3D мониторинг на движения по Западнопиринския разлом

Николай Добрев¹, Пламен Иванов¹, Валентин Николов¹

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria;
e-mail: ndd@geology.bas.bg; plivanov62@geology.bas.bg; valn@geology.bas.bg

Dobrev, N., P. Ivanov, V. Nikolov. 2018. 3D monitoring of movements along West Pirin Fault. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 32, 39-47.

Резюме. Настоящата статия представя първоначалните резултати от провеждащия се вече пета година 3D мониторинг на Западнопиринския разлом в района на с. Брежани. Мониторинговата апаратура – екстензометър TM71, е инсталирана през м. август 2013 г. Обработени са данните, получени от наблюденията до м. ноември 2018 г. Резултатите показват 5 етапа в динамиката в тази част от разлома. Единият от тях е свързан с косеизмична реакция (резки премествания) от слабо локално сеизмично събитие.

Резултатите до този момент показват, че най-стабилни са движенията по ос Y, изразяващи се в дясноотседно движение при висока корелация на данните (коефициент на детерминация $r^2=0,866$). Най-активни са движенията през последните 2 години от наблюденията, като през 2017-2018 г. установената скорост на дясноотседно движение (ос Y) е 0,84 mm/a. За целия период на наблюдение установените скорости показват 0,07 mm/a свиване на зоната, 0,61 mm/a дясно отседно движение и 0,09 mm/a възседно движение. Тези резултати ни дават основание да предположим съвременна активност на Западнobreжанския разлом.

Ключови думи: Западнопирински разлом, 3D мониторинг, активни разломи, България.

Abstract. This article presents the initial results of the 3D monitoring of West Pirin Fault in the area of the village of Brezhani, SW Bulgaria. The monitoring equipment – extensometer TM71 was installed in August 2013. The data obtained from the observations until November 2018 were processed. The results show 5 stages in the dynamics of this part of the fault. One of them is associated with a coseismic effect (sharp movements) resulted from a local weak seismic event.

The obtained results show that Y-axis movements are most stable, representing right-lateral strike-slip movements with a high correlation of data (coefficient of determination $r^2=0.866$). The most active movements have been established during the last 2 years of the observations. In 2017-2018, the established rate of right-lateral strike-slip (Y axis) is 0.84 mm/a. For whole observation period the results show compression of fault zone 0.07 mm/a, right-lateral strike-slip 0.61 mm/a and reverse movements 0.09 mm/a. These results give us reason to suppose a recent activity along West Pirin Fault.

Keywords: West Pirin Fault, 3D monitoring, active faults, Bulgaria.

Въведение

Югозападна България е една от най-силно изявените в геодинамично отношение части на страната. В нея ежегодно се случват около 75% от земетресенията. Тук е регистрирано и най-силното земетресение в България и едно от най-силните в Европа (Botev, Glavcheva, 2003; Shebalin et al., 1974 и др.). По тази причина бе поставено началото на серия от изследвания, в т.ч. и наблюдения, целящи изясняването на динамиката в района.

Първите наблюдения на тектонски движения са от 70-те години на миналия век, когато са проведени първите измервания на геодезически репери по протежението на ж.п. линията в района на Кресненския пролом. Установени са скорости на вертикални движения на блоковете, изграждащи Кресненския хорст, достигащи до 3,4 mm/a (Milev et al., 1984).

Началото на постоянния мониторинг на движения по разломи започва още през 1982 г. с инсталирането на три екстензометъра ТМ-71 за триизмерно слеене на разломни движения – това са №5 или К5 (по Струмски разлом в Кресненското дефиле), №6 или В6 по Крупнишкия разлом близо до Брежани и №7 или К7 (при с. Крупник – по сеизмогравитационно нарушение). Резултатите до момента са публикувани (Avramova-Tacheva et al., 1984; Dobrev, 2005, 2011; Dobrev, Kostak, 2000; Kostak, Avramova-Tacheva, 1988; и др.). Мониторингова точка №7 преустановява работа през 1994 г. През 2003 г. е инсталирана друга мониторингова точка №12 (К12) по разлом от Струмската система, а през 2013 г. – последната точка №14 (В14) по Западнопиринската разломна зона, която е обект на настоящото изследване (фиг. 1).

Фиг. 1. Местоположение на района на изследване с основните тектонски единици (съгл. Zagorchev, 1992). С линии са обозначени основните разломни структури; с растер - терциерните седименти; с точка и прекъсната линия - държавната граница на Република България. Местоположението на мониторингова точка В14 е отбелязано със звезда.

Габрени: 1 – Симитлийски; 2 – Благоевградски; 3 – Падешки; 4 – Разложки; 5 – Брежански; 6 – Сандански; 7 – Делчевски; Хорстове: 8 – Рилски; 9 – Пирински; 10 – Кресненски; 11 – Качов рид; 12 – Лисийски; 13 – Влахински; 14 – Огражденски; Разломи: К – Крупнишки; Кс – Кресненски; Ка – Кадийски; Г – Градевски; П – Пределски; По – Поленски; С – Струмски (Проломски); ЗР – Западнорилски; ЗП – Западнопирински; Л – Лисийски.

Fig. 1. Location of research area with main tectonic units (according to Zagorchev, 1992). Lines show the main faults; raster: Tertiary sediments; with a point and a broken line - the state border of the Republic of Bulgaria. The location of monitoring point B14 is shown by star.

Grabens: 1 – Simitli; 2 – Blagoevgrad; 3 – Padesh; 4 – Razlog; 5 – Brezhani; 6 – Sandanski; 7 – Delchevo; Horsts: 8 – Rila; 9 – Pirin; 10 – Kresna; 11 – Kachov Rid; 12 – Lisia; 13 – Vlahina; 14 – Ograzhden; Faults: K – Krupnik; Kс – Kresna; Ка – Kadiitsa; Г – Gradevo; P – Predela; По – Polena; С – Struma (Gorge's); ЗР – West Rila; ЗП – West Pirin; Л – Lisia.

Тектонска и геоложка изученост на района

Тектонското развитие на района е подробно изследвано от Коняров (Konayarov, 1932), Каменов и др. (Kamenov et al., 1965), Връблянски (Vrablianski, 1970, 1974), Московски (Moskovski, 1971), Загорчев (Zagorchev, 1969, 1970, 1971, 1975, 1976, 1992, 2001) и др. Най-пълното описание и обобщение до този момент е извършено от Ив. Загорчев (Zagorchev, 1992, 2001) – отделени са различни етапи

от тектонската история на района, последователност на метаморфните процеси, етапи на неогенска седиментация (с литостратиграфска подялба) и линеаментни структури.

Западните склонове на Пирин (както и югозападните на Рила и източните на Симитлийския грабен) са основно проучени от Й. Шабатов и колектив (1969ф). Намиращата се в съседство Брежанска котловина е изследвана от Куманов и Ченев (1957ф), Ефремов и Евлогиев (1979ф) и Вацев (Vatsev, 1984). Последният прави първата литостратиграфска подялба на палеогенските седименти. По-късно въз основа на намерена фосилна фауна от Gaudant & Vatsev (2003) дават възраст горен олигоцен – долен миоцен за Ракитнишката свита.

Тектонски строеж

Според последната тектонска подялба на страната (Dabovski et al., 2002) районът на изследване попада в СЗ периферия на Родопския масив в границите на Пирин-Пангеонската единица.

Пиринският блок е разположен между две разломни зони – Западнопиринската и Източнопиринската. Западнопиринската разломна зона има следните елементи на нарушенията: посока 135-170° и наклон 27-90° на ЮЗ, много рядко на СИ (Boyadjiev, 1959; Zagorchev, 1971). В по-стари публикации е описвана като Пиринска разломна зона (Jaranoff, 1960). Теренните проучвания, проведени през 60-те години, показват, че реализираните движения по тази зона имат променлив характер, вариращ от разседни до възседни движения (Moskovski, Georgiev, 1970; Zagorchev, 1969). В участъка при Брежанска река Пиринският разлом, по който се е извършило след-олигоценско, но доплиоценско движение, е с посока 135-165°/55-72° на ИСИ при югоизточен наклон на шрихите, т.е. ляво възседно движение (Zagorchev, 1971). Геоложките и геоморфологичните данни предполагат, че общата амплитуда на издигането от неогена насам е около 3500 m, от които 100 m през кватернера (Jaranoff, 1963; Vrablianski, 1975; Zagorchev, 1975, 1992). Изчислената скорост на издигане по време на кватернера е 0,1 mm годишно.

Геоложки строеж

В геоложкия строеж на Пирин планина вземат участие метаморфни, магмени и седиментни скали. Най-стари и най-добре развити са метаморфните скали – долна и горна серия, след които идват магмените скали. Метаморфните скали са представени основно от гнайси, гранитогнайси, амфиболити, шисти и мрамори. В района на изследване са представени от Пределския метаморфен комплекс (Klimov et al., 2009; Milovanov et al., 2009).

Пределският метаморфен комплекс, участващ в Капатнишката единица, е въведен от Милованов и др. (Milovanov et al., 2009). Неговият литоложки състав е многообразен. Комплексът е представен от сложно алтерниращи разнообразни метаморфозирани в амфиболитови фациес скали (скални съвкупности). Преобладават биотитови гнайси и гнайсошисти, аплитоидни двуслюдени гнайси и в подчинено количество мусковитови, гранат-биотитови гнайси и др.

Шабатов, Й., Т.Костадинов, Ст.Христов, К.Катев, А.Дечева, В.Вълков, Ал. Георгиев, А. Стаменов. 1969. Доклад върху геологията на Северен Пирин и Югозападна Рила. – Геофонд на КГМР, IV-248.

Куманов, К., Ив. Ченев. 1957. Доклад върху детайлните геоложки проучвания на Пиринския каменовъглен басейн, извършени през 1954, 1955 и 1956 години. – Геофонд на КГМР, II-355.

Ефремов, Г., Й. Евлогиев. 1979. Доклад за извършените търсещи геологопроучвателни работи за въглища в Пиринския въглищен басейн – участък „Калиновец-Ракитна“ през 1977-1978 г. – Геофонд на КГМР, II-997.

В границите на района на изследване Пределският комплекс е представен от скалната съвкупност от мрамори и калкошисти (PrсPt₃). Мраморите са главно дебелослойни, повсеместно напукани или натрошени. Сред тях във вид на съвсем тънки ивици се наблюдават биотитови и епидотови гнайси и амфиболити (Milovanov et al., 2009).

Дебелината на Пределския метаморфен комплекс е трудно определяема поради неговата нагънатост, разломеност или разкъсаност от внедряването на гранитоидните плутони. Предполага се, че максималната му дебелина надвишава 1000 m. Възрастта на метаморфния комплекс се приема за неопротерозойска.

Терциерните грабени, ограничени от Западнопиринския разлом, са запълнени с палеогенски и неогенски материали. Палеогенските седименти в района на изследване са представени от Ракитнишката свита (RaOl₂-N₁) (Vatsev, 1984). Свитата е изградена главно от сиви до сиво-зелени и бежови пясъчници и в подчинено количество гравелити и дребнокъсови конгломерати. Характерно е редуването на по-слабо споени с по-здрави пясъчникови пластове. Те са средно- до едрозърнести, често с гравелитови късчета и прослойки от гравелити, конгломератови лещи и неиздържани пластове от дребнокъсови конгломерати. Късовият състав на конгломератите е полигенен, с преобладаване на гнайсовите и гранитовите късове и по-малко амфиболити, слюдени шисти, пегматити, мрамори и кварц. Дебелината на Ракитнишката свита варира от 150 до 450 m.

Мониторингова система

Мониторингът на движенията на така избраната разломна зона се извършва посредством механооптичния екстензометър ТМ-71. Апаратът позволява директно (in situ) отчитане на преместванията по трите пространствени оси X, Y и Z. Измерителният му обхват е 25 mm. Комплектът на един апарат ТМ-71 съдържа два измерителни елемента - хоризонтален и вертикален, рамка, стоманени конзоли с диаметър 40 mm, чрез които се свързва със стените на пукнатината, и предпазен кожух. Преместванията на стените на дадена пукнатина се пренасят посредством конзолите до устройството на прибора, което се състои от 2 двойни стъклени плочки със специално нанесена върху тях емулсия, лежащи на 2 взаимно перпендикулярни равнини. Приборът работи на принципа на механо-оптичната интерференция и свързания с нея ефект на Моар (Kostak, 1991). Преместванията по трите координатни оси се изчисляват чрез тригонометрични формули. Приборът позволява периодично пренулиране след натрупване на големи стойности на преместванията. Регистрацията на преместванията се извършва на равни интервали от време в зависимост от динамиката на наблюдавания процес (Dobrev, 2005). Допълнителни отчети се вземат след всяко епизодично събитие (напр. земетресение), усетено в района на измерванията.

ТМ-71 е ефектно приложим при измервания на движения по разривни нарушения и пукнатини с различен произход (свлачищни, тектонски, по сгради и инженерни съоръжения и пр.), не по-широки от 4 m. Точността на прибора варира от 0,001 до 0,01 mm в зависимост от ширината на разломната зона (или пукнатината), дължината на инсталационните конзоли и изложеността на прибора на директно атмосферно влияние като слънчево грееене, валежи и др. (Kostak, 1991). Дневните и сезонните температурни колебания оказват влияние върху показанията на прибора, особено по осите, съпадащи с направленията на конзолите. По тази причина при математическата обработка на резултатите се прави температурна корекция на измерените премествания.

Мониторинговата точка е инсталирана в сложен в тектонско отношение район. Тя е инсталирана на разлом от Западнопиринската разломна зона (фиг. 2), в участък, където разломът е подчертан с възседен характер. В този участък докамбрийските мрамори възседат седиментите от Ракитнишката свита (фиг. 3).

Фиг. 2. Общ вид на мониторингова точка B14
Fig. 2. A general view of monitoring point B14

Фиг. 3. Възсядане на скалите от Пределския метаморфен комплекс (докамбийски мрамори) върху седиментите от Ракитнишката свита (олигоцен-миоценови глинести пясъци) при бреговете на Брежанска река. Мястото е близо до мониторингова точка B14.
Fig. 3. Thrusting of Predela Metamorphic complex (Precambrian marbles) over Rakitna Formation (Oligocene-Miocene clayey sands) at Brezhani River bank. This site is near to monitoring point B14.

Апаратът е инсталиран в разломна зона, формирана в докамбрийските мрамори, субпаралелна на главния разлом. Зоната е широка 0,7-0,9 m. Разломната структура има локални характеристики: посока 155-180° и наклон 50-52° на СИ (табл. 1).

Таблица 1. Ориентация на пространствените оси на наблюдателна точка B14
Table 1. Orientation of spatial axes of monitoring point B14

Координати	+X Хоризонтално разширение	+Y Хоризонтално плъзгане по направлението на зоната	+Z Вертикално движение	Локална посока на разлома
N 41,8708° E 23,2125°	Източният блок в посока 100° (разширение на зоната)	Източният блок в посока 190° (дясно отседно движение)	Издигане на източния блок (възседно движение)	160°

Резултати

До настоящия момент са осъществени 20 измервания на движенията при тази мониторингова точка. Те включват периода от инсталирането ѝ – 06.08.2013 г. до 17.11.2018 г. Установените движения са показани на фиг. 4 и табл. 2. Ясно се разграничават 3 периода с различни скорости на движенията и две бързи приплъзвания. Първото е регистрирано в периода 11.2015 – 02.2016 г. Справката в Европейския Средиземноморски сеизмичен център (EMSC, Страсбург) показва, че най-вероятно е резултат от локално сеизмично събитие, регистрирано на 04.12.2015 г. с магнитуд 2,3 и дълбочина 1 km. Координатите на епицентъра са N 41,89°/ E 23,21°, което показва, че попада в района на наблюдение. Съвпадението на местоположенията дава основание да се предполага, че рязкото движение може да има ко-сеизмичен произход, свързан именно с това земетресение. По време на второто приплъзване няма регистрирана сеизмичност от EMSC в този район.

Таблица 2. Установени микродвижения по Западнопиринския разлом при точка B14. В скоби е показан коефициентът на детерминация
Table 2. Microdisplacements along West Pirin Fault established at point B14. The determination coefficient is shown in brackets

№	период	ос X	ос Y	ос Z
1	08.2013 – 11.2015	-0,228 mm/a ($r^2=0,227$)	0,164 mm/a ($r^2=0,518$)	0,273 mm/a ($r^2=0,847$)
2	11.2015 – 02.2016 (еднократно движение)	0,024 mm	1,238 mm	0,736 mm
3	02.2016 – 02.2017	0,191 mm/a ($r^2=0,124$)	-0,067 mm/a ($r^2=0,314$)	-0,616 mm/a ($r^2=0,639$)
4	02.2017 – 09.2018	0,019 mm/a ($r^2 \sim 0$)	0,844 mm/a ($r^2=0,921$)	-0,004 mm/a ($r^2 \sim 0$)
5	09.2018 – 11.2018 (еднократно движение)	-0,718 mm	-0,676 mm	-0,016 mm
обобщено за целия период		-0,071 mm/a ($r^2=0,124$)	0,605 mm/a ($r^2=0,866$)	0,090 mm/a ($r^2=0,283$)

Най-общо движенията могат да се обобщят по следния начин:

Преместванията по ос X имат променлив характер, вариращ от няколко месечни тенденции на разширения и свивания на зоната. Графиката на движенията (фиг. 4) показва влияние на сезонните температурни колебания. По тази причина и корелацията на данните е с ниски стойности. Като обобщение на движенията по ос X за целия период на наблюдение може да се заключи, че има тенденция на свиване на зоната с около 0,07 mm/a (табл. 2).

Най-стабилни са движенията по ос Y, изразяващи отседната компонента на наблюдаваните движения. През последните 2 години скоростта на дясноотседно движение е ~0,84 mm/a, а за целия период – ~0,61 mm/a при висока корелация на данните.

Направление Z, изразяващо вертикалната компонента на движение, показва променлив характер на движенията с преобладаване на възседните. Най-високата скорост на възседане е установена през първия период (2013-2015 г.) – ~0,27 mm/a с висока корелация на данните (табл. 2). Обобщените данни за целия период показват обаче по-ниска скорост на възседно движение, което се изчислява на 0,09 mm/a.

Фиг. 4. Графика на регистрираните микродвижения в мониторингова точка B14. Значенията на пространствените оси са съгл. Табл. 1.

Fig. 4. Graph of microdisplacements registered at monitoring point B14. Meaning of spatial axes is acc. Table 1.

Дискусия

Получените данни на този етап показват, че наблюдаваната разломна зона е съвременно активна въпреки приетите схващания за активност до края на неогена. Най-активните движения се очертават по отседната компонента, където скоростта за целия период на наблюдение е ~0,8 mm годишно при висока корелация на данните. За по-добро изясняване на динамиката на района е необходимо продължаване на наблюденията, разширение на мониторинговата мрежа и корелация с данните от локалната сеизмичност.

Благодарности

Настоящото изследване бе осъществено благодарение на сътрудничеството с Чешката академия на науките и подпомогнато с целева бюджетна субсидия от БАН.

Литература

References

- Avramova-Tacheva, E., B. Vrabljanski, B. Kostak. 1984. An attempt to detect recent movements along seismogenic faults. *Review of the Bulgarian Geological Society*, 3, 276-286. (in Bulgarian with English abstract).
- Botev, E., R. Glavcheva. 2003. On the Seismic Situation in Bulgaria for the Period 1997-2003. In: *Proc. „Preventive Actions against Earthquakes and Landslides”*, Sofia, 56-64. (in Bulgarian).
- Boyadjiev, St. 1959. On the geology of Pirin mountain. *Annual of Direction for Geol. study, VIII*, Sofia, Technique, 89-125. (in Bulgarian with English abstract).
- Dabovski, C., I. Boyanov, K. Khrishev, T. Nikolov, I. Sapounov, Y. Yanev, I. Zagorchev. 2002. Structure and Alpine evolution of Bulgaria. *Geologica Balcanica*, 32.2-4, Sofia, 9-15.
- Dobrev, N. 2005. Registered movements along active faults in SW Bulgaria. *Review of the Bulgarian Geological Society*, 66, 1-3, 115-124. (in Bulgarian).
- Dobrev, N. 2011. 3D monitoring of active fault structures in the Krupnik-Kresna seismic zone, SW Bulgaria. *Acta geodynamica et geomaterialia*, Vol. 8, No. 4 (164), 377-388.
- Dobrev, N.D., B. Kostak. 2000. Monitoring tectonic movements in the Simitli Graben, SW Bulgaria. *Engineering Geology*, Elsevier, 57 (3-4), 179-192.
- Gaudant J., M. Vatshev. 2003. Deux nouvelles ichthyofaunes lacustres dans l'Oligo-Miocène du graben de Brežani (Bulgarie du Sud-Ouest). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 230, 1; 25-47.
- Jaranoff, D. 1960. *Tectonique de Bulgarie*. Technica, Sofia. 282 p. (in Bulgarian).
- Jaranoff, D. 1963. La neotectonique de la Bulgarie. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 5, 2, 75-83.
- Kamenov, B., V. Konstantinova, B. Jordanov. 1965. Geology and Coal content of the Oranovo-Simitli Tertiary Basin. *Review of the Bulgarian Geological Society*, 26, 1, 1-20. (in Bulgarian, with German abstract).
- Klimov, I., R. Marinova, A. Marinova, I. Petrov. 2009. *Explanatory note to the Geological map of Bulgaria in scale 1:50 000, map sheet K-34-95-B (Sandanski)*. Sofia, “Uniscorp” Ltd., 58 p.
- Konyarov, G. 1932. Oranovo-Simitli (Surbinovski) Tertiary Basin. In: *The Brown Coal in Bulgaria. Issue of State Coal Mines „Pernik”*, Sofia, 111-126. (in Bulgarian).
- Košťák, B., E. Avramova-Tacheva. 1988. A method for contemporary displacement measurement on a tectonic fault. *Journal of Geodynamics*, 10, 115-125.
- Košťák, B. 1991. Combined Indicator Using Moiré Technique. *Proc. 3rd Int. Symp. Field Measurements in Geomechanics*, Oslo, 53-60.
- Milev, G., B. Vrabljanski, R. Simeonova. 1984. Contemporary movements in the region of the Kresna Gorge and the Krupnik fault. In: Zagorchev, I., Munkov, S., Bozhkov, I., eds. *Problems of the geology of Southwestern Bulgaria*. Sofia, Technique, 72-79 (in Bulgarian).
- Milovanov, P., I. Petrov, V. Valev, A. Marinova, I. Klimov, D. Sinyovski, M. Ichev, S. Pristavova, E. Ilieva. 2009. *Explanatory note to the Geological map of Bulgaria in*

- scale 1:50 000, map sheets K-34-82-B (Delchevo) and K-34-83-A (Simitli). Sofia, "Uniscorp" Ltd., 109 p.
- Moskovski, S. 1971. On the sequence in the formation of Paleogene-Neogene graben structures in the Kraistides in Bulgaria. *Review of Bulg. Geol. Soc.*, 32, 1, 21-31 (in Bulgarian).
- Moskovski, S., A. Georgiev. 1970. On the structure of the Kresna Gorge region. *Ann. of Sofia Univ., Faculty of Geology and Geography*, 62, 1, 95-111 (in Bulgarian, with English abstract).
- Shebalin, N.V., V. Karnik, D. Hadzievski, eds. 1974. *Catalogue of Earthquakes. Balkan Region. UNDP/UNESCO Survey Seism. Balk. Reg.*, Skopje, pp. 600.
- Vatsev, M. 1984. Lithostratigraphy of the Paleogene sediments of the Brezhani graben. In: *Problems of the geology of SW Bulgaria*. Sofia, Technique, 36-43. (in Bulgarian).
- Vrablianski, B. 1970. Neotectonic levels in the Middle Struma. *Bulletin of the Geol. Institute, series Geotectonics*, 19, 153-166. (in Bulgarian).
- Vrablianski, B. 1974. Neotectonic studies in Simitlian graben and its framework. *Bulletin of the Geol. Institute, series Geotectonics*, 23, 195-220 (in Bulgarian, with French abstract).
- Vrablianski, B. 1975. On the Neotectonic Activation of the Fault Structures in Bulgaria. *Geotect., Tectonophys. and Geodyn.*, 2, 15-26 (in Bulgarian).
- Vrablianski, B. 1977. Neotectonic regime of Struma fault zone, north of Blagoevgrad. *Geotect., Tectonophys., Geodyn.*, 7, 18-41 (in Bulgarian).
- Vrablianski, B., G. Milev. 1973. Some studies of recent vertical movements of small blocks of the Earth's crust in the Kresna Gorge. *Bulletin of the Geol. Institute, series Geotectonics*, 21-22, 157-163. (in Bulgarian).
- Zagorchev, I. 1969. The Struma deep fault during the Late Alpine orogenic stage. *Acta geol. Ac. sci. Hung.*, 13, 437-441.
- Zagorchev, I.S. 1970. On the neotectonic movements in a part of South-West Bulgaria. *Bulletin of the Geological Inst., Series Geotectonics*, 19, 141-152. (in Bulgarian).
- Zagorchev, I.S. 1971. Certain features of the Young Alpine block structure in a part of South-West Bulgaria. *Bulletin of the Geological Inst., Series Geotectonics*, 20, 17-27. (in Bulgarian).
- Zagorchev, I.S. 1975. On the Struma fault bundle and fault-block structure of the Vlahina block. *Geotect., Tectonophys. and Geodyn.*, 3, 3-15 (in Bulgarian).
- Zagorchev, I.S. 1976. Structure of the Amphibolite series in the Vlahina block (Southwest Bulgaria). *Geotect., Tectonophys. and Geodyn.*, 5, 29-56 (in Bulgarian, with English abstract).
- Zagorchev, I. 1984. Lower-Alpine structure of South-West Bulgaria. In: Zagorchev, I., Munkov, S., Bozhkov, I., eds. *Problems of the geology of Southwestern Bulgaria*. Sofia, Technique, 9-20. (in Bulgarian).
- Zagorchev, I. 1992. Neotectonic Development of the Struma (Kraistid) Lineament, Southwest Bulgaria and Northern Greece. *Geological Magazine*, London, 129(2), 197-222.
- Zagorchev, I. 2001. Introduction to the geology of SW Bulgaria. *Geologica Balc.*, 31, 1-2, 3-52.

Постъпила: 26.11.2018

Приета: 20.12.2018

Received: 26 November 2018

Accepted: 20 December 2018