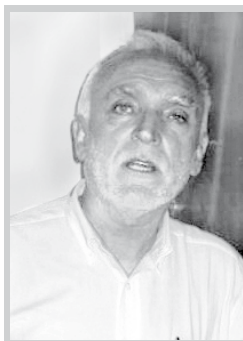


**Проф. д-н Димитър Димитров**

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 г. 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.

**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.

**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 СЕИЗМОГЕННАТА ЗОНА ЧИРПАН – ПЛОВДИВ

Една от основните задачи на науките за Земята е да се изследват процесите, водещи до силни земетресения. Геодезичните изследвания на съвременните движения на земната кора, предизвикани от сеизмотектонски причини, са важна част от изу-

чаването на сеизмогенните зони. Геодезичните измервания позволяват да се определи и проследи пространственото положение на материализирани върху земната повърхност контролни точки. Установените закономерности в тяхното преместване в

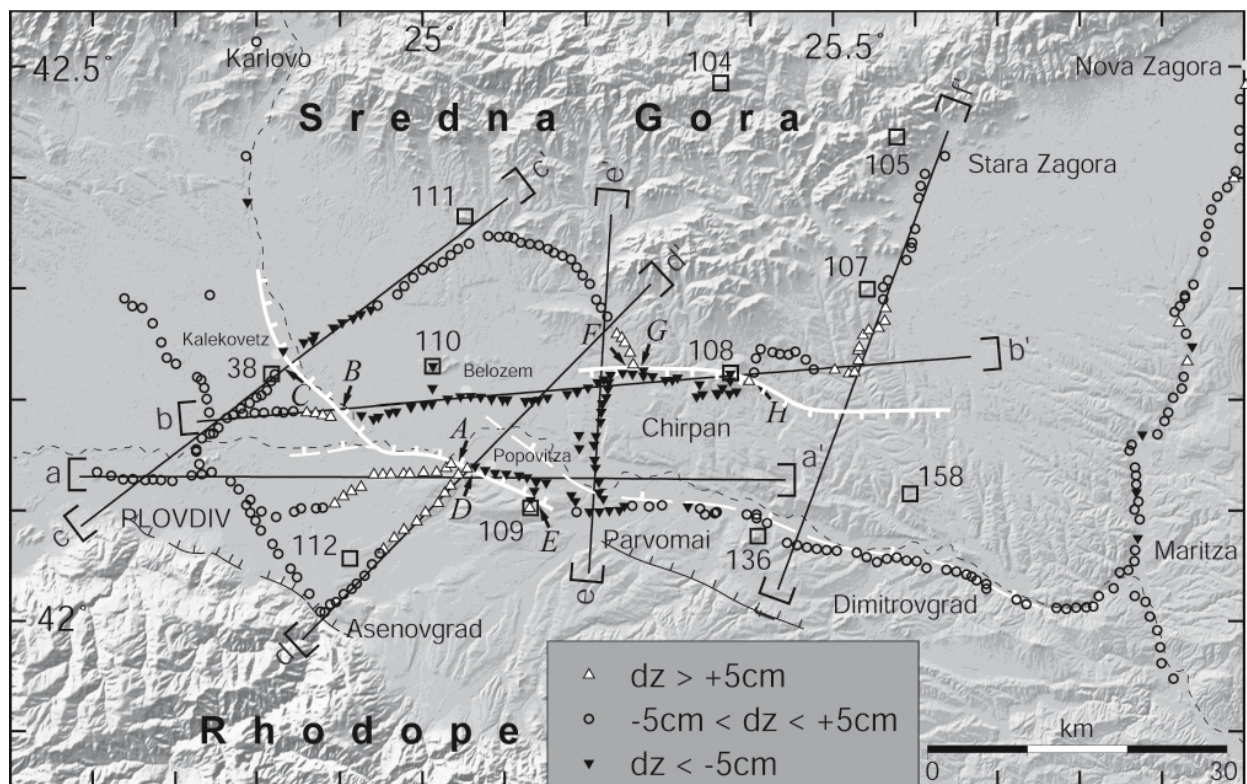
пространството и в развитието на бавните и бързите движения дава възможност да се опознаят процесите на натрупване, освобождаване и пренос на тектонските напрежения.

### Геодезичните данни за ко-сеизмичните премествания от земетресенията Чирпан – Пловдив от април 1928 г.

Държавната нивелачна мрежа в района е стабилизирана и измерена през 1923–1927 г. от Географския институт на Българската армия. Преизмерването на нивелачните ходове в/и около поразената от земетресенията зона през 1929–1930 г. позволи да се определят значителните ко-сеизмични

премествания на реперите, представени схематично в план на фигура 1. В таблица 1. са представени местата на ко-сеизмичните вертикални теренни разкъсвания, определени от вертикалните премествания на два нивелачни репера, намиращи се от двете страни на главните теренни разкъсвания.

Държавната триангулационна мрежа в района е стабилизирана и измерена през 1926 г. от Географския институт на Българската армия. През 1954 г. са преизмерени ъглите само от пет станции в зоната с максимални разрушения от земетресенията през 1928 г. През 1993 г. се преизмериха с GPS 12 точки от държавната триангулация, инсталирани в района през 1926 г., което позволи да се определят и техните хоризонтални ко-сеизмични премествания.



**Фиг. 1.** Схематично представяне на геодезични данни за вертикални ко-сеизмични премествания от двата главни труса от април 1928 г.

Главните ко-сеизмични разкъсвания на земната повърхност са представени с бели линии. Нивелачните репери с премествания под 5 см са представени с кръгчета, тези с издигане над 5 см с бели триъгълници, а потъналите репери с повече от 5 см – с черни триъгълници. С главни латински букви (от А до Н) са представени местата с максимални теренни разкъсвания, определени от геодезичните нивелачни измервания и представени в табл. 1. Преизмерените триангулационни точки в зоната са представени с четириъгълници. Сеченията а–а'; б–б'; с–с'; д–д'; е–е' и ф–ф' са представени с ширината на обхвата на нивелачни репери, анализирани на фиг.2.

**Fig. 1.** Schematic representation of geodetic data about the vertical co-seismic shifts from the two quakes in April 1928. The main co-seismic ruptures of the Earth surface are represented by white lines. Leveling benchmarks with shifts more than 5cm are represented by circles, the ones with elevation more than 4cm by white triangles, while benchmarks sunk more than 5 cm are shown like quadrangles. Capital Latin letter notify places of maximum terrain ruptures, determined by geodetic leveling measurements and shown on Table 1. Re-measured triangulation points in the zone are shown as quadrangles. The a–a'; b–b'; c–c'; d–d'; e–e' and f–f' sections are represented by the leveling benchmarks breath of scope, analyzed on Fig. 2.

**Таблица 1.** Геодезични данни за вертикалните ко-сеизмични премествания по данни на осем пресечени точки на нивелачните ходове с главните теренни разкъсвания (A1 = максимално издигане, A2 = максимално потъване, A1+A2 = общо вертикално отместване от геодезичните данни, R = A1 / A2)

**Table 1.** Geodetic data about the vertical co-seismic shifts according to data from eight crossing points of the leveling moves with the main terrain ruptures (A1= maximum elevation, A2 = maximum slump, A1+A2 = total vertical displacement from the geodetic data, R = A1 / A2)

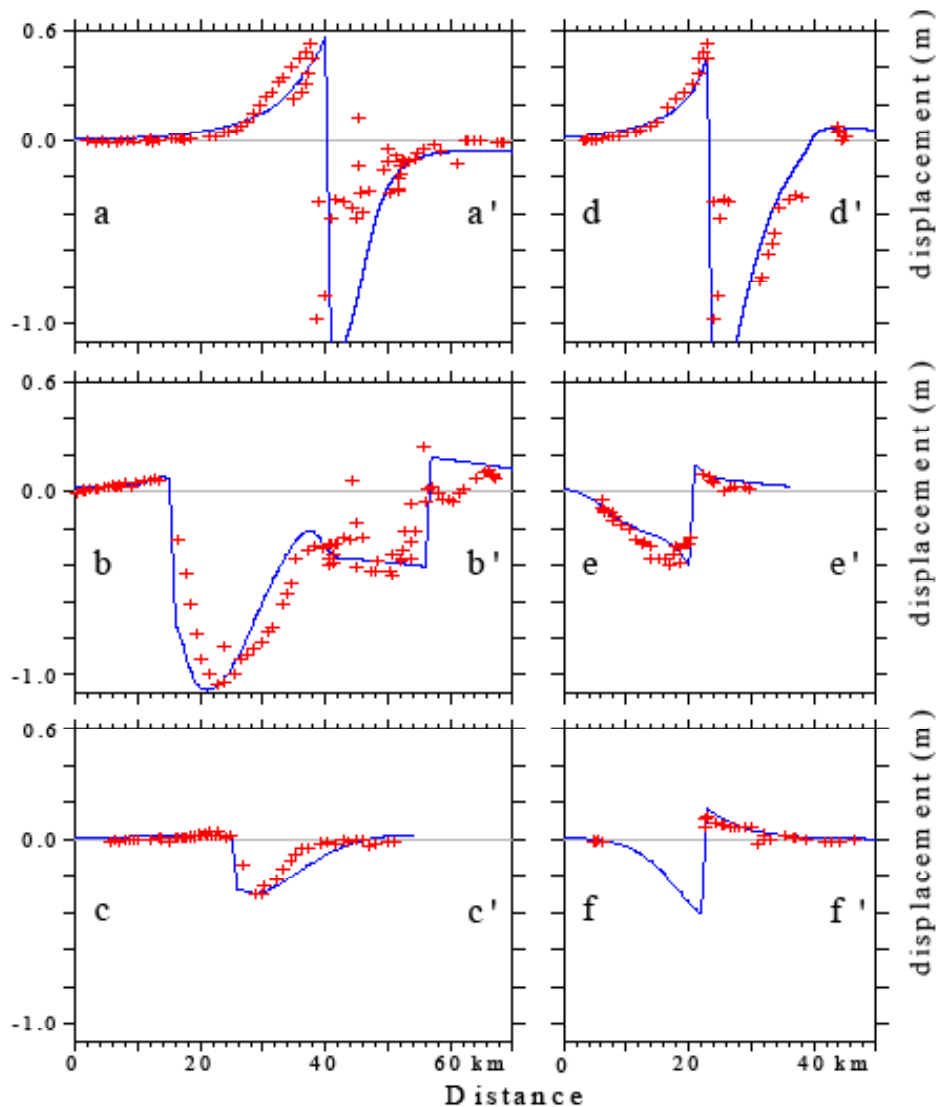
Место на фиг. 1		A1 (m)	A2 (m)	A1+A2 (m)	R = A1/A2	Сир (°)
Панчовци Зап.	A	0.53	-0.97	1.50	0.55	70
Беласица	B	0.07	-1.05	1.12	0.067	40
Калотиница	C	0.02	-0.31	0.33	0.079	40
Панчовци Юг	D	0.45	-0.97	1.42	0.46	60-80
Трънско т. 109	E	0.13	-0.28	0.41	0.46	60-80
Черно Гора	F	0.09	-0.40	0.49	0.23	40-60
Червен МГ	G	0.02	-0.14	0.16	0.14	35-55
Сандански	H	0.10	—	—	—	—

**Фиг. 2.** Профили от a-a' до f-f' (представени на 3.1.1.2.), с най-доброто съвпадение на измерените с моделните ко-сеизмични премествания на 360 нивелачните реперни.

С кръстчета са представени геодезичните данни за измерените ко-сеизмични премествания в обхвата на профила, а с плътна синя линия – моделните (теоретични) премествания по профила. Разстоянията по дължината на профилите са в км, а вертикалната скала на преместванията е в метри.

**Fig. 2.** Profiles of a-a' to f-f' (shown in 3.1.1.2), with good coincidence with the ones measured by the model co-seismic displacements of 360 leveling benchmarks.

Small crosses show geodetic data about the measured co-seismic displacements within the profile; model (theoretical) displacements are marked by a solid blue line. Distances along the profiles are in km, while the vertical rock displacements are in meters.



### Анализ на ко-сеизмичните премествания чрез моделиране

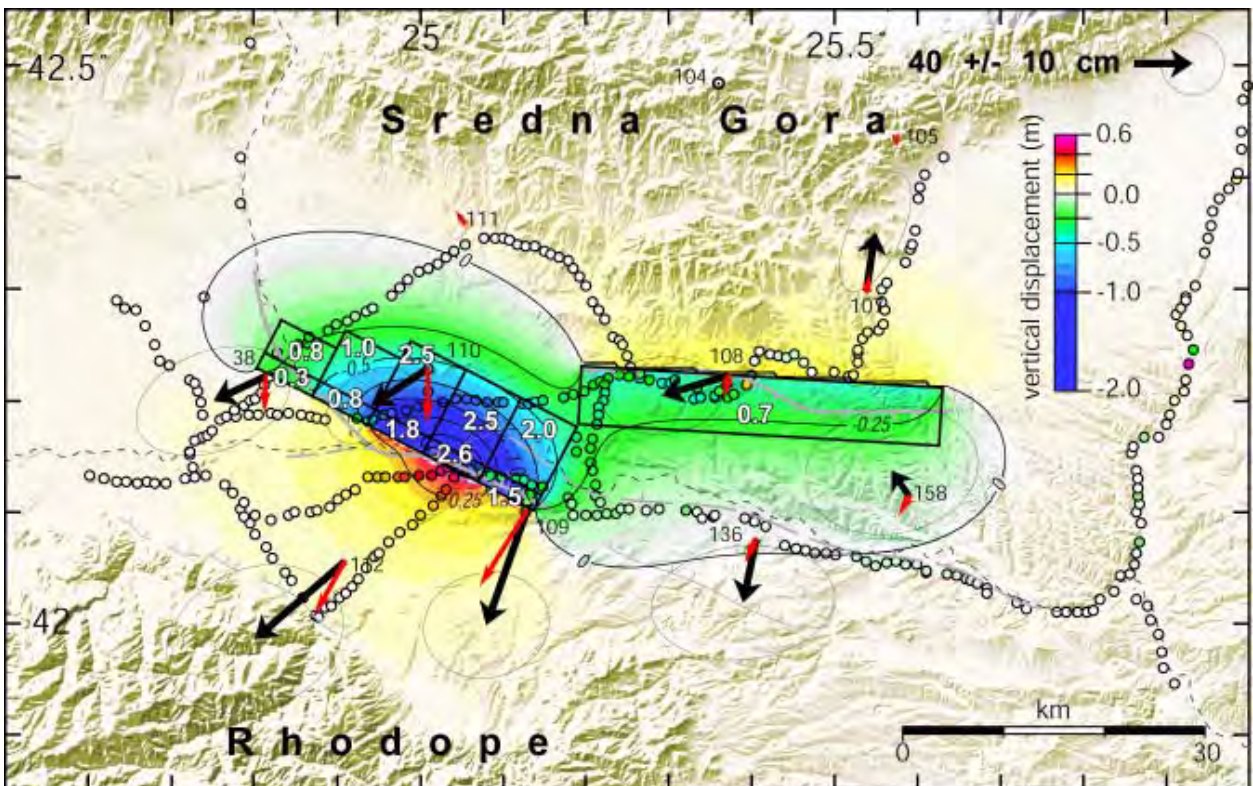
От данните за вертикалните ко-сеизмични премествания на 360 нивелачните репери и от данните за хоризонталните ко-сеизмични премествания е направено ново моделно изследване. Прилагайки усъвършенствания модел на Окада (1985), се стигна до решение за разломите, активирали се при трусове от април 1928 г. Най-доброто съвпадение на моделните вертикални премествания (по профилите от фиг. 1) с измерените ко-сеизмични премествания е показано на профилите от фигура 2.

Сравнението на данните от хоризонталните аналитични ко-сеизмични премествания с измерените премествания на триангулационните точки е представено на фигура 3.

При моделирането на ко-сеизмичните премествания е търсено и най-доброто съгласуване

на получените дислокационни параметри на земетресенията със сеизмичните и тектонските данни. Полученото "крайно решение" на главните разломи, активирали се през април 1928 г. (фиг. 3) се съгласува много добре с главните ко-сеизмични разкъсвания на земната повърхност, които са картирани веднага след земетресенията с механизмите на сеизмичните огнища и с магнитуда на земетресенията.

Получените дислокационни параметри на земетресенията от аналитичното моделно изследване на геодезичните данни за ко-сеизмични деформации на сеизмогенната зона Чирпан – Пловдив са представени в план и профил на фигура 4. Крайното решение е показано в план върху променените регионални напрежения от двата труса по Кулон и инструменталната сеизмичност в района след 1980 г. с  $M > 2$ . (фиг. 4а.), и в сечение, показано с пунктирна линия (фиг. 4б).

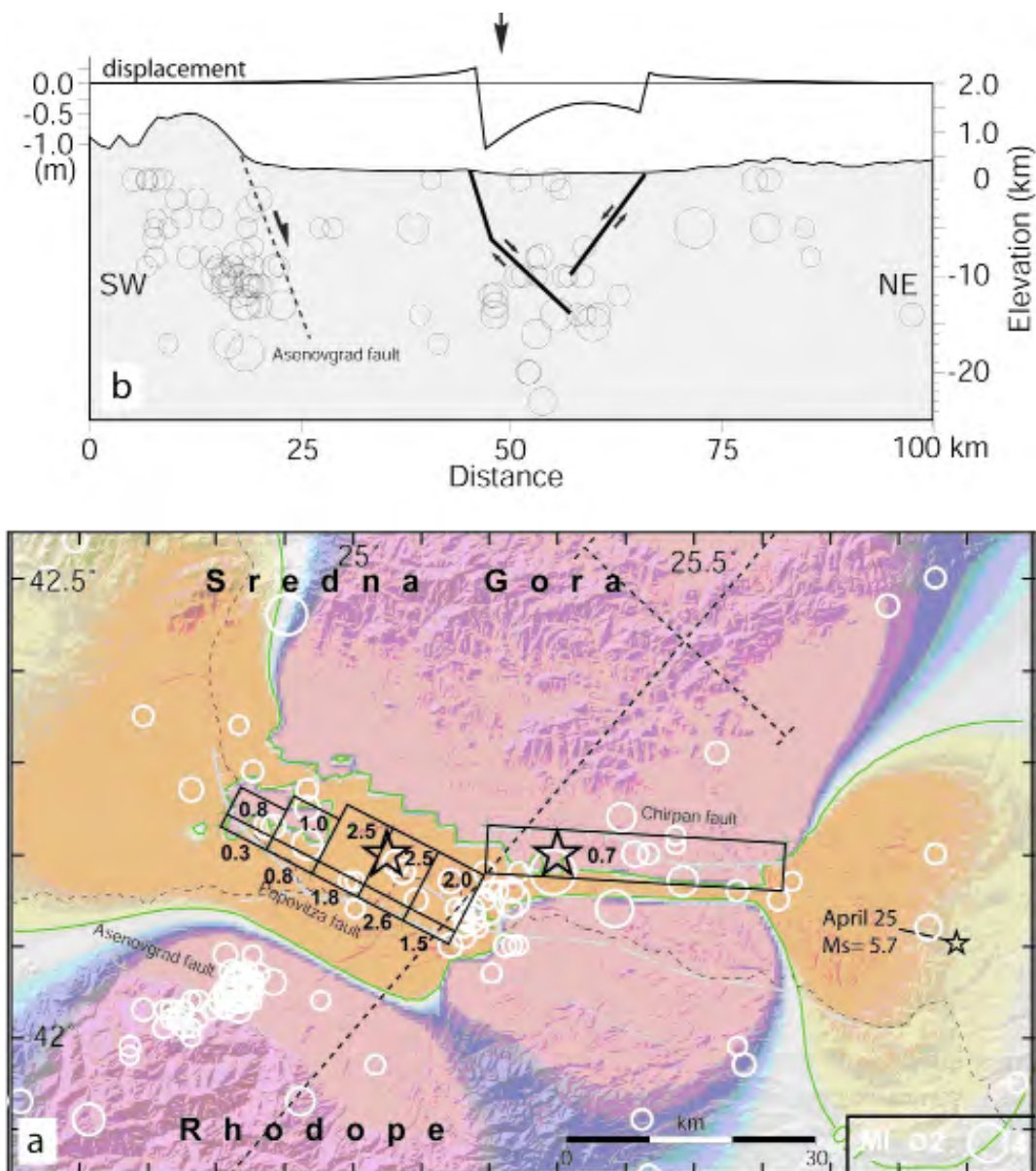


**Фиг. 3.** Главни разломи на трусовете от 14 и 18 април 1928 г. (представени с правоъгълници), получени от геодезично измерените ко-сеизмични премествания и моделирането.

Със стрелки са представени ко-сеизмичните хоризонтални премествания на триангулационните точки в зоната с техните елипси на грешките (със светли стрелки са моделните им премествания). С плътни изолинии са показани в план моделните вертикални ко-сеизмични деформации на зоната.

**Fig. 3.** Main fault lines of the quakes on 14 and 18 April 1928 (shown as quadrangles), obtained from geodetically measured co-seismic displacements and modeling.

Arrows represent co-seismic horizontal displacements of triangulation points in the zone, with their error ellipses (the light arrows show their model displacements). Solid isolines show the model vertical co-seismic Earth deformations.



**Фиг. 4.** Геометрични и дислокационни параметри на земетресенията от 14 и 18 април 1928 г., получени от геодезичното изследване

(а) разломите са представени в план върху променените напрежения от двата труса (по Кулон) и инструменталната сеизмичност в района след 1980 г. с  $M > 2$ . С пунктирна линия е показан напречният профил (представен на фиг. 4.б – горе), с обхвата на представените в дълбочина инструментално регистрирани земетресения;

(б) сечение по профила от (а) с ко-сеизмичните премествания по профила, профила на релефа и инструменталната сеизмичност.

**Fig.4.** Geodynamic and dislocation parameters of the earthquakes on 14 and 18 April 1928, obtained through geodetic research

(a) Faults are represented superimposed on the changed tensions from the two quakes (by Kulon) and the instrumental seismicity in this region after 1980, with  $M > 2$ . Dotted lines show the cross-section profile (shown in figure 4.b – above), with the scope of the instrumentally registered quakes, represented in depth.

(b) Intersection of the profile from (a) with the co-seismic displacements along the profile, profile of the relief and instrumental seismicity.

Резултатите от моделно изследване и получените параметри показват:

**За труса от 14 април 1928 г.:**

- рязкото хлъзгане е станало по разсед с дължина 36 км и азимут N 94,5°
- наклонът на разлома спрямо повърхността е 60 от север към юг;
- дълбочината на сеизмичното огнище е 10 km;
- векторът на хлъзгане по разседната повърхнина на разлома е 0,7 m;
- сеизмичният момент е  $M_0 = 0.96 \times 10^{19}$  [N.m], който съответства на  $M_w = 6,7$ .

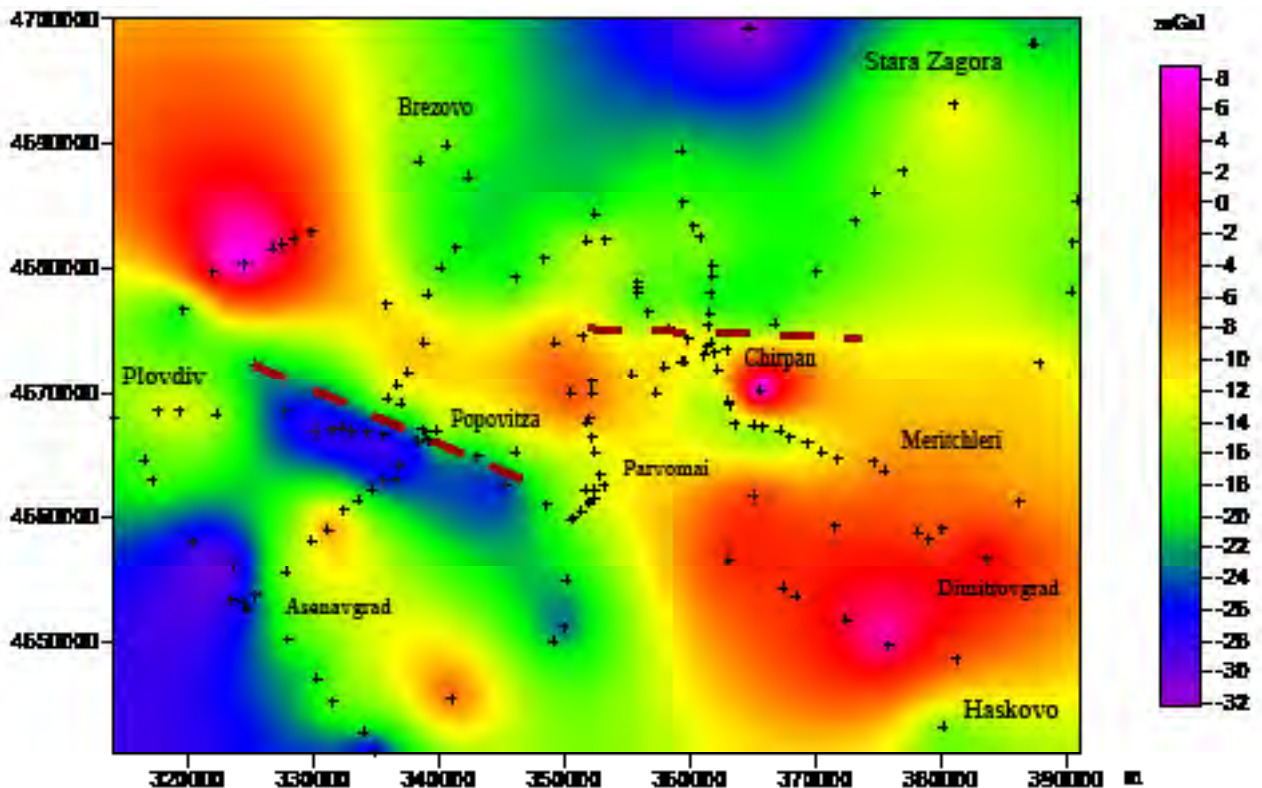
**За труса от 18 Април 1928 г.:**

- активирането на друг сложен листричен разсед с максимална дължина 62 км и азимут N 298,58° е предизвикал труса;
- разломът променя наклона си от 75° в дълбочина до 45° при повърхността;
- дълбочината на сеизмичното огнище е 15 km;
- векторът на хлъзгане по сегментите се променя в дълбочина и по дължина на разлома от 0,3 м до 2,6 м;
- общият сеизмичен момент  $M_0 = 2,77 \times 10^{19}$  [N.m] е равен на  $M_w = 7,0$ .

Съвместният ефект от преноса на напреженията по Кулон от трусовете от 14 и 18 април 1928 г. (фиг. 4а) показва максимална промяна на напреженията от 0,5 bars. Стойността на освободеното напрежение от двата главни труса, получено от моделното изследване, е 80 bars и съответства на това, определено от сеизмичните данни (Христосков, 2007). Преносът на напрежения достига едва 0,5 bars, което представлява само около 1 % от общо освободеното напрежение. При скорост на съвременните хоризонтални и вертикални движения в зоната (Беляшки, 2008; Димитров, 2008) от порядъка на 1 – 2 mm/год. времето за натрупване на критични напрежения в района за земетресение с  $M = 7,0$  ще е от 500 до 1000 г. Това се потвърждава и от данните за историческата сеизмичност в района, както и от резултатите от палеосеизмичното изследване (Vaneste et al., 2006).

**Определяне на остатъчните деформации по двата главни разлома – Чирпанския и Поповишкия**

След картиране на повърхностните изяви на двата главни разлома, с GPS са измерени 17 топо-

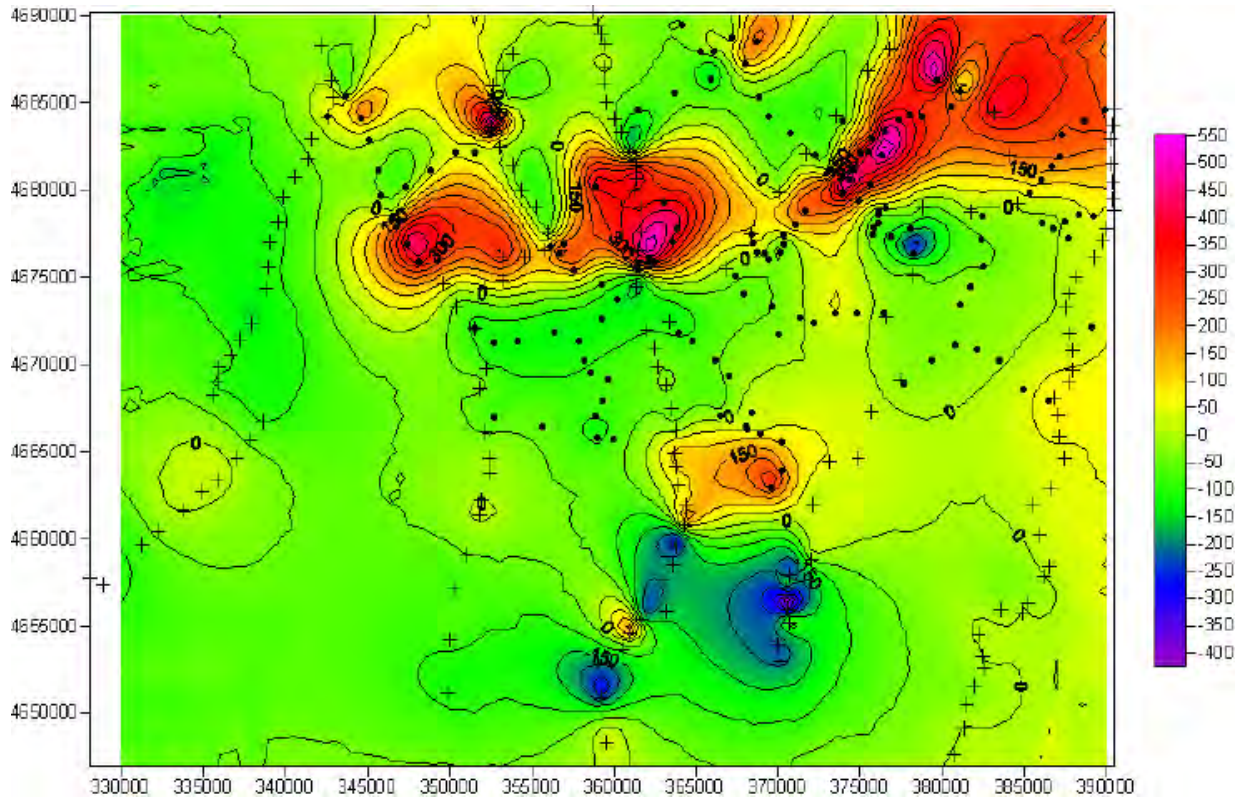


**Фиг. 5.** Схематична карта на аномалиите "Буге" в района, при плътност 2,67 g/cm<sup>3</sup>.

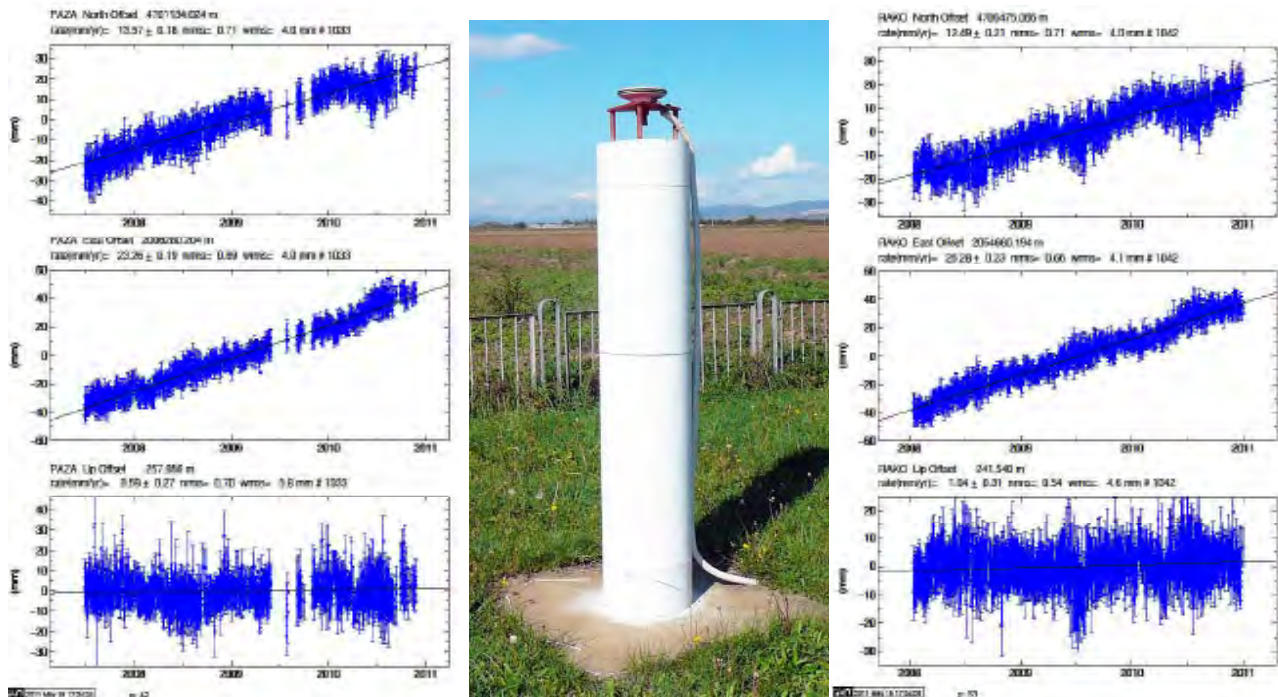
Двата главни разлома на земетресенията от април 1928 г. са представени с удебелени прекъснати виолетови линии.

**Fig. 5.** Schematic map of the "Buge" anomalies in this region, with density of 2,67 g/cm<sup>3</sup>.

The two main earthquake faults from April 1928 are shown with bold broken violet lines.



**Фиг. 6.** Схематична карта на абсолютното магнитно поле в зоната, редуцирано към полюса, в [nT].  
**Fig. 6.** Schematic map of the absolute magnetic field in the zone, reduced towards the pole, in [nT].



**Фиг. 7.** Постоянната GPS станция PAZA и компоненти на абсолютните скорости на станции PAZA и RAKO.  
**Fig. 7.** Permanent GPS station PAZA and some components of the absolute speed of stations PAZA and RAKO.

графски профили, напречно на разломите. Установиха се остатъчни отмествания по Чирпанския разлом средно от около 2,0 м. При максимално ко-сеизмично вертикално отместване от 0,7 м при труса от 14 април 1928 г., през целия холоцен (последните 10 000 г.) по този разлом са станали само 3 труса с магнитуд, еквивалентен на този от 14 април 1928 г. ( $M = 6,8$ ). Геоложките и палеосеизмоложките изследвания чрез траншеи и датирани на палеопочва, палеонаходки и полени установиха същия брой трусове за сеизмичния цикъл по Чирпанския разлом (Vaneste et al., 2006).

При изследване на остатъчните разкъсвания по Поповишкия разлом са измерени 15 топографски профили. Определени са по-значителни остатъчни теренни отмествания по разлома от 2,7 до 3,5 м. По измереното максимално ко-сеизмично вертикално отместване от 1,5 м при труса от 18 април 1928 г. може да се оцени, че през холоцена по Поповишкия разлом е имало навярно само 3 труса с магнитуд  $M = 7,0$ .

### Гравиметрични и магнитни изследвания в района

За комплексното изследване на зоната на земетресенията от април 1928 г. се организираха и изпълниха прецизни гравиметрични и магнитни измервания. На картата на аномалиите „Буге“ (фиг. 5.) ясно се очертават двата главни разлома на земетресенията от 14 и 18 април 1928 г. в Горнотракийската низина. Особено ярко и точно, по дължина и по ориентация, съвпада промяната в аномалията Буге с Поповишкия разлом.

Резултатите от магнитни измервания, осъществени през 2006 и 2008 г. с протонен магнитометър по 180 изследователски точки, маркират ясно Чирпанския разлом, но не и Поповишкия (фиг. 6.).

### Изследване на пост-сеизмичните вертикални движения по данни от държавните нивелачни измервания 1929–1959 г. и 1959–1986 г.

С цел изучаване на вертикалните пост-сеизмични движения в района са използвани данните от държавната нивелачна мрежа I и II клас от 1929 и 1959 г. в района на земетресенията от април 1928 г. и около него. Анализът на тези данни показва слаби пост-сеизмични движения на земната повърхност в зоната Чирпан – Пловдив за периода 1929 – 1959 г., като скоростта на вертикалните премествания не превишава 1 мм/год. По-активни вертикални движения се наблюдават в района южно от с. Поповица и гр. Първомай, т.е. южно от р. Марица. Този район съответства на зоната с максимални негативни аномалии „Буге“, определен от прецизните гравиметрични измервания. Получените резултати от изследването на пост-сеизмичните вертикални

движения по данни от държавните нивелачни измервания 1929–1959 г. се съгласуват напълно с резултатите от изследването на Беляшки (2008) за съвременните вертикални движения през 1959–1986 г. в района.

### Мониторинг на зоната с перманентни GPS станции

Централната лаборатория по висша геодезия (ЦЛВГ) – БАН (дн. деп. Геодезия в НИГГГ – БАН) организира геодезичен мониторинг на сеизмогенната зона Чирпан – Пловдив с постоянни GPS станции. В района и около него са разположени 6 постоянни GPS станции в бази на БАН в гр. Пловдив, Пазарджик, Раковски, Кърджали, Рожан и Юндола (фиг. 7), чиито скорости са почти идентични. Предстои инсталиране на нови станции в гр. Чирпан и Стара Загора.

### Обобщение и изводи от проведените геодезични изследвания на сеизмогенната зона Чирпан – Пловдив

Направен е нов анализ на геодезичните данни за ко-сеизмичните премествания в района Чирпан – Пловдив при земетресенията от 14 и 18 април 1928 г. чрез усъвършенстван аналитичен модел. Получено е ново решение за главните разломи на земетресенията и нови сеизмотектонски параметри на двата труса.

Изследван е ко-сеизмичния пренос на регионални напрежения по Кулон при труса от 14 април, както и от двата труса същия месец 1928 г.

Чрез напречни топографски профили са определени количествено и са изучени остатъчните деформации на главните Чирпански и Поповишки разломи.

Резултатите от изпълнените нови прецизни гравиметрични и магнитни измервания изясняват геоложката ситуация в тази сеизмогенна зона и съдействат за по-доброто опознаване на физичните механизми, водещи до силни земетресения.

По данни от държавната нивелация 1929–1959 г. са определени пост-сеизмичните вертикални движения в зоната, които се съгласуват напълно със съвременните.

С новополучените геодезични, гравиметрични и магнитометрични данни и техния анализ са доказани нови факти и са отхвърлени съществуващи хипотези.

Постоянните GPS измервания, съвместно с дейността на сеизмичните и акселерометричните станции в района, осигуряват мониторинг на сеизмогенната зона и оценка на сеизмичния риск.



## Литература

Beliashky T. recent vertical movements in the Plovdiv–Chirpan region determined according to data from National Leveling Network. – *Geodesy, BAS*, 19, 2008, 20–31.

Botev E. On the Seismotectonics of the Bulgarian territory. – Report N236/ICTP Program for training and research in Italian laboratories, Trieste, Italy, 2000, p. 87.

Christoskov L. Energy end source parameters of the strong Bulgarian earthquakes after 1900. – *Reports on geodesy, Politechnika Warszawska*, No 3 (48), 2007, 15–20.

Dimitrov D. and J-C. Ruegg. The 1928 Bulgarian earthquakes: fault geometry from geodetic data and modelling. – 1st International Symposium on Deformations in Turkey, Istanbul, 1994, pp. 921–932.

Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space. – *BSSA*, 75, 1985, 1135–1154.

Vanneste K., A. Radulov, P. DeMartini., G. Nikolov, T. Petermans, K. Verbeeck, D. Pantosti, T. Camelbeeck, D. Dimitrov, S. Shanov. Paleoseismologic investigation of the fault that ruptured in the April 14, 1928, Chirpan earthquake ( $M = 6,8$ ), Southern Bulgaria. – *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, 2006, B01303.

---

## GEODETIC RESEARCH IN THE SEISMIC ZONE OF CHRIPAN–PLOVDIV

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

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

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

National institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS

### Summary

The destructive earthquakes ( $M = 6,8$  and  $M = 7,0$ ) on April, 14 and April, 18 1928 near the Chirpan and Plovdiv city, in Southern Bulgaria are the largest that occurred in Europe and the Eastern Mediterranean area during the 20th century. We make an analysis of the geodetic studies in the region.