Inferred plate tectonic transition boundaries in Bulgaria from GPS

Keranka Vassileva[1], Mila Atanasova[1]

[1]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria

Keranka.vassileva@gmail.com, ker@bas.bg, mila_at_zl@abv.bg

Abstract

Three microplates in Bulgaria are inferred on the base of estimation of relative Euler rotation vectors and Euler poles with respect to the Eurasia stable plate and they fit very well with the tectonic setting of the territory of the country. GPS data from 26 GNSS permanent stations on the territory of Bulgaria and nearby have been processed with the Bernese software, version 5.0 and station coordinates and velocities have been estimated in ITRF2005, afterwards transformed into ETRF2000. Several groups of relative Euler pole parameters have been estimated in least squares adjustment process on the base of obtained ETRF2000 coordinates and velocities of several sets of GNSS permanent stations. Analysis of the estimated parameters of Euler pole confirm the suggestion given from other researchers that the Moesia platform belongs to the Eurasia plate. Two other microplates have been inferred in this study – Maritsa region and region belonging to the Aegean extensional zone, which boundaries match well with the tectonic boundaries. GNSS stations involved in this study cover evenly the whole territory of Bulgaria but denser network of stations will contribute to more precise verification of the transition zones.

Key words: GPS, velocity vector, Euler pole

Определяне границите на тектонски зони за територията на България от GNSS данни

Керанка Василева[1], Мила Атанасова[1]

[1] Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките, София 1113, България

Keranka.vassileva@gmail.com, ker@bas.bg, mila_at_zl@abv.bg

Ключови думи: *GPS, вектор на скоростта, Ойлеров полюс*

Резюме

На базата на оценка на Ойлеровите относителни ротационни вектори и Ойлеровия полюс по отношение на стабилна Евразия са определени три микроплочи на територията на България, които се вписват много добре в тектонската обстановка на територията на страната. GPS данни от 26 GNSS перманентни станции на територията на България, северна Гърция, Румъния и Турция са обработени с Бернския софтуер, версия 5.0. Координатите на станциите и скоростите са изчислени в ITRF2005, след което са трансформирани в ETRF2000. На базата на получените ETRF2000 координати и скорости за няколко групи GNSS перманентни станции са изведени няколко относителни Ойлерови полюси чрез изравнение по метода на най-малките квадрати. Анализът на получените параметри на Ойлеровите полюси потвърждават предположението, дадено и от други изследователи, че Мизийската платформа принадлежи към литосферната плоча на Евразия. В това изследване са изведени две други микроплочи – Маришката и тази, принадлежаща към Егейската екстензионна зона, чийто граници съвпадат добре с тектонските граници. GNSS станциите участващи в това проучване покриват равномерно цялата територия на България, но наличието на по-гъста мрежа от станции ще допринесе за по-прецизно определяне на границите на тектонските структури и прехода между тях.

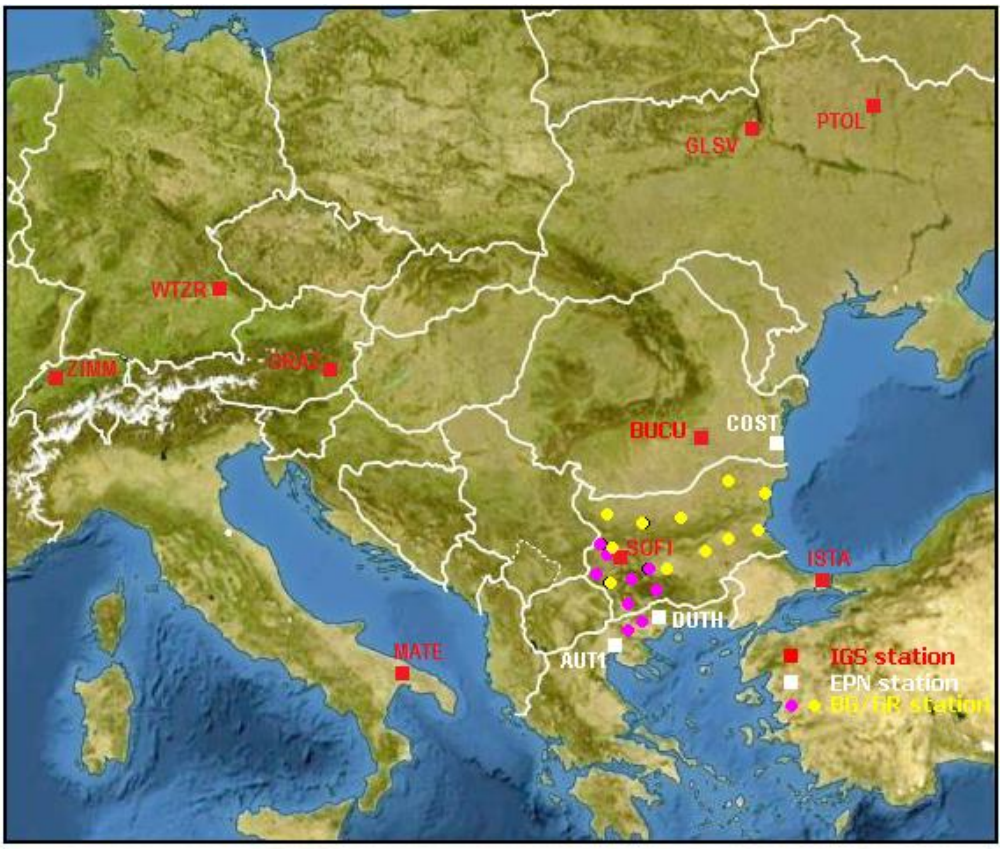
Въведение

Районът на Балканския полуостров и по-специално територията на България се характеризира с активна тектонска и сеизмотектонска дейност. Значителен брой геоложки, геофизични и геодезически изследвания потвърждават активността на региона и се опитват да дадат обоснована и адекватна интерпретация на получените резултати (*Burchfiel, et al., 2006*), (*Georgiev, et al., 2011*), (*Georgiev, et al., 2013*), (*Kotzev, et al., 2006*), (*Kotzev, et al., 2008*), (*Milev, et al., 2006*), (*Stangl, 2011*) въз основа на анализа на оценените скорости на GNSS перманентни станции.

Настоящата работа е опит да допринесе за изясняване на границите на Евразийската плоча в страната, с прилагането на друг подход за определяне на граница, т.е. чрез прилагане на теорията на Ойлер за ротационните полюси на базата на оценените координати и скорости на GNSS перманентни станции, работещи в България и близки станции от съседни балкански страни.

GPS данни

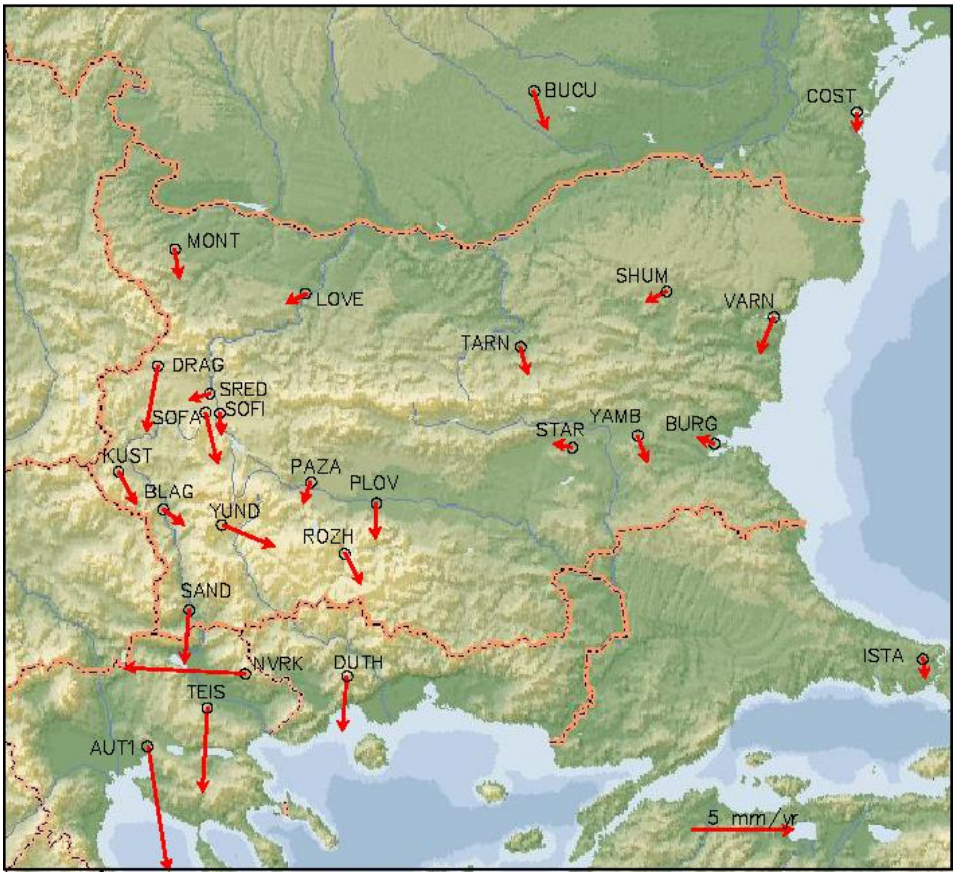
За целите на изследването са използвани данните от 26 GNSS перманентни станции, като 19 от тях са на територията на България, 2 перманентни станции в Румъния, 4 перманентни станции в северна Гърция и 1 перманентни станция в североизточната част на Турция (*фигура 1*).



Фигура 1. GNSS перманентни станции, включени в това изследване

Векторите на скоростта, използвани в това изследване са получени по-рано в две времеви системи (*Vassileva, 2013a, 2013b*). Векторите на скоростта на станции на Балканския полуостров са оценени във *Vassileva, 2013a* за изследване на геодинамиката на територията на Балканския полуостров. За тяхната оценка са обработени едноседмични GPS данни за всяка година от 2006 г. до 2010 г. с Бернския софтуер, версия 5.0 в координатна система ITRF2005. Получените резултати само за българските станции (фигура 1, в лилаво) са използвани в това изследване. Другата част от станциите са участвали в по-късни изследвания (*Vassileva, 2013*b), които са станции от GNSS BULiPOS перманентната мрежа (*Milev, et al., 2009*). Едноседмични GPS данни за BULiPOS станциите (фигура 1, в жълто) бяха обработени с един и същ софтуер, в една и съща координатна система, за всяка година от 2009 г. до 2011 г. и представени във *Vassileva, 2013b*. За да бъдат сравними резултатите за скоростите на станциите и от двете изследвания, всички GPS данни за BULiPOS мрежата са обработени повторно със същите IGS станции за дефиниране на системата, които са използвани във *Vassileva, 2013*a. Получени са нови оценки на координатите и скоростите на движение на станциите (V_X, V_Y, V_Z) от техните комбинирани решения в системата ITRF2005, епоха 2000.0. ETRF векторите на хоризонталните скорости (фигура 2) на станциите са получени чрез използване на ETRF компонентите на ротационния

полюс на Евразийската литосферна плоча (*Boucher, et al., 2011*) в ETRF2000 за определяне на локалните движения на станциите, които са представителни за тяхното поведение.



Фигура 2. ETRF2000 вектори на хоризонталните скорости на участващите перманентни GNSS станции

Големината на получените хоризонтални скорости на станциите варира от 0,2 mm/yr до 3,8 mm/yr за българските станции и до 10 mm/yr за станциите в северна Гърция. Подобни стойности на движение на точките на територията на страната са получени също от други изследователи (*Burchfiel, 2006*), (*Georgiev et al., 2011)*, (*Kotzev et al., 2006*).

Оценка на относителните Ойлерови ротационни полюсни параметри

Различни относителни ротационни Ойлерови вектори и Ойлерови полюси са изчислени, използвайки получените вектори на относителните скорости в предишния раздел, за да се получи информация за движението на потенциалните микроплочи на територията на страната.
Кинематичният моделът на тектонска плоча може да бъде представен от шест параметъра: Ойлеров ротационнен вектор Ω (Ω_X, Ω_Y, Ω_Z) и Ойлер полюс (φ, λ, Ω). Връзката между оценените параметри на една станция - Декартови геоцентрични координати (X, Y, Z) и компонентите на скоростта на станцията (V_X, V_Y, V_Z), и неизвестните стойности на завъртане на вектора на Ойлер - Ω (Ω_X, Ω_Y, Ω_Z) дават линейното уравнение на наблюдение за станцията. Кинематичните модели на плочите се оценяват чрез прилагане на метода на най-малките квадрати, използвайки редуцираните до Евразийската стабилна плоча координати и скорости на GNSS станциите. GPS векторите на относителните скорости са моделирани като (*Perez et al., 2003*):

(1) $$\vec{V} = \vec{\Omega} \times \vec{P},$$

или

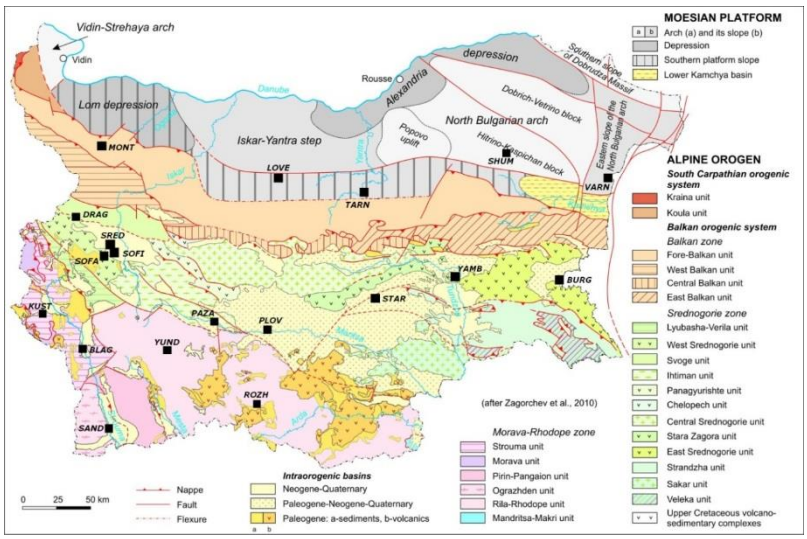
(2) $$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_Z & \Omega_Y \\ \Omega_Z & 0 & -\Omega_X \\ -\Omega_Y & \Omega_X & 0 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix},$$

където $\vec{P}(X, Y, Z)$ е векторът определящ положението на GPS станция, $\vec{V}(V_X, V_Y, V_Z)$ е векторът на относителната скорост в този участък, а $\vec{\Omega}(\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z)$ е неизвестеният ротационен вектор, определящ движението на плочата.

След получаване на оценките на компонентите на Ойлеровия ротационен вектор $\vec{\Omega}(\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z)$ е възможно да се определи Ойлеровият полюс (φ, λ, Ω).

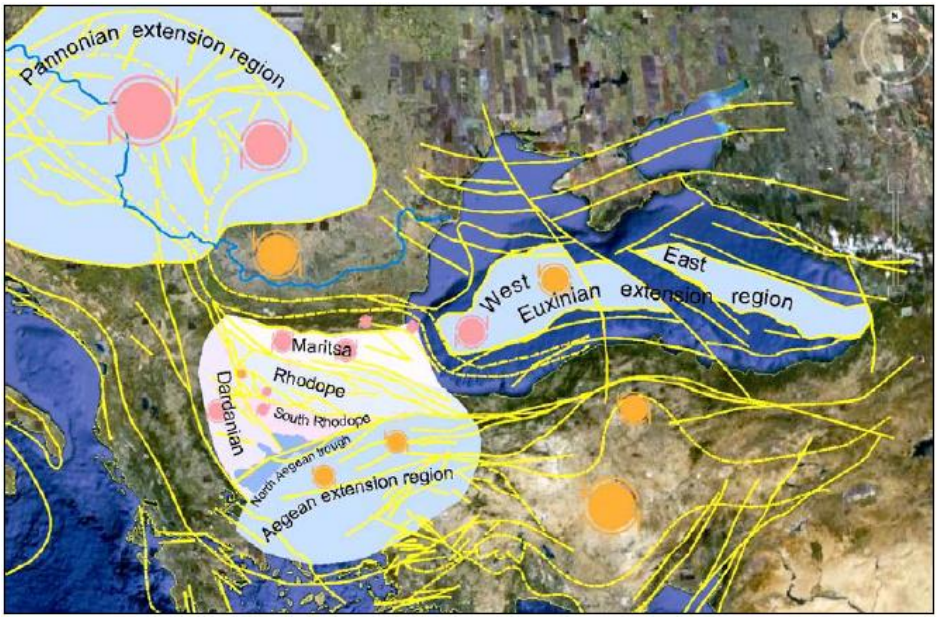
(3) $$\varphi = \arctan\left(\frac{\Omega_Z}{\sqrt{\Omega_X^2 + \Omega_Y^2}}\right); \quad \lambda = \arctan\left(\frac{\Omega_Y}{\Omega_X}\right); \quad \Omega = \sqrt{\Omega_X^2 + \Omega_Y^2 + \Omega_Z^2}.$$

Осем групи от станции с техните изравнени координати в ETRF2000 и скорости са конфигурирани като се има предвид тектонската обстановка на територията на страната (*фигура 3, Дабовски, Загорчев, 2009*) и са оценени съответните ротационни параметри на Ойлеровия полюс.



Фигура 3. Тектонска обстановка на България (Дабовски, Загорчев, 2009) и местоположението на GNSS станциите

Burchfiel et al., 2006 и *Kotzev et al., 2008* показват, че северната граница на Егейския екстензионен регион минава през България. Други изследователи (*Georgiev, et al., 2011*), (*Georgiev, et al., 2013*), (*Matev, 2011*) също показват, че границата на Евразийската плоча следва Балканската планинска верига. По тази причина две основни групи са конфигурирани: първата основна група е съставена от всички станции в северна България и две станции в Румъния (*таблица 1, Мизийска плоча*), а втората основна група е съставена от всички станции в южна България, северна Гърция и северна Турция. Първата основна група е конфигурирана само в една група от всички станции (*таблица 1, група 1*). Групите от втората основна група в южна България (*таблица 1, групи от 2 до 8*) са конфигурирани по такъв начин, че постепенно се добавят станции, като се вземат под внимание основните тектонските екстензионни райони на България (*фигура 4, Zagorcher, 2011*) и да се следват измененията в изравнените Ойлерови параметри.



Фигура 4. Основни екстензионни райони и регионални модели на ротация, (Zagorchev, 2011)

Основни екстензионна райони – светлосини, Основни разломи – в жълто,
Граници на зоните - прекъснати жълти линии, Блокови ротации – въртене по посока на часовниковата стрелка в розово, въртене по посока, обратна на часовниковата стрелка в оранжево.

Получените резултати за Ойлеровия полюс (φ, λ, Ω) на всички групи са дадени в таблица 1.

Таблица 1. Микроплочи на територията на България спрямо Евразийската плоча, определени от изследването

Микроплоча	***Група***	Ω_X [*mas/yr*]	Ω_Y [*mas/yr*]	Ω_Z [*mas/yr*]	λ [°]	ϕ [°]	Ω [*mas/yr*]	***GNSS станция***
Мизийска платформа	1	0.0702	0.0642	0.0918	42.4718	43.9861	0.1322	*MONT, LOVE, TARN, SHUM, BUCU, COST, VARN*
Маришки басейн	2	0.8402	0.4254	0.8594	26.8683	42.4020	1.2750	*SOFA, SOFI, SRED, DRAG, STAR, YAMB, BURG, PLOV,PAZA*
	3	0.7095	0.3724	0.7367	27.7107	42.6184	1.0885	*SOFA, SOFI, SRED, DRAG, YAMB, BURG, PLOV, PAZA*
	4	0.3911	0.2075	0.4104	27.9675	42.8497	0.6037	*SOFA, SOFI, SRED, STAR, YAMB, BURG, PLOV,PAZA,*
	5	0.4605	0.2393	0.4615	27.4751	41.6683	0.6945	*STAR, YAMB, BURG, PLOV,PAZA*
	6	0.4744	0.2585	0.4882	28.5990	42.1192	0.7282	*YAMB, BURG, PLOV,PAZA*
Егейска екстензионна зона	7	-0.6380	-0.1793	-0.5515	15.7031	-39.7863	0.8622	*BLAG, KUST, YUND, SAND, AUT1, TEIS*
	8	-0.6147	-0.1600	-0.5374	14.5974	-40.2550	0.8321	*BLAG, KUST, SAND, AUT1, TEIS*

Дискусия и заключение

Получените резултати за Ойлеровия полюс от група 1 на всички станции (*таблица 1*) в северна България и в Румъния определят Мизийската микроплоча (*фигура 5, в жълто*), която принадлежи към Евразийската плоча.
В съответствие с измененията в стойностите на местоположението (φ, λ) и ротацията (Ω) на получените Ойлерови полюси от различните подгрупи станции в южна България, всъщност тези GNSS станции могат да бъдат обособени в две групи, които принадлежат към две микроплочи – Маришка зона (*фигура 5, в червено*) и Егейска екстензионна зона (*фигура 5, в синьо*). От своя страна, предвид получените стойности на Ойлеровите параметри на полюса от станциите, определящи Маришкия басейн, тези станции могат да бъдат разделени в две подгрупи. Първа подгрупа се състои от групи 2 и 3, а втората подгрупа се състои от групи 4, 5, и 6 (*таблица 1*). Основната разлика между тези две подгрупи е, че станция DRAG участва само в първата подгрупа. Това би могло да се тълкува като станция DRAG не принадлежи на Маришката микроплоча.
Резултатите от двете групи (*таблица 1, групи 7 и 8*) за Егейския екстензионен регион са много сходни и те потвърждават принадлежността на всички тези станции към тази микроплоча.
На базата на резултатите, получени в това изследване територията на България може да се разглежда като съставена от три основни микроплочи, показани на фигура 5, което се потвърждава и от предложените основни области от *Zagorchev, 2011* (*фигура 4*).



Фиг. 5. Предложени микроплочи от това изследване - Мизийска (в жълто), Маришка (червено) и Егейска (синьо) зони

Направи се опит да се определят границите на Родопския регион, както е предложено в *Zagorchev, 2011*, но резултатите не са оптимистични, поради малкия брой на GNSS перманентни станции в тази област.

Литература

Дабовски, Хр., И. Загорчев. (Ред.).(2009). Геология на България, Том II, Част 5. Мезозойска геология. Академично издателство Проф. Марин Дринов, 768 стр., Загорчев, И., Хр. Дабовски, Т. Николов, Алпийско тектонско подразделяне на България, 30-37.

Boucher, C., Z. Altamimi, 2011. Memo (2008): Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 8: 18-05-2011.

Burchfiel, B. C., R. W. King, A., Todosov, V., Kotzev, N., Durmurdzanov, T., Serafimovski, B., Nurce. (2006). GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the Southern Balkan extensional regime, Tectonophysics, 413, 239–248.

Georgiev, I., D., Dimitrov, P., Briole, E., Botev. (2011).Velocity field in Bulgaria and northern Greece from GPS campaigns spanning 1993-2008. Proceedings of 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece, 54-56.

Georgiev, I., D., Dimitrov, E., Botev (2013). Crustal Motion Monitoring in Bulgaria and Surrounding Regions by Permanent GPS Array. Proceedings of 7th Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, Albania, 7-10 October 2013, 5 pp.

Kotzev, V., R. Nakov, Tz. Georgiev, B.C. Burchfiel, R.W. King (2006). Crustal motion and strain accumulation in western Bulgaria, Tectonophysics, 413, 127–145.

Kotzev, V., R.W. King, B.C. Burchfiel, A. Todosov, B. Nurce, R. Nakov. Crustal motion and strain accumulation in the South Balkan Region Inferred from GPS Measurements, in Husebye, E., ed., Earthquake monitoring and seismic hazard mitigation in Balkan countries: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, Borovetz, Bulgaria, 11–18 September 2005: NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences. 2008, Volume 81, p. 19–43.

Matev, K. GPS constrains on current tectonics of southwest Bulgaria, northern Greece and Albania. Thesis, Doctor of university of Grenoble, 2011, 203pp

Milev, G., Dabovski, C. (Eds). Geodynamics of the Balkan Peninsula, Monograph, Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, 2006, 647 pp.

Milev, G., K. Vassileva, I. Milev (2009). Development and applications of DGNSS in Bulgaria. Proceedings of the International symposium on GNSS, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications, 73-77.

Perez, J. A. S., J. F. G. Monico, J. C. Chaves. Velocity Field Estimation Using GPS Precise Point Positioning: The South American Plate Case. Journal of Global Positioning Systems, 2003, Vol. 2, No. 2: 90-99.

Stangl, G. Velocity Fields from Geodesy to Geodynamics. Presentation at the Seminar, University of Vienna, 2011-04-12.

Vassileva, K. (2013a). Geodynamical study of the territory of the Balkan Peninsula from GPS solutions. Coordinates, Vol. IX, Issue 6, 37-42.

Vassileva, K. (2013b). Effect of Datum Definition on Estimated Station Velocities from GPS Solutions: Case study. Proceedings of 7th Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, Albania, 7-10 October 2013, 5 pp.

Zagorchev, I. (2011). Cenozoic Block Rotations in the Balkan Peninsula. Proceedings of 3rd International Symposium of the Black Sea region, 1-10 October, 2011, Bucharest, Romania, 220-222.

Контакти:

Проф. д-р Керанка Василева
Национален институт по геофизика, геодезия и география,
Българска академия на науките, София, България
Ул. Акад. Г. Бончев Бл. 3
1113 София
Тел. + 359 2 979 33 45
Email: kvassileva@abv.bg
keranka.vassileva@gmail.com, ker@bas.bg

Гл. ас. д-р Мила Атанасова
Национален институт по геофизика, геодезия и география,
Българска академия на науките, София, България
Ул. Акад. Г. Бончев Бл. 3
1113 София
Тел. + 359 2 979 33 54
Email: mila_at_zl@abv.bg, mila.at.zl@ gmail.com, m.atanasova@geophys.bas.bg