

## ПРОМЕНЕТЕ В СТОЙНОСТИТЕ НА ГРАВИТАЦИОННОТО ПОЛЕ И ВРЪЗКАТА ИМ СЪС СЕИЗМИЧЕСКАТА АКТИВНОСТ И НИВОТО НА ПОДПОЧВЕНИТЕ ВОДИ В РАЙОНА НА СОФИЯ

**Ради Радичев<sup>1</sup>, Емил Михайлов<sup>2</sup>, Атанас Кисъев<sup>1</sup>, Николай Кирилов<sup>1</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.** Въз основа на резултатите от високоточните гравиметрични измервания на силата на тежестта в района на Софийския гравиметричен полигон през различни периоди, като са отчетени приливните гравитационни влияния на Луната, се установява изменение на гравитационното поле в района на полигона. Получени са вариациите в стойностите на гравитационното поле  $V_{\Delta g}$  във времето. Тези вариации отразяват промените в строежа на земната кора, като по-съществени са вариациите в районите на разломите и терасите, където за различните периоди имаме и смяна на знаците. Наблюдава се увеличаване стойностите на гравитационното поле в района на София и намаляването им в района на Витоша. От извършените високоточни гравиметрични измервания, върху графики се локализира трите земетресения станали през годините 1977, 1980 и 1983.

CHANGES IN THE VALUES OF THE GRAVITATIONAL FIELD AND THEIR CONNECTION TO THE SEISMIC ACTIVITY AND THE GROUNDWATER LEVEL IN THE REGION OF SOFIA

*Radi Radichev<sup>1</sup>, Emil Mihailov<sup>2</sup>, Atanas Kisyov<sup>1</sup>, Nikolay Kirilov<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup>NIGGG, BAS, 1113 София; [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**ABSTRACT.** On the basis of results, derived from high-precision gravity measurements in the region of Sofia's gravimetric polygon performed in different time periods, after taking into account the gravity effect of the Moon, is established a change in the gravitational field in the polygon's region. The variations of the gravitational field  $V_{\Delta g}$  in time are calculated. These variations reveal the changes in the structure of the Earth's crust. The most substantial variations are in the regions of faults and terraces, where in different periods changes in the signs of the values are observed. An increase in the values of the gravitational field in the region of Sofia is detected, and respectively, a decrease in the values in the region of Vitosha mountain. On the charts, elaborated from high-precision gravity measurement data, are localized three earthquakes that took place in 1977, 1980, and 1983.

### Въведение

Съвременните високоточни гравиметрични измервания намират голямо приложение в геофизиката, геодезията, астрономията и геологията за изучаване вътрешния строеж на Земята, за търсене и проучване на находища на полезни изкопаеми, структурно-тектонско райониране, откриване на карстови форми, зони на дезинтеграция и разуплътняване, откриване, оконтурване и картиране на разломи, изучаване на неприливните изменения на силата на тежестта, за изучаване аномалиите в силата на тежестта на Земята и планетите от Слънчевата система и тяхната връзка с формата и вътрешния строеж на Земята и планетите. Гравитационното взаимодействие действа в цялата Вселена и определя нейния строеж и еволюция. Под влияние на гравитацията се формират галактики и звездни натрупвания. Гравитацията създава звездите и планетите и определя техния вътрешен строеж и фигура.

Високата точност с която днес е възможно да бъде измервана силата на тежестта, поставя на дневен ред

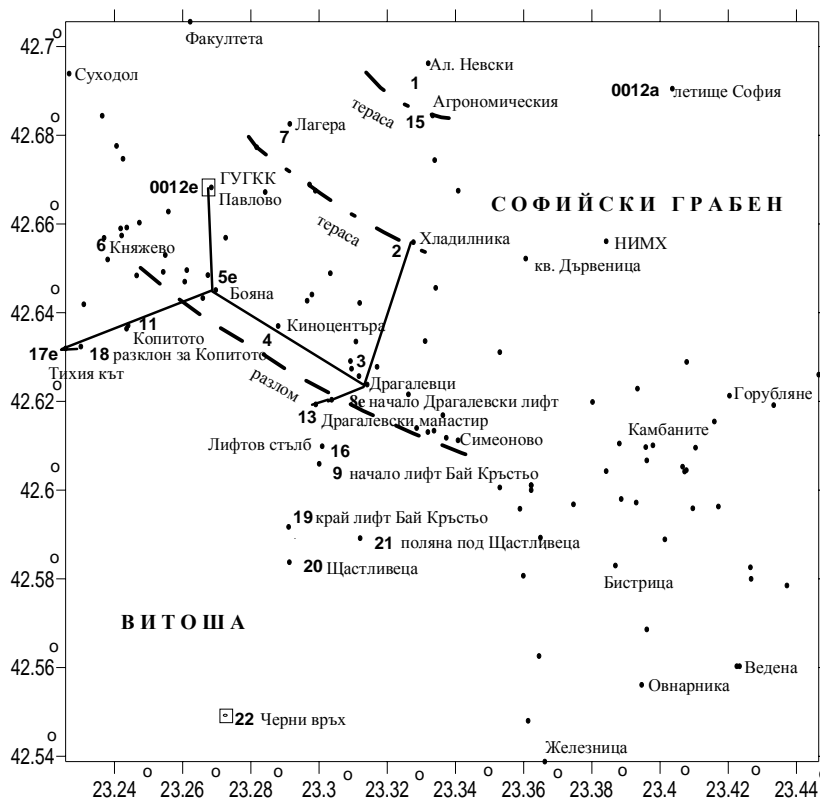
въпроси като изменението на силата на тежестта във времето и причините за това, както и въпросът за постоянството на гравитационната константа във времето и пространството който е пряко свързан с общата теория на гравитацията. Затова гравиметрията е съставна част от общата наука за гравитацията и строежът на Вселената наречена Космология и то в нейната земна, практически най-важна част свързана с дейността на човека.

През изминалото столетие в България са извършени много гравиметрични измервания (Михайлов, Радичев. 2011). Точността на тези измервания, особено през последните 20-30 години, достигна много високо ниво. Причината за това е непрекъснато увеличаващата се точност на използваната апаратура и натрупания опит на изследователите.

Измерванията на Софийския еталонен гравиметричен полигон показан с цифри на фиг. 1. са извършвани през различни години, най-напред с цел изследване състоя-

нието на гравиметричната апаратура. Извършени са измервания с 5 гравиметъра ГАГ-1 и ГАГ-2 на отсечките от полигона София (ГУГКК) – Копитото, Копитото – Тихия кът, Тихия кът – София (ГУГКК), София (ГУГКК) – начало Драгалевски лифт, начало Драгалевски лифт – начало лифт Бай Кръстьо, начало лифт Бай Кръстьо – Щастливеца и Щастливеца – София (ГУГКК). Тези отсечки заедно с всички останали от полигона и базите към него са измервани през различни периоди от време с гравиметри от вида ГАК, ГР/К2 и ГНУ-КВ. Върху отсечката София – Черни връх са извършени махални измервания с махални прибори ОВМ. Измерванията на всички отсечки са извършвани по трисъпковата методика (А-В-А-В), както с

махалните прибори, така и с останалите гравиметри. А отсечките 3-2, 3-5е, 3-8е, 5е-12е, 5е-17е, 8е-13 и 17е-18 са измервани по методиката А-В-А-В-А, двукратно всяка отсечка с три различни гравиметъра, и по този начин са получени по 18  $\Delta g$  на отсечка. Три от седемте отсечки, а именно отсечките 3-5е, 5е-0012е и 5е-17е са измерени с грешка под  $\pm 0,023$  милигала. При останалите четири отсечки грешката достига до  $\pm 0,045$  милигала. На фиг.1 е дадена схема със седемте високоточно измерени отсечки. На тази схема са нанесени всички гравиметрични измервания извършени в Софийския район с цел локализиране на Витошкия разлом.



Фиг. 1. Софийски еталонен гравиметричен полигон заедно с гравиметричната снимка в района на София, необходими за локализиране на Витошкия разлом

### Обработка и анализ на гравиметричните измервания в Софийския гравитационен полигон

Въз основа на извършените измервания в Софийския гравитационен полигон в продължение на повече от 20 години са изчислени разликите в силата на тежестта за различните отсечки от полигона през различните периоди на измерване. Изчислени са средните значения на вариациите на силата на тежестта за различните периоди на измерване 8; 12; 18 и 21 години. Установява се, че вариациите на силата на тежестта са в диапазона от 3 до 37 микрогала на година. При осредняване за голям интервал от време величините на вариациите на силата на тежестта намаляват. При различните времеви интервали, изменението полето на силата на тежестта с времето има различен по ниво на амплитудите характер. Съпоставени са данните от повторни гравиметрични измервания на разликите в силата на тежестта " $\Delta g$ " между съседни точки с

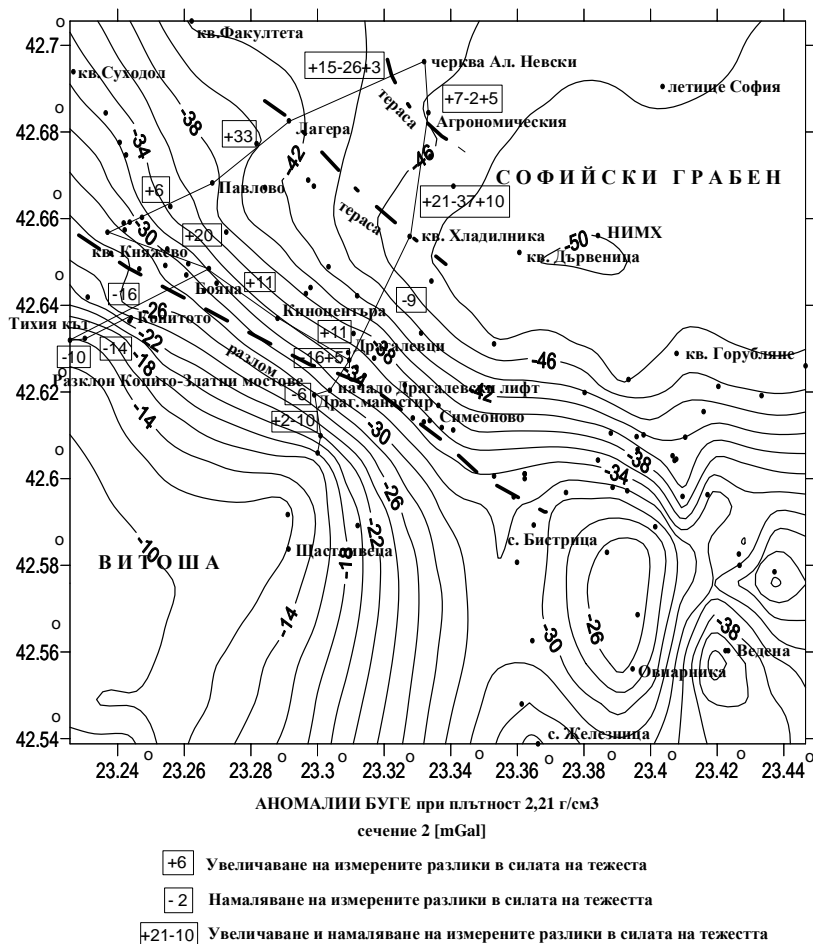
максимални разлики до  $\pm 0,060$  милигала (Михайлов, Радичев, 2010). На фиг. 2 е дадена карта аномалия Буге на Софийския район при плътност на междинния слой  $\sigma = 2,21 \text{ g/cm}^3$ , определена от гравиметрични измервания. На същата са нанесени средногодишните вариации  $V\Delta g$  на разликите в силата на тежестта от различните периоди на измерване. Смяната на знаците в  $V\Delta g$  се вижда при *Софийското земетресение станало през 1983 г.* отсечката Лагера – "Ал. Невски" от  $V\Delta g = -26$  микрогала до 1983г. става на  $+3$  микрогала след нея. Отсечката "Ал. Невски" – Агрономическия от  $V\Delta g = +7$  микрогала до 1983г. става на  $-2$  микрогала след нея. При отсечката Агрономическия – Хладилника от  $V\Delta g = -37$  микрогала имаме нова вариация след 1983 г. равна на  $+10$  микрогала. И отсечката Драгалевци – Драгалевски лифт пресичаща Витошкия разлом от скорост  $V\Delta g = +11$  микрогала става след 1983 г. на  $-9$  микрогала.

От казаното до тук може да направим следните изводи за вариациите на гравитационното поле в Софийския гравитационен полигон, респективно за Софийската котловина:

- Вариациите на силата на тежестта имат закономерен характер отразяващ особеностите в строежа и динамиката на земната кора в района.
- Съществени са вариациите на силата на тежестта в районите на разломите и терасите, където за различните периоди имаме и смяна на знаците на  $\Delta g$ ;

• Наблюдава се увеличаване на гравитационното поле под Витошкия разлом в района на гр. София и намаляване над него в района на Тихия кът и Копитото (Михайлов, 1986);

- В районите на терасите при Лозенец (Хладилника, Агрономическия) и "Ал. Невски" имаме съответно намаляване и увеличаване на вариациите  $\Delta g$  през различните периоди на измерване.



Фиг. 2. Аномалии Буге в района на София при плътност 2,21 г/см<sup>3</sup> и годишни вариации на гравитационното поле в микрогали

### Фактори определящи промените в стойностите на силата на тежестта

Различни са факторите предизвикващи колебанията на силата на тежестта. Според много изследователи най-големите изменения на  $\Delta g$  се предполага, че се дължат на възможно преместване на ядрото на Земята относно нейната кора. Други изследователи (Огаджанов, 1998, Юркевич, 1984) смятат, че вариациите на силата на тежестта се предизвикват главно от процеси, изменящи скоростта на въртене на Земята. Сезонните колебания на световния океан също могат да предизвикат изместване на центъра на тежестта на Земята и да доведат до изменение на земното ускорение. Движението на атмосферните маси също предизвикат изменение на силата на тежестта. Подобно влияние оказват и промените в нивото на подпочвените и грунтови води.

Известно е, че бавните движения на земната кора се явяват предвестници на силни земетресения. Има много случай когато се забелязват деформации в кората 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, водят до нарастването на вътрешните напрежения, които когато достигна критичните значения предизвикват земетресения. Земетресението е дискретно проявяване на напреженното състояние на земната кора или горната мантия (Юркевич, 1984).

## Връзка между вариациите в гравитационното поле и сеизмическата активност в района на София

Отражението на динамиката на литосферата в региона на София върху гравитационното поле, нагледно се илюстрира по материалите от измерванията на средно-годишните вариации  $V\Delta g$  на разликите в силата на тежестта от във времето на Софийския гравиметричен полигон (Михайлов, Радичев, 2010). Извършените гравиметрични измервания в полигона дават възможност да се изследва връзката на времевите вариации на гравитационното поле  $V\Delta g$  със сеизмическата активност. В резултат на измерване на  $\Delta g$  по различни отсечки от полигона са констатирани различни по знак и скорост изменения на гравитационното поле във времето дадени на фиг.2. На едни отсечки от полигона за едни и същи периоди се наблюдава увеличаване на  $V\Delta g$ , а на други на понижаване на  $V\Delta g$ . Ако приемем, че деформациите довеждащи до възникване на земетресения за района стават в интервал на дълбочини до 50 километра, то изменението на силата на тежестта се дължи на изменение на плътностите на при повърхностния междинен слой  $\sigma$ . Деформацията на слоя на литосферата оказва влияние на изменение на гравитационното поле и се приема за безкраен слой на простиране с дебелина 50 километра. Оценката за вариация на плътността на междинния слой с плътност  $\Delta\sigma$ , съответства на изменение гравитационното поле  $\Delta g_{cp}$ , получено по формулата (Огаджанов, Конценебин и др., 2005):

$$\Delta\sigma = \Delta g_{cp} / 0,0419 \cdot H \quad (1)$$

където:  $H$  е дебелина на литосферата равна на 50000 метра приета за района на България, а  $\Delta g_{cp}$  е средно годишно изменение на гравитационното поле за района на София.

Оценките показват, че при такъв модел на изменение на гравитационното поле в обема на литосферата средното значение на плътностите  $\Delta\sigma$  за периода 1983-1996 е равно на  $-0,0001 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , а за периода 1996-2004 е равно на  $+0,0005 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  и съответно за целия период от 1983-2004 г. е равно на  $+0,0007 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . По големи вариации на плътностите се наблюдават в геоактивните блокове, ограничени по простиране. При зоните на тектонските разломи в резултат на раздробяване на почвите и заместването им с по-леки почви може да стане разуплътняване на първоначалния по-плътен субстракт. Увеличаване плътността на почвите се наблюдава в сводовете на антиклиналните шисти в резултат на сплескване на почвите. Като цяло плътността на повърхностния слой е по-малка от плътността на магматичните и метаморфните скали и нараства с увеличаване на основните по състав петрографски видове. Анализирайки причините за изменението на гравитационното поле и сеизмичността, се установява че условията за възникването на земетресения се обуславят от деформирането на горните слоеве на земната кора. Сплескването се съпровожда с уплътняване и като следствие с увеличаване на  $\Delta g$ . Периода на сплескване на горните слоеве завършва с деформации и развитие на пукнатини (Огаджанов, Конценебин и др., 2005). Запълването на пукнатините с флуиди, определя

процеса на разуплътняване който се съпровожда с понижаване на гравитационното поле.

На трите профила, измерени с грешки до  $\pm 0,030$  милигала, дадени в Приложение 1, върху графиките ясно се локализируют станалите земетресения в района на Своге през 1980 и София през 1983 години. Графиките са получени, както подчертахме по горе от измерванията на  $\Delta g$  на отсечки, като отсечките са измерени през различни периоди от време и с различни гравиметри. Локализирането на станалите три земетресения във Вранча, Своге и София добре се вижда от Приложение 2, графиката на абсолютните и махални гравиметрични измервания на г.т. 0012 е (OBG SOFIA). Тук върху резултатите от измерванията през годините от 1980 до 1986, оказва влияние и котлованата преди строежа на сградата на кадастъра, както и построената след това сграда. Върху профилите дадени в Приложение 3 заедно със земетресенията в Своге и София се локализира и земетресението във Вранча станало през 1977 година.

## Комплексно влияние на подпочвените води и влажността на почвата върху изменението на силата на тежестта на Софийския полигон

Най-съществени изменения на силата на тежестта могат да възникнат от изменението във времето на режима на подземните води (подпочвени и влажност на почвата). От изменението нивото на подземните води се изменя плътността на междинния слой  $\sigma$ . Възможното изменение силата на тежестта може да се констатира от по-точни и прецизни гравиметрични измервания. Най-добри резултати за възможното изменение силата на тежестта се получават по формулата за силата на тежестта на плоскопаралелен слой с безкрайно простиране:

$$\Delta g_{gv} = 2\pi f \Delta\sigma \Delta h \quad (2)$$

където:  $\Delta h$  е амплитуда на колебание нивото на подземните води в метри;

$$2\pi f = 0.0418 \quad (3)$$

$\Delta\sigma$  – изменение плътността на водоносния пласт при загуба или поглъщане на вода;

В района на Драгалевци и Хладилника минават реките Драгалевска и Дреновишка, които подхранват подземните води в района. Най-голям дебит, съответно най-високо ниво на подземните води има през късната пролет. Ако амплитудата на колебаене на подземните води  $\Delta h$  е 1 метър, то вариациите на силата на тежестта могат да достигнат до около  $0,015 \text{ mGal}$  при изменение на  $\Delta\sigma = 0.23 \text{ kg/m}^3$ .

Вариациите на намаляване и увеличаване на силата на тежестта се дължат на снижаването и увеличаването на нивото на подземните води през различните периоди, когато са извършвани гравиметричните измервания.

Съдейки по използваната гравиметрична апаратура и методите на измерване се вижда, че колкото по-големи са промените на силата на тежестта и техните вариации  $V_{\Delta g}$ , то същите могат да бъдат в значителна степен повлияни и от грешки от самите измервания.

## Заклучение

Промените в стойностите на гравитационното поле се обуславят от различни фактори, като за района на София определящи са:

- деформациите на горните слоеве на земната кора;
- снижаването и увеличаването на нивото на подземните води през различните периоди.

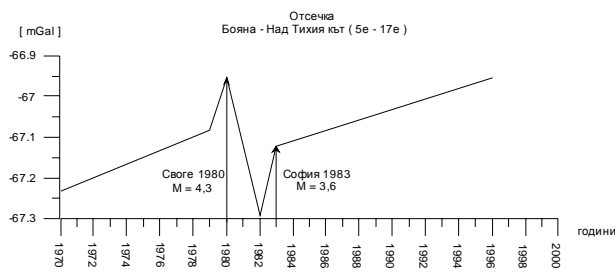
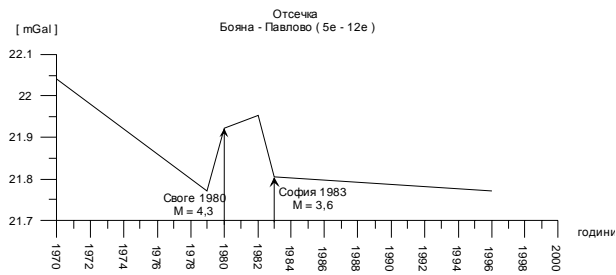
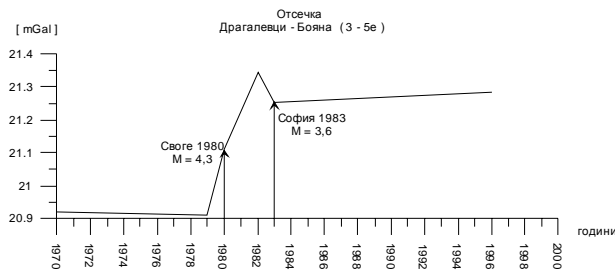
Първият фактор е свързан с възникването на земетресения които също се обуславят от деформирането на земната кора. Деформациите водят до уплътняване и разуплътняване на кората което от своя страна е свързано с промяна в стойностите на силата на тежестта. Смяна знаците на вариациите  $V_{\Delta g}$  през различните периоди на измерване имаме при терасите на Лозенец (Хладилника, Агрономическия) и "Ал. Невски". Също така смяна на знаците през различни периоди на измервания имаме и на отсечките Драгалевци – начало Драгалевски лифт и Бояна – Тихия кът. При тези отсечки минава Витошкият разлом. Върху графиките в Приложение 1 на седемте високоточно измерени отсечки ясно се отбелязват станалите земетресения в Своге и София през 1980 и 1983 години. Същия резултат показва и графиката с абсолютните измервания в гравиметрична станция Павлово (OBG SOFIA) дадена на Приложение 2, където се маркира и земетресението във Вранча. При измерванията извършени по методиката А-В-А-В за изследване на гравиметри на отсечките 3-2; 13-8e; 8e-3 и 18-17 дадени на графики в Приложение 3, също така добре се локализира трите земетресения във Вранча, Своге и София.

Вторият фактор, водещ до промени в стойностите на гравитационното поле е свързан с промяната в нивото на подземните води през различните периоди, когато са извършвани гравиметричните измервания. В района на Драгалевци и Хладилника минават реките Драгалевска и Дреновишка, които подхранват подземните води в района. Най-голям дебит, съответно най-високо ниво на подземните води има през късната пролет. Ако амплитудата на колебаене на подземните води  $\Delta h$  е 1 метър, то вариациите на силата на тежестта могат да достигнат до около 0,015 mGal при изменение на  $\Delta \sigma = 0.23 \text{ kg/m}^3$ .

## Литература

- Огаджанов, В. А., Ю. П. Конценебин, А. А. Назаров, А. В. Огаджанов, С. В. Соломин. 2005. Связь изменений гравитационного поля на Саратовском геодинамическом полигоне с сейсмической активностью Альпийско-Средиземноморского пояса и прилегающей части Европейской плиты. [www.ebiblioteka...et/01/heol0501\\_21paf](http://www.ebiblioteka...et/01/heol0501_21paf).
- Михайлов, Е. 1986. Анализ на гравиметричните измервания на софийския полигон и базите към него за периода 1967–1984 г. – *Геодезия картография кадастър*, 6.
- Михайлов, Е., Р. Радичев. 2010. Мониторинг на гравиметричните измервания на Софийския полигон и базите към него – *Годишник на Минно-геоложкия университет "Св.Иван Рилски" - София, свитък I*, 149-152.
- Михайлов, Е., Р. Радичев. 2011. Гравиметрични измервания в България за периода 1926 до 2011 г. – *Год. МГУ "Св. Иван Рилски"*, 54, 1, *Геология и геофизика*, 6.
- Юркевич, О. И. 1984. Определение времени подготовки землетресений по медленным движениям поверхности земли – *Геодезия картография аерофотосъемка*, 39, 101-109.

## Приложение 1



## Приложение 2



## Приложение 3

