GNSS and InSAR data. Analysis the data of GNSS stations around Vitocha fault present the movements the $2-3 \pm 1$ mm/y from Eurasia. This result is according with results of InSAR study of Sofia graben, with results of leveling monitoring data and tectonic hypothesis. Investigation of obtained results by model of Okada/82 don't present very clear result because the data is non significative. Monitoring by space technology GNSS and InSAR in the region obtained results for activate of Vitocha fault for control of tectonic stress end seismic risk.*

Описание на зоната и на сеизмогенния Витошки разлом

Районът на юг и югоизток от град София е определен като изявена в структурно-геоморфоложко, тектонско и сеизмично отношения сеизмогенна зона, където могат да се очакват силни земетресения. Тази сеизмогенна зона се свързва с т. нар. "Витошки разлом", разделящ Витошкият долнопалеогенски плутон от потъналия под неогенски утайки, сложен разбит Софийски грабен [1, 2].

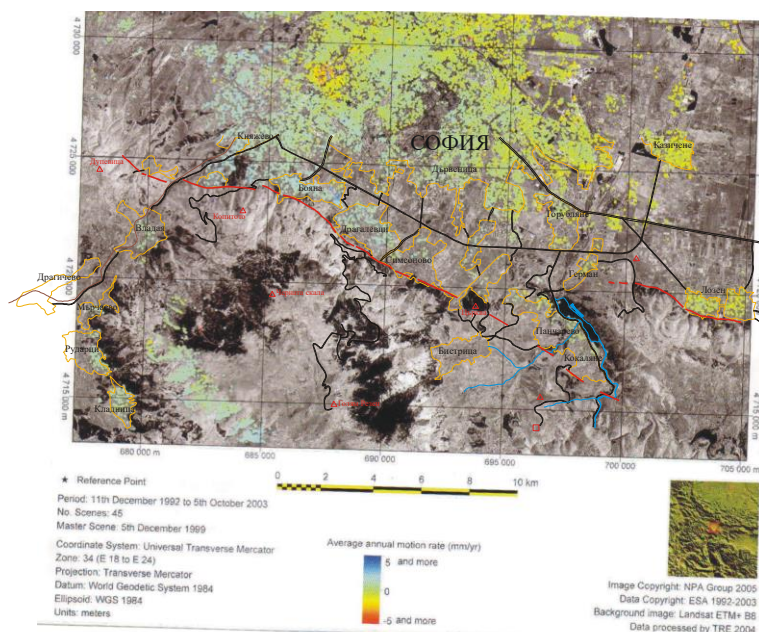
Сеизмичната активност на Софийската зона е обект на активен интерес поради голямата концентрация на жилищно и промишлено строителство и голямата плътност на населението в района. Историческият преглед на земетръсната активност [2, 3] показва, че в района са ставали силни и разрушителни земетресения. Трусовете от 23 април 1818 г. (Io=VII-VIII) и от 18 (30) септември 1858 г. са най-разрушителните през последните два века и сравнително добре описани. Земетресението от 1858 г. недвусмислено се свързва с разломната линия югоизток-югоапад в подножието на Витоша - т. нар. Витошки разлом, по който е наблюдавано разкъсване на земната повърхност и са се появили нови термални извори

(Филаретов, 1858, Цариградски вестник). Главната пукнатина имала вертикално отместване около 50 см и дължина около 3 км над с. Драгалевци.



Фиг. 1. Църквата “Св. София” в гр. София, пострадала при земетресението от 1858 г. (Ф. Каниц, 1871) и Витошкият разлом в подножието на Витоша (снимка 1928 г.). Стрелките указват местоположението на разлома, а червената стрелка - районът на максималното теренно разкъсване.

Софийската зона е разтърсена отново от трусове от април 1904 г. в долината на река Струма, и от по-слаби локални събития през 1907, 1909, 1910, 1917, 1922, 1942, 1946, 1947, 1951, 1952, 1961, 1983, 1986, 2008 [2,3]. Повечето от трусове в района на град София имат близки координати на хипоцентровете и се свързват с южните части на Софийската котловина и активността на Витошкия разлом. На база на данни от земетресенията за 150-годишен период [3, 4] установяват, че *“общата сеизмичност на района е доста интензивна и се свързва с активността на Витошкия плутон или непосредствените му подножия, а дълбочината на земетресенията е 8-9 км”*. По-новите изследвания [2] показват че, най-силните събития с $M > 3$ се локализират по Витошкия разлом, и че броят на трусове с $M > 2$ не надвишава 25 на година.



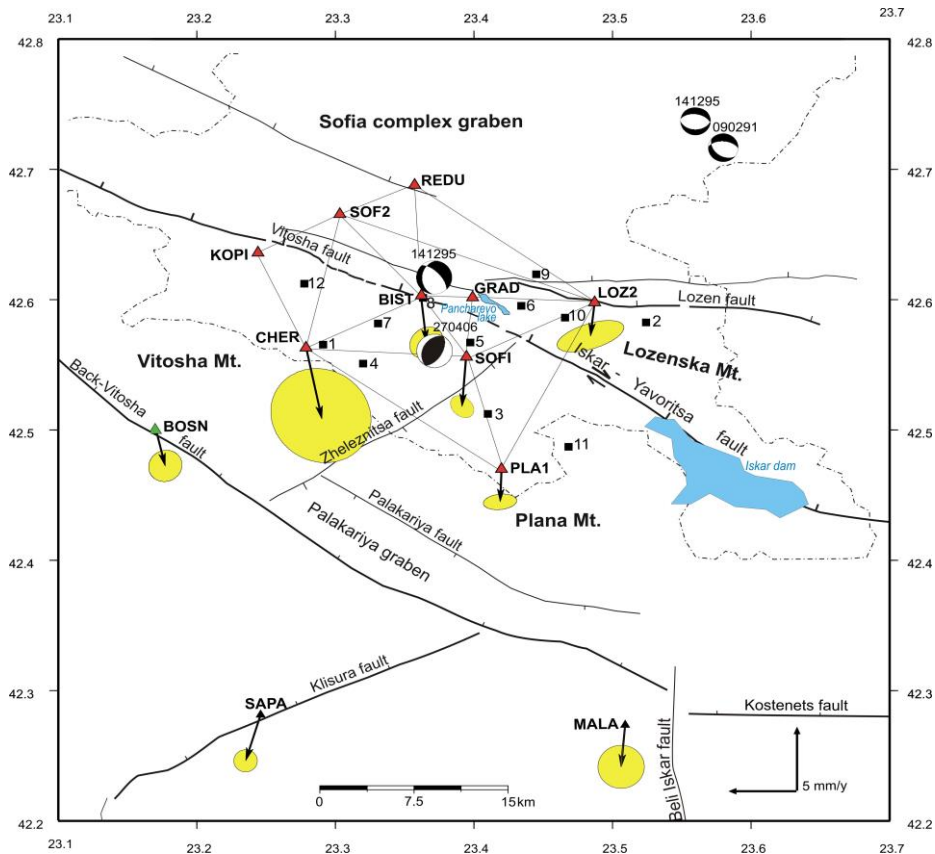
Фиг. 2. Повърхностните изяви на Витошкия и част от Лозенския разломи в южната част на град София, представени с червени линии. Разломите са върху космически образ с определените релативни вертикални потъвания чрез методът InSAR.

Резултати от мониторинг на зоната около Витошкия разлом

Военнотопографската служба (ВТС) на Българската Армия организира и осъществи два цикъла високоточни класически геодезически измервания в зоната юго-източно от гр. София [5]. Изследователската геодезическа мрежа не покрива изцяло Витошкия разлом, а и получените резултати не показаха представителни хоризонтални премествания.

Мониторингът от 1982 до 1991 г. на ЦЛВГ за вертикалните движения, осъществяван с високоточна геометрична нивелация в района около т.нар. «Панчаревски възел» свидетелства за симпатична активност на Витошкия разлом, изразена в релативно издигане на реперите от Витошкия блок и потъване на репери от Софийския грабен, от порядъка на $2-3 \pm 1$ mm/y спрямо изходен векови репер от националния еталонен нивелачен ход [6].

Резултатите от геодезическият мониторинг дадоха основание да се осъществят периодични GPS измервания от 1995–2003 г. на изследователска мрежа, включваща 4 точки от Софийския грабен и 4 от южния борд на Витошкия разлом [7] Фиг. 3.

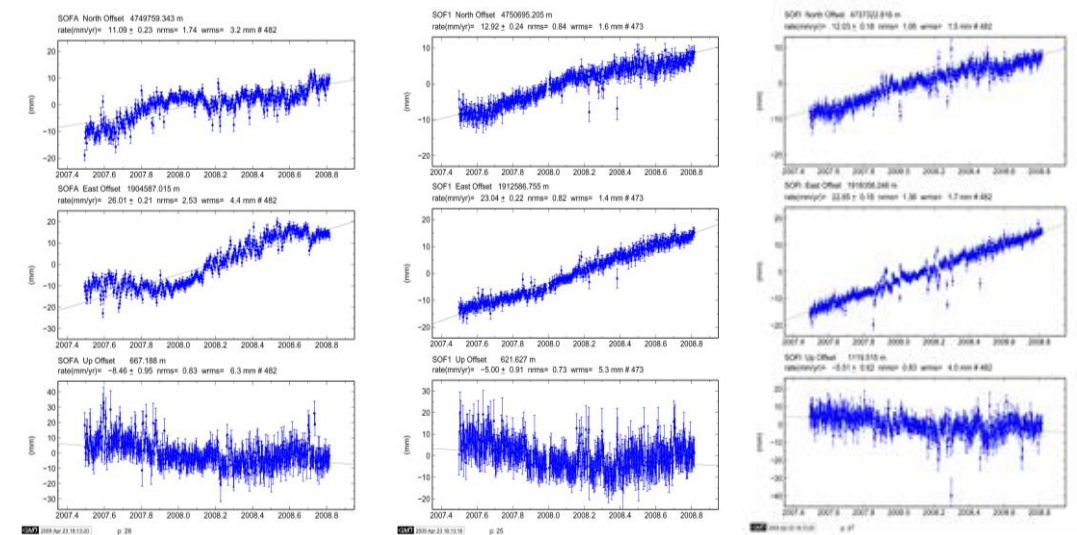


Фиг. 3. GPS мрежа за мониторинг на Витошкия разлом. Горизонталните скорости в мм/год за периода 1995 – 2003 г. релативни спрямо стабилна Евразия. С черните квадрати и цифри са представени точките от изследователската мрежа на БТС, с червени триъгълници и буквени имена са представени точките от GPS мрежата на ЦЛВГ. Разломите са по Шанов и др.1998.

Резултатите от периодичните GPS измервания в зоната околло Витошкия разлом Фиг. 3 показват бавни тектонски движения от 2 до 3 ± 1 mm/год [7].

Към настоящият момент в югоизточната зона на град София функционират 5 перманентни GPS станции: постоянната станция на международната геодинамична служба SOFI над с. Кокаляне (от май 1997 г.); SOF1 (от май 2007 г.); SOFA (от май 2007 г.) и в Ръководството на Въздушния транспорт (РВД) и в геодезическа обсерватория Плана.

На Фиг. 4 са представени временните редове от перманентните GPS станции SOF1 и SOFA, които са позиционирани Софийския грабен, в близост до Витошкия разлом, и скоростта на постоянната GPS станция SOFI за същият период

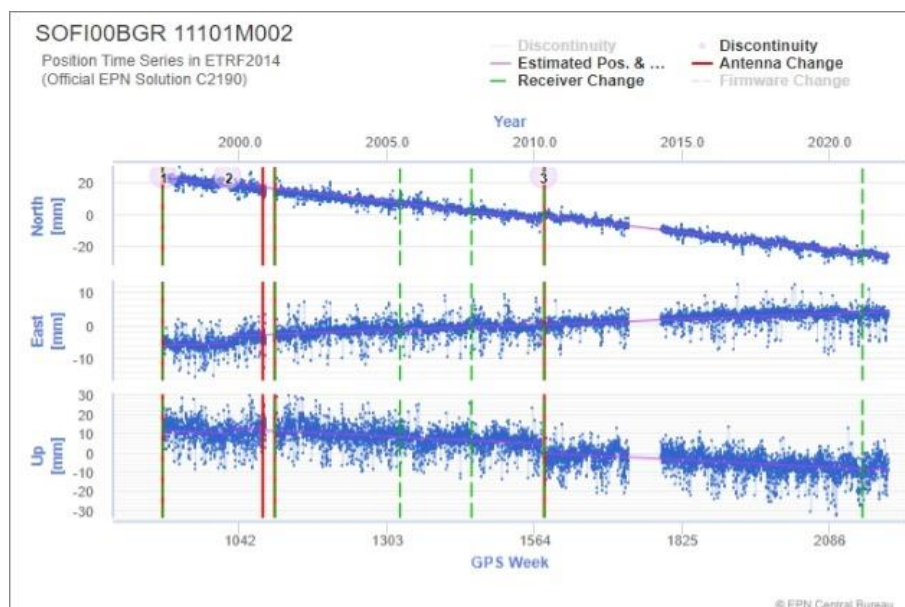


Фиг. 4. Сравняване на времевите редове на абсолютните скорости на постоянната GPS станция SOFI в ITRF2005, EPOCH 2000.0., представени за сравнени за същия период на наблюдения от станциите SOFA и SOF1

Независимо от сезонните движения на станцията станцията SOFA (на покрива на Агенцията по геодезия, картография и кадастър) двете станции SOFA и SOF1 показват идентични скорости в ITRF2005 (Фиг. 4.), със скоростта на постоянната GPS станция SOFI за същия период. Перманентната станция SOFI се счита по тектонски данни, че се намира южно от Витошкия разлом и би трябвало да показва скорост на движение различна от скоростта на станциите, разположени в Софийския грабен. Същевременно времевите серии от станцията SOFA, свидетелстват за нестабилност на най-близката до разлома станция (Фиг. 4.).

Резултатите от временните серии на постоянната GPS станция SOFI, действаща от май 1997 г. взети от сайта на EUREF. Представените релативни, спрямо Евразия скорости ETRS89 (ETRF2014) за периода 1997–2022 г. имат стойности:

$$V \text{ North} - 2.13 \pm 0.00 \text{ [mm/y]} \quad V \text{ East } 0.32 \pm 0.00 \text{ [mm/y]} \quad V \text{ Up} - 0.75 \pm 0.02 \text{ [mm/y]}$$



Фиг. 5. Компоненти на релативните спрямо Европа скорости на постоянната станция SOFI ETRS89(ETRF2014)

Получените релативни скорости на движения от времевите GNSS серии се съгласуват с резултатите от InSAR анализът на вертикалните движения в зоната за периода 1992–2003 г. представени с цветовата скала на Фиг. 2. GNSS скоростите се съгласуват и с резултатите от мониторингът на вертикалните движения в района определени от нивелачните преизмервания.

С резултатите от мониторинга на регионалните движения около Витошкият разлом, беше направен опит за определяне на сеизмотектонските му параметри. Приложена е обратната геофизична задача, чрез моделът на [8] с данни от сеизмичността и теренните наблюдения. Тествани бяха различни модели спрямо картираното положение на разлома Фиг. 2 и следните тектонски параметри:

- ориентацията на разлома спрямо посоката Север (Strike) $\Phi = 202.5^\circ$;
- наклон на разлома спрямо равнината Dip - от 35 до 45° ;
- дължина на разлома $2L$ – от 20 - 25 km;
- ширината на разлома W – от 7 до 10 km;
- вектор на вертикално хлъзгане по разлома в дълбочина (Slip) от 0.5 до 1 m.

Моделното изследване не даде еднозначно решение поради ограниченият брой данни и малките стойности на получените скорости на движение (1 - 2 mm/год) в Софийския грабен и в близост до разлома. Предложените сеизмотектонски параметри се съгласават с геоложките, геофизичните изследвания [4] и с тектонски хипотези в района на Витошкия разлом [8].

Заклучение

Получените от изследването с космическите технологии GNSS на движения около Витошкия разлом от 2 – 3 ± 1 mm/y, спрямо стабилна Евразия, са съвместими с определените с методът InSAR потъвания в Софийския грабен, както и с данните от геодезическия мониторинг с прецизна геометрична нивелация и с регионалните тектонски хипотези.

Малките стойности на скоростите на регионалните движения, ограниченият брой данни и тяхното разположение спрямо разлома, не позволиха еднозначно да се определят геометричните и тектонски параметри на Витошкия разлом;

Мониторингът с постоянни GNSS станции и InSAR технологията в района ще осигури данни за активността на Витошкия разлом, за оценка на тектонските напрежения и сеизмичния риск.

Литература:

1. Бончев, Е. 1980 Геодинамика на Балканите, София, 83–93.
2. Solakov, D., S. Simeonova and L. Christoskov, 2001 Seismic hazard assesement for the Sofia area, *Annali di Geofisica*, 44 (3), 541–556.
3. Киров, К. 1952 Принос към изучаването на земетресенията в Софийската котловина. Год. Гл. Дир. Геол. и Мин. проучв., 5, 407.
4. Велчев и др. 1985 Физическа география на България, 408.
5. Стефанов, Л. 1993 Геодезически изследвания за хоризонтални движения на земната кора в България, Технически бюлетин на ВТС на БА бр.2, 51–89.
6. Димитров, Д. Ст. 1993 Резултати от геодезическите изследвания 1982-1991 год. на ЦЛВГ за вертикални движения на земната повърхност на Експерименталната площадка в района на село Панчарево”, Технически бюлетин на ВТС на БА, бр. 2.
7. Georgiev, I., D. Dimitrov, L. Pashova, M. Ilieva, St. Shanov, G. Nikolov 2006 Geodynamic study in the region south of Sofia by GPS, National Conference with international participation "Geosciences 2006", November 30-December 1, 2006, Sofia.
8. Okada, Y. 1992 Internal deformation due to shear and tensile faults in a half space, *B.S.S.A.*, 82, 1018-1040.
9. Shanov, S., Tz. Tzankov, G. Nikolov, A. Boykova, K. Kourtev 1998 Character of the recent geodynamics of the Sofia Complex Graben, *Rev. Bulg. Geol. Society*, 59, 1, 3–12.