

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 29.05.2018 г.

УСТАНОВЯВАНЕ НА РАЗЛОМНИ СТРУКТУРИ В ДЪЛБОЧИНА ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ

В. Крумова¹

Ключови думи: геодинамика, активен разлом, земетресение

РЕЗЮМЕ

Обект на разработката е сеизмично събитие от 22 май 2012 година, регистрирано в района на град Перник. Непосредствено след събитието на територията са извършени комплексни геофизични изследвания (електротомографски, георадарни и др.) и е създаден сеизмотектонски модел (2013 – 2014 година). През 2015 година са организирани и извършени гравиметрични измервания в зона, обхващаща епицентъра на земетресението. След тяхната обработка и анализ на аномалното поле е установено наличие на разломна структура в дълбочина, която няма проявление на земната повърхност. В текущата разработка е направена и съпоставка между резултатите от извършените комплексни изследвания, непосредствено след земетресението и данните, получени от извършените през 2015 г. гравиметрични измервания.

1. Въведение

С развитието на научните открития и обогатяването на човешките познания за формата, размерите, състава, поведението на Земята, практиката налага откриване и разработване на нови подходи за различни изследвания. С възникването на геодинамиката като наука настъпва един нов етап в развитието на геодезията, тъй като вече следва кръгозорът да бъде разширен, съобразно динамичното поведение на Земята. Възприетите методологии биват видоизменени, поради комплексността на изследванията и пред-

¹ Виктория Крумова, инж., докторант, кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: v.krumova.91@gmail.com

поставката, че всяка точка от земната повърхност, под влиянието на едни или други сили, не остава статична във времето и пространството. В този ред на мисли бива поставено началото на едно ново направление в геодезията, а именно – динамична фаза на геодезията. Към изследванията освен изучаване на геометрията на обектите се добавя и компонентата – техните изменения във времето.

2. Кратка геоложка и тектонска характеристика на разглежданата територия

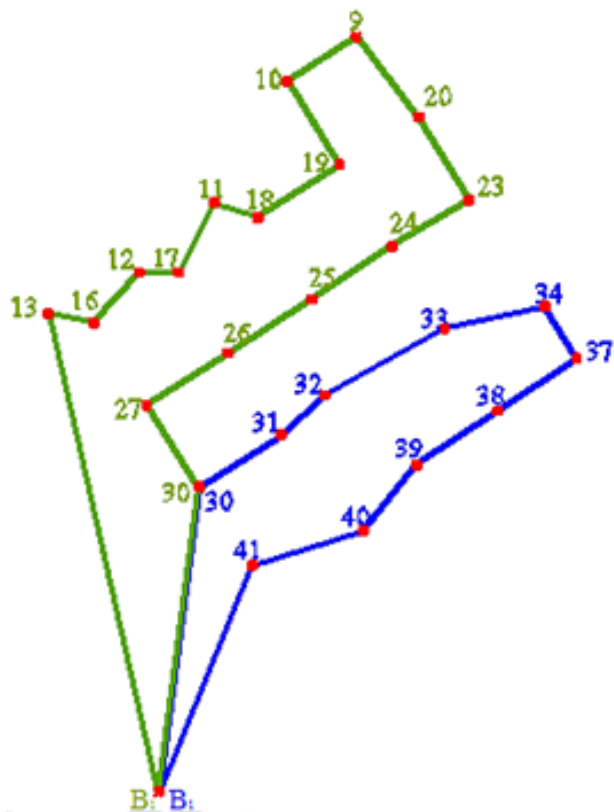
Тектонската позиция на основните структурни зони в района е изследвана от много автори. Дават се множество и различни интерпретации [1]. На територията се наблюдават множество разломявания. Те са пресечени от почти перпендикулярни на тях напречни, но значително по-къси разломи. Тази регматична мрежа е в основата на съгласието на почти всички автори, че районът има сложен блоков строеж [2]. Много от разломите са описани като активни, включително и сеизмоактивни. Независимо от това, няма единна позиция за сеизмогенния потенциал на тези разломни структури. Последното земетресение от 22 май 2012 година се явява изненада в този смисъл, защото всички досегашни данни говорят за по-малък сеизмогенен потенциал на този район. Въпреки множеството разломявания, на територията на Пернишкия басейн не са направени актуални измервания за установяване на наличие на разломна структура в дълбочина, около епицентъра на земетресението на 22 май 2012 г. в 03:00:33 UTC+3. Това сеизмично събитие предизвиква голям интерес и е предпоставка за извършване на множество геодинамични, геофизични и геоложки изследвания.

3. Установяване на разломни структури в дълбочина по данни от гравиметрични измервания

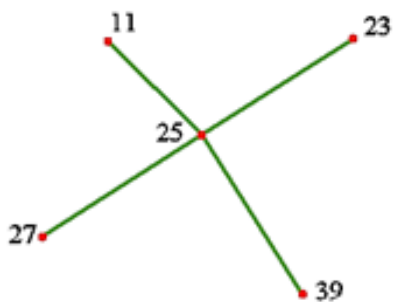
3.1. Извършени гравиметрични измервания

Проектирана е мрежа от точки, като централната точка от тази мрежа съпада с епицентъра на основното земетресение от 2012 година. Вследствие от теренните особености мрежата от измервания е модифицирана, тъй като някои от точките попадат върху недостъпни места или такива, които са неподходящи за извършване на гравиметрични измервания – големи наклони, силно развита хростовидна растителност и др. Гравиметричните измервания са извършени в два гравиметрични хода (вж. фиг. 1), а именно: Първи ход (B1, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, B1), Втори ход (B1, 30, 27, 26, 25, 24, 23, 20, 9, 10, 19, 18, 11, 17, 12, 16, 13, B1).

На пет от точките, включващи епицентъра на земетресението, са направени измервания на вертикалния градиент на силата на тежестта (вж. фиг. 2). Това измерване е реализирано като за тези идентични в планово положение точки са извършвани гравиметрични измервания веднъж на физическата земна повърхност и втори път на дървена тринога, която е поставяна на 1 m височина.



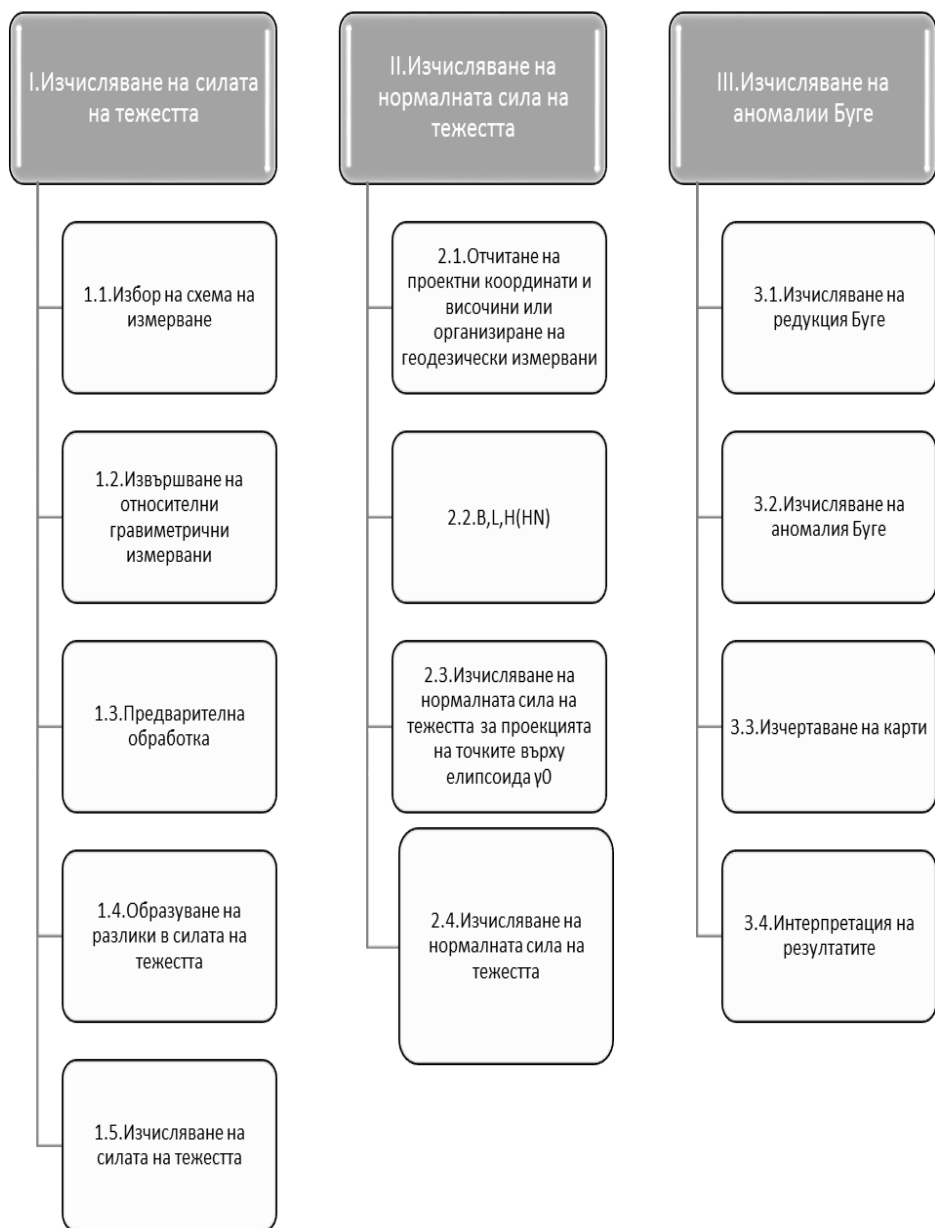
Фиг. 1. Затворени гравиметрични ходове



Фиг. 2. Пространствено положение на точките, в които е измерен вертикалният градиент на силата на тежестта

3.2. Обработка на извършените гравиметрични измервания

За обработката на получените от полските измервания данни е приложено практическото решение на обратната задача на потенциала (вж. фиг. 3).



Фиг. 3. Алгоритъм при решаване на обратната задача на потенциала

Тук следва да се отбележи, че при изчисляването на нормалната сила на тежестта за проекцията на точките от мрежата върху елипсоида се използва формулата Пицети-Сомилияна, вж. форм. (1).

$$\gamma_o = \frac{a\gamma_e \cos^2 \phi + b\gamma_p \sin^2 \phi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}}. \quad (1)$$

Използвана е именно тази формула поради причината, че пресмятането на нормалната сила на тежестта е извършено чрез нормални височини спрямо референтен елипсоид GRS80.

В табл. 1 са дадени изчислените стойности на силата на тежестта, нормалната сила на тежестта и аномалиите Буге.

Таблица 1. Стойности на силата на тежестта, нормалната сила на тежестта и аномалиите Буге

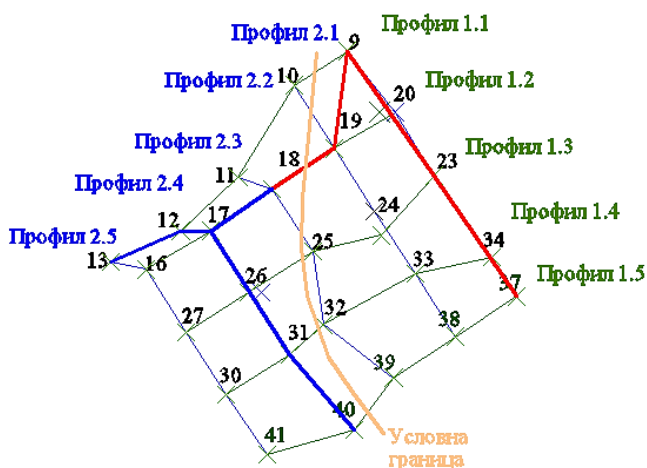
Точка	g , [mGal]	γ_0 , [mGal]	γ_N , [mGal]	$\Delta g = g - \gamma_N$, [mGal]	δg_B , [mGal]	Δg_B , [mGal]
B ₁	980203,9906	980406,524	980156,22	47,770	90,753	-42,983
41	980203,9346	980406,712	980156,25	47,681	90,809	-43,128
40	980200,7244	980406,740	980151,73	48,993	92,459	-43,466
39	980198,2956	980406,797	980148,38	49,921	93,696	-43,776
38	980195,5705	980406,842	980144,57	51,005	95,094	-44,089
37	980195,7343	980406,887	980145,04	50,697	94,939	-44,242
34	980196,7674	980406,929	980146,58	50,189	94,395	-44,207
33	980195,3734	980406,910	980144,65	50,728	95,089	-44,361
32	980199,9513	980406,855	980151,00	48,949	92,765	-43,816
31	980201,8401	980406,822	980153,64	48,200	91,796	-43,596
30	980204,2318	980406,777	980156,83	47,404	90,624	-43,220
27	980203,0575	980406,846	980154,99	48,068	91,316	-43,248
26	980201,7063	980406,889	980152,99	48,716	92,056	-43,341
25	980199,5304	980406,934	980150,04	49,491	93,143	-43,652
24	980195,4270	980406,978	980144,46	50,966	95,181	-44,215
23	980195,9570	980407,017	980145,36	50,596	94,869	-44,273
20	980196,6160	980407,086	980146,32	50,292	94,544	-44,253
9	980195,7658	980407,153	980145,55	50,212	94,848	-44,636
10	980200,0329	980407,115	980150,98	49,050	92,866	-43,816
19	980197,0181	980407,046	980147,50	49,514	94,102	-44,588
18	980198,5834	980407,002	980149,56	49,027	93,342	-44,315
11	980200,5045	980407,015	980152,11	48,391	92,420	-44,029
17	980199,3790	980406,956	980150,25	49,132	93,075	-43,943
12	980200,1240	980406,955	980151,50	48,626	92,621	-43,995
16	980201,8117	980406,914	980153,61	48,201	91,840	-43,639
13	980201,4633	980406,922	980153,13	48,336	92,019	-43,682

Посредством определянето на силата на тежестта в идентични в планово и различаващи се във височинно положение точки, е пресметнат реалният вертикален градиент (табл. 2).

Таблица 2. Изчисляване на вертикалния градиент

№	g' , [mGal]	g , [mGal]	Δh , [m]	Δg , [mGal]	δW_{zz}
27'	980202,776	980203,057	1,00	-0,281743	-0,28174
25'	980199,109	980199,530	1,00	-0,421631	-0,42163
23'	980195,433	980195,957	1,00	-0,523927	-0,52393
11'	980200,142	980200,505	1,00	-0,362405	-0,36240
39'	980197,938	980198,296	1,07	-0,357176	-0,33381

За определяне на предполагаемото разположение на тялото, създаващо аномалното гравитационно поле, за Профил 1.3 и 1.4, вж. фиг. 4. Там са претметнати хоризонталните градиенти на силата на тежестта (табл. 3, 4).



Фиг. 4. Профили, по които е направена обработка на получените от гравиметрични измервания резултати

Таблица 3. Изчисляване на хоризонталния градиент за Профил 1.3

Точка	X , [m]	Y , [m]	Δg , [mGal]	$\Delta g_{i,i+1}$, [mGal]	$D_{i,i+1}$, [mGal]	δW_{xz}
23	4597972,90	8472142,10	50,596	-	0,000	-
24	4597925,33	8472062,77	50,966	0,370	92,493	0,004
25	4597871,09	8471980,54	49,491	-1,475	98,508	-0,015
26	4597816,46	8471894,59	48,716	-0,775	101,838	-0,008
27	4597762,97	8471810,67	48,068	-0,648	99,524	-0,007

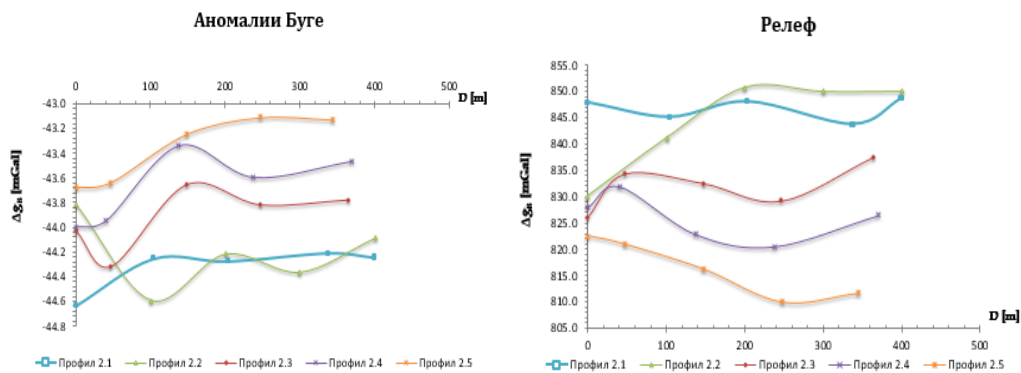
Таблица 4. Изчисляване на хоризонталния градиент за Профил 1.4

Точка	X, [m]	Y, [m]	Δg , [mGal]	$\Delta g_{i,i+1}$, [mGal]	$D_{i,i+1}$, [mGal]	δW_{XZ}
34	4597864,03	8472219,92	50,189	-	0,000	-
33	4597841,36	8472116,99	50,728	0,539	105,394	0,005
32	4597773,18	8471993,89	48,949	-1,779	140,726	-0,013
31	4597732,80	8471949,25	48,200	-0,750	60,189	-0,012
30	4597679,28	8471864,24	47,514	-0,685	100,455	-0,007

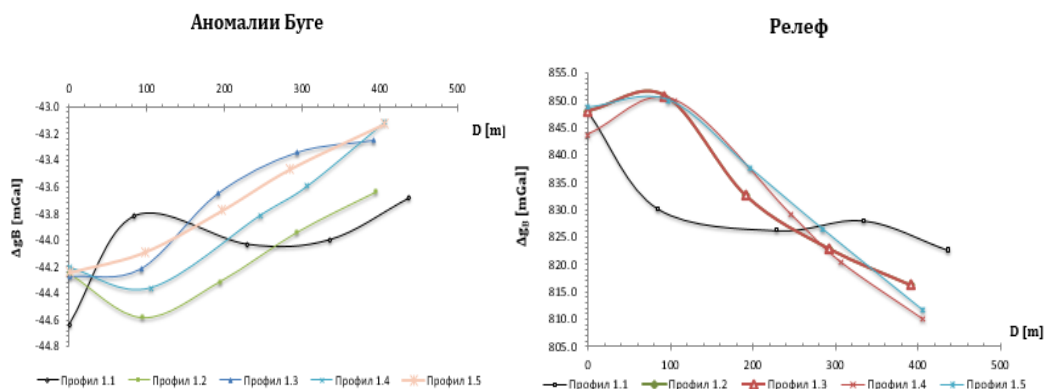
3.3. Онагледяване на получените резултати

3.3.1. Сравнение между аномалии Буге и изменение на релефа на територията

С получените резултати са направени два сравнителни модела между изменението на аномалиите Буге и релефа по профили – изток-запад (вж. фиг. 5) и север-юг (вж. фиг. 6).



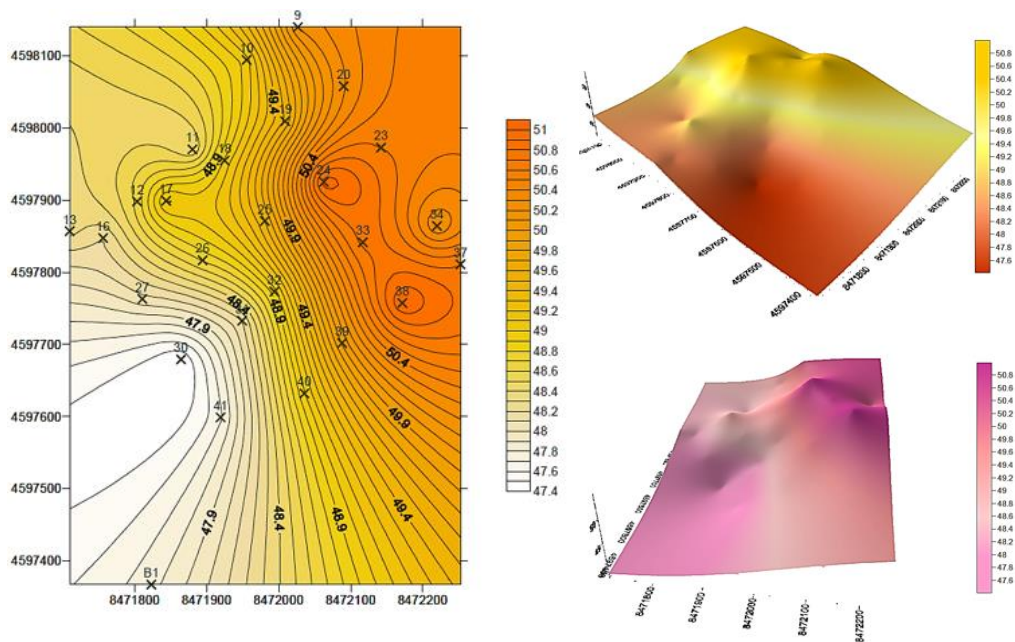
Фиг. 5. Сравнение между изменението на аномалиите Буге и височината на профили в направление изток-запад



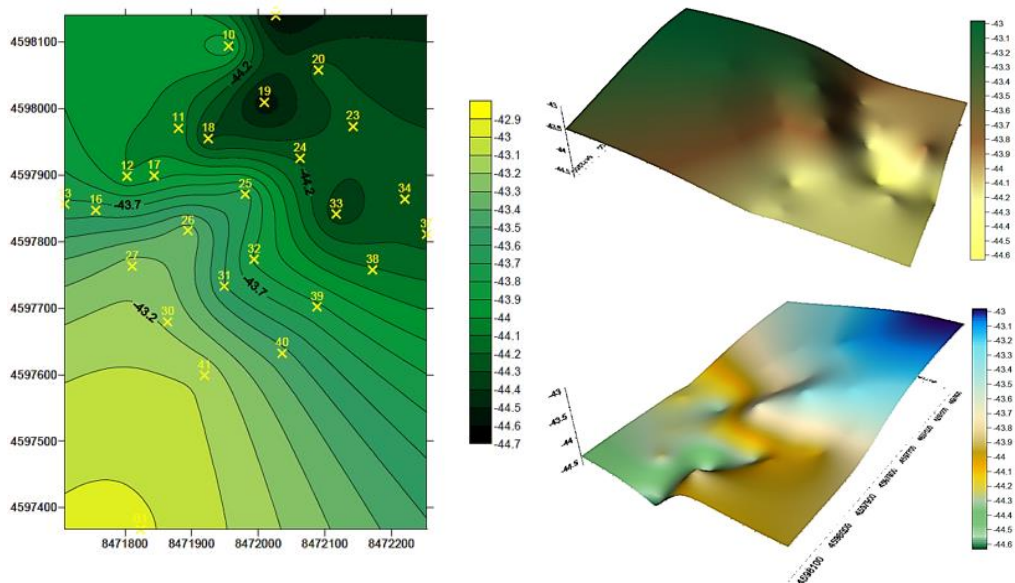
Фиг. 6. Сравнение между изменението на аномалиите Буге и височината на профили в направление север-юг

3.3.2. Модели на аномалии свободен въздух и аномалии Буге

За онагледяване на резултатите от измерванията са направени повърхнинни модели на аномалиите свободен въздух (вж. фиг. 7) и аномалиите Буге (вж. фиг. 8).



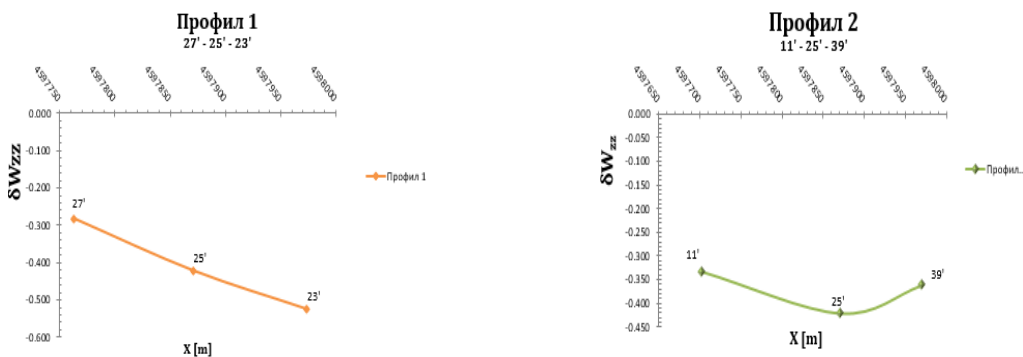
Фиг. 7. Аномалии свободен въздух, изобразени чрез изолинии и чрез повърхнинни



Фиг. 8. Аномалии Буге, изобразени чрез изолинии и чрез повърхнинни

3.3.3. Графики на изменението на вертикалния градиент за точките, в които е измерен

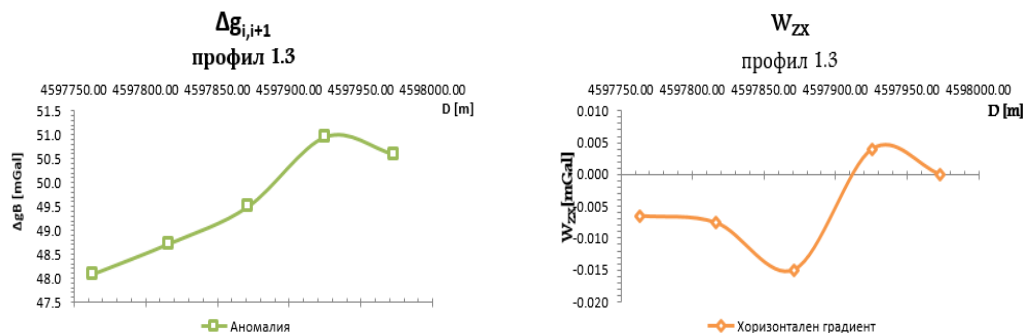
От изчисления вертикален градиент са направени две графики, онагледяващи неговото изменение (вж. фиг. 9).



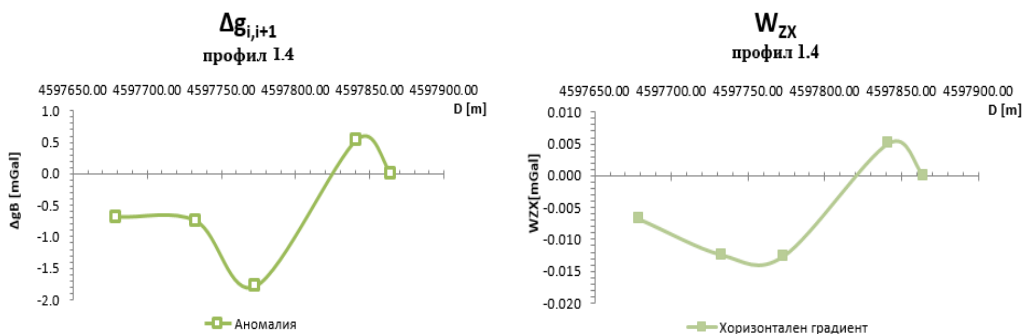
Фиг. 8. Вертикален градиент на Профил 1 и Профил 2

3.3.4. Онагледяване на изменението на хоризонталния градиент

Направена е графична съпоставка между изчисления хоризонтален градиент и изменението на аномалията на силата на тежестта в точките, разположени по Профил 1.3 (вж. фиг. 10) и Профил 1.4 (вж. фиг. 11).



Фиг. 10. Вертикален градиент на Профил 1.3



Фиг. 11. Вертикален градиент на Профил 1.4

3.4. Изводи

От направената обработка на резултатите и тяхното графично онагледяване биха могли да бъдат направени следните заключения:

- серията профили 1.1 – 1.5 дава възможност да бъде обособена една условна граница, където се осъществява контакт между два различаващи се по физико-механични и химични свойства скални блока;
- интерес представлява и другата серия от профили, ориентирани в посока север-юг, тъй като графиките, илюстриращи изменението на аномалното гравитационно поле при тях са с по-сложен за интерпретация характер;
- профили 2.2, 2.3, 2.4 се характеризират с по две инфлексни точки, което може да бъде предпоставка да се предполага, че освен основния предполагаем скрит разлом, в дълбочина разкъсванията може да са не само в едно направление;
- анализирани са графиките, показващи изменението на вертикалния градиент на силата на тежестта, които потвърждават предполагаемото разположение на разкъсване в земната кора, вследствие от освобождаване на натрупаното напрежение (земетресението от 22.05.2012);
- изчертаните графики на хоризонталните градиенти на профили 1.3 и 1.4 дават възможност за предполагане на ъгъла на затъване на тялото в дълбочина;
- може да се направи извод, че ако бъде потвърдено предположението за местоположението на разломна структура в дълбочина, то в зоната на скъсването двата блока не могат да бъдат апроксимирани с хоризонтални или вертикални стъпала. Този извод е направен на база на сравнение на получените криви на аномалията и теоретичните такива;
- забелязва се плавно изменение на аномалията на силата на тежестта като инфлексна точка е именно епицентърът на земетресението. Анализирайки поведението на кривата на хоризонталния градиент, сравнявайки я с теоретичните криви, може да я разделим на две части – първата характеризира полето на единия скален масив до зоната на срязване, където се явява минимумът на функционалната крива. Тази крива е с по-плавни изменения, което е предпоставка да се предполага, че тялото, причиняващо аномалията, е в положение, близко до хоризонталното. Втората част на кривата се характеризира със скокообразно изменение на хоризонталния градиент, което би могло да бъде предпоставка за твърдението, че вторият масив затъва под някакъв ъгъл, който е по-голям от 10° .

3.5. Съпоставка между резултатите от извършените комплексни изследвания, непосредствено след земетресението и данните, получени от извършените през 2015 г. гравиметрични измервания

Непосредствено след земетресението в района са извършени многофакторни геофизични изследвания за установяване на причините за бедствието. Направени са анализ и връзка на геофизичните полета, геоложката и тектонска обстановка със сеизмогенезиса в района и е съставен сеизмотектонски модел.

Пространственото разположение на следтрусовата сеизмична активност – „близки и отдалечени” афтершокове, подкрепя създадения модел. Липсата на повърхностни деформации, установена от лазерната интерферометрия, се обяснява с относително слабата сила на труса и „поглъщането” на остатъчните деформации, вследствие на уплътняване на средата в дълбочина.

На територията на пернишкия грабен са извършвани електротомографски изследвания, като са създадени електротомографски профили. Голяма част от тях отразяват електрически нехомогенности, предизвикани от различните електрически свойства на скалните комплекси в района. Последните два метода са използвани за изучаване на повърхностния геоложки разрез в района на пернишкото земетресение.

Създадени са карти на магнитното поле и на аномалиите Буге в района.

Заклученията от извършените комплексни изследвания на територията на земетресението от 2012 година са потвърдени от гравиметричните измервания от 2015 година, като е прецизирана областта около епицентъра на земетресението. Тук следва да се отбележи, че картата на аномалиите Буге е създадена, като са използвани стари карти на аномалните полета в района. При този метод на създаване на картата не може да се разчита на пълна актуалност на получената информация, тъй като в периодите, когато са провеждани масовите гравиметрични измервания, вероятно разломните структури в територията на изследвания район са се отличавали с различни сеизмотектонски характеристики от тези към настоящия момент. Това предполага необходимостта от провеждане на реални гравиметрични измервания в района, с цел получаване на актуална информация. На територията до момента не са извършвани геодезически измервания, които се явяват един силен способ за локализиране на аномални маси в земната кора, проследяване на протичащите геодинамични процеси и мониторинг на деформациите, извеждащи Земята от нейното изостатично равновесие и предизвикващи природни бедствия.

4. Заключение

С бързите темпове на развитие на науката се налага и бърз темп на създаване на нови подходи за изследване и изучаване на случващите се в земната кора процеси. С обособяването на сравнително новото научно направление – геодинамика, се налага кръгзорът да бъде разширен, а познатите традиционни методи за изследвания да бъдат обогатени и видоизменени, като отчитат спецификите на конкретните изследвани обекти.

Гравиметричните методи несъмнено намират голямо приложение при различни геодинамични изследвания. Те се явяват мощно средство за локализиране на дълбочинни структури, оказващи пряко влияние върху нормалното и аномалното гравитационно поле, което създават.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рангелов, Б., Радичев, Р., Димовски, С., Паскалева, И., Цанков, Х., Кисьов, А., Янкова, М., Илиев, Т., Василева, М. Геология и геофизика. // Годишник на минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, том 56, св. I, 2013.

2. Рангелов, Б., Цанков, Х., Груев, Ц. // Годишник на минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“.

LOCATING FAULT STRUCTURES IN DEPTH USING DATA FROM GRAVIMETRIC MEASUREMENTS

V. Krumova¹

Keywords: geodynamics, active fault, earthquake

ABSTRACT

The object of the study is a seismic event from May 22, 2012 registered in the region of Pernik. Complex geophysical investigations (electrotomographic, georadar, etc.) are performed on the territory and a seismotectonic model is created immediately after the event (2013 – 2014). Gravimetric measurements are organized and performed in an area spanning the epicenter of the earthquake in 2015. After data processing and analysis of the abnormal gravimetric field, a fractured structure is found in the depth. The structure had no land surface manifestation. The present study also makes a comparison between the results of the complex research carried out immediately after the earthquake and the data obtained from the gravimetric measurements from 2015.

¹ Victoria Krumova, Eng. PhD student, Dept. “Geodesy”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: v.krumova.91@gmail.com