

Проф. д-н Иван Георгиев

НИГГГ – БАН
 Департамент Геодезия
 София 1113,
 ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3
 E-mail: ivan@bas.bg



Ив. Георгиев е завършил специалност „Геодезия, фотограмметрия и картография“ в УАСГ (1981) и Приложна математика в ТУ, София (1982). От 1984 г. е н.с. в ЦЛВГ-БАН, от 1993 г. е ст.н.с., а от 2011 г. е проф. През 1992 г. е избран за доктор, а през 2010 г. за доктор на техническите науки. Бил е научен секретар (1994–2010 г.) и зам. директор (2003–2010 г.) на ЦЛВГ-БАН, а понастоящем е ръководител на Деп. Геодезия в НИГГГ-БАН. Научните му интереси са в областта на спътниковата геодезия, глобалните спътникови навигационни системи, геодезичните мрежи, перманентните GNSS мрежи, глобалната и регионална геодинамика, съвременните движения на земната кора, теорията на обработка на геодезичните измервания, геодезичната астрономия и астрометрия. Има над 150 публикации в България и в чужбина, в т.ч. 3 монографии. Той е хонорован преподавател в УАСГ, секретар на НК по геодезия и геофизика и нац. представител в Международната асоциация по геодезия.

Проф. д-н Димитър Димитров

НИГГГ – БАН
 Департамент Геодезия
 София 1113,
 ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3
 E-mail: clgdimi@argo.bas.bg



Д. Димитров е завършил специалност „Геодезия, фотограмметрия и картография“ в УАСГ. От 1980 г. е научен сътрудник в Централната лаборатория по висша геодезия (ЦЛВГ) при БАН. От 1985 до 1992 г. ръководи проект „Мониторинг на сеизмогенни зони“ в Алжир. През 1995 г. защитава докторска дисертация и е избран (1996 г.) за ст.н.с. (дн. доц.), а от 2003 г. – за директор на ЦЛВГ. Инициира и ръководи активно сътрудничество с академични институции във Франция, Русия, Чехия, Украйна, Полша, Румъния, Алжир, Гърция, Израел, Италия, Холандия, Китай, Чили. Организира и участва в първата българска геодезична експедиция на о-в Ливингстън в Антарктика. След създаването на НИГГГ-БАН е зам. директор. През 2010 г. е избран за доктор на техническите науки, а през 2011 за проф. Има над 100 научни публикации в страната и в чужбина. Основните му научни интереси са в сеизмотектониката. Участвал е в редица научни разработки с общонационално значение.

Доц. д-р Емил Ботев

НИГГГ – БАН
 Департамент Сеизмология
 София 1113,
 ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3
 E-mail: ebotev@geophys.bas.bg



Ем. Ботев е завършил специалност Геофизика в СУ (1979). През 1985 г. защитава докторска дисертация в Института по физика на Земята към АН СССР в Москва. Постъпва в ГФИ – БАН, където се занимава с изследване строежа на средата чрез скоростно моделиране. От 1986 г. е включен към НОТССИ (от 1997 до 2005 г. я ръководи). През 1996 г. е избран за ст.н.с. (дн. доц.). През 2002–2005 г. е зам. директор на ГФИ-БАН, а от 2007 г. ръководител на отдела по Сеизмология към ГФИ (от 2010 г. Деп. Сеизмология в НИГГГ – БАН). От 1997 до 2009 г. е научен секретар на Експертния съвет по сеизмична опасност към Правителствената комисия за защита на населението от природни бедствия, аварии и катастрофи. От 2011 г. е член на УС на Фонд „Научни изследвания“. Има над 140 публикации в страната и в чужбина, посветени на сеизмичността, сеизмотектониката, геодинамиката, съставянето и унифицирането на каталози на земетресенията, оценката на сеизмичния риск, изучаването на регионалното сеизмично поле в България, сеизмичното райониране и др.



ГЕОДЕЗИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ГЕОДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ В ЮГОЗАПАДНА БЪЛГАРИЯ

Колеланията на земната кора се дължат на различни причини. Някои от тях, като приливите в твърдата земна кора и океанските приливи, ротацията на Земята и движението на полюса, “твърдата”

ротация на континенталните плочи, са сравнително добре изучени. Други, като следледниковото издигане, земетресенията, заедно с пре-, ко- и пост-сеизмичните движения, движенията по различните

видове разломи и други, са обект на засилен интерес, но все още не са добре изучени. В районите с активни тектонски деформации, в по-голямата си част разположени по границите на континенталните плочи, движенията на земната кора са значително по-сложни от простия модел на "твърда" ротация. Определянето на движенията на земната кора в такива тектонски активни райони служи за изясняване на силите, предизвикващи тези движения. Деформациите в тези райони, въпреки че не се подчиняват на ротационния модел, са също константни, с изключение на късите интервали от време около катастрофалните събития – земетресенията. С други думи, определянето на "интерсеизмичното" поле на скоростите в такива райони показва основните характеристики на регионалните деформации и на геодинамичните процеси.

В настоящата статия е разгледана тектонската обстановка в района на Югозападна България и Родопите, както и положението на този район в контекста на регионалната геодинамична обстановка в Източното Средиземноморие. Дадени са сведения за изградената от Департамента по Геодезия при Националния институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) – БАН геодинамична GPS мрежа в тази част на България и проведените през годините GPS кампании за нейното измерване. Получените резултати за хоризонталните движения на земната кора от обработката и анализа на GPS измерванията, както и за вертикалните движения, получени от многократни нивелачни измервания, позволяват да се направят изводи за протичащите в района геодинамични процеси.

Мотивация

Няколко са причините да се изследват и анализират съвременните движения на земната кора, както и да се направят изводи и заключения за съвременните геодинамични процеси и поведението на основните тектонски структури в района на Югозападна България и Родопите. По-важните от тях са:

- както е известно, районът на Източното Средиземноморие е сложен, тектонски и сеизмотектонски активен район със значителни, достигащи до 35 mm/y, хоризонтални скорости на земната кора (McClusky et al., 2000) (вж. с. 4);

- районът на Южна България, и особено този на Югозападна България и Родопите, е най-активният тектонски и сеизмотектонски район на страната с доказани съвременен активни тектонски структури и движения на земната кора. Тук, в района на Крупник-Кресна, е регистрирано най-силното земетресение в континентална Европа за последните два века;

- създадената GPS геодинамична мрежа в района на ЮЗ България и Родопите позволява да бъ-

дат получени оценки за съвременните движения на земната кора. Тази информация дава възможност да се определят основните тектонски структури, да се потвърдят или отхвърлят геоложки и тектонски хипотези за района и е принос към оценката на сеизмичния риск.

Югозападна България – най-активната тектонска и сеизмотектонска област в страната

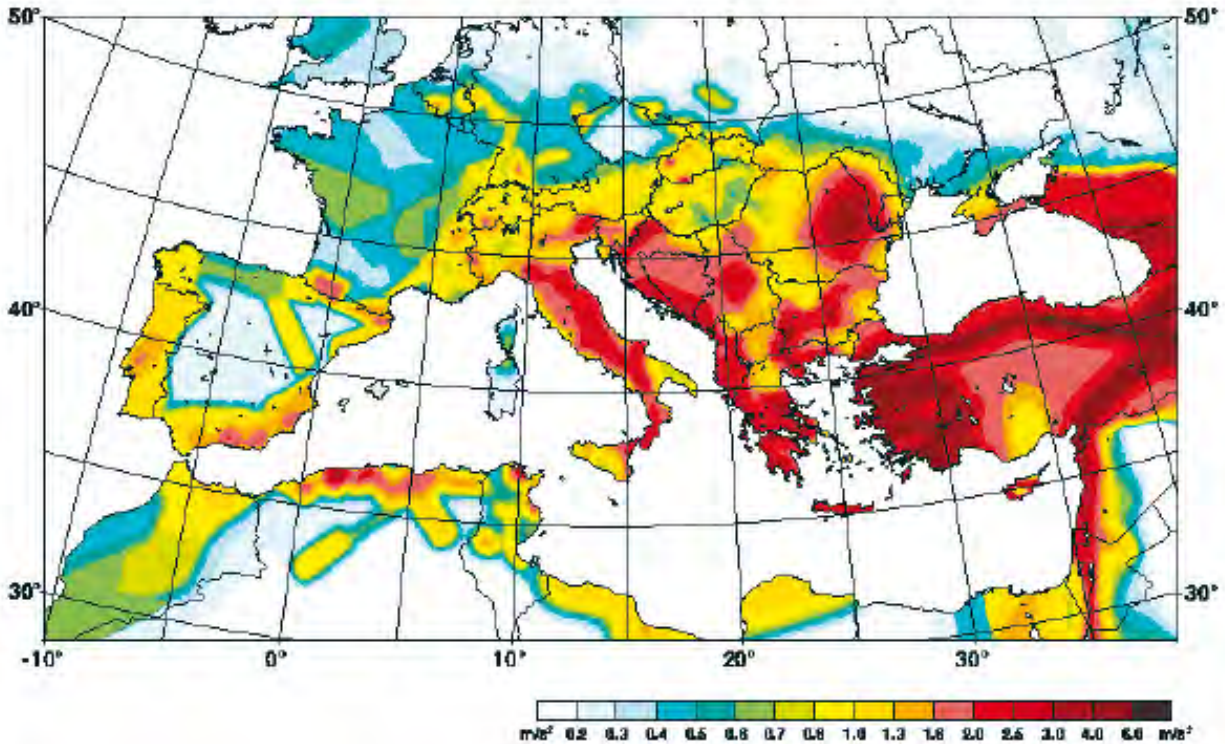
Тектонските процеси в Южна България по време на неогена и кватернера са резултат от разрушаването на късноалпийския ороген, екстензионната обстановка в задните северни части на Гръцката дъга и комплексното взаимодействие на интензивните вертикални и хоризонтални движения в района (Zagorchev, 1992a, 2001).

Югозападна България е най-активната тектонска област на страната, характеризираща се и с висока сеизмичност. Територията принадлежи на южната част на Централно-Балканския неотектонски регион – зона със съвременна екстензия на земната кора и със сложно взаимодействие на хоризонталните и вертикалните движения на тектонските структури (пак там). Геоложките и геофизичните данни потвърждават съвременната активност на разломните структури, формирани през късния неоген и кватернера. Областта се намира в северната част на Северноегейския регион и е силно повлияна от неговата тектоника и висока сеизмичност (фиг. 1).

Най-силното земетресение в Европа през последните две столетия с магнитуд 7.8 е регистрирано в ЮЗ България в района на Крупник-Кресна. Съвременната сеизмичност, регистрирана от Националната операционна телеметрична система за сеизмична информация (НОТССИ) при НИГГГ – БАН показва висока концентрация на събитията в областта на Крупник-Кресна и в поречието на р. Места (Botev et al., 2006).

Съвременните движения на земната кора в ЮЗ България са резултат от продължителното екстензионно движение във вътрешната част на Егейския регион. Районът е подложен на въздействието на продължаващ колизионен процес, причинен от палеосубдукция в Йонийско и Адриатическо море. McClusky et al. (2000) подчертават комплексното влияние на югозападните движения на Анадолската и на Северно-Егейската плоча по Северно-Анадолската разломна зона (NAFZ) в Егейско море, които предизвикват образуването на екстензионна зона на север от Северноегейския праг NAT (North Aegean Trough).

Регионът на ЮЗ България има ключово положение в регионалната неотектоника и съвременната тектоника, тъй като е разположен на пресечните точки между няколко важни разломни линеаменти: Струмски (Краищиден) линеамент с посока ССЗ–



Фиг. 1. Карта на сеизмичния риск според програмата "Global Seismic Hazard Assessment Program", част от Международната литосферна програма. Сеизмичният риск е изобразен като пиково земно ускорение (peak ground acceleration) с 10 % вероятност за очаквано събитие за 50 години

Fig. 1. Map of the seismic risk according to the "Global Seismic Hazard Assessment Program", part of the International Lithosphere Program. The seismic risk is represented as a peak ground acceleration with 10% probability for the expected event within 50 years.

ЮЮИ, Маришки линеамент с посока ЗСЗ–ИЮИ, и най-северните разломни разклонения на Североанадолската разломна зона NAFZ (Zagorchev, 1992b).

Регионална кинематика

Кинематичните модели на неотектонската, съвременната и най-съвременната (активна) кинематика на ЮЗ България съществуват за областта, разположена близо до границата на два големи неотектонски региона – Централните Балкани и Егейската зона, в смисъла на Загорчев (Zagorchev, 1992a, 1992b), наречени съответно Южнобалкански екстензионен регион и Егейска плоча от Након (Nakov et al., 2005). Кинематиката на тази гранична област зависи от различни фактори и механизми (Zagorchev, 1992a, 2005), като например: (1) Окончателното оформяне на два орогенни "клона" (Динариди-Албаниди-Хелениди и Карпато-Балканиди) като комплексни постройки от криволинейни морфоструктури, и орогенното пропадане на удебелената континентална кора на Тракийския регион; (2) Продължаващата субдукция под Егейската дъга и заддъгова екстензия в Егейския регион; (3) Относителните движения на микроплочите (Анадолска и Егейска); (4) Продължаващата роля на субдуцираните литосферни

плочи; (5) Неравномерните процеси на стопяване в дълбочина; (6) Изостатичните явления; (7) Коровата екстензия и мегабудинаж в дълбочина; (8) Куполообразването и разкъсването; (9) Дясното отседно движение по главните разломни пояси.

Хоризонтални и вертикални движения на земната кора

Научноизследователска GPS мрежа в Югозападна България и Родопите

Изложените по-горе факти за тектониката на района на Югозападна България показват необходимостта от геодезично изследване на съвременните геодинамични процеси. Геодезическите резултати позволяват да се приемат или отхвърлят различните геоложки и тектонски хипотези и дават количествени оценки на съвременните геодинамични процеси в района. Това е и основната причина за изграждане на геодинамична GPS мрежа в Югозападна България и в Западните Родопи.

Мрежата за мониторинг на съвременната кинематика на ЮЗ България и Родопите е проектирана и стабилизирана в началото на 2001 г. Състои се от 52 точки, избрани така, че да покриват основните тектонски структури (фиг. 2) и да осигуряват прос-



Фиг. 2. Съвременно активни и неотектонски разломи и разломни и хорстови структури в района на Югозападна България по геоложки данни.

Fig. 2. Contemporary active and neo-tectonic faults and fault-horst structures in South West Bulgaria by Geologic data

транствено покритие на целия регион. Изборът на всяка точка е направен след геоложки и теренни проучвания. Точките от мрежата са стабилизиращи в твърда скална основа с болтове от бронз или неръждаема стомана.

Разломните структури в Югозападна България (фиг. 2) са очертани по геоложки данни (Георгиев, 2010) и според "Геодинамична карта на Средиземноморието" (Barrier, E., N. Chamot-Rooke, G. Giordano, 2004: Geodynamic map of the Mediterranean. Sheet 1 – Tectonics and Kinematics. CGMW, France).

Първата GPS кампания за измерване на геодинамичната мрежа е осъществена през 2001 г.

GPS измервания и кампании за периода 1993–2007 г. Хоризонтални скорости на точките от геодинамичната мрежа в Югозападна България и Родопите

Значителен брой GPS кампании/измервания за периода 1993–2007 г. са извършени от или предоставени на Департамента по Геодезия. Това са всички измервания на точки от Основния и Второстепенен клас на Държавната GPS мрежа на България, измервания от геодинамичната мрежа в ЮЗ България и Родопите, от локалните геодинамични

мрежи в Софийския регион, Крупник-Кресна и Чирпан-Пловдив. Използвани са също така и данни от EUREF (European Reference Frame) кампаниите в България, като първата от тях е осъществена през 1993 г. (Георгиев, 2010).

Обработката на всички GPS кампании е извършена с последната версия на софтуера Bernese 5.0 в последната реализация на Международната земна координатна система ITRS (International Terrestrial Reference System) – ITRF2005. Подробности за обработката и анализа на GPS измерванията могат да бъдат намерени в публикациите на Ив. Георгиев и др. (2006, 2007) и Ив. Георгиев (2010).

Получените оценки за скоростите на точките от геодинамичната GPS мрежа в Югозападна България и Родопите са показани на фиг. 3 заедно с основните разломни структури.

Вертикални движения на земната кора

За да бъде направена комплексна оценка на геодинамичната обстановка в района на ЮЗ България, е използвана информация за вертикалните движения на земната кора. Тя е получена от многократни нивелачни измервания по нивелачни линии първи и втори клас от Държавната нивелачна мре-

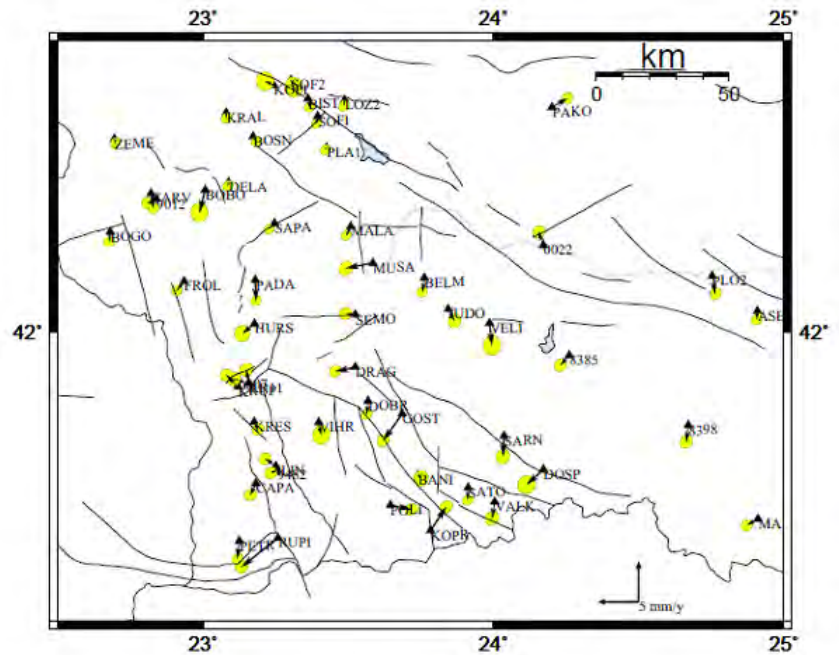
жа на в района на ЮЗ България. Измерванията на първокласните и второкласните нивелачни линии са извършени в три цикъла със средни епохи 1929.5, 1960.5 и 1981 за първокласните, и 1931.5, 1958.5 и 1986 за второкласните. Вертикалните скорости са изчислени при условието за линейно изменение на вертикалните движения с времето.

Относителните скорости по нивелачните линии се получават като разлика между височините на реперите, разделени на интервала от време относно един от възловите репери на линията. „Абсолютните“ скорости са получени спрямо фундаменталния изходен репер във Варна (за подробности вж. Belyashki et al., 2006). Абсолютните вертикални скорости са в интервала от -3,0 до +1,2 mm/y и от -1,6 до +2,4 mm/y, съответно за първокласните и за второкласните нивелачни линии.

Съществуващите второкласни нивелачни линии позволяват да се направи повърхностна интерполация на вертикалните скорости въз основа на цялата нивелачна мрежа в района на ЮЗ България. Трябва да се има предвид, че интерполацията между нивелачните линии не може да гарантира установяването на аномалии, но дава обща представа за вертикалните скорости на тектонските структури. Абсолютните стойности на вертикалните скорости за всички репери са представени на картата (фиг. 4), като изолиниите са изчертани чрез интерполация.

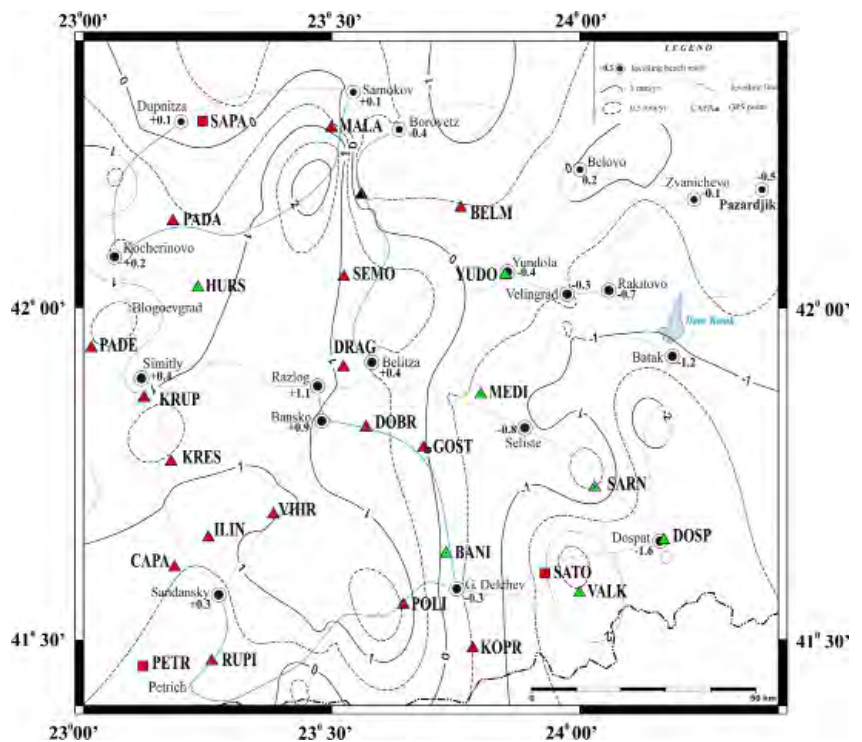
Профили на вертикалните движения на земната кора и локализиране на активните разломи

На фигура 5 са показани профили на вертикалните скорости за шест нивелачни линии, заедно с топографията на терена. Те представят вертикалните движения на всеки репер от нивелачната линия по отношение на началния и дават идея за вертикалните движения на земната кора по тази линия. Про-



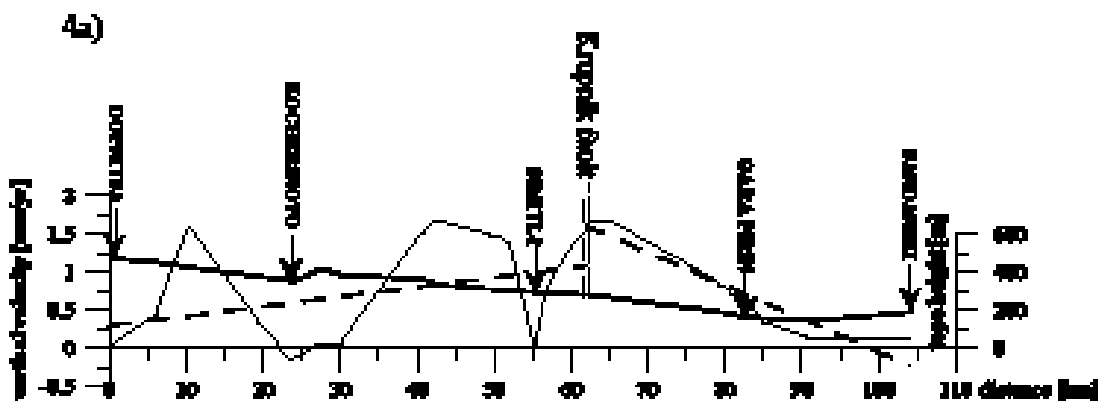
Фиг. 3. Скорости на точките от геодинамичната мрежа в Югозападна България и Родопите спрямо Евразия с 3σ елипси на грешките и основните разломни структури в района

Fig. 3. Speeds of the Geo-dynamic network points in South West Bulgaria and Mount Rhodopy, relatively to Eurasia with 3σ fault ellipses and the main fault structures in this region

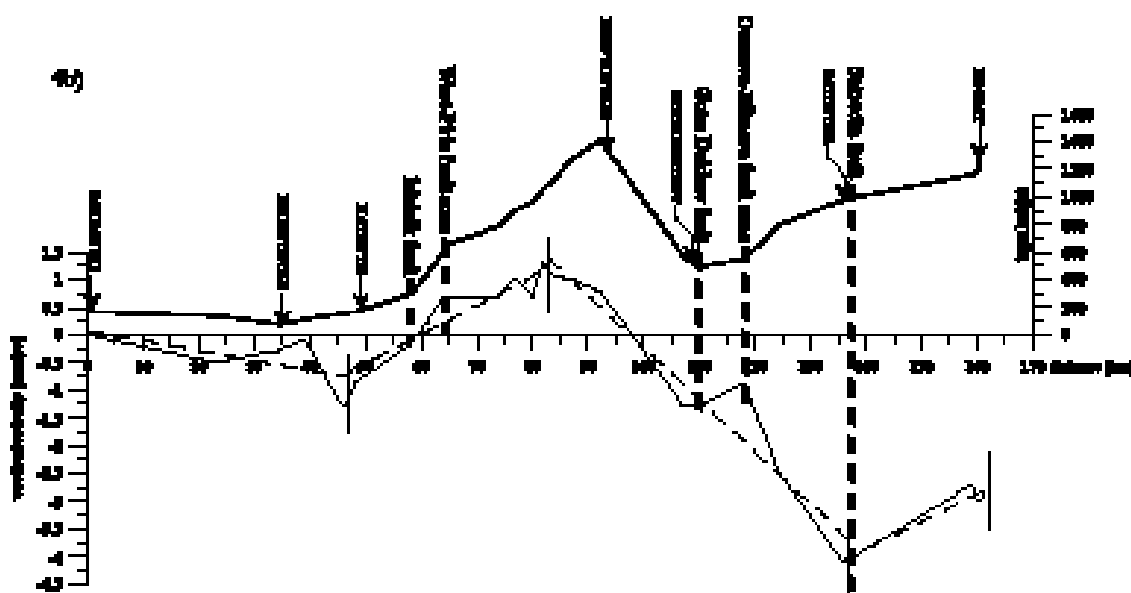


Фиг. 4. Карта на съвременните вертикални движения в района на ЮЗ България (по Belyashki et al., 2006)

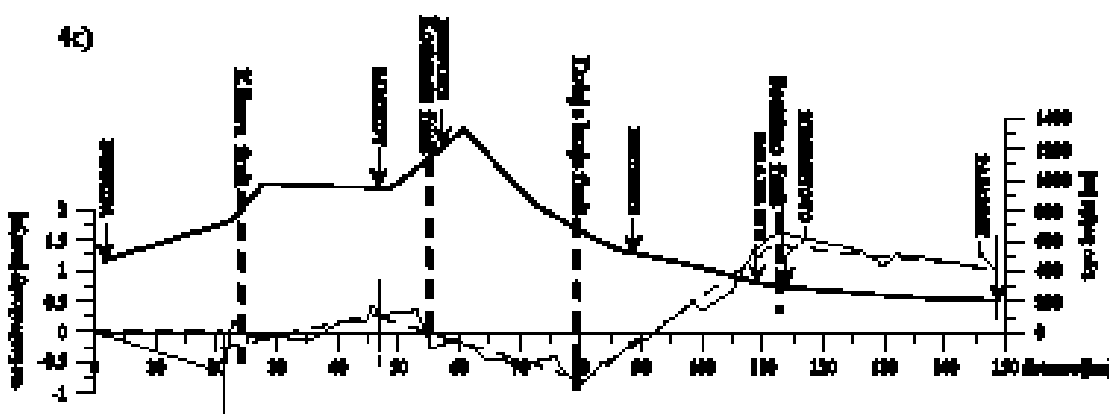
Fig. 4. Map of the contemporary vertical movements in South West Bulgaria (by Belyashki et al., 2006)



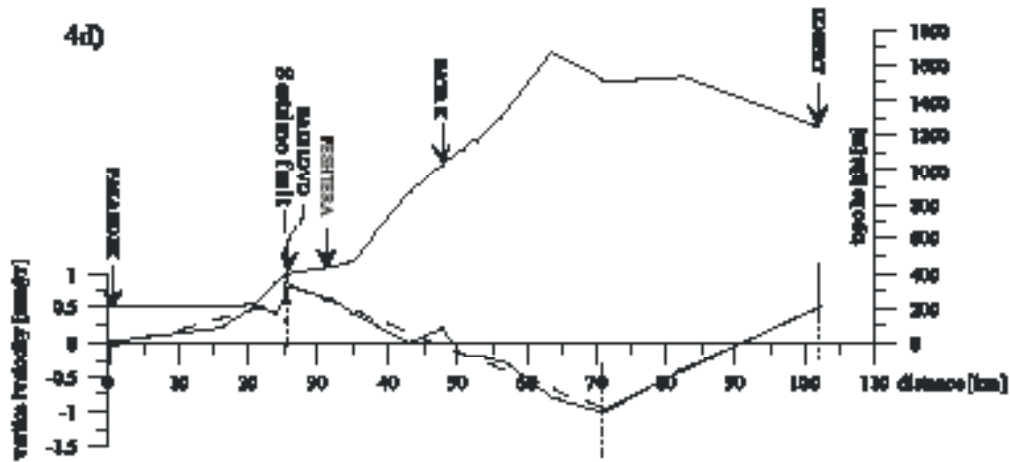
Нивелачна линия Дупница-Сандански



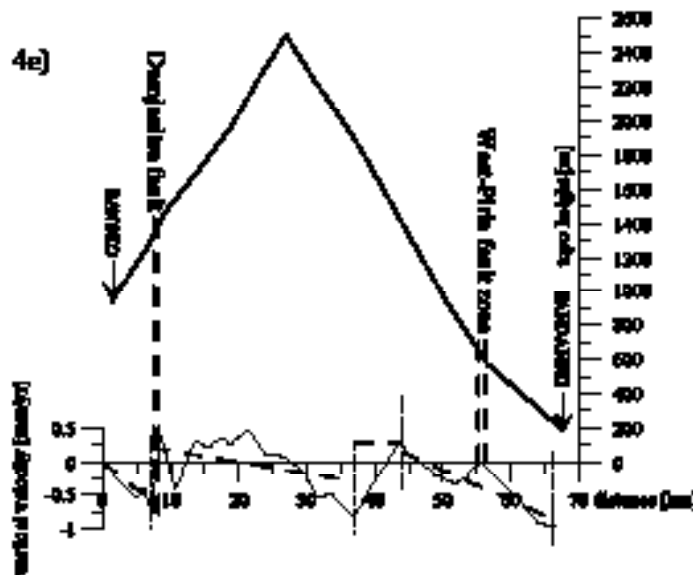
Нивелачна линия Сандански-Доспат



Нивелачна линия Дупница-Пазарджик



Нивелачна линия Пазарджик-Доспат



Нивелачна линия Банско-Сандански

Фиг. 5. Профили на вертикалните скорости и активно разломяване.

На фигурите са дадени профилите на вертикалните скорости, топографските профили с местоположението на големите селища и повърхностните изяви на разломните структури по геоложки данни

Fig. 5. Profiles of the vertical speeds and active faulting.

The figure represents profiles of the vertical speeds, topographic profiles and position of the main settlements, as well as the surface manifestation of fault structures by Geologic data.

филите са разделени на секции, като дебелите прави линии представляват промените на вертикалната скорост между секциите (между два последователни репера). Разломите са нанесени върху профилите по геоложки данни.

Сравнението на получените промени в знака на вертикалните скорости с геоложките данни за разломните структури разкрива един забележителен резултат – почти всяка промяна в знака на вертикалните скорости съвпада със съвременна активна по геоложки данни разломна структура. Това позволява профилите на вертикалните скорости да се използват за локализиране на съвременните разломи.

Геокинематична и геодинамична интерпретация и дискусия на получените резултати

Получените хоризонтални скорости на GPS точките от геодинамичната мрежа в ЮЗ България и Родопите показват движение в юг-югозападна посока по отношение на стабилната Евразия. Средната скорост е около $1,3 \pm 0,3$ mm/y в направление юг-югозапад (фиг. 6).

Крупнишкият разлом представлява тектонско нарушение с регионално значение за западната част на изследваната област. Скоростта на точките KRUP и KR11 (точки от локалната геодинамична мрежа в Крупник), които се намират от северната

страна на разлома, показват малки движения в северна посока. Това е едно от аномалните движения в района на ЮЗ България и то се съгласува много добре с геоложките и тектонски данни – процесите на разседното разломяване на север-северозапад (потъване N60–70°), както и с направената реконструкция на съвременното поле на тектонските напрежения (Shanov and Dobrev, 2000) в района на Крупник. Скоростта на общата деформация по протежение на разлома (Dobrev, Georgiev, Kostak, 2006), получена от екстензометрични измервания, се съгласува добре с GPS данните.

Положението при *Пределския разлом* е различно – движението на точка DRAG (разположена в Разложкия грабен) на югозапад е свързано с потъване на север-североизток на висящото крило на Пределския разлом и с последващо “забавяне” на седиментния комплекс на грабена спрямо общата тенденция за областта. Скоростите на точките DRAG, DOBR и триангулационната точка на връх Вихрен (VIHR) дават основание да се предположи, че по разлома се осъществява разседно разломяване. Всички точки северно от линията на разломите Крупнишки–Пределски показват по-ниски скорости в сравнение с точките, разположени южно от тази линия. Процесите по разломните структури на север от тази линия са по-слабо изразени. Разликата между скоростите на точка FROL (Лисийски хорст) и точка PADA (Рилски хорст) дава основание да се предполага, че по Западнорилската разломна зона има разседно движение.

GPS точките, разположени в Рила планина, имат сравнително еднородни скорости. Би могло да се приеме, че целият Рилски хорст се движи хомогенно и не може да се правят изводи за активността на разломите в този блок. Според геоложките данни, активността на оградните структури на Разложкия грабен се изразява чрез дясно отседно движение по *Семковския разлом*.

Наличните геодезични данни подкрепят схващането, че Рилският и Западнородопският хорст представляват съвместно движеща се тектонска единица. Областта на запад от Рилския хорст също може да се присъедини към тази единица поради еднородните скорости на точките FROL, SAPA, MALA и (отчасти) PADA. Тази квазихомогенна единица се отделя от западната част на Рилския хорст само от вертикалното преместване по *Белиискърския разлом*.

На юг от линията на разломите Крупнишки и Пределски (фиг. 6), в Санданския грабен може отчетливо да се наблюдава екстензионен режим. Точката VIHR в Пирин се движи в противоположна посока на точка ILIN, и това означава, че разседното разломяване в Западнопиринската разломна зона е насочено на запад. Скоростта на точка ILIN може да се обясни като резултат от две противоположни тенденции. Първата е, че цялата област се движи в южна посока, а втората – че има потъване на Сан-

данския грабен по висящото крило на Западнопиринската разломна зона (посока N160°, потъване на запад-югозапад 80° за северната част, и 35° за южния сегмент), като второто движение е доминиращо. Подобни размествания се наблюдават по протежение на *Мелнишкия разлом*.

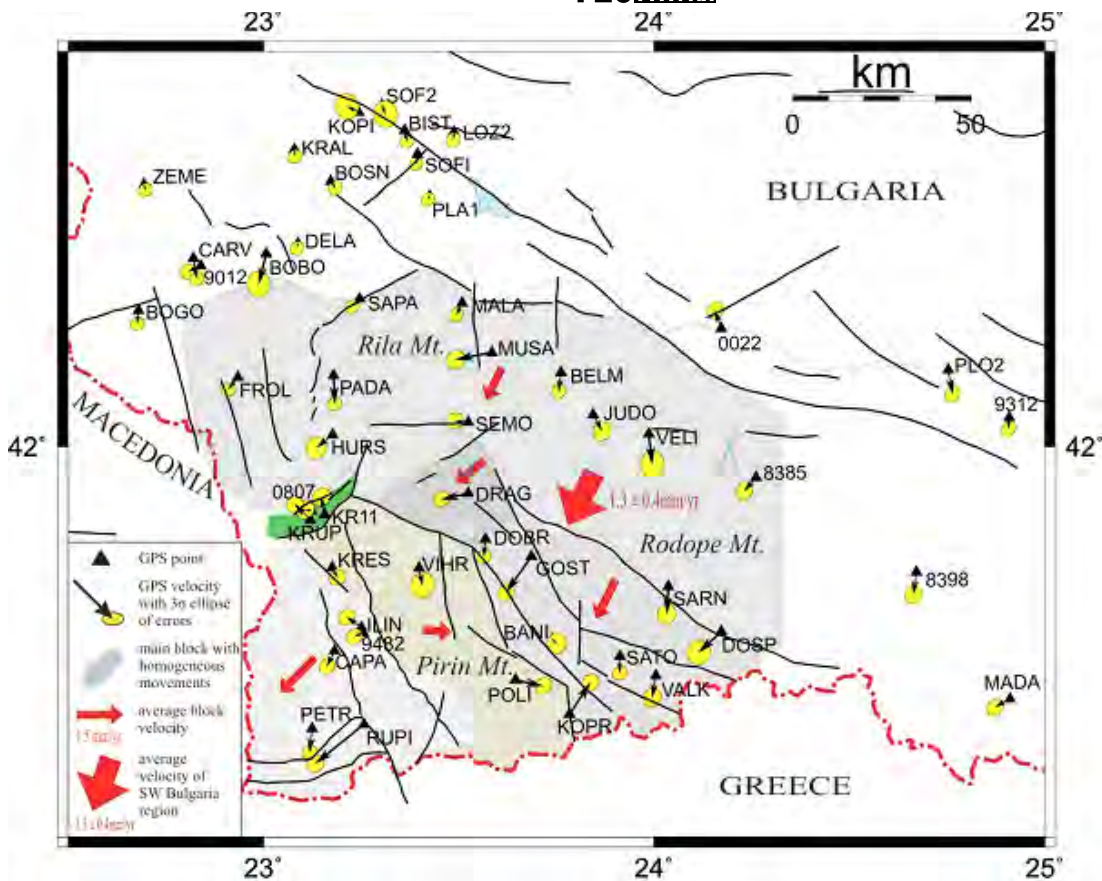
Тектонските единици на юг от Крупнишкия разлом и на изток от Огражденския блок може да се характеризират с по-високи скорости на преместване, особено в южните части. Тук може да се видят и признаци за завъртане в посока, обратна на часовниковата стрелка (POLI и KOPR), което безспорно потвърждава, че разломите Крупнишки и Пределски са съвременно активни тектонски структури.

Движение на юг-югозапад се наблюдава в Огражденския хорст. Според палеомагнитните изследвания в Република Македония (Pavlidis and Kondoroulou, 1987), тази част на Сръбскомакедонския масив се завърта по посока на часовниковата стрелка от олигоцен до днес на около 10°. Подобен резултат е получен от анализа на неотектонските и съвременните тектонски полета на напреженията (Shanov, 1997). Скоростите на точките SAPA, PETR и RUPI подкрепят до голяма степен съществуването на такова завъртане.

Пиринският хорст показва по-бързо движение на югоизток с вертикално издигане с 2 mm/y, получено от нивелачните измервания. Векторите на хоризонталните скорости на точките VIHR, POLI и KOPR свидетелстват за завъртане в посока, обратна на часовниковата стрелка. Съгласно палеомагнитните данни на П. Ножаров (непубликувано съобщение) и Mauritsch et al. (2002), Южен Пирин се е завъртял от неогена досега на 120°. Подобно завъртане е получено и въз основа на тектонски реконструкции и интерпретации (Загорчев, 1971).

Активността на *Доспатския разлом* може да се опише като разседно разломяване по повърхността с посока N120° и наклон на североизток N70–80°. *Сатовчанският разлом* се характеризира с разседно разломяване по равнина с посока N 110° и потъване в южно-югозападно направление. Според скоростите на точките SATO и VALK, висящият блок е изместен на юг. Гоцеделчевският грабен, който е формиран между Пиринския и Беслетския хорстове, е “притиснат” от тези две структури и това може да се види особено ясно в най-южната част на грабена. Точки POLI и KOPR, намиращи се в Пиринския хорст, показват движение към грабена с направление изток-североизток, а точките SATO и VALK показват преместване на юг, тъй като са “избутани” от Беслетския хорст.

Новата карта на съвременните вертикални движения в Югозападна България разкрива обща тенденция на потъване, като стойностите са в интервала между –3,0 и +1,0 mm/y. Както може да се види на картата на вертикалните движения, изолинията



Фиг. 6. Основни тектонски блокове с хомогенни движения в района на Югозападна България
Fig. 6. Main tectonic blocks with homogenic motions in South West Bulgaria

на нулевата скорост разделя района на ЮЗ България на източна част с преобладаващи отрицателни стойности, и на западна част с преобладаващи положителни стойности. Има ясно изразено издигане в западната част на Рилския хорст, което е отделено от самия хорст и от Белиискърския разлом. Този разлом е известен като разсед-отсед и нивелачните данни потвърждават, че източната част на Рилския хорст е подложена на потъване. В част от Пиринския хорст също се наблюдава интензивно издигане. На юг от Благоевград, съответно от Крупник, се установяват локални издигания. Според геоложките данни те съвпадат с хорстовете на Моминоклисурски и Кресненски прагове, които са се издигнали през неогена. В целия район на Западните Родопи преобладават отрицателните скорости с минимална стойност -3 mm/u в района на Сатовча.

Активното разломяване се очертава много добре върху профилите на вертикалните скорости (фиг. 5). Съвременните движения (активната тектоника) са регистрирани по девет от неотектонските разломи, а именно по разломите Клисурски, Белиискърски, Костенецки, Долнобански и Сестримски (всички в Рилския блок), Крупнишки и Дамянишки (в Пиринския блок) и Доспатски и Сатовчански.

През последните 14 години в района на Югозападна България и западните Родопи по данни на НОТССИ са регистрирани над 5600 сеизмични събития с магнитуд по-голям от 0,1, като повече от 700 от тях са с магнитуд по-голям от 2,5. Повечето от земетресенията са концентрирани в горните 20 km на земната кора, т.е. те съответстват на движенията по протежение на отделните разломи и разломни зони (Загорчев, 1970, 1971, Zagorchev, 1992b). Локализиран са някои от най-важните огнища, по-специално в Крупник, Рила и Беласица (Botev et al., 2006). Максималното напрежение на компресия, отнасящо се за Струмската сеизмична зона, е с наклон от около 43° – 54° , а минималното напрежение е ориентирано на С–Ю и е почти хоризонтално (Botev et al., 2006). При сравнението с регистрираните хоризонтални скорости обаче става ясно, че полето на напреженията има разнороден характер. Най-общо, преобладаващият кинематичен модел за най-съвременните движения по сеизмичните данни съответства на екстензия с посока С–Ю – резултат, сравним със ситуацията в Егейския регион.

Въз основа на тектонските структури, определени по геоложки данни, и получените хоризонтални и вертикални движения на земната кора, както и

Таблица 1. Съвременна разломна активност съгласно геоложки и геодезични данни за ЮЗ България**Table 1.** Current fault activity according to Geologic and Geodetic data about South West Bulgaria

Разлом	Геоложки данни				Активност според	
	Структурни характеристики			Тектоника	GPS	Нивелация
	Тип	Посока (°)	Потъване			
Клисура	разсед	60	NW	NW блок се движи надолу	не	да
Бели Искър	отсед	0	вертик.	отседно и разседно движение	не	да
Бистрица	отсед	90	вертик.	отседно и разседно движение	не	не
Западно-Рилска разломна зона	разсед	0 – 10	W	W блок се движи надолу	не	не
Градево	разсед	60 – 70	SSE	SE блок се движи надолу	не	не
Крупник	разсед	50 – 60	NNW	NW блок се движи надолу	да разсед	да
Семково	разсед	60	SSE	SE блок се движи надолу	не отсед	не
Предела	разсед	120	NE	NE блок се движи надолу	да	не
Дамяница	отсед	0	вертик.	отседно и разседно движение	да отсед	да
Източно-Пиринска разломна зона	разсед	160	ENE	E блок се движи надолу	не	не
Разломна зона Осеново-Рибново	разсед	160 – 120	WSW	SЗ блок се движи надолу	не	не
Доспат	разсед	120	NE	NE блок се движи надолу	да разсед	да
Сатовча	разсед	110	SSW	SW блок се движи надолу	да разсед	да
Разломна зона Огняново-Илинден	отсед	0	вертик.	отседно и разседно движение	не	не
Гоце Делчев	разсед	120	NE	NE блок се движи надолу	не	не
Западно-Пиринска разломна зона	разсед	160	WSW	SW блок се движи надолу	да разсед	не
Мелник	разсед	150	WSW	SW блок се движи надолу	да разсед	не
Костенец	разсед	100	N	N блок се движи надолу	не	да
Катунци	разсед	30	NW		да разсед	не

вземайки предвид получените напрежения на земната кора, територията на ЮЗ България може да бъде разделена на пет хомогенни блока (фиг. 6).

Геоложките и геодезическите данни за съвременно активните разломи и разломни структури в ЮЗ България и Западните Родопите са обобщени в таблица 1. Тези нови резултати са съществен принос към геоложките и тектонски хипотези за региона

на ЮЗ България и Родопите. Получените резултати разкриват нова картина и нови характеристики на съвременните движения на земната кора в ЮЗ България и Родопите. Въз основа на хоризонталните и вертикалните скорости може да се приеме, че тектонска активност се осъществява по Западнопиринския разлом, очертаващ източната граница на Санданския грабен, по Мелнишкия и, вероятно, по

Катунския разлом. Крупнишкият разлом безспорно е съвременен активен. Разломите при Предела и Доспат са отбелязани като активни разседи. Доказана е и активност по североизточната граница на Гоцелчевския грабен – по Сатовчанския разсед.

Получените резултати допринасят за изясняване на сложния тектонски модел на ЮЗ България и Родопите, и **потвърждават доминиращия екстензионен режим** в Северноегейския регион. Те също така потвърждават хипотезата, че основната причина за съвременните движения на земната кора са продължаващите неотектонски процеси, под влиянието на които са се формирали основните тектонски структури в този район.

Геодезичните резултати и техният принос към геоложките проблеми

Изложените нови геодезични резултати се отнасят за най-съвременните (активни) тектонски движения през последните 15 години. Резултатите за вертикалните движения на земната кора обхващат по-дълъг период. Основните геоложки изводи в регионален мащаб могат да се обобщят както следва:

1. Цялостният съвременен тектонски модел на ЮЗ България следва вече известния неотектонски модел (напр., Загорчев, 1971).

2. Съвременната и най-съвременната динамика и кинематика съответстват на преобладаващата екстензия на С–Ю, свързана с екстензионния режим на Егейския район. Този режим е наложен върху региона по-късно (от ранния плейстоцен до днес, Traşos, 2005) от екстензията с приблизителна ориентация ЗЮЗ–ИСИ, типична за Струмския разломен пояс.

3. Комплексният тектонски модел има за резултат много разнородно поле на напреженията и деформациите. Диференцираните блокови движения имат комплексен характер както през неотектонския, така и през най-съвременния етап, с

компоненти на разсядане (normal faulting) – преобладаващи, както и с обратни (възседни) (upthrust) компоненти и отседи (strike-slip) и наклоняване и завъртане на блоковете.

4. Противоположни диференциални движения (opposite-sense incremental movements) (напр., най-съвременните възседни движения по южния борд на Симитлийския грабен върху Вартичовишкия хорст; някои десни отседи (right-lateral slips) върху лявоотседни разломи (left-lateral strike-slip faults), и обратно могат да обяснят привидния парадокс, че общите премествания по главните разломи и разломни зони са далеч по-малки от сумата на инкрементните премествания, приети въз основа на съвременните движения и интегрирани по целия неотектонски етап. Има доказателства за значителни вертикални движения по Крупнишкия разсед (normal fault) през късния понт и през плиоцена, както и по време на силни земетресения, но регистрираното общо отместване от 2,5 – 3,0 km не би могло да даде обяснение в случай, че тези много високи нараствания се приемат за средна стойност. Поради това, целият неотектонски процес би могъл да се разглежда като поредица от дискретни събития, като някои от тях дори са противоположни на общата тенденция.

Скоростите на точките в ЮЗ България показват движение в южна и югозападна посока по отношение на стабилна Евразия. Това движение се съгласува добре с дясно отседното движение по западната част на Северноанадолския разлом и Северноегейската екстензионна зона. Нарастващите по стойност съвременни хоризонтални движения в посока от север на юг обясняват и екстензионния режим север-юг на структурите в района на Северноегейската област.

Получената осреднена скорост и нейната посока се съгласуват много добре с посоката на екстензия в Егейската екстензионна зона и като цяло, с кинематичния модел на Източното Средиземноморие.

Литература

Георгиев, Ив., П. Гъбенски, Г. Гладков, Т. Ташков, П. Данчев, Д. Димитров. Държавна GPS мрежа: Обработка на наблюденията от основния клас. – Висша геодезия, 18, ВГС на БА, 2006, 209 с. (специално издание)

Георгиев, Ив., П. Габенски, Г. Гладков, Т. Ташков, П. Данчев, Д. Димитров. Държавна GPS мрежа: Обработка на наблюденията от второспеления клас. – Висша геодезия 20, ВГС на БА, 2007, 190 с.

Георгиев, Ив. Държавна и перманентна GPS мрежи на Република България – обработка на измерванията, анализ и приложение в геодинамиката. – Автореферат на дисертация за присъждане на научната степен „Доктор на техническите науки”, С., 2010, 73 с.

Загорчев, И. Върху неотектонските движения в част от Югозападна България. – Изв. Геол. инст., сер. геотект., 19, 1970, 141–152.

Загорчев, И. Някои особености на младоалпийския блоков строеж на част от Югозападна България. – Изв. Геол. инст., сер. геотект., 20, 1971, 17–26.

Barrier, E., N. Chamot-Rooke, G. Giordano. Geodynamic map of the Mediterranean. Sheet 1– Tectonics and Kinematics. – CGMW, France, 2004.

Belyashki, T., I. Georgiev, D. Dimitrov, L. Pashova, G. Nikolov. Recent vertical crustal movements in South-western Bulgaria. – Geodesy, 17, 2006, pp. 35–52.

Botev E., I. Georgiev, D. Dimitrov. Recent seismicity, stress and strain in South-western Bulgaria. – Geodesy, 17, 2006, pp. 53–69.

Dobrev, N., I. Georgiev, B. Kostak. Extensometric and

GPS monitoring of tectonic movements in the Simitly graben, South-western Bulgaria. – *Geodesy*, 17, 2006, pp. 98–107.

Jackson J. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey. – *J. Geophys. Res.*, 97, 1992, 12471–12479.

Jackson J., D.P. McKenzie. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. – *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 77, 1984, 185–246.

Jackson J., McKenzie, D. The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. – *Geophysical Journal*, 93, 1988, 45–73.

Mauritsch H., I. Zagorchev, H. Haubold, A. Harkovska, G. Nikolov. Post-Oligocene block rotations in the Struma/Strymon area (a palinspastic attempt based on structural and palaeomagnetic evidence). – 3rd Balkan Geophysical Congress and Exhibition, Sofia, Bulgaria, 2002, v. S9–3; 193–194.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A. Demir, C. Ergintav, S., Georgiev, I., Gurcan, O., Hamburger, O., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M., Veis, G. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. – *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, Vol. 105, No.B3, 2000.

McKenzie D.P. Plate tectonics of the Mediterranean region. – *Nature*, 226, 1970, 239–243.

Nakov R., V. Kotzev, C. Burchfiel, R. King. Ten years of GPS studies on the active tectonics of Bulgaria: an overview and basic results. – *Proceedings, Jub. Intern. Conf. "80 years Bulg. Geol. Soc."*, 2005, 46–49.

Pavlidis S.B., D.P. Konodopoulou. Neotectonic and paleomagnetic results from Neogene basins of Macedonia (N Greece) and their geodynamic implications. – *Ann. Inst. Geol. Publ. Hung.*, 70, 1987, 253–258.

Shanov S. Contemporary tectonic stress fields in the eastern part of the Balkan Peninsula. – Thesis for D.Sc. degree "Doctor of geological sciences", Sofia, Geological Institute of BAS, 1997, 194 p. (in Bulgarian).

Shanov S., D. Dobrev. Tectonic stress field in the epicentral area of 04.04.1904 Kroupnik Earthquake from stria on slickensides. *Geodynamic Investigations on the Territory of Bulgaria. Investigations of the Krupnik-Kresna Region Related to the 1904 Earthquake.* – *Reports of Geodesy. Warsaw University of Technology*, 4 (48), 2000, 117–122.

Zagorchev I. Neotectonic development of the Struma (Kraistid) Lineament, south western Bulgaria and northern Greece. – *Geological Magazine*, 129, 2; 1992a, 197–222.

Zagorchev I. Neotectonics of the central parts of the Balkan Peninsula: basic features and concepts. – *Geologische Rundschau*, 81, 3; 1992 b, 635–654.

Zagorchev I. South Western Bulgaria. *Geological Guidebook.* – Sofia, Bulg. Acad. Sci., 2001, 98.

Zagorchev I. Mechanisms of Late Alpine extension in the eastern part of the Balkan Peninsula. *Proceedings, – Jub. Intern. Conf. "80 years Bulg. Geol. Soc."*, 2005, 57–60.

GEODETIC STUDIES OF CONTEMPORARY GEODETIC PROCESSES IN SOUTH WEST BULGARIA

Prof. **Iv. Gergiev**, D.Sc.

Prof. **D. Dimitrov**, D.Sc.

Assoc. Prof. **Em. Botev**, Ph.D.

National institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS

Summary

The paper describes the establishment of GPS geodynamic network in the region of Southwest Bulgaria and the Rhodopes for monitoring the recent crustal movements in this most active tectonic and seismotectonic region in Bulgaria, for assessment of the seismic hazard and for the seismic zoning. Briefly are given the tectonic settings in the East Mediterranean and the tectonic and geological characteristic of the Southwest Bulgaria and Rhodopes. On the basis of the processing and analysis of 33 GPS campaigns during the period 1993–2007 the horizontal velocities of 89 GPS points on the territory of Bulgaria are obtained. They represent at the moment the velocity field in the country. The recent active faults and fault structures have been localized by the analysis of the horizontal velocities in the region of SW Bulgaria and the Rhodopes, vertical crustal movements, geological, tectonic and seismotectonic data. The territory of SW Bulgaria is divided in five blocks with homogeneous recent movements and average velocity in south-southwest direction of 1.3 ± 0.3 mm/y with respect to stable Eurasia. This movement is in good agreement with the regional kinematics in the East Mediterranean.