

ГРАВИМЕТРИЧНИ СИСТЕМИ ИЗПОЛЗВАНИ В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТТА НА СИСТЕМИ IGSN-71 И UNIGRACE ПРИ ТОЧКИ ОТ ГРАВИМЕТРИЧНИТЕ И МРЕЖИ

Ради Радичев¹, Емил Михайлов², Християн Цанков¹, Атанас Кисъев¹

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. Представени са гравиметричните системи, използвани в България за геодезични и геофизични цели. Извършена е оценка върху точността на g на гравиметрични точки в системите IGSN-71 и UNIGRACE при Първоредната гравиметрична мрежа и при Еталонната гравиметрична мрежа на Република България. Получени са изменения на g , с които са коригирани всички гравиметрични точки за Геофизични цели, на брой 228 944. Показано е предложение за нова международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS).

Ключови думи: гравиметричните системи, първоредна гравиметрична мрежа, еталонна гравиметрична мрежа.

GRAVIMETRIC SYSTEMS USED IN REPUBLIC OF BULGARIA AND EVALUATION OF THE ACCURACY OF IGSN-71 AND UNIGRACE SYSTEMS OF POINTS OF GRAVIMETRIC NETWORKS

Radi Radichev¹, Emil Mihaylov², Chistian Tzankov¹, Atanas Kisiov¹,

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: Gravimetric systems used for geodesic and geophysical purposes in Bulgaria are presented. An evaluation of the accuracy of strength of the weight g of gravimetric points in IGSN-71 and UNIGRACE systems of First-row gravimetric network and the Standard gravimetric network of Republic of Bulgaria. All 228 944 gravimetric points for Geophysical purposes are corrected with the apparent alterations of g . A suggestion for a new international system of fundamental absolute gravimetric stations (ISFAGS) is presented.

Key words: Gravimetric systems, First-row gravimetric network, Standard gravimetric network.

Въведение

Световната опорна гравиметрична мрежа е необходима за обединяване в единство на изходните абсолютни национални значения на мрежите и мащаба на относителните определения на силата на тежестта. За привеждане на относителните измервания в абсолютна система е възможно същите да се прикачат към една абсолютно определена точка. А. За да се определи мащабът им са необходими високоточни абсолютни определения в няколко точки. До 1909 година всички гравиметрични измервания по целия свят се изразяват във Виенска система. През 1900 година на XIII конференция на МАГ в Париж е било решено да се считат значенията на силата на тежестта във Виена, като изходни за всички гравиметрични работи. Точността на изходните значения се оценява с грешка от 10 mGal . През 1909 г., на XVI международна геодезическа конференция е била приета Потсдамската гравиметрична система, с определено абсолютно " g " в Потсдамския геодезически институт.

Точността на определянето е с грешка 3 mGal (Огородова и др., 1978). За преход от Виенска система в Потсдамска, значението на " g " е необходимо да се намали с 16 mGal . Приетата Потсдамската гравиметрична система е просъществувала до 1971 г. На XIV Генерална асамблея на Международната асоциация по геодезия през 1967 г. е препоръчана поправка -14 mGal към Потсдамската система, понеже е установено, че тя е завишена с 14 mGal , от многобройни измервания с гравиметри, махални и абсолютни прибори при връзка с Потсдам (Огородова и др., 1978). Въз основата на многобройните гравиметрични измервания, извършени по цялото земно кълбо, е създадена световна гравиметрична опорна мрежа и същата е препоръчана на XV Генерална асамблея на Международния геофизически и геодезически съюз, състоял се в Москва през 1971 година, получила название IGSN-71. Ускорението на силата на тежестта във всяка точка на тази световна гравиметрична мрежа е определено с грешка по-малка от $0,2 \text{ mGal}$.

Гравиметрични системи в Република България и оценка точността на система IGSN-71 върху точките от опорните гравиметрични мрежи

В края на 1940г. и началото на 1941г. в България започват системни гравиметрични изследвания на силата на тежестта. Те се извършват с четримахален апарат от астрономическото отделение на Военния географски институт под ръководството на В. Христов и И. Петков. Те създават и основната гравиметрична станция в България в Агрономическия факултет на СУ. Снабдена е с махален апарат от гравиметрична фирма „Аскания“ с автоматична регистрация на люлеенето на махалата. Апаратът е предназначен за релативни измервания на силата на тежестта с точност $\pm 1 \text{ mGal}$. Създадена е и първата основна гравиметрична мрежа в България с махален апарат, обхващаща Западна и Северна България с 20 измервателни пункта. С високоточни махални многократни измервания между основната гравиметрична станция и Витоша /Драгалевски манастир/ е осъществена отсечка за еталониране на статични гравиметри (Димитров, Петков, 1990, Михайлов, Радичев, 2011). Махалните гравиметрични измервания са извършени за нуждите на висшата геодезия и са послужили за основа на по-следващите гравиметрични проучвания. Във връзка със съставянето на гравиметрична карта в мащаб 1: 200 000 е била положена опорна гравиметрична мрежа /първоредна/ с високоточен гравиметър GS-11- Аскания, доставен през 1957г. (Михайлов, Радичев., 2011, Петков, Георгиев, 1977). Спрямо тази мрежа са отнесени всички данни от използваните гравиметрични снимки в мащаб 1:100 000. При съпоставянето на тези снимки с гравиметричните на другите европейски социалистически страни през 1958-1959 г. е извършено първото определяне на абсолютната стойност на силата на тежестта чрез махална гравиметрична връзка на София с абсолютната точка в Потсдам в Потсдамска система. По-късно международна гравиметрична експедиция е извършила гравиметрична връзка между столиците на социалистическите страни под ръководството на Ю.Д. Буланже /СССР/ също в Потсдамска система (Димитров, Петков, 1990, Михайлов, Радичев, 2011). Геофизичите приемат за базисна /нулева/ гравиметрична точка Балчик (Живков, 1964), като е направена връзка летище Варна с Балчик, равна на $+1,75 \text{ mGal}$. В миналото всички гравиметрични обекти в България са прикачени към тази точка с изключение на района около София. В таблица 1 са дадени каталожни и измерени стойности на "g" и "Δg" на гравиметрични точки в България и връзката на летище София с Букурещ, съгласно Димитров, Петков (1990); Живков (1964); Трегер (1974). Първоредната гравиметрична мрежа на България е изравнена съвместно с гравиметрична точка в Букурещ, като са взети стойностите на София и Букурещ за база (Трегер, 1974). От връзките София-Букурещ дадени в таблица 1, се вижда, че разликата между системите 1958 и 1974 години е $+0,78 \text{ mGal}$. Общи гравиметрични точки между Първоредната гравиметрична мрежа от 1958 година и Еталонната гравиметрична мрежа са на Монтана, Варна, Бургас, София, Г.Оряховица, Ст.Загора и Пловдив, като някои от тях са унищожени в момента (Милев и др., 2013). От направените връзки между двете мрежи се получава

средна разлика в системите IGSN-71 на ЕГМ спрямо Първоредната мрежа от порядъка на $+0,74 \text{ mGal}$, което е около точността на разликата в системите на връзката София-Букурещ, която казахме, че е $+0,78 \text{ mGal}$. През 1974 година гравиметричната точка от летище София е пренесена в кв. Павлово в сградата на АГКК, бившата сграда на ГУГК. Стойността ѝ през 1974 г. е равна на $980240,667 \text{ mGal}$ в система IGSN-71 (Трегер, 1977). На същата точка /станция/ са извършени махални и абсолютни гравиметрични измервания през различни години с различни гравиметри (Милев и др., 2005). Резултатите от тези измервания са дадени в таблица 2. Извършените многогодишни абсолютни и махални измервания на гравиметричната станция в сградата на Агенцията по Кадастър, може да послужат за контрол на система IGSN-71, чрез абсолютни и махални измервания. Една част от тези измервания са и във връзка с Европейската гравиметрична система UNIGRACE /система на абсолютните измервания/ (Милев и др., 2005). Изменението на системата на геофизичите, приведена от Потсдамска в IGSN-71 от 1958 г. спрямо абсолютните гравиметрични измервания по проекта UNIGRACE е $+0,700 \text{ mGal}$, тъй като разликата между UNIGRACE и IGSN-71 е $-0,081 \text{ mGal}$, като средна стойност за страната получена от абсолютните точки в София и Варна (Милев и др., 2005). На фигура 4 са дадени основните абсолютни гравиметрични станции София и Варна (UNIFIED 2008). Освен тях има извършени еднократни абсолютни гравиметрични измервания и в Белоградчик, Сандански, Горна Оряховица, обсерватория Рожен, две станции в района на София, обсерватория Плана и в Института по метрология. Така че, броят на абсолютно измерените станции в България става 8. Еталонната гравиметрична мрежа на България е изчислена първоначално при "g" на станцията 00036 в Агенцията по Кадастър, и стойността на силата на тежестта е равна на $980240,660 \text{ mGal}$. Тази стойност се различава от приетото за «меродавно» "g" равно на $980240,584 \text{ mGal}$, измерено от австрийски специалисти с разлика от $0,076 \text{ mGal}$, която разлика е около точността на статичните гравиметри, с които е измерена. Еталонната гравиметрична мрежа (Милев и др., 2013). Средната квадратна грешка за "g" на цялата Еталонна мрежа е $\pm 0,120 \text{ mGal}$. Към нея е прикачена и частично преизмерената, преизчислена и преизравнена опорна гравиметрична мрежа основен, първи и втори клас на Република България, която е също в системата на абсолютните станции /точки/. Средната квадратна грешка за "g" на тази мрежа е до $\pm 0,260 \text{ mGal}$, получена от контролни гравиметрични измервания. Общо тези две мрежи бяха наречени Национална гравиметрична мрежа на Република България (НГМРБ) (Милев и др., 2013). Същите мрежи са дадени на МГУ «Иван Рилски», за да направи геоид.

Сравнение на извършените до сега махални и абсолютни определения на силата на тежестта в гравиметрична станция 00036 в сградата на АГКК в гр. София и на същите определения в гравиметрична станция 00015А в сградата на Астрономическата обсерватория „Николай Коперник“ гр. Варна

Таблица 1.

Каталожни и измерени стойности на "g" и "Δg" на гравиметрични точки в България

Грав. точка	Потсдам "g"-1958 г.	IGSN-71 "g"-1958 г.	Δg 1958,1968,1974г.	Δg 1958,1968,1974г.	Разлики
Летище София	980260,60 mGal	980246,60 mGal			Разлика от "g" на Лет.София 1968- 1958г. +0,95 mGal
Летище Варна	980473,72 mGal	980459,72 mGal	"Δg" _{изм.} мрежа София-Варна 1958 г. +213,12 mGal	"Δg" _{изм.} от „Буланже“ София-Варна 1968 г. +213,13 mGal	
Балчик	980475,47 mGal	980461,47 mGal	"Δg" _{изм.} София-Балчик 1958 г. +214,87 mGal		
Летище София	"g"-1968 г. 980261,55 mGal	"g"-1968 г. 980247,55 mGal			
Букурещ	"g"-1958 г. 980543,55 mGal	"g"-1958 г. 980529,55 mGal			
Букурещ	"g"-1968 г. 980543,87 mGal	"g"- 1968 г. 980529,87 mGal	"Δg" _{изм.} София-Букурещ 1958 г. +282,32 mGal		Разлика от "g" на Букурещ 1968-1958г. +0,32 mGal
Букурещ	"g"-1974 г. 980543,86 mGal	"g"-1974 г. 980529,86 mGal			
Летище София	"g"-1974 г. 980261,54 mGal	"g"-1974 г. 980247,54 mGal	"Δg" _{изм.} София-Букурещ 1974 г. +283,10 mGal		Разлика между "Δg" _{изм.} на отсечка София- Букурещ 1974-1958г. +0,78 mGal

Принцип на действие на махалния относителен метод

През годините 1968 и 1984 са извършени махални относителни връзки между гравиметрична станция 00036 ГУГК (АГКК) с гравиметрични станции Потсдам и Лёдово (Москва), дадени в Таблица 2. А през 1984 година беше извършена махална относителна връзка от абсолютната точка във Варна до Одеса с махални гравиметри «Ахат», дадена в Таблица 3. Махалният относителен метод се основава на наблюденията колебанието на едно и също махало с неизменна приведена дължина в различни точки. По измерените на всяка точка периоди на колебание се извежда отношение (или разлика) в ускоренията на силата на тежестта на тези точки.

Принцип на действие на абсолютните гравиметри

Измерването на гравитационното ускорение става на принципа на интерферометрично определяне ускорението на свободно падане на оптическа ъглова призма. Във вакуирана камера свободно пада оптически ъглов отражател. Преместването на падащия ъглов оптически отражател се измерва с лазерен интерферометър. Референтният ъглов отражател на интерферометъра е прикачен в центъра на люлеене на нискокостотен сеизмограф за намаляване влиянието на резултатите от измерените вибрационни и сеизмични фактори в точката на поставяне на гравиметъра. Модулацията на яркостта на интерфериращите лъчи в резултат на движение на ъгловия отражател се преобразува от фотоприемника в

електрически сигнал, периодът на изменението, на който съответства на преместването на ъгловия отражател на половин дължина на вълната от лазерното излъчване. Или изминатият от падащото тяло път се изразява чрез дължина на вълната на лазерното излъчване. За задаване на мярката на интервалите от време се използва прецизен часовник. Сигналите от фотоприемника и прецизния часовник постъпват на електронно-снимачен блок, на който се възпроизвеждат измерените интервали на пътя и времето. Резултатите от измерванията се въвеждат в паметта на микро ЕИМ, изчисляваща значението на ускорението на силата на тежестта и осъществяваща статистическа обработка на резултатите от повторни измервания. Благодарение на бързодействащата електронно-сметачна машина за времето на едно пускане на ъгловия отражател се правят до 300 отчета на интервалите на пътя и времето на свободно падане на ъгловия отражател.

Сравнение на извършените до сега абсолютни и относителни определения в София и Варна

На гравиметричната точка намираща се в сградата на Централния кадастър са извършени махални връзки с Потсдам през годините 1968 и 1974 и абсолютни измервания на земното ускорение през годините 1981, 1983, 1986, 1999 и 2001. През годините 1981, 1983 и 1986 са извършени с руския гравиметър ГАБЛ от руски специалисти, а през 1999г. от австрийци с абсолютен гра-

Таблица 2.

Година	g [mGal]	Условия на измерване	δg [mGal] Влияние на различни фактори	Ефект на котлована сграда [mGal]	Прибори
1968	980240,702	Обикновени условия	-	-	махален с Потсдам
1977	980240.673	Обикновени условия	Земетресение във Вранча и Велинград	-	Гравиметри ГАГ-2 и Шарп с Потсдам
1981	980240.734	Обикновени условия	Влияние на земетресението от Своге през 1980 г	-	Абсолютен ГАБЛ
1983	980240.663	Котлована за строеж на сграда на Кадастър	δg (83-81г.) = - 0,071 Земетресение в София	-0,010	Абсолютен ГАБЛ
1986	980240.634	Построена сграда на Кадастъра	δg (86-81г.) = - 0,100 Земетресение в Стражица и Попово	-0,032	Абсолютен ГАБЛ
1999	980240.584	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg (99-81г.) = - 0,150	-0,032	Абсолютен JILA 6(FF)
2001	980240.786	Вход на Кадастъра-унищожена външна точка /връзка/	-	-	La Cost & Romberg
2013	980240.895	Вход на Кадастъра-нова външна точка /връзка/	-	-	ГАК-7Т № 524
1984	980240,737	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg (84-81г.) = + 0,003	-0,032	„Ахат“ връзка с Лёдово
2001	980240,642	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg (01-81г.) = - 0,092 Земетресение в Ямбол	-0,032	Абсолютен ZZG

Таблица 3.

Година	g [mGal]	Условия на измерване	δg [mGal] Влияние на различни фактори	Прибори
1981	980470,851	Стара обсерватория	-	Абсолютен гравиметър ГАБЛ
1984	980470,832	Стара обсерватория	Δg (84-81) = - 0,019	Гравиметри „Ахат“ Варна-Одеса
1999	980470,768	Преустроена обсерватория с допълнителни сгради	δg (99-81г.) = - 0.083	Абсолютен гравиметър JILA
2004	980470,749	Преустроена обсерватория с допълнителни сгради	Земетресение западно от Троян δg (04-81г.) = - 0.102	Абсолютен гравиметър ZZG

виметър JLAG-b(FF)/BEV и по-късно през 2001г. от поляци с полски абсолютен гравиметър ZZG. В таблица 2, както подчертахме, са дадени стойностите на "g" на гравиметричната станция /точка/, в Агенцията по Кадастъра, получени, както от абсолютни гравиметрични измервания през различни години, така и от относителни връзки с Потсдам и Лёдово. Показано е и влиянието на различни фактори, като котлована, строяща се сграда и построена сграда върху резултатите на "g" на точката. В таблица 3, са дадени стойностите на "g" в гравиметрична станция Варна, получени от абсолютни измервания през годините 1981, 1999 и 2004. През 1981г. измерванията се извършиха с руския абсолютен гравиметър ГАБЛ, а през 1999 и 2004 години от австрийски специалисти с абсолютен гравиметър JILA. В Приложението е показано и влиянието на ремонтирани и допостроени сгради в Астрономичната обсерватория „Николай Коперник” - гр. Варна. Фигура 1 е схема на световната гравиметрична мрежа IGSN-71.



Фиг. 1. Световна гравиметрична мрежа - система IGSN-71

Предложение за нова Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS)

До април 2013г. в света има 42 абсолютни гравиметъра, 702 гравиметрични точки и 2471 абсолютни измервания. Прави се предложение за замяна на IGSN-71 с нова система, понеже IGSN-71 не отговаря на съвременните изисквания за точност на геодезията и метрологията. Необходимо е обновяване със съвременни модели и стандарти /приливи, влияния на атмосферата и др./. Със създаването на абсолютните балистични гравиметри се позволява да се получат първичните еталони в гравиметрията, реализиращи първичния метод на възпроизвеждане на силата на тежестта в гравиметрията. Абсолютните гравиметри могат да реализират нова международна опорна система в гравиметрията. Новите възможности на абсолютните измервания, свързани с увеличаване броя на абсолютните гравиметри и повишаване точността им на измерване, а също и разпространението на криогенните гравиметри, откриват нови възможности при построяването на глобални системи от абсолютни точки. Изместването на нулата /дрейф/ на криогенния гравиметър е 1-3 микрогала на година и има предсказуем характер (Global systems). При новата гравиметрична система ISFAGS, грешката от определяне на точките да не бъде повече от 10 микрогала. Абсолютни

опорни гравиметрични точки по земното кълбо са дадени на карта (фиг. 2)., Получени са в резултат на анализ, извършен през 2011г. от Работна Група по Абсолютна Гравиметрия и участието ѝ в Глобалния Геодинамичен Проект за определяне възможностите на развитие на новата система ISFAGS /Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции.



Фиг. 2. Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS)

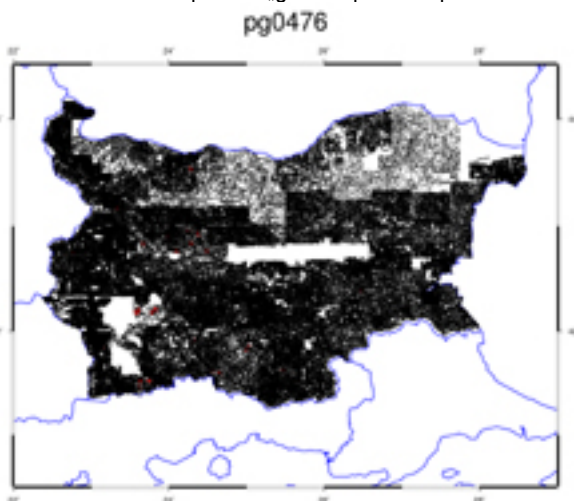


Фиг. 3. Гравиметрична базисна мрежа на Европа - 2000

Връзка на гравитационното поле и сеизмическата активност за България

Възможно най-големи изменения на измерено „g” с абсолютни гравиметри се предполага, че се дължат на възможно преместване на ядрото на земята относно нейната кора. Някой изследователи (Огаджанов, 1998, Юркевич, 1984) казват, че вариациите 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. Известно е, че бавните движения на земната кора се явяват предвестници на силни земетресения. Има много случаи на забелязани деформации преди силни земетресения. Тези явления произтичат от много причини, но при всички случаи действа основният закон – зависимост на деформациите и земетресенията от напреженията. Бавните движения на повърхностите на Земята, явяващи се резултат от деформации на земната кора, вследствие нарастването на вътрешните напрежения, които достигат критичните значения и предизвикват земетресения. Земетресението е дискретно проявяване на напрегнатото състояние на земната кора или горната мантия (Юркевич, 1984). В Република България, както подчертахме, има 8 станции наблюдавани с абсолютни гравиметри, като 3 са в района на София, а другите са в Белоградчик, Сандански, Рожан, Горна Оряховица и Варна. На същите, ако се извършват гравиметрични измервания с абсолютни гравиметри през 5 години, може да се проследи връзката между гравитационното поле и сеизмическата активност за България. От таблица 2 и таблица 3 се вижда и възможното влияние на станалите земетресения върху стойностите на измерените „g” в София и Варна.



Фиг. 4. Карта с покритието на България с гравиметрична снимка за геофизични цели по Милев и др. (2013)

Заклучение

От 1909 до 1971 г., гравиметричните измервания са в Потсдамска система с извършени абсолютни измервания в Потсдам с махален апарат с грешка 3 (Crossley et al., 2013), която е оказала влияние и върху мрежите на различните страни. Също така, първоначално световната система IGSN-71 се е базирала на 10 абсолютни махални определения в 8 гравиметрични точки с грешка от определене 1 *mGal* (Crossley et al., 2013). Тази грешка също оказва влияние при връзките на гравиметричните мрежи с Потсдам и това се вижда между системите 1958 и 1968 години, като за България тя е от порядъка на + 0,95 *mGal*. Около 70^{те} години на 20ти век IGSN-71 е била разширена с 471 точки и 24000 връзки, измерени с относителни гравиметри и с 1200 абсолютни измервания с махални

гравиметри. Грешката от определяне на точка е 0,1 *mGal* (Crossley et al., 2013). Затова и разликата между системи 1968 и 1974 години е по-малка от 0,1 *mGal*. Летище София по каталог през 1968 година е 980247,57 *mGal*, а през 1974 то е 980247,54 *mGal* или имаме разлика от 0,03 *mGal*. Тази точка в миналото е била основна за нашите гравиметрични мрежи. Всички подробни гравиметрични точки от снимките на геофизиците на брой 228 944, заедно с точките от работните им гравиметрични мрежи са приведени в система IGSN-71 с поправка +0,780 *mGal*, определена от връзките между София и Букурещ. Също така, от направените връзки между мрежите ЕГМ спрямо Първоредната мрежа се получава средна разлика в системите IGSN-71 от порядъка на +0,740 *mGal*, както подчертахме по горе. Гравиметричните точки на геофизиците са приведени и към абсолютните гравиметрични измервания извършени по Европейската система UNIGRACE с поправка + 0,700 *mGal*, заради изместване на нулите на системите и грешките от измерване на гравиметричните мрежи. Общият брой на точките в страната, включващи и гравиметричните мрежи и прецизни полигони приведени в системите IGSN-71 и UNIGRACE, е 229 452. Фигура 4 е карта с покритието на България с гравиметрична снимка за геофизични цели (Милев и др., 2013). При извършването на повторни абсолютни гравиметрични измервания в 8^{те} точки е възможен мониторинг на вариациите на гравитационното поле. С помощта на абсолютните гравиметри в комбинация с криогенни гравиметри, при влизане в употреба на новата мрежа ISFAGS, може да се оценява влиянието на различни ефекти от окръжаващата среда, като например тези, които ще се оценяват с микрогална точност, чрез различни модели. Към тези ефекти спадат и подпочвените води, съдържанието на влага в повърхностния слой на Земята, надземни и подземни водни потоци, водни пари в атмосферата, както и влиянието на строящи се сгради при изкопни и насипни работи. Тези ефекти довеждат до вариации на гравитационното поле на гравиметричните станции при точност 5 μGal и трудно се подават на моделиране.

Литература

- Димитров Л., И. Петков. *Хроника на първите стъпки на приложната Геофизика в България. Методи и технологии за търсене на минерални суровини*, С., Техника, 1990, 11-18.
- Живков К. ОБЯСНИТЕЛНА ЗАПИСКА за обект „Гравиметрични работи” за 1964 г., София, 1964, (непубликувана), стр.1-8.
- Живков К. ОБЯСНИТЕЛНА ЗАПИСКА за изработването на гравиметрична карта в мащаб 1: 100 000 (непубликувана), София, 1967., стр.1-6.
- Милев Г., Д. Руес, К. Улрих, К. Василева, Л. Стоянов, Г. Вълев, Е. Михайлов, Н. Димитров. Абсолютни измервания и гравиметрична система на България, - *ГКЗ*, 2005, 5-6, 10-18.
- Милев Г, Е. Михайлов, Х. Цанков, С. Димовски. Систематизация и привеждане на гравиметричните точки на територията на България в единна система. - *ГКЗ*, 2013, 5-6, -3-9.

- Михайлов Е., Р. Радичев. Гравиметрични измервания в България за периода от 1926 до 2011 година. – *Международна научна сесия 2011 на МГУ „Св. Иван Рилски“ от 19-20 октомври 2011 година, София, България. Годишник на МГУ – 2011, Свитък I, Геология и Геофизика*, 54, 2011. - 145-151.
- Огородова, Л.В., Б.П. Шимбирев, А.П. Юзефович. *Гравиметрия*, М., Недра, 1978, - 270-272.
- Огаджанов В.А. Концепция геофизических исследования, основанная на явлениях дилатации горных пород. – *Геофизика*, 4, 1998 - 10-13.
- Петков И., Г. Георгиев. Първоредна гравиметрична мрежа в България, *Известия на Геофизическия институт*, 1, Отделен отпечатък, 1977. БАН-София.
- Треггер, Л. *Обработка измерений международной гравиметрической сети*. 1974 – Общий отчет ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ЧССР – Прага, февраль 1977 г
- Юркевич, О. И., Определение времени подготовки землетресений по медленным движениям поверхности земли. – *Геодезия картография аерофотосъемка*, Львов, 39, 1984. - 101 – 109.
- Crossley D, L.Vitushkin, H. Wilmes. *Global systems for the measurement of the gravity field of the Earth: from Potsdam to Global Geodynamics Project and further to the establishment of an International System of Fundamental Absolute Gravity Stations*. KVNO, 2013.
- Boedecker G. On gravity standardisation and the unified *European gravity reference network uegn02*. „Its mandate is to provide the basis for a single, coherent system terrestrial gravimetry adjustment model; UNIGRACE – embedding now complete; Common data „GEOS 27-28.02.2008. www.vugtk.cz/geos/2008/prezentace/1x3x2.ppt

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