

## ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА ОТ 1926 ДО 2011 ГОДИНА

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

<sup>1</sup>Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките, 1113 София; *emil\_mih@abv.bg*

<sup>2</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; *radirad@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Дадена е кратка история на извършените гравиметрични работи за геофизични, геодезически и геоложки цели през периода от 1926 до 2011 година в Република България.

GRAVIMETRIC MEASUREMENT IN BULGARIA FOR THE PERIOD FROM 1926 TO 2011

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

<sup>1</sup>National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; *emil\_mih@abv.bg*

<sup>2</sup>University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; *radirad@mgu.bg*

ABSTRACT. A short historical review is made of the underlying work for gravimetric geophysical, geodetic and geological targets in the period from 1926 to 2011 in Bulgaria.

### Въведение

Гравиметрията, в широк смисъл, представлява тази част от познанието което изучава разпределението на силата на тежестта по повърхността на Земята или на други планети. Затова гравиметрията представлява съставна част от геофизиката, геодезията и астрономията. Най-напред в гравиметрията се решават въпросите свързани с регистрацията на силата на тежестта. Разработени и широко използвани са гравиметричните методи за търсене и проучване на полезни изкопаеми, за определяне формата, размерите и външното гравитационно поле на Земята, във военното дело и др. Методите на спътниковата геодезия представляват синтез от методите на небесната механика, геодезията и гравиметрията. Гравиметричните изследвания, заедно със сеизмологичните геофизични изследвания са основни за изучаването на вътрешния строеж на Земята. Затова гравиметрията представлява съставна част от общите науки за гравитацията и строежа на Вселената – космологията в нейното земно, практически важно за човешката дейност използване.

През 1818 година английският физик Кейтър (Н. Kater) конструира реверсионно (обръщаемо махало), с помощта на което провежда първите точни абсолютни измервания на силата на тежестта. Теорията за обръщаемото махало

е съставена преди това, през 1792 г. от френския инженер Прони (G. Prony).

Създаването на световна опорна гравиметрична мрежа е необходимо за обезпечаване на единството на изходните национални абсолютни значения и мащаба на относителните определения ускорението на силата на тежестта. До 1909 година всички измервания на силата на тежестта се изразяват във Виенска система, основана на абсолютно определяне силата на тежестта във Виена. През 1900 година на XIII конференция на МАГ в Париж било решено да се счита значението на силата на тежестта във Виена, изходно за всички гравиметрични работи. Точността на изходното значение е с грешка  $\pm 10$  милигала. През 1909 година на XVI Международна геофизична конференция в Лондон била приета Потсдамската гравиметрична система, където ускорението на силата на тежестта било определено в Потсдамския геодезически институт. Точността на определянето е била с грешка  $\pm 3$  милигала. В настоящия момент световната гравиметрична мрежа е изравнена на базата на наблюдения извършени от 1950-1960 г. и препоръчана за прилагане от XV Генерална асамблея на Международния геофизически и геодезически съюз през 1971 г. в Москва като е получила име IGSN-71. В тази мрежа има 8 абсолютно определени точки по земното кълбо и около 25000 измерени разлики на силата на тежестта, от които

почти 400 махални връзки. Ускорението на силата на тежестта във всяка точка на IGSN-71 се оценява с грешка  $\pm 0.20$  милигала (Юзефович, Огородова, 1980).

## **Начало на гравиметричните измервания в България**

За пръв път в България гравиметрични измервания, за установяване на залежи от каменна сол, са извършени през 1926 г. в района на гр. Провадия от Йордан Ковачев. Измерени са 6 гравиметрични точки които не дават представа за размерите на Мировското солно тяло. По късно приложно-геофизични гравиметрични измервания са извършени през 1936 г. за търсене на рудни тела в Панагюрско. В края на 1940 г. и през 1941 г. започват системни измервания на силата на тежестта в България (Димитров, Петков, 1960). Началото на махални измервания в България и връзката им с Потсдам, направено с махален гравиметър за геодезични цели се счита 1941 г. от Географския институт при министерство на войната. Тя е извършена от Владимир Христов и Иван Петков (Димитров, Петков, 1960). Сериозно развитие напред получават гравиметричните работи в България след 1944 г.

## **Първа регионална карта на гравитационното поле на България**

През 1956 г. е завършена първата регионална карта на гравитационното поле на България в мащаб 1:500000 в Главно управление за геоложки и минни проучвания. По наблюдения извършени през годините 1945, 1947, 1948, 1949 върху 2838 точки неравномерно разпределени върху територията на страната старши геофизика Любен Димитров съставя картата. Върху картата от съображения за национална сигурност не е посочено в каква координатна и височинна система са точките. Гравиметрирането на точките е извършено с гравиметри ГРАФ 26 и 28 (Аскания) и Ньоргард ТК 463. Данните от измерванията са редуцирани на повърхността на геоида, чрез внасяне на поправки за свободен въздух и промеждутъчен слой при плътност  $2.67 \text{ г/см}^3$ , като само за някой точки е изчислена и взета под внимание поправката за релеф. Аномалиите са изчислени, като разлика между измереното земно притегляне минус нормално притегляне изчислено по формулата на Красовски. Измереното притегляне е изчислено (Живков, 1964), като е използвана връзката осъществена през 1955 г. с Румъния гр. Гюргево. След осъществяването на тази връзка през 1955 г. с гравиметричната мрежа на Румъния са избрани около 1000 точки от послужилите за изработване на горепосочената карта. Данните от тези точки са използвани за изработване на гравиметрична карта с цел изравнение на геодезическите мрежи – триангулационни и нивелационни I клас през 1956 до 1958 години.

Съставена е от схеми и недовършена картата аномалия Буге в мащаб 1:500 000 при плътност на слоя  $2.67 \text{ г/см}^3$  и нормално земно ускорение изчислено по формулата на Хелмерт (1901-1909 г.) и е печатно издадена през 1957 г. От данните на същото количество точки 1000 през 1960 г. ГУГК е изработил и пуснал хелиографно копие на гравиметричната карта в мащаб 1:500 000, аномалия Буге при плътност  $2.67 \text{ г/см}^3$  и

нормално земно ускорение изчислено по формулата на Хелмерт (1901-1909 г.) (Живков, 1964). Тази карта се базира на данни от предишния наблюдателен материал, и при нея точността не отговаря на изискванията. При използване на картата на ГУГК от 1957 г. производството се е натъкнало на редица трудности, особено за нивелацията в планински и високопланински райони. Това е навело геодезистите на мисълта да се развие обща гравиметрична мрежа на страната. Тази мрежа да послужи, като скелет на съществуващите гравиметрични измервания за нуждите на геодезията.

## **Целенасочено покриване на България с гравиметрични измервания в мащаб 1:50000**

Полевите гравиметрични измервания в България в М 1:100000 датират от 1950 г. От 1970 г. започва целенасочено покриване на България с гравиметрична снимка в М 1:50000. В Южна, Югозападна и Източна България до 1990 г. са извършени проучвания с гъстота от 2 до 4 точки/ $\text{km}^2$ , като не са покрити само високите части на Рила, Пирин и Стара планина. От 1991 г. започват гравитационните измервания в Централния Предбалкан и Балкана.

Най-много гравиметрични измервания в България са извършени от Комитета по геология и по-точно от Предприятието за геофизични проучвания и геоложко картиране в периода 1960-1996 г. През 1993 г. в Предприятието стартира проект за съставяне на гравиметрична карта на България в М 1:100000 по фондови материали от всички извършени гравиметрични проучвания от 1950 г. в М 1:50000 и М 1:100000. Качеството на първичните данни, както и различната методика на работа (особено до 1969 г.), налагат диференциран подход към обработката на данните. Извършени са допълнителни обвързки на опорните мрежи, както за по старите обекти така и за тези проучени от "Редки метали" Бухово. Корекциите за релеф, които варират от 0 до 16 милигала за територията на България, в първите години не са въвеждани, а впоследствие са изчислявани ръчно с радиус до 2 km. През 1974 г. е разработена програма за изчисляване корекциите за релеф до 35 km. От 1977 г. обработката на гравиметричните данни се извършва по програми, съставени от колектив на ПГП и ГК и ГИИЦ, които систематизират цялата обработка на гравиметричните измервания от първичните данни до изчертаването на картите на Буге аномалиите с корекции за релеф до 250 km.

Гравиметричната карта на България в М 1:100000 включва всички средномащабни измервания в М 1:50000, а там където не са извършвани са използвани данни от проучванията в М 1:100000. Картата е съставена в съвременен електронен вид и се съхранява в Националния геофонд.

## **Първоредна гравиметрична мрежа на България**

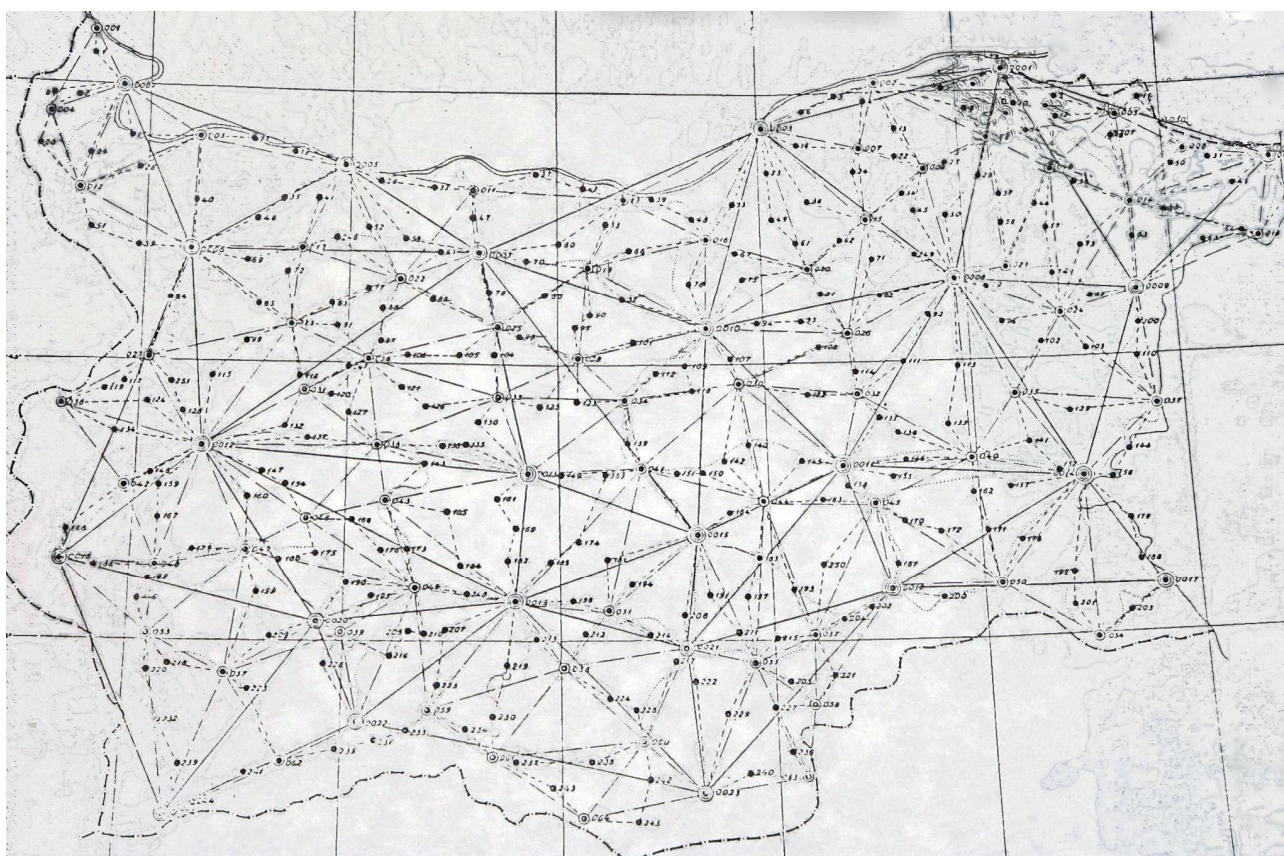
Проектирането и е започнало през 1957 г. от Управление геоложки проучвания и охрана на земните недра (Иван Петков) и от ВТС (Младен Младеновски, а по

късно и Първан Петров), с участие на В. Христов е бил разработен проект на основен клас (самолетна мрежа). През 1958 г. по-голяма част от проекта е осъществена от Георги Георгиев с гравиметър Аскания GS-11 пренасян със самолет ЯК-12 (Петков и Георгиев). През това време е осъществена гравиметрична връзка от група на Русия с ръководител Ю. Д. Буланже от аерогара София с Москва и Потсдам. В същото време е направена и връзката София – Потсдам с махални гравиметри (Живков, 1964).

### Национална гравиметрична мрежа основен, I и II клас

При проучвания направени от ГУГК през 1959 г. се разработва проект за полагане и измерване на обща гравиметрична мрежа на България, състоящ се от основен, първи и втори класове точки. Проектът и е даден на фиг.1. Същият проект е съобразен с проекта на основната мрежа съставен и положен през 1958 г. Работите свързани с разузнаване, стабилизиране, описание, реперирание и фотографиране на точките, както и определянето на координатите и котите им е възложено и изпълнено от Геопланпроект към ГУГК и са приключили през 1962 г. Гравиметричните измервания на точките започват през 1962 г. и завършват през 1965 г. Координатите на точките

се определят до дециметър в координатна система 1942 г., а котите до сантиметър в Балтийска височинна система. Гравиметричните измервания са извършени с гравиметри от вида ГАГ-4М с номера 388 и 425 и ГАК-7Т с номера 71, 270 и 344. Средна случайна грешка от измерване на  $\Delta g$  е около  $\pm 0,35$  милигала. Като начална стойност за гравитация е взета точката на летище София, която както подчертахме е свързана с Потсдам и изчислението на мрежата е извършено в старата Потсдамска система. За определяне на мащабните коефициенти на гравиметрите ГАК-4М и ГАК-7Т е използвана отсечката Селскостопанска академия – Драгалевски манастир, която е измерена с махален прибор (С. Господинов, Ел. Пенева, Т. Беляшки, Д. Димитров, Г. Михайлов 2008-2009). Направен е и специален екзаминатор за еталонирането на гравиметрите по метода на наклона. Създаден е и полигон в района на София за изследване и еталониране на гравиметри (Михайлов, 2008). Направен е каталог на националната гравиметричната мрежа в който са дадени и корекциите за релеф на всички гравиметрични точки основен, I и II клас изчислени ръчно с радиус до 30 км. Каталогът се намира във ВГС при МО, Агенцията по геодезия и кадастър и НИГФ.



Фиг. 1. Гравиметрична мрежа на България основен, I и II класове

### Национален еталонен гравиметричен полигон и прецизни гравиметрични ходове на територията на България

По късно през 1969, 1970 и 1973 години са направени, измерени и изчислени високоточни за своето време гравиметрични полигонови ходове от Института по физика

на Земята към Академията на науките на бившия СССР. Измерен е Национален еталонен гравиметричен полигон Видин – Мелник. Измерването на полигона Видин – Мелник е извършено от чешки, полски и унгарски специалисти с гравиметри Шарп, Уорден и GS-11. През 1970 г. същият полигон е измерен от руски специалисти с гравиметри ГАГ-1 и ГАГ-2. По-късно по-голяма част от

отсечките на полигона са преизмерени от НИИГФ с гравиметри от вида ГАК и ГР/К2, като са направени и допълнителни гравиметрични връзки (фиг. 2). Средните квадратни грешки на измерени разлики в силата на тежестта се колебаят от  $\pm 0.03$  до  $\pm 0.05$  милигала (Михайлов, 1998). Разликите в  $\Delta g$  измерено на отсечката Видин – Мелник достигат до 0.50 милигала между руските измервания и измерванията на чехи, поляци и унгарци. Тази по голяма разлика се дължи евентуално на влиянието на редица фактори, като атмосферно налягане, изменение на константите на гравиметрите Шарп и Уорден по време на транспортиране, натрупване на систематични грешки на отделните отсечки от Видин до Мелник. Слабата страна на тези ходове и полигон е координирането на точките, което е извършено по всяка вероятност от едромасщабни планове и карти, котите са определени до метър.

### **Създаване на Еталонна гравиметрична мрежа на България**

След 1989 година по специален проект разработен от Е. Михайлов на базата на високоточните гравиметрични ходове е създадена Еталонна гравиметрична мрежа от 100 точки, включваща точки от националната гравиметрична мрежа основен, първи и втори класове и точки от високоточните ходове измерени от руски специалисти. Тази мрежа е прикачена към абсолютните гравиметрични точки в София и Варна, измерени с абсолютния прибор ГАБЛ от руски специалисти. Средните квадратни грешки на измерените разлики в силата на тежестта на Еталонната мрежа са от  $\pm 0.02$  до  $\pm 0.07$  милигала, а средните грешки за всяко "g" от стоте точки са от  $\pm 0.10$  до  $\pm 0.20$  милигала (Михайлов, 1998). Схема на мрежата е дадена на фигура 3. Стойностите на координатите и котите на точките съвпадащи с точките от националната мрежа са взети от каталога на гравиметричната мрежа основен, първи и втори клас.

Създаден е каталог на еталонната мрежа в които са дадени стойностите на силата на тежестта в двете системи – Потсдамска и IGSN-71, а нормалната сила на тежестта е изчислена по формулата на Хелмерт (1901-1909). Дадени са корекциите за релеф на 100 точки от мрежата при радиус 30 km. Каталогът е на разположение на НИИГФ, ВГС при МО и Агенцията по геодезия и кадастър. Установена е деформация на националната гравиметрична мрежа основен, първи и втори клас от около  $\pm 4.00$  милигала от югозапад на североизток (Михайлов, 2007). При извършването на гравиметрични измервания по нивелачни линии I и II клас голяма част от гравиметричните точки от националната мрежа са преизмерени. Четиредесет точки от еталонната мрежа са идентични с точките от националната мрежа.

Извършено е преизравняване на националната мрежа при твърди стойности на "g" от еталонната мрежа и деформацията на националната мрежа е сведена до  $\pm 0.50$  милигала. (Ценков, Михайлов, 2007). За 63 точки от Националната гравиметрична мрежа липсват данни. Направен е нов каталог и на Националната гравиметрична мрежа основен, I и II клас, но не е публикуван. През 1999 и 2000 години се извършиха повторни абсолютни гравиметрични измервания от австрийски специалисти с

абсолютен гравиметър JILA в София и Варна (Милев и др., 2005; 2008).

През 2004 година бяха изградени и измерени още 4 нови абсолютни гравиметрични точки в Рожан, Горна Оряховица, Сандански и Белоградчик (Милев и др., 2005). Извършено е преизравняване на еталонната мрежа с 6<sup>те</sup> абсолютни гравиметрични точки в четири варианта и точността от изравнението е около  $\pm 0.060$  милигала (Милев и др., 2008).

### **Гравиметрични измервания по нивелачни линии**

С цел получаването на нормални височини и геопотенциални коти на реперите от държавната нивелация се извършват гравиметрични измервания по нивелачни линии I и II клас (Михайлов, 1984; 1985). За период от около 10 години беше започнато преизмерване на нивелачната мрежа I клас и е завършено над 50% от нея, като същата е и гравиметрирана на всеки репер. Привързането на гравиметрираните репери става към точки от Еталонната мрежа, така че несвързките в ходовете да са до 0.20 милигала. Средните грешки от гравиметрираните по нивелачните линии са около  $\pm 0.10$  милигала. От екип на Минно-геоложкия университет и БАН бяха извършени гравиметрични измервания по нивелачните линии I клас: Белокопитово – Русе, Добрич – Генерал Тошево – Дуранкулак и Дуранкулак – Варна през 2008 година.

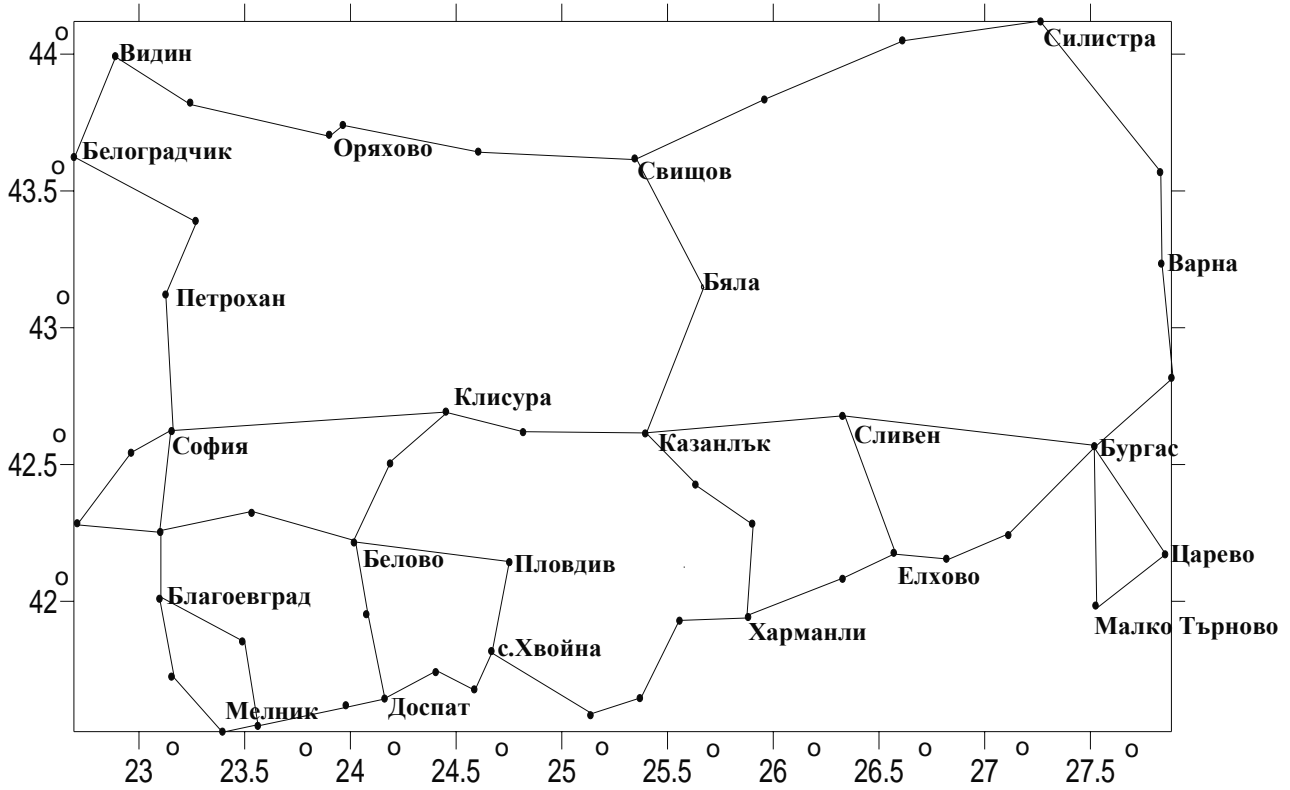
### **Приложно-проучвателни гравиметрични измервания**

През 2008 година бяха извършени гравиметрични измервания в района на гр. Провадия с цел търсенето на солно тяло от същия екип на Минно-геоложкия университет и БАН.

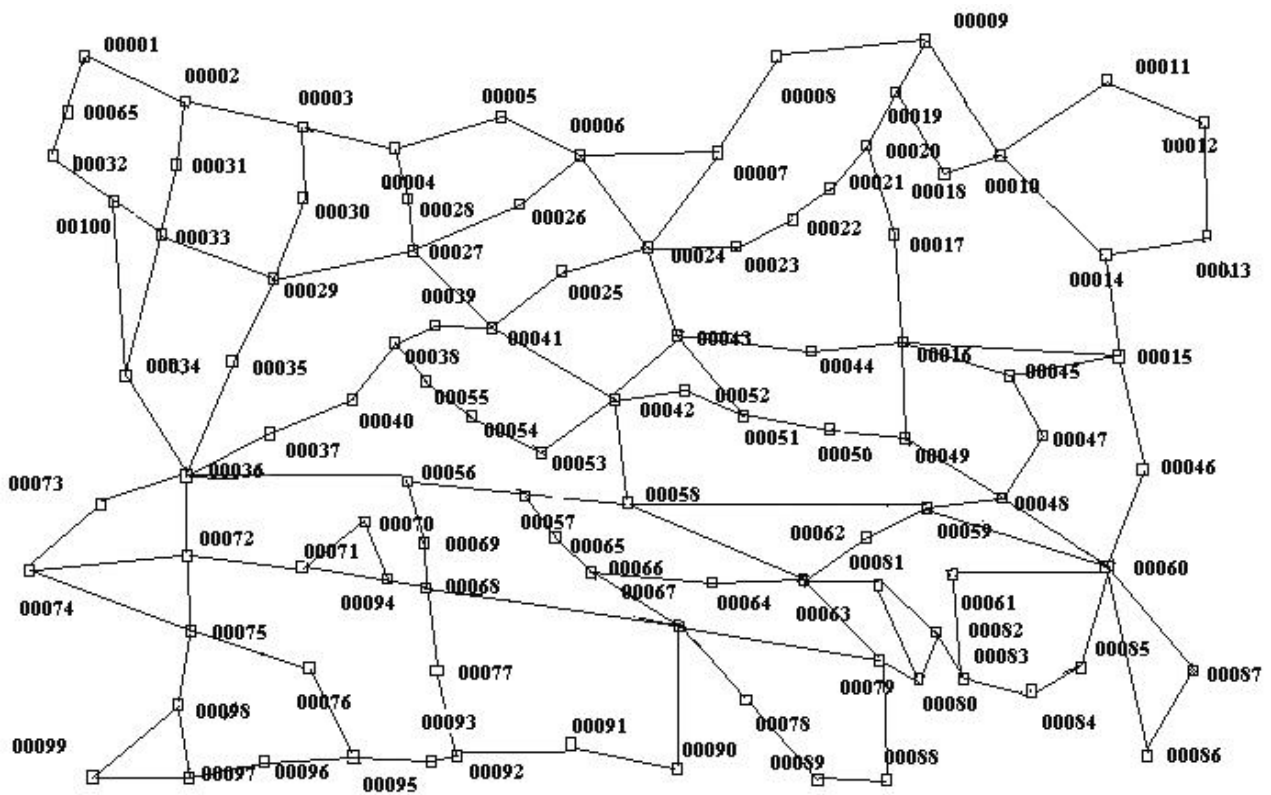
От 2004 до 2009 години се извършиха гравиметрични измервания около разломите в Чирпан-Пловдив, София и югозападна България около Крупнишкия разлом с цел тяхното локализиране от екип на БАН. Измерванията на разломите Чирпан-Пловдив и София се извършиха съвместно с белгийския специалист Michel Everaerts (Михайлов и др., 2006; 2007; 2008; Dimitrov et al., 2008).

През август 2010 година се извърши високоточна гравиметрична връзка от абсолютната гравиметрична точка във Варна до кея на "Терем – Флотски арсенал" град Варна, с два гравиметъра от екип на Минногеоложкия университет и БАН. Средната грешка от двата гравиметъра е  $\pm 0.027$  милигала. Получена е стойността на силата на тежестта на кея на "Терем – Флотски арсенал" град Варна. На същия кей е акостира руският изследователски кораб "Академик Немчинов", с който са извършени морски научни изследвания и измервания. Стойността на силата на тежестта беше необходима на руските специалисти с точност в стотни от милигала.

С екип от Минно-геоложкия университет и БАН се извърши гравиметрична снимка и през март 2011 година в района на гр. Провадия и околностите за утановяване на залежи от сол.



Фиг. 2. Прецизни гравиметрични ходове с допълнителни връзки



Фиг. 3. Еталонна гравиметрична мрежа на България

## Заклучение

От тази кратка история за развитието на гравиметричните работи в България, се вижда, че в областта на гравиметрията у нас е извършена огромна работа, както за геофизични, така и за геодезически цели. Въпреки остарялата гравиметрична апаратура, която се намира в България, са получени точности от измерванията близки до съвременната гравиметрична апаратура.

## Литература

- Господинов, С., Е. Пенева, Т. Беляшки, Д. Димитров, Г. Михайлов, 2008-2009. Гравиметрични дейности за целите на геодезията в Република България. – *Годишник на УАСГ*, 43, св. VI, 151-157.
- Делинджер, П. 1982. *Морская гравиметрия*. М., Недра, 21.
- Димитров, Л., И. Петков. 1990. Хроника на първите стъпки на приложната геофизика в България. – В: *Методи и технологии за търсене на минерални суровини*. С., Техника, 11-18.
- Живков, К. 1964. *Обяснителна записка за изработването на гравиметрична карта в М 1:100000*. С., Геопланпроект (непубликувана).
- Милев, Г., Д. Руес, К. Улрих, К. Василева, Л. Стоянов, Г. Вълев, Е. Михайлов, Н. Димитров. 2005. Абсолютни измервания и гравиметрична система на България. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 5-6, 10-17.
- Милев, Г., Г. Вълев, К. Василева, Е. Михайлов. 2008. Национална гравиметрична мрежа на България. – *Геодезия картография земеустройство*, 5-6, 4-8.
- Михайлов, Е. 1985. Получаване на нормалната поправка при нивелацията, направо чрез аномалия "Буге". – *Сборник трудове НИИГиФ*, 6, 44-46.
- Михайлов, Е. 1986. Анализ на гравиметричните измервания на софийския полигон и базите към него за периода 1967-1984 г. – *Геодезия, картография, какдастър*, 6, 9-16.
- Михайлов, Е. 1998. Анализ на еталонната гравиметрична мрежа на Република България. – *Годишник на УАСГ*, 39, св. III, *Геодезия и земеустройство*, 233-240.
- Михайлов, Е. 2007. Възможни причини за деформация на националната гравиметрична мрежа - основен, I и II

класове. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 2-3, 11-13.

- Михайлов, Е. 2008. Сравнителен анализ на резултати от измервания на Софийския еталонен полигон с различен вид гравиметри през различни години. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 1-2, 4-6.
- Михайлов, Е., Ц. Ценков. 2007. Гравиметрични наблюдения за изследване на сеизмогенни зони в района на град София. – *Доклади на научна конференция с международно участие, ВСУ "Любен Каравелов", 15-16 май 2007*, VII-1-7.
- Михайлов, Е. 1984. Изчисляване на нормалната поправка  $f$  при нивелачните измервания. – *Бюлетин ГУГК*, 1, 25-27.
- 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.XI-1.XII.2006*, 370-372.
- Петков, И., Г. Георгиев. 1960. *Първоредна гравиметрична мрежа в България*. – *Изв. Геоф. инст.*, 1, 203-212.
- Стойнов, В. 1974. *Физическа геодезия*. С., Техника, 256 с.
- Ценков, Ц., Е. Михайлов. 2010. Намаляване деформацията на гравиметричната мрежа на Република България – основен, първи и втори клас. – *Доклади на X международна научна конференция, ВСУ "Любен Каравелов", 3-4 юни 2010, София*, VI-14-18.
- Юзефович, А. П., Л. В. Огородова. 1980. *Гравиметрия*. М., Недра, 320 с.
- Dimitrov, D., E. Mihailov, M. Everaerts, L. Stoyanov. 2008. Results from new gravimetric measurements in the region of the earthquakes in April 1928 (Chirpan-Plovdiv). – *Geodesy*, 19, 66-75.
- Mihailov, E. 2008. Analysis, state and proposals for increasing the accuracy of the gravimetric network of the Republic of Bulgaria. – *Geodesy*, 21, 82-86.
- Mihailov, E., D. Dimitrov. 2006. Results from gravimetric measurement in the region around Krupnik fault in South-western Bulgaria. – *Geodesy*, 17, 108-115.

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ