

## ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА РАЗЛОМИ В СТРУМСКАТА СЕИЗМИЧНА ЗОНА ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ ГРАВИМЕТРИЧНИ И НИВЕЛАЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ

**Ради Радичев<sup>1</sup>, Емил Михайлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg)

<sup>2</sup> Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**РЕЗЮМЕ:** От гравиметрични и нивелачни измервания, извършени през различни периоди от време, са съставени профили и карти, които много добре локализируют Крупнишкия разлом в района на нивелачни репери R0, 1047, 30 и 2014. Върху профилиите по-слабо се локализируют Железничкият и Градевският разломи при репери 1003, VNR 371 и 1004. На картата с остатъчните /локални/ аномалии, Крупнишкият разлом попада около отрицателната част на остатъчната аномалия или можем да кажем, че при него става смяната на знака на остатъчните аномалии. На профила с възможното изменение на плътностите на промеждутъчния слой –  $\rho$ , също имаме минимално отрицателно изменение на плътностите в района на разлома. Направен е анализ на резултатите от извършените гравиметрични и нивелачни измервания през различните периоди.

### LOCATING FAULTS IN STRUMSKA SEISMIC ZONE BY GRAVIMETRIC AND LEVEL MEASUREMENT

**Radi Radichev<sup>1</sup>, Emil Mihaylov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg)

<sup>2</sup> National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**ABSTRACT:** Based on leveling and gravimetric measurements carried out during different time periods are drawn profiles and maps which very well localize the Krupnik fault in the region of level benchmark R0, 1047, 30 and 2014. Profiles localize the Jezeznishka and Gradevska faults the region of level 1003 benchmarks, VNR 371 and 1004. On the map with the cards with the remaining /local / anomalies, the Krupnik fault falls about the negative portion of the residual anomaly or we can say that it is the point where the change of sign of the residual anomalies happens. On the profile with the possible change of the density of the intermediate layer -  $\rho$  we also have minimal negative change in the densities in the region of the fault. An analysis of the results of the gravimetric and leveling measurements has been conducted over the different periods.

### 1. Въведение

Процесите, свързани с деформациите на земната кора във времето, е възможно да бъдат проследени днес с използването на съвременна усъвършенствана измервателна апаратура, при използването и на подходяща методика на измерване.

Основните геоструктури, които могат да бъдат определени по геофизични и геодезични методи, са разломните, някои платформени и други структури. Разломите се явяват едни от основните елементи на земната кора, определящи понякога общия структурнотектонски план на големи територии. Зоните на разломите може да се локализируют и картират, чрез гравиметрична и нивелачна снимки.

Гравиметричните снимки позволяват да се решават редица геоложки задачи, доколкото в гравитационното поле се намира сумарно отражение на вътрешномантийните и вътрешнокоровите вариации на плътностите на земните маси, основните граници на разделяне, тектониката и структуроформационен строеж (Веселов, 1986; Делинджер, 1982).

Деформациите на земната кора може да се забележат и от наблюдения на вертикални движения. Методите на измерване вертикалните движения на земната кора се явяват повторното нивелиране, приливните и наклономерните наблюдения (Моги, 1988). Всеки от тези методи има своите достоинства и недостатъци. Достоинство на наклономерните наблюдения е високата чувствителност и непрекъснатост на наблюденията, а недостатък е, че наблюденията се отнасят към кратки разстояния или за отделни точки /станции/ (Моги, 1988). Приливните наблюдения се извършват на отделни станции и са възможни непрекъснати наблюдения, а недостатъкът им се състои в това, че им влияят измененията на хидрографските условия. За разлика от приливните наблюдения, нивелачните измервания се извършват през различни периоди и са с висока точност. Нивелачният метод е трудоемък и изисква повече време и средства, а също така с удължаване на нивелачните ходове, грешките се натрупват. Затова интерпретирането на резултатите при този метод трябва да става по-внимателно. Чрез извършването на високоточна нивелация през различни години е възможно да се следи за вертикалните движения на земната кора в дадения район на разлома и то на профили, които го пресичат. Опит за определяне на разломните структури от

гравиметрични и нивелачни измервания е направен в района на Крупнишкия разлом.

## 2. Гравиметрични и нивелачни измервания и резултати от тях за района на Крупник

Задължително е при работата с гравиметри, началното и заключителното наблюдение на всеки гравиметричен рейс, да се провеждат или на една и съща точка, или на точки с известни значения на ускорението на силата на тежестта. Явилите се при това изменения в отчетите по гравиметъра се дължат на изместване на нулевата точка на прибора. Обикновено се счита, че тези изменения имат линеен във времето характер за кратки интервали от време 1 час, максимум 2 часа и се разпределят пропорционално по време на наблюдения в даден рейс.

Гравиметрични измервания в Крупнишкия район са извършени през годините 2004, 2007, 2008 и 2009 от специалисти от БАН и УАСГ с гравиметри собственост на УАСГ и Минно-геоложкия университет. Измерени са два профила: Бараково – Симитли – Крупник – гара Пирин /Кресна/ и Симитли – Градево – Предела. Броят на точките в района на Крупнишкия разлом е състен площно, като са взети измерени гравиметрични точки от Геопланпроект през 1969 г. и по-късно преизмервани от Е. Михайлов през 1988 г., така че броят на точките в района на разлома става 42. Повече подробности за измерванията и изчисленията са дадени в Mihailov et al. (2008) и Mihailov and Dimitrov (2006). На всичките гравиметрично измерени точки са изчислени аномалиите Буге и е изчертана карта аномалия Буге, дадена на фиг. 7 (Ценков и Михайлов, 2011). От нивелачни измервания, извършени от „Геоплан-проект“ през три различни епохи 1956, 1978 и 2000 години (Georgiev et al., 2006), са построени графики на измерените превишения на профила Бараково – Симитли – Крупник - гара Пирин- /Кресна/, дадени на фиг. 1. На фигури 2 и 3 са дадени графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на реперите за профилите Бараково – Симитли – Крупник - гара Пирин /Кресна/ и Крупник – Градево – Предела (Mihailov et al., 2008). От гравиметричните измервания, извършени с точност под  $\pm 0,060$  mGal през годините 2004, 2007, 2008 и 2009, са изчислени средногодишните промени  $V$  за възможното изменение силата на тежестта спрямо 2004 година за профила Бараково – Симитли - Крупник- гара Пирин /Кресна/ и са изчертани графики, дадени на фиг. 4. За другия профил Крупник – Градево - Предела не са изчислявани промените  $V$ , понеже има унищожаване на нивелачните репери през различните периоди на измерване от разширяване на пътя. От разлики в котите на реперите между измерванията извършени през 1958 и 1982 години от нивелацията на профила, от черква Бараково през черква Симитли до ж.п. кантон след ж.п. гара Пирин (Бурилков и Беляшки, 1987), е построен график на разликите  $dH$ , даден на фиг. 5.

Отражението на динамиката на литосферата в района на Крупник върху гравитационното поле, нагледно се илюстрира, по материали на наблюдаване възможното изменение на силата на тежестта  $\delta\Delta g$  във времето, на Крупнишкия гравиметричен полигон, дадено на фиг. 4. В

резултат на измерване на различни точки от полигона са констатирани различни по знак и скорост възможни изменения на гравитационното поле във времето. На едни точки от полигона се наблюдава увеличаване на  $\Delta g$ , а на други - понижаване на  $\Delta g$ . Възможните най-големи изменения на  $\Delta g$  се предполага, че се дължат на някакво преместване на ядрото на Земята относно нейната кора. Някои изследователи (Огаджанов, 1998; Юркевич, 1984) казват, че вариациите /промените/ на силата на тежестта се предизвикват от процеси, изменящи скоростта на въртене на Земята. Сезонните колебания на световния океан могат да предизвикат изместване на центъра на тежестта на Земята и да доведат до изменение на земното ускорение. Атмосферните маси също ще предизвикат изменение на силата на тежестта, както и подпочвените и грунтовите води.

Изменението на силата на тежестта се дължи на изменение на плътностите на промеждутъчния слой  $\rho$  в разглеждания район. През годините 2004, 2006 и 2007 са станали земетресения в този район, на които евентуално се дължи това изменение на плътностите  $\rho$ , както и на различното ниво на подпочвените води, подхранвани от р. Струма през различните периоди на измерване. От гравиметричните измервания, извършени през различните периоди от време, е направен опит да се проследи изменението на плътностите  $\rho$  по профила Бараково - Симитли - Крупник – гара Пирин /Кресна/ и същите са дадени на графика на фиг. 6.

## 3. Аномалии Буге, остатъчни аномалии и осреднени хоризонтални градиенти за Крупнишкия район

Основната цел, при измерванията и получаването на гравитационните аномалии, е откриване наличието и разпределението на земни маси с различна плътност. Общата земна маса, предизвикваща тази или друга аномалия, се подава на изчисление. Гравитационното влияние на всички аномални маси, намиращи се вътре в зададен обем, се явява сумарно и е желателно да се разделят ефектите, свързани с регионалните особености и ефектите от по-дребните структури. Това става по пътя на разделяне наблюдаваните аномалии на регионални и остатъчни /локални/ (Знаменский, 1980; Делинжър, 1982; Огаджанов, 1998). Върху картата аномалия Буге, дадена на фиг. 7, е извършено осредняване на гравитационното поле по окръжности с радиуси  $R=2$  km., като средното значение на аномалиите се отнася за центъра на окръжността. Изчисленията са извършени за шест до десет точки от окръжността (Знаменский, 1980). Средното значение на аномалното поле е изчислено в точки, явяващи се върхове на правоъгълна мрежа през една десета от градуса. По осреднените аномалии от тази мрежа е построена картата на осреднените аномалии, дадена на фиг. 8 (Огаджанов, 1998). Изваждайки от наблюдаваните аномалии осреднените, се получават остатъчните /локалните/ аномалии, дадени на карта фиг. 9 (Знаменский, 1980). Направен е опит за разделяне на гравитационното поле по метода на осреднените

горизонтални градиенти (Знаменский,1980). Получава се по формула:

$$G = (\Delta gr1 - \Delta gr2) / r1 - r2, \quad (1)$$

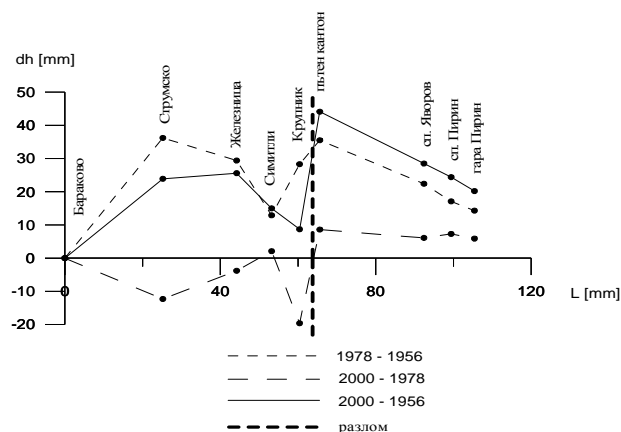
където:  $\Delta gr1$  и  $\Delta gr2$  са осреднени аномалии в окръжности 1 и 2 с общ център и радиуси  $r1$  и  $r2$ , като  $r1 = 2 \text{ km}$ , а  $r2 = 1 \text{ km}$ .

Средният градиент се отнася за центъра на окръжностите. На фиг. 10 е дадена картата на осреднените хоризонтални градиенти. По физически смисъл осреднените хоризонтални градиенти може да се разглеждат, като остатъчни /локални/ аномалии.

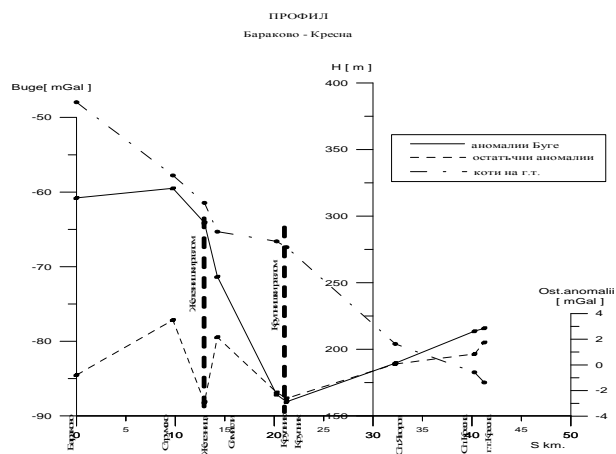
#### 4. Анализ на резултатите

Графиките с измерените разлики в нивелачните превишения през различни години, дадени на фиг. 1, ясно локализиращат Крупнишкия разлом в района на нивелачни реперни  $R0$ ,  $1047$  и стенна призма  $30$  на пътният кантон Крупник. От графиките на фиг. 2 се вижда, че имаме рязко изменение на остатъчните /локални/ аномалии в районите на Крупнишкия и Железнишкия разломи, т.е имаме рязко чупене на графиките. Тези чупки се намират при нивелачен репер  $1047$  и стенна призма  $30$  на пътен кантон Крупник или можем да кажем, че на тези места се локализира Крупнишкият разлом, а при нивелачен репер  $1003$  се локализира по-слабо и Железнишкият разлом. При последното гравиметрично измерване през 2009 г. се установи, че стенна призма  $30$  е унищожена и е невъзможно нивелирането ѝ. От фиг. 1 и 2 се вижда, че и нивелачните и гравиметричните измервания ясно локализиращат Крупнишкия разлом в района на нивелачните реперни  $R0$ ,  $1047$  и стенна призма  $30$  на пътният кантон. Другият край на Крупнишкия разлом се локализира от гравиметричните измервания на репер  $2014$  на мост по профила Симитли – Градево - Предела, даден на фиг. 3. На същия профил се локализира и Градевският разлом при Симитли. Върху графиките с вариациите в силата на тежестта, дадени на фиг. 4 за профила Бараково-Крупник-Кресна, ясно се локализиращат, както Крупнишкият, така и Железнишкият разломи при реперите  $R0$  и  $1047$  за Крупнишкия и при репер  $1003$  за Железнишкия разломи. При  $VNR371$  и  $1004$  се намира и Градевският разлом. Резултатите от нивелачните измервания, извършени през различни периоди, дадени на фиг. 5, също ясно локализиращат Крупнишкия, Железнишкия и Градевския разломи при реперни  $R0$ ,  $VNR30,1003$ ,  $VNR371$  и  $1004$ . На фиг. 7, картата аномалия Буге, се забелязва опъване и съгъстяване на изоаномалиите в района на Крупнишкия разлом. Също такова опъване и съгъстяване на изоаномалиите личи и от картата с осреднените аномалии Буге, дадена на фиг. 8, която отразява влиянието на дълбоките земни маси върху аномалиите. Върху картата с остатъчните /локални/ аномалии, дадена на фиг. 9, ясно се забелязва, че разломът попада около отрицателната част на аномалията или можем да кажем, че при него имаме смяна на знака на остатъчните аномалии. Получаването им представлява голям интерес, тъй като с тях могат да бъдат свързани геологическите структури. Предполага се, че остатъчните аномалии характеризират дребните

структури. Като правило, изучаваните структури са разположени в горната част на земната кора. В най-голяма степен това се отнася за изследване на по-едри структури, като големи разломи. На практика е много трудно отделянето на остатъчните аномалии, свързани с определени структури, затова те дават груба представа за ефектите, получени от една или друга структура (Веселов, 1986). При профила с изменение на плътностите  $\rho$ , даден на фиг. 6, също така имаме минимално отрицателно изменение на плътностите в района на разлома. Рязко изменение на плътностите  $\rho$  от положителна към отрицателна имаме в района между реперите  $VNR371$  и  $NR 1004$  (черква Симитли и гара Симитли). Това се дължи евентуално на пристрояването и разширяването на черквата до  $VNR371$  през различните периоди на гравиметрични измервания. Там минава, както споменахме по горе, и Градевският разлом.



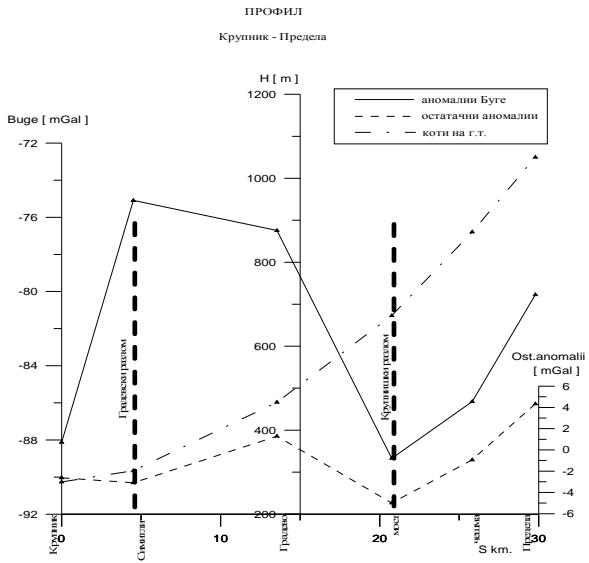
Фиг. 1. Разлики в измерените превишения



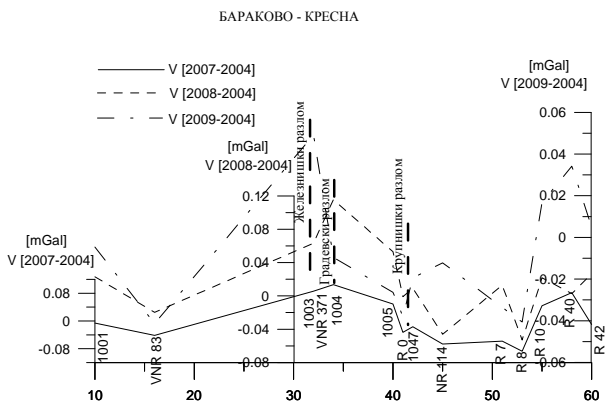
Фиг. 2. Графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на гравиметричните точки за профила Бараково – Симитли – Крупник – гара Пирин /Кресна/. Добре се маркират Крупнишкият и Железнишкият разломи, чрез остатъчните аномалии

Също такова рязко изменение на плътностите  $\rho$  от отрицателна към положителна имаме и в участъка от  $NR7$  към  $NR8$  (вход на тунел и подпорна стена при Кресненското ханче). Това изменение е възможно да се дължи на различното водно ниво на  $\rho$ . Струма по време на измерванията, която подхранва подпочвените води. И двата репера са на разстояние до 30 метра от реката. През 2004 г. измерванията се извършиха през месец април, а през 2009 г. - през октомври. Картата на

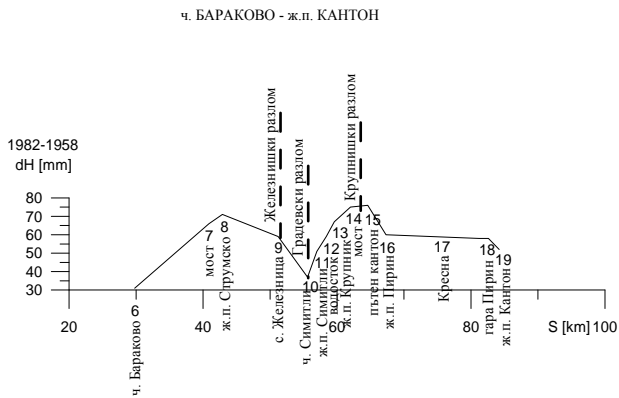
осреднените хоризонтални градиенти, дадена на фиг. 10, също ясно очертава Крупнишкия разлом. Получените резултати от гравиметричните и нивелачните измервания много добре локализируют Крупнишкия разлом и по слабо Железничкия и Градевския разломи.



Фиг. 3. Графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на реперите на гравиметричните точки за профила Крупник – Градево - Предела. Крупнишкият разлом се маркира на мост при река Еловица, а Градевският - при Симитли

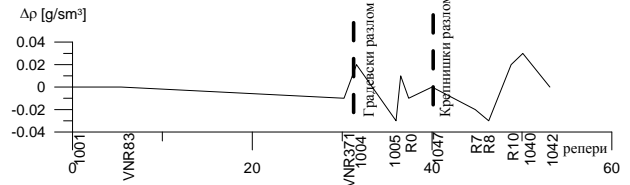


Фиг. 4. Вариации на възможните годишни промени на силата на тежестта за различните периоди на измерване. Добре се маркират Крупнишкият, Железничкият и Градевският разломи при реперите 1047, 1004, VNR371 и 1003

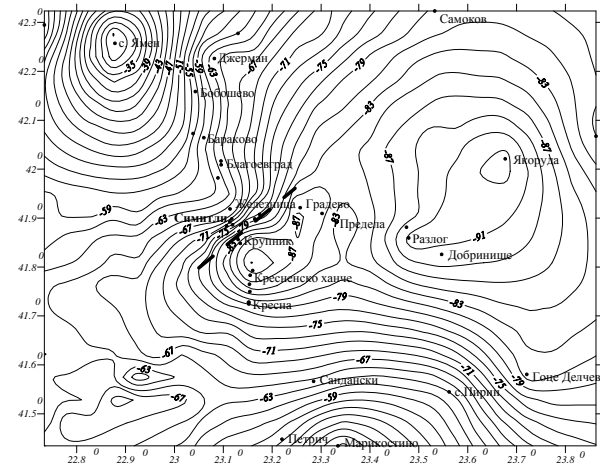


Фиг. 5. Разлики в котите на реперите между измерванията, извършени през 1982 и 1958 години, от черква Бараково през черква Симитли до ж.п. кантон след гара Пирин. Отчетливо се маркират Крупнишкият, Градевският и Железничкият разломи

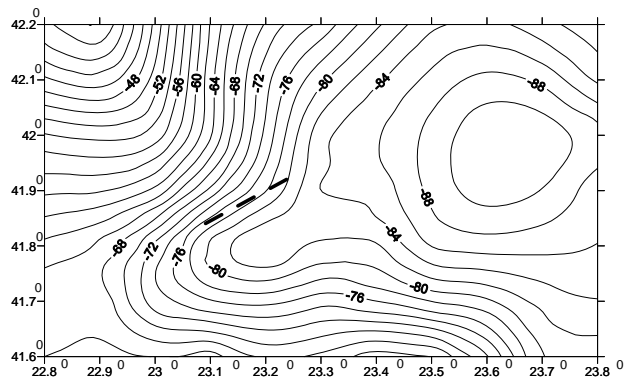
Бараково - Гара Кресна



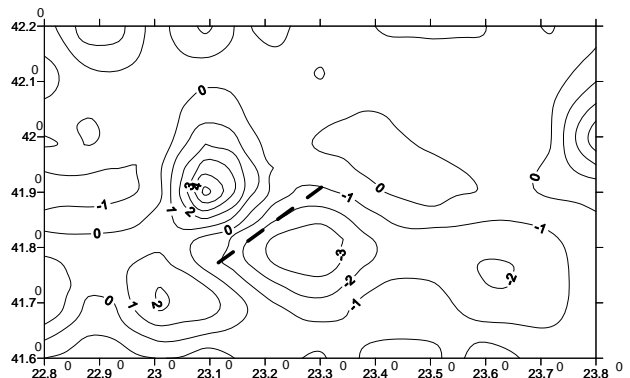
Фиг. 6. Изменение плътността на промеждутъчния слой  $\rho$  в  $g/cm^3$  по профила Бараково - Симитли - Крупник – гара Пирин /Кресна/. Добре се маркират Крупнишкият и Градевският разломи



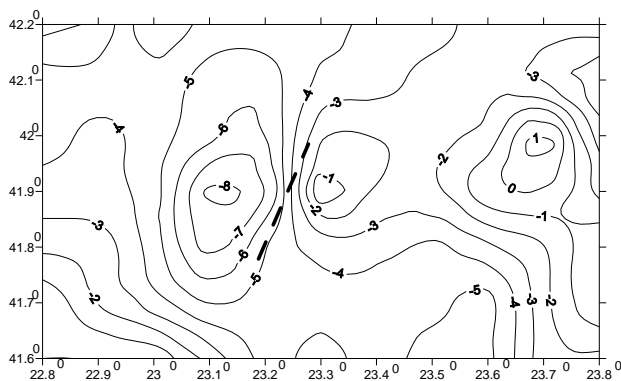
Фиг. 7. Карта аномалия Буге при плътност на промеждутъчния слой  $2,67 g/cm^3$  и сечение  $\pm 2 mGal$ , в гравиметрична система IGSN-71 и нормална сила на тежестта (1980 г.)



Фиг. 8. Карта на осреднените аномалии Буге в mGal. Сечение на изоаномалиите  $\pm 2 mGal$



Фиг. 9. Карта на остатъчните аномалии Буге в mGal. Сечение на изоаномалиите  $\pm 1 mGal$



Фиг. 10. Карта на осреднените хоризонтални градиенти на Крупнишкия разлом в mGal/km

## Литература

- Бурилков, Т., Т. Беяшки. 1987. *Таблицы на разлики във височините на НР I клас между епохи 1982 г. и 1958 г.*, НИГиФ, София.
- Веселов, К.Е. 1986. *Гравиметрическа съемка*. М., Недра 262-264с.
- Делинджер, П. 1982. *Морская гравиметрия*. М., Недра, 181-183 с.
- Моги, К. 1988. *Предсказание землетресений*, М., Мир, 52-53 с.

- Знаменский В.В. 1980. *Полевая геофизика*. М., Недра, 47-50 с.
- Огаджанов, В.А. 1998. Концепция геофизических исследований, основанная на явлениях дилатации горных пород. – *Геофизика*, 4, 10-13.
- Ценков, Ц., Е. Михайлов. 2011. Анализ на резултати от гравиметрични измервания в района на Крупнишкия разлом. - *Сборник с резюмета на Първата международна научна конференция „Образование, наука, иновации“ ESI- 2011, 9-10 юни, Перник*, стр.32.
- Юркевич, О. И. 1984. Определение времени подготовки землетресений по медленным движениям поверхности земли – *Геодезия картография аерофотосъемка*, Львов, бр. 39, 101–109.
- Georgiev, I., D. Dimitrov, L. Pashova, E. Botev, S. Shanov, G. Nikolov, K. Matev. 2006. Results from geodynamic studies in the Krupnik-Kresna region for the period 2002-2005. - *GEOSCIENCES*, 366-369.
- Mihailov, E., D. Dimitrov. 2006. Results from Gravimetric Measurements in the Region around the Krupnik fault, South-western Bulgaria. – *Geodesy*, 17, 108-114.
- Mihailov, E., I. Radev, G. Marinov, D. Georgiev, M. Ilieva, K. Matev. 2008. Gravimetric measurements in the region of the Krupnic fault and analysis of their results. – *Geodesy*, 21, 147-151.

Статията е рецензирана от проф. д-р Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. „Приложна геофизика“.