

ВИСОКОТОЧНИ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА НЯКОИ ОТСЕЧКИ ОТ СОФИЙСКИЯ ПОЛИГОН И БАЗИТЕ КЪМ НЕГО

Ради Радичев¹, Емил Михайлов², Николай Кирилов¹

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, radirad@mgu.bg

² Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София; emil_mih@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Дадени са резултати от извършени високоточни гравиметрични измервания на някои отсечки от Софийския гравиметричен полигон и базите към него през различни епохи, с различни видове проверена и изследвана гравиметрична апаратура, както и с новите компютризираните гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5. Анализирани са резултатите и са направени съответните изводи. Констатирани са промени на силата на тежестта в района на полигона и базите към него със скорост $\pm 1-4 \mu\text{Gal}$ на година.

Ключови думи: високо точни гравиметрични измервания, гравиметрична апаратура

HIGH ACCURACY GRAVIMETRIC MEASUREMENTS OF SOME SECTIONS OF THE SOFIA POLYGON AND ITS BASES

Radi Radichev¹, Emil Mihaylov², Atanas Kisiov¹, Nikolay Kirilov¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; radirad@mgu.bg

² National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; emil_mih@abv.bg

ABSTRACT. Results of high accuracy gravimetric measurements are given of some sections of the Sofia gravimetric polygon and its bases during different periods, made with different types of verified and examined gravimetric equipment together with the modern computerized gravimeters Scintrex CG-3 and Scintrex CG-5. Results are analyzed and respective conclusions are made. Changes in the strength of the weight in the region are found in the polygon and bases its bases with a rate of $\pm 1-4 \mu\text{Gal}$ per year.

Key words: accuracy gravimetric measurements, gravimetric equipment

Въведение

Данните за гравитационното поле на земята широко се използват за решаването на много задачи с научно-изследователски и приложен характер. Изискванията за точност непрекъснато нарастват, особено през последните години със създаването на абсолютните гравиметри, криогенните гравиметри и компютризираните статични гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5. Възниква въпросът за стабилността на гравитационното поле във времето, т.е. доколко гравиметричните мрежи, снимки и еталонни полигони са стабилни във времето. По-сложен е въпросът с еталонните полигони, доколкото същите се измерват с най-високо достижимата точност и задават мащаба на гравиметричните снимки. Целта на настоящата публикация е да се проследи с каква скорост се изменя гравитационното поле на Софийския еталонен гравиметричен полигон и базите към него, ако има такова, от многократни измервания извършени през различни епохи с много добре изследвани и еталонирани гравиметри, както и със съвременните компютризираните гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5.

Гравиметрични измервания на Софийския полигон

Измерването на Софийския гравиметричен полигон е извършвано през различни години с цел изследване състоянието на гравиметровата апаратура. От 1968 до 1984 години полигона е измерван почти всяка година, за сравняване мащабните коефициенти на различните гравиметри, а след това до 2007г. през различни години. Повече подробности за измерванията от 1968 до 1984 години са дадени в Михайлов (1986). Извършени са високоточни измервания през м. май 1969г. с 5 гравиметъра ГАГ-2 и 3 гравиметъра ГАГ-1 на отсечките от полигона Копитото - Павлово, Копитото – Тихия кът, Тихия кът – Павлово, Павлово – Начало Драгалевски лифт, Начало Драгалевски лифт – Начало лифт Бай Кръстьо, Начало лифт Бай Кръстьо – Щастливеца и Щастливеца – Павлово (Михайлов, 2008). Тези отсечки, заедно с всички останали от полигона и базите към него, са измервани през различни периоди от време и с гравиметри от вида ГАК, ГР/К2 и ГНУ-КВ, като след осемдесетте години тези гравиметри обезателно се изследваха и еталонираха по метода на наклона на установката УЕГП-1 № 95

(Михайлов, 1991; Михайлов, Ценков, 2006; Михайлов и др., 2007). Гравиметрите на НИГиф, ГАК-7Т и ГР/К2 с номера 689, 1514 и 1388 бяха ремонтирани в гравиметричната лаборатория гр. Бургас, заедно с гравиметъра на УАСГ, ГАК-7Т № 524. На същите бяха монтирани нови кварцови системи. През 2004г., част от горепосочените отсечки бяха измерени от белгийски специалист с компютризиран гравиметър Scintrex CG-3, и от български специалисти с гравиметъра на УАСГ, ГАК-7Т № 524. Гравиметърът на УАСГ беше изследван и еталониран на калибровъчната линия на БАН, която е част от Софийския полигон. В настоящата публикация се разглеждат резултатите от измерванията, извършени през 1969, 1983 и 2004г., а също и през 1983, 1996 и 2004 г. на различни отсечки от полигона и базите. Ще бъдат разгледани и измерванията, извършени на тези отсечки от Софийския полигон и базите към него, с компютризираните гравиметри CG-3 и CG-5 през 2004 и 2007г. През различните епохи, измерванията са извършени с различни видове гравиметрова апаратура, която има различни показатели за точност и по различни методики. В публикацията се дават и резултати от измерванията на g на някои точки от полигона и базите извършени с гравиметрите на НИГиф през годините 1986 и 1996, и същите сравнени с измерванията на компютризирания гравиметър Scintrex CG-3, извършени през 2004 г. Като начално g е приета гравиметрична точка 1000 (Павлово).

Методики на гравиметрични измервания и резултати

Измерванията на всички горепосочени отсечки са извършвани по методиката А-В-А-В за гравиметрите ГАГ-1 и ГАГ-2 през 1969г., и по методиката А-В-А-В-А за гравиметрите на НИГиф през годините 1983, 1986 и 1996, двукратно за всяка отсечка. През 2004г. измерванията с гравиметъра на УАСГ се извършиха по методиката А-В-А-В, също двукратно за всяка отсечка. С компютризирания

гравиметър CG-3 измерванията през 2004 г. се извършиха по методиката А-В-С-D-E-C-A (Михайлов 2008), а с компютризирания гравиметър CG-5, измерванията се извършиха по методиката А-В-С-D-C-B-A през 2007г. Измерванията, извършени от руски специалисти през 1969 г., са извършвани при 2-3 гируса на ъгъла на разтвора $2v$, който се измерва непосредствено на точката с гравиметрите ГАГ-1 и ГАГ-2. Ако наблюденията на точката не са точни, то се увеличава броят на гирусите, т.е. правени са допълнителни наблюдения. Записвани са температури и атмосферно налягане по време на измерванията. Гравиметрите от типа ГАГ не изискват еталониране или определяне на каквито и да са коефициенти. С гравиметрите на НИГиф, както и с гравиметъра на УАСГ, се вземаха по 8-10 отчета, от които се избираха и записваха 3 отчета и то най-добрите. Записваха се температурите и времето на наблюдение. При компютризирания гравиметър Scintrex CG-3, резултатите от измерванията се записват автоматично от компютъра на гравиметъра, но белгийският специалист също си водеше карнет, на който записваше осреднените отчети на всяка минута от наблюдението. Върху измерванията извършени с гравиметрите на НИГиф и УАСГ са вкарани и скалови поправки върху отчетите и поправки за прилив. Поправки за приливи са вкарани, както и при измерванията на руските специалисти, така и при измерванията на белгийския специалист. В таблица 1 са дадени резултати от измерените отсечки Начало Драгалевски лифт – Павлово, Начало лифт Бай Кръстьо – Начало Драгалевски лифт, Край лифт Бай Кръстьо – Начало лифт Бай Кръстьо, Тихия кът – Павлово и Копитото – Тихия кът през годините 1969, 1983 и 2004, заедно с изчислените средни годишни скорости ΔV на вариации на гравитационното поле. От таблицата си вижда, че имаме и положителни и отрицателни скорости ΔV . В таблица 2 са дадени измерените отсечки Бояна - Павлово, Тихия кът - Бояна, Разклон за Копитото – Тихия кът и Копитото - Разклон за Копитото през периодите 1983, 1996 и 2004г. Както се вижда от таблицата, скоростите ΔV и от трите

Таблица 1

Отсечки от – до	Δg 1969 [mGal]	Δg 1983 [mGal]	Δg 2004 [mGal]	1983-1969г. Разлики $\delta\Delta g$ [mGal]	2004-1969г. Разлики $\delta\Delta g$ [μ Gal]	2004-1983г. Разлики $\delta\Delta g$ [μ Gal]	скорост ΔV ΔV (1983-1969г.) [μ Gal]	скорост ΔV ΔV (2004-1969г.) [μ Gal]	скорост ΔV ΔV (2004-1983г.) [μ Gal]
2008-1000	67,190	67,260	67,303	70	113	43	5	3	2
2009-2008	86,570	86,520	86,545	-50	-25	25	-4	-1	1
2020-2009	87,970	87,910	87,826	-60	-144	-84	-4	-4	-4
1017-1000	88,510	88,520	88,476	10	-34	-44	1	-1	-1
1011-1017	60,600	60,510	60,522	-90	-78	12	-6	-2	1

периода на измерване са отрицателни за гравиметричния ход от Павлово до Копитото, като само скоростта ΔV на отсечката 1017-1005 за периодите (2004-1983г.) и (2004-1996г.) е положителна. Тава е отсечката Тихия кът – Бояна. През 2007г. също от белгийския специалист се извършиха гравиметрични измервания на отсечки от Софийския полигон и базите към него с гравиметър Scintrex CG-5. Съпоставени резултатите от измерванията на Scintrex CG-3 през 2004 г. и измерванията на Scintrex CG-5 през 2007 г. са дадени в таблица 3, както и скоростите ΔV на възможните годишни промени на разликите в силата на

тежестта. Точността на измерванията с гравиметър CG-3 е до $\pm 10 \mu$ Gal, а с гравиметър CG-5 е $\pm 5 \mu$ Gal. Измерените отсечки с двата компютризирани гравиметъра са: Симеоново – Драгалевци, Лифта Драгалевци, Манастира - Лифта и Манастира – Симеоново. Гравиметричната точка в Симеоново е от Калибровъчната линия на БАН. От таблица 3 се вижда, че разликите между скоростите ΔV на годишните промени на разликите в силата на тежестта, измерени с двата компютризирани гравиметъра, достигат до 15μ Gal. Периодът на измерване между епохите е много малък, т.е. 3 години. Също така, при по-малък период на

Таблица 2

Отсечки от-до	Δg 1983 [mGal]	Δg 1996 [mGal]	Δg 2004 [mGal]	1996-1983 разлики $\delta\Delta g$ [μ Gal]	2004-1983 разлики $\delta\Delta g$ [μ Gal]	2004-1996 разлики $\delta\Delta g$ [μ Gal]	скорост $\Delta V/\text{год}$ $\Delta V(1996 -$ 1983) [μ Gal]	скорост $\Delta V/\text{год}$ $\Delta V(2004 -$ 1983) [μ Gal]	скорост $\Delta V/\text{год}$ $\Delta V(2004 -$ 1996) [μ Gal]
1005- 1000	21,8	21,77	21,693	-30	-107	-77	-2	-5	-10
1017- 1005	66,72	66,6	66,783	-120	63	183	-9	3	23
1018- 1017	22,1	22,05	21,897	-50	-203	-153	-4	-10	-19
1011- 1018	38,92	38,83	38,685	-90	-235	-150	-7	-11	-19

Таблица 3

Отсечка	Δg CG-3 /2004/, [mGal]	Δg CG-5 /2007/, [mGal]	Разлика $\delta\Delta g$, [μ Gal]	скорост $\Delta V/\text{год.}$, [μ Gal]
4000 - 2005	7,768	7,785	17	6
2009 - 2005	24,719	24,752	33	11
2013 - 2009	17,12	17,128	8	3
2013 - 4000	34,07	34,115	45	15

измерване от 8 години, както се вижда от таблица 2, скоростите достигат до $\pm 23 \mu\text{Gal}$.

При приета неизменна сила на тежестта g на абсолютната гравиметрична точка 1000, в Павлово са изчислени стойностите на силата на тежестта g на точки от полигона и базите измерени през годините 1986 и 1996, както подчертахме по горе в публикацията. Сравнени с измерванията на белгийския специалист, извършени през

2004 година, са дадени в таблици 4 и 5, заедно с разликите и техните скорости V .

Или при различните времеви интервали на измерване, възможното изменение на силата на тежестта с времето носи почти еднакъв по ниво на амплитудите характер. Може да се каже, че интензивността на протичане на съвременните тектонически процеси е почти еднаква в различните години.

Таблица 4

Гравиметрични точки	Гравиметри CG-3, Епоха 2004г., g [mGal]	Гравиметри ГАК-7Т, ГР/К2, Епоха 1986г., g [mGal]	Епохи 2004-1986г. Разлики δg [μ Gal]	Епохи 2004-1986г. Скорости V [μ Gal]
1000 Павлово	980240,785	980240,785	0	0
1005 Бояна	980219,093	980219,036	57	3
1017 Тихия кът	980152,310	980102,276	34	2
1018 Разклон Копито	980130,412	980130,301	112	7
2003 Драгалевци	980198,202	980198,246	-44	-2
2008 Начало лифт	980173,483	980173,525	-40	-2
2013 Манастира	980156,363	980156,316	47	3
2016 Лифтов стълб	980108,148	980108,086	62	3

Таблица 5

Гравиметрични точки	Гравиметри CG-3, Епоха 2004г. g [mGal]	Гравиметри ГАК-7Т, ГР/К2 Епоха 1996г. g [mGal]	Епохи 2004-1996г. Разлики δg [μ Gal]	Епохи 2004-1996г. Скорости V [μ Gal]
4000 Симеоново	980190,433	980190,362	71	9
3044 Бистрица	980176,226	980176,206	20	3
3004 Репер на ливада	980226,116	980226,183	-66	-8
3003 Трафопост	980214,234	980214,286	-52	-6
3001 Разклон Камбани	980199,038	980198,996	42	5
3000 Камбани	980221,965	980221,956	9	1

Анализ на резултатите и изводи

Съпоставени са данните от повторни гравиметрични измервания на разлики в силата на тежестта (Δg) между съседни точки с максимални средни грешки до $\pm 30 \mu Gal$. Като резултат имаме следната картина за възможни вариации (скорости) ΔV на измерени разлики в силата на тежестта:

- Измененията на вариациите (скоростите) ΔV имат закономерен характер и закономерно отразяват особеностите на строежа на земната кора.

- Вариациите (скоростите) ΔV в района на разлома, са положителни за разлома, пресичащ гравиметричния профил 1011 (Копитото) – 1000 (Павлово) при гравиметричната точка 1017 (Тихия кът) на отсечката 1017 (Тихия кът) – 1005 (Бояна). Там някъде минава Витошкият разлом. Също така са положителни за отсечката 2008 (Начало Драгалевски лифт) – 1000 (Павлово). Тя е от профила 1000 (Павлово) – 2020 (Край на лифт Бай Кръстьо). При 2008 (Начало Драгалевски лифт), също минава Витошкият разлом.

1/ В резултат на гравиметричните измервания на различни отсечки от Софийския гравиметричен полигон се получават, както видяхме, различни по знак и скорост изменения на гравитационното поле във времето. На едни отсечки от полигона, в едни и същи периоди от време, се отбелязва тенденция на намаляване значенията на ΔV , а на отсечки 2008-1000 и 1017-1005 на увеличаване на ΔV . При 2008 гравиметрична точка минава Витошкият разлом, както подчертахме. Също и при 1017 гравиметрична точка, пак минава Витошкият разлом. В Арнаутов и др. (2004) се цитира хипотеза за възможно възникване през 1978 и 1979 г. на глобална вълна от тектонически напрежения, вследствие подпъхването на Тихоокеанската плоча под Евроазиатската. Разпространението на такава вълна на сплескване с продължителност около 3 години, може да се прояви във вариации на различните геофизически параметри. В частност се проявява и във вариации на силата на тежестта. Това е възможната причина за намаляване на силата на тежестта, а след преминаването на вълната, да се предизвика увеличаване на силата на тежестта в последващите я години.

2/ Смяната знака на вариациите на гравитационното поле в Софийския полигон към понижаване е възможно да съответства и на период на усилване, както на местната сеизмичност, така и на период на възникване на по-силни земетресения.

3/ Вариациите на намаляване и увеличаване на силата на тежестта може да се дължат и на снижаване нивото на подземните води през различните периоди, когато са извършвани гравиметричните измервания.

4/ Съдейки по използваната гравиметрична апаратура и методите на измерване се вижда, че колкото по-големи са вариациите на силата на тежестта, то същите могат да бъдат в значителна степен повлияни и от грешки от самите измервания, както са например скоростите от измерванията $\Delta V(2004-1983)$ и $\Delta V(2004-1996)$. През 2004г. измерванията бяха извършени с гравиметри Scintrex CG-3 и ГАК-7Т № 524, които са разнородни по точност, а през 1983 и 1996 години с гравиметри ГАК-7Т и ГР/К2. Влияние на измерванията оказва и построената телевизионна кула на Копитото през 1985г. при точка 1011. Точка 1017 е удряна, единят ъгъл на бетоновия фундамент е счупен, което също оказва влияние върху резултатите от измерванията. Около точка 1018 има изменение на релефа, като от поляна се е превърнала в гъста борова гора.

5/ При измервания на точки от Международния еталонен гравиметричен полигон (Отчет, 1977) през годините 1958, 1968 и 1974 величината на силата на тежестта g на точките от полигона остава неизменна в границите на точността на измерванията (0,02 – 0,03) mGal, или се изменя със скорост $\pm 3-4 \mu Gal$ на година, като е приета силата на тежестта в Потсдам за неизменна. В таблица 6 са дадени резултати от тези международни измервания, заедно със скоростите V на изменение на g на гравиметричните точки. Оценката на точността, изпълнена по разлики от измерванията е показала, че постоянството на полето на силата на тежестта на териториите на бившите Социалистически страни се характеризира с грешка $\pm 0,015$ mGal (Отчет 1977).

Таблица 6

Гравиметрични точки	Епохи 1968 – 1958г. Разлики в g [μGal]	Епохи 1974 – 1958г. Разлики в g [μGal]	Епохи 1974 – 1968г. Разлики в g [μGal]	1968 -1958г. Скорости V [μGal]	1974 -1958г. Скорости V [μGal]	1974 -1968г. Скорости V [μGal]
Берлин	60	47	-13	6	3	-2
Варшава	120	87	-33	12	5	-6
Прага	-80	-61	19	-8	-4	3
Будапеща	110	103	-7	11	6	-1
Букурещ	100	5	-5	10	0	-1
София - летище	-20	9	29	-2	1	5

Резултатите от измерванията на отсечки от Софийския полигон и базите към него, също така показват средно годишна скорост на изменение, ако има такава, на разликите в силата на тежестта „ Δg “, както и на „ g “ на точките от порядъка на $\pm 3-4 \mu Gal$. Фактически те лежат в границите на точността на измерванията със статичните

гравиметри от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС и ГНУ-КВ от $\pm 30 \mu Gal$. Точността на компютеризираните гравиметри е под $\pm 10 \mu Gal$ и, както се вижда от таблица 3, ние имаме изменение на годишните скорости на разликите в силата на тежестта до $15 \mu Gal$. Такива изменения, вероятно се дължат на ефектите, свързани с подпочвените води,

съдържанието на влага в повърхностния слой на Земята, надземни и подземни водни потоци, водни пари в атмосферата, станали земетресения и др.

Литература

- Арнаутов, Г.П., Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стус, М.Г.Смирнов. Экспериментальное исследование вариации ускорения силы тяжести абсолютными лазерными гравиметрами. *АВТОМЕТРИЯ - РАН – Сибирско отделение*, 40, 6, 2004. - 19-32 /интернет/.
- Михайлов, Е. Анализ на гравиметричните измервания на Софийския полигон и базите към него за периода 1967 – 1984г. - *Геодезия картография кадастър*, 6, 1986. - 9-16.
- Михайлов, Е. Сравнителен анализ на резултати от измервания на Софийския еталонен полигон с

различен вид гравиметри през различни години. - *ГКЗ, София*, 1-2, 2008. - 4-6.

- Михайлов, Е. Методика за еталониране на гравиметри по метода на наклона на УЕГП 1 № 95, 1991 – *ФНИТ"ГиФ". За служебни цели на ФНИТ"ГиФ".*
- Михайлов, Е., Ц. Ценков. *Гравиметрични наблюдения за изследване на сеизмогенни зони в района на град София. – Доклади на научна конференция с международно участие – ВСУ „Любен каравелов”, 15 май-16 май 2007 г, 2007. - VII-1 – VII-7.*
- Михайлов, Е., Д. Димитров, Л. Стоянов, М. Еверхард. 2006. Резултати от гравиметрични изследвания в южната зона на Софийската котловина. - *ГЕОНАУКИ 2006, Национална конференция с международно участие София-30 ноември – 1 декември 2006 г.*
- Отчет о работах на Международном еталонном гравиметрическом полигоне в 1974 году. Москва 1977г.

Статията е рецензирана от проф. дфн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. „Приложна геофизика”.