

## ОПРЕДЕЛЯНЕ И ГЕНЕРИРАНЕ НА ГРАВИМЕТРИЧНИ АНОМАЛИИ В РАЙОНА НА ГР. ЗЛАТОГРАД

Славейко Господинов, Александър Постолюски, Боримира Хаджиева, Марко Марков  
sgospodinov@mail.bg, aleksandar.postolovski@gmail.com, borimirah@gmail.com,  
markomarkov8@abv.bg

Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, България

## OBSERVATION AND GENERATION ON GRAVITY ANOMALY IN THE AREA OF ZLATOGRAD

Slaveyko Gospodinov, Aleksandar Postolovski, Borimira Hadzhieva, Marko Markov  
University of Architecture, Civil Eng. and Geodesy, Sofia, Bulgaria

### ABSTRACT

An application of a particular decision of the opposite gravimetric problem for establishing an availability of anomalous masses in depth is shown. The entire realization of simultaneous gravimetric and GNSS measurements on a territory of 51 km<sup>2</sup> is described. Schemes, illustrating the final results of the investigations are presented.

**Keywords:** Gravimetry, GNSS measurements, gravity anomalies, anomalous masses

### 1. Въведение

Целта на проекта е извършване на гравиметрични и съпътстващите ги ГНСС-измервания и анализ на получените резултати за идентифициране на аномално гравитационно поле и възможностите за наличие на подпочвени води [4].

Крайната цел на проекта е идентифициране на потенциални зони за откриване на подпочвени води и използването на систематично събираните данни за основа на по-нататъшни геофизични и геоложки проучвания, които да допринесат за по-доброто разбиране на подземните структури в района на изследвания обект и ефикасно управление на водните ресурси.

### 2. Изследван обект

Изследваният обект представлява територия в района на Златоград, края на източните Родопи, с приблизителна площ от 51km<sup>2</sup> (Фигура №1). Релефът е планински, като се редуват стръмни склонове и малки долини със силно развита хидрографска мрежа.



Фигура № 1. Изследван обект

### 3. Планиране и реализация на измерванията

Първо са набавени всички необходими изходни данни, след което е направено проучване на района, определен за територия на изследване, с цел адекватна организация на измерванията. Регистрирана е проверка на пътищата, теренните условия, силата и качеството на GSM сигнала, както и друга информация, необходима за осигуряване на успешното изпълнение на задачата.

Съставен е подробен предварителен план за реализация на отделните дейности по време на изпълнението на задачата. Направена е проверка на инструментите които ще бъдат използвани, както и е съставен график за работа, който определя последователността на операциите и разпределението на задачите между членовете на екипа (Фигура №2).



Фигура № 2. Планиране и реализация на измерванията

#### 3.1. Гравиметрични измервания

Извършени са релативни гравиметрични измервания за определяне на стойностите на силата на тежестта в 260 гравиметрични точки в района на гр. Златоград. Използван е релативен гравиметър La Coste & Romberg Model G 1095 с точност на единично измервания  $40 \mu\text{Gal}$ .

Точките са измерени по предварително избрана схема „прост гравиметричен рейс“, позволявайки надеждно отчитане на „дрейфа“ на нулата на гравиметъра [2,6]. Гравиметричните измерванията са извършени в 46 гравиметрични рейса. За изходна точка при измерванията е използвана ГТ088А, находяща се в близост до чешма „Васильова вода“, която е привързана към точка ГТ00088 от ДГрМ в гр. Кърджали. За изходна стойност на силата на тежестта е използвана стойността при ГТ00088 (Кърджали) в система IGSN1971.



Фигура № 3. Гравиметрични измервания

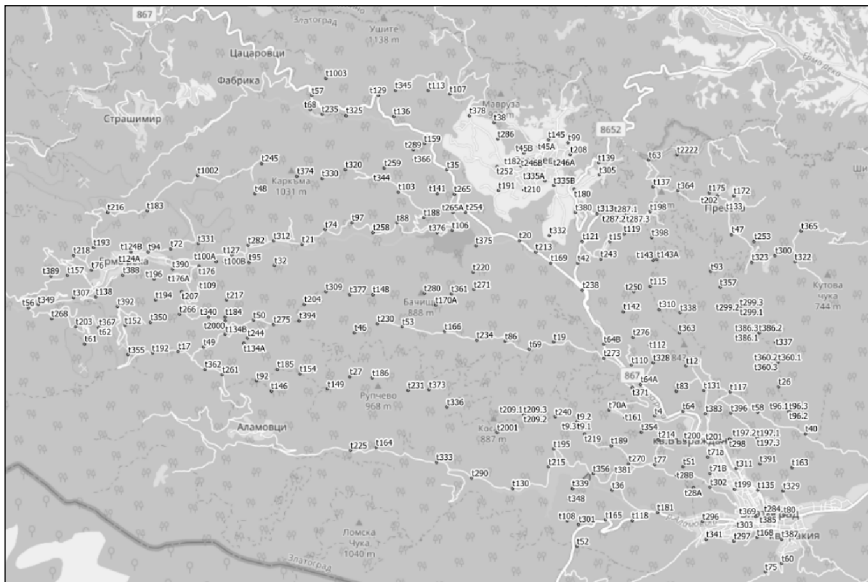
### 3.2. GNSS измервания

За определяне на координатите и най-вече за наделипсоидните височини на подробните точки са извършени ГНСС измервания [7,8]. Те са реализирани с двучестотен GNSS-приемник STONEX "900A" (Фигура №4). Приложен е кинематичен метод, в реално време (RTK). Използвана е виртуална референтна станция (VRS), с данни от инфраструктурната мрежа. Извършени са измервания при всяка от гравиметричните точки.

Координатите на подробните точки са определени в координатна система БГС 2005 – кадастрална.



Фигура № 4. ГНСС измервания



Фигура № 5. Измерени точки

#### 4. Обработка на измерванията

При обработката на данните, както и при всички други етапи от изследването, е спазена строго определена последователност на действията. Представена е схематично на Фигура № 6, където ясно са обозначени основните стъпки и техните взаимоотношения. Схемата отразява логиката на процеса, като подчертава важността на всяка стъпка и нейната роля за да се гарантира точността и надеждността на крайните резултати.



Фигура № 6. Схематично представяне на плана за обработка на данните от измерванията

#### 4.1. Обработка на гравиметричните рейсове

Получените гравиметрични рейсове от полските измервания са обработени, следвайки всички нормативни изисквания. Обработката включва следните етапи [1,3] :

- Калибриране на отчета от гравиметъра и превръщането му в отчет в mGal;
- Нанасяне на приливна корекция;
- Получаване на коригирана стойност на отчета като сума от приведения отчет в mGal и приливна корекция;
- Нанасяне на корекция заради дрейфа на нулата и получаване на крайни отчети;
- Изчисляване на гравиметричните разлики между реперите като разлика между крайните отчети;
- Изчисляване на стойности на силата на тежестта в новоопределяните гравиметрични точки

За превръщането на отчетите от инструментални мерни единици към милигали е използвана калибрационна таблица, създадена за конкретния модел гравиметър. Прехода е осъществен посредством формула:

$$S^{mGal} = (S^{ie} - S_0)K_0 + C_0 \quad (1)$$

Където:  $S^{ie}$  – отчета на инструмента;

$S_0$  – кръгла стойност на най-близкия отчет;

$K_0$  – умножителен калибрационен коефициент;

$C_0$  – събирателна стойност.

Към гравиметричните измервания са нанесени приливни корекции.

Отместването на нулата на гравиметъра е изчислено по формула:

$$U = \left( \frac{o_i'' - o_i'}{t_i'' - t_i'} \right) \quad (2)$$

Където:  $O_i'' - O_i'$  - повторни отчети за конкретни точки;

$t_i'' - t_i'$  - време на направените отчети.

Корекцията за „дрейфа“ на нулата е нанесена, след като всички останали корекции са добавени към отчетите [10]. Изчислява се коригирания (окончателен) отчет, след нанасянето на приливната корекция и отместването на „нул-пункта“.

Гравиметричните разлики за точките от гравиметричната мрежа са изчислени по формула (3), като са използвани окончателните отчети, а посредством формула (4) са получени стойностите на силата на тежестта на подробните точки.

$$\Delta g_{ab} = O_b^\Phi - O_a^\Phi \quad (3)$$

$$g_p = g_a + \Delta g_{ab} \quad (4)$$

#### 4.2. Изчисление на аномалии „свободен въздух“

Получените стойности на силата на тежестта в точките са използвани за изчислението на чисти аномалии в точките [6]:

$$\delta g = g_p - \gamma_p, \quad (5)$$

където  $g_p$  е стойност на силата на тежестта в точката, а  $\gamma_p$  стойност на нормалната сила на тежестта в точката. Нормалната сила на тежестта е изчислена като:

$$\gamma_p = \gamma_0 - \left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} \right) H, \quad (6)$$

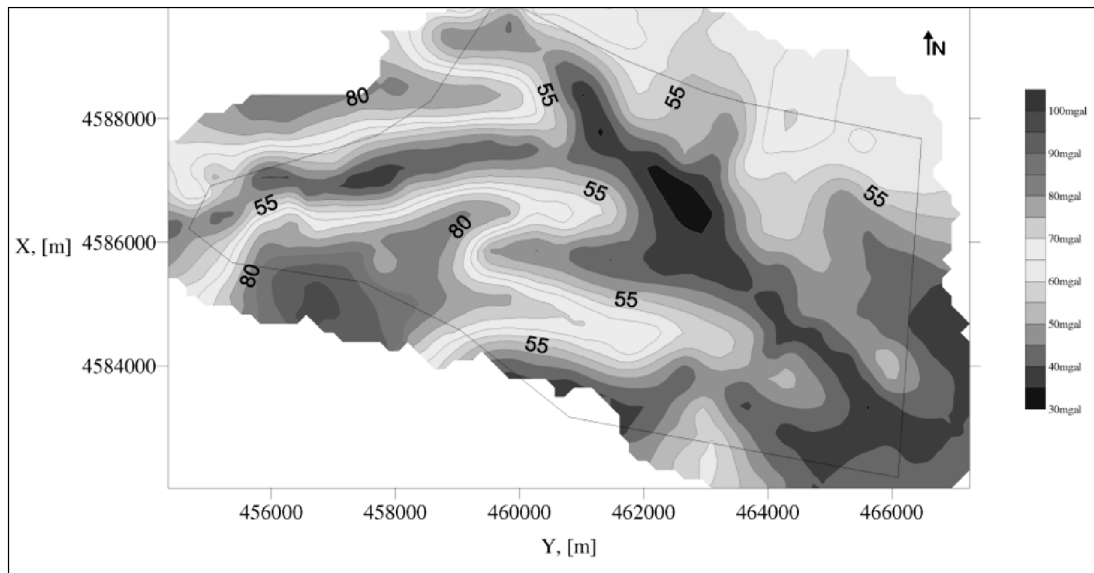
където:

$H$  е геодезическа (наделипсоидна) височина

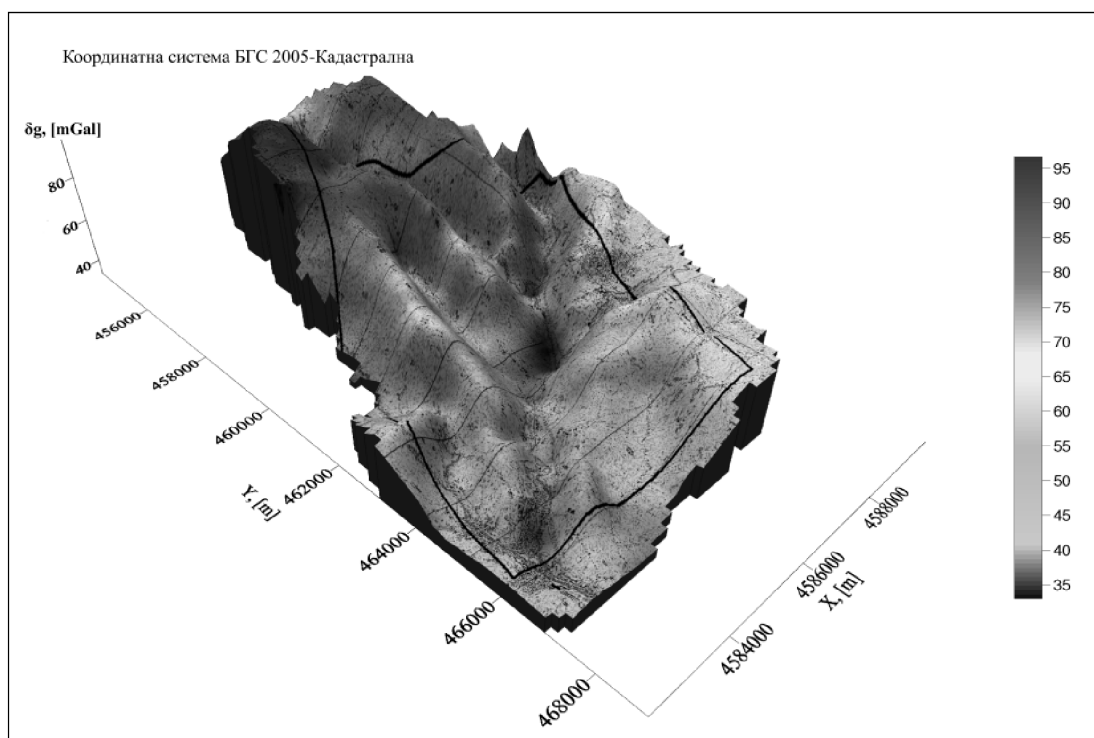
$\left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} \right) = -0.3086$  е вертикален градиент на нормалната сила на тежестта

$\gamma_0 = 9.780327(1 + 0.0053024 \sin^2 B - 0.0000058 \sin^2 2B) \text{ m/s}^2$

Геодезическите географски координати и геодезически височини на точките са получени от извършените ГНСС измервания при всяка една от гравиметричните точки.



Фигура № 7. Геореферирана 2D – повърхнина на аномалиите на “свободен въздух” в района на гр. Златоград



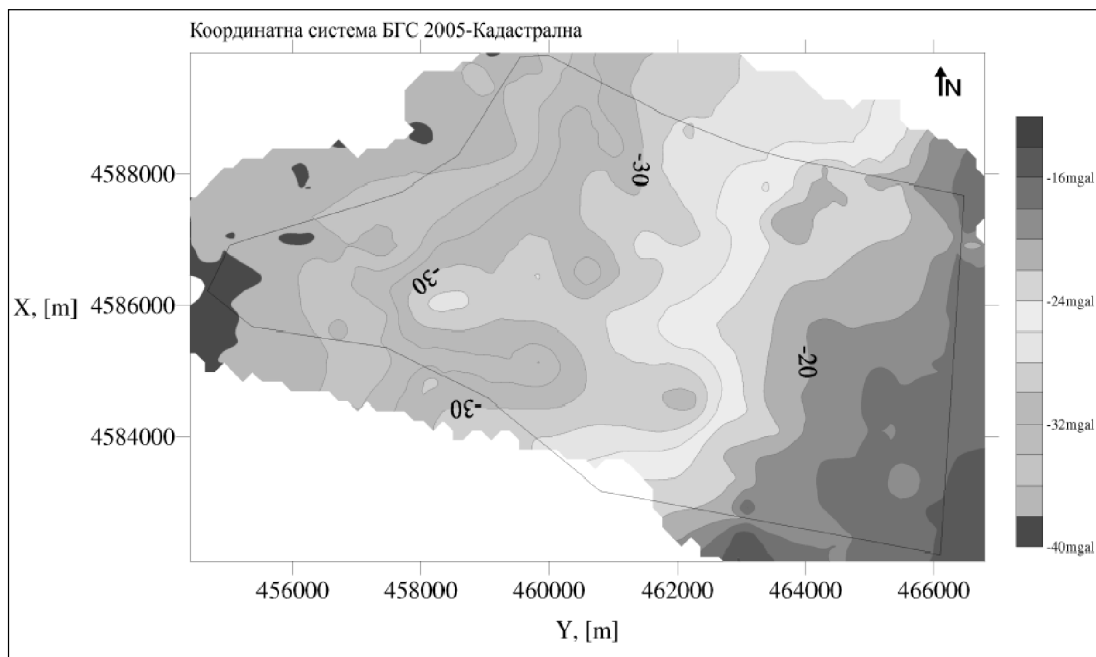
Фигура № 8. Геореферирана 3D – повърхнина на аномалиите на “свободен въздух” в района на гр. Златоград

### 4.3. Изчисление на аномалии „Буге“

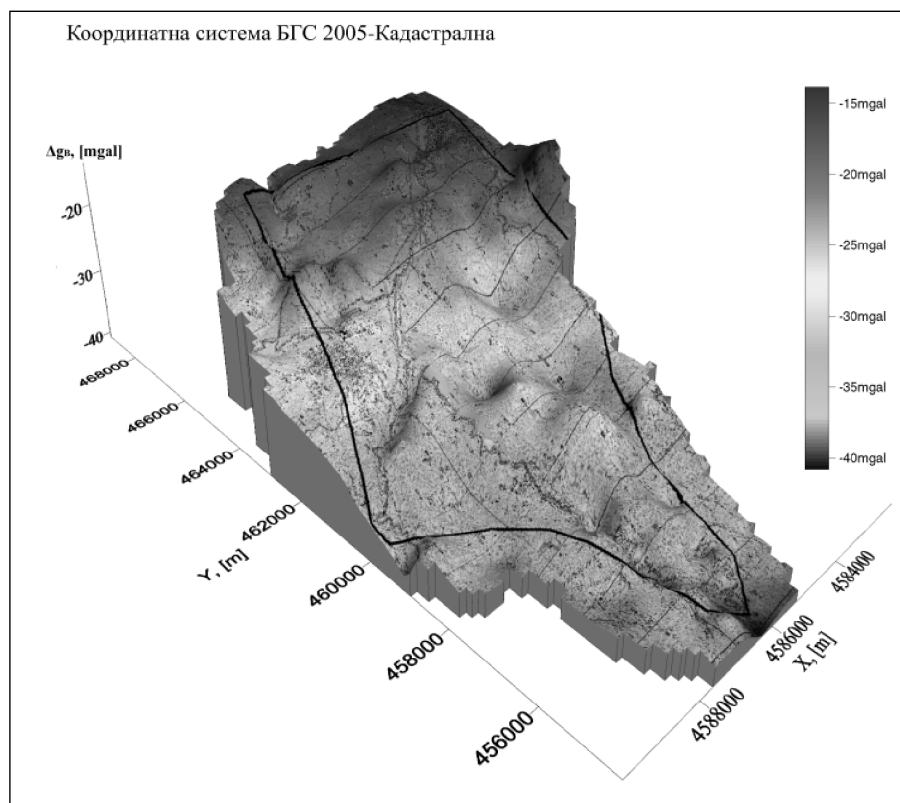
Изчислените аномалии „свободен въздух“ са редуцирани с редукцията „Буге“:

$$\delta g_B = -0.1119H \quad (7)$$

За средна плътност е използвана приетата стойност 2.67 g/cm<sup>3</sup>.



Фигура № 9. Геореферирана 2D – повърхнина на аномалии на “Буге” в района на гр. Златоград



Фигура № 10. Геореферирана 3D – повърхнина на аномалии на “Буге” в района на гр. Златоград

### 5. Анализ на резултатите от изследванията. Изводи

Въз основа на направените измервания и тяхната последваща обработка се стига до извода, че релативните гравиметрични измервания в комбинация с ГНСС-определения са надежден източник на



емпирични данни, които подпомагат локализирането на аномални маси, разположени под физическата земна повърхност.

Процесът на изследване, базиран на резултатите от релативни гравиметрични измервания в комбинация със съпътстващи ГНСС технологии, трябва да протича в два стадия. В първия стадий възможните аномални зони на територията да се локализируют „грубо“ (в планово отношение), за да се планират и осъществят допълнителни измервания с по-голяма гъстота на гравиметрични станции. Така би се създавала една добра основа за следващи проучвания (геоложки и геофизични).

На местата, където бъде констатиран контраст между топографската повърхнина на обекта и повърхнината на полето на аномалиите „Буге“, може да се счита, че има наличие на аномални маси в дълбочина.

Дефинирането на полето от разлики между аномалиите „свободен въздух“ и „предполагаемите“ стойности на  $g$  позволява изграждането на модел, идентичен с модела на полето на аномалиите „Буге“. Това е основание да се счита, че ако към аномалиите „свободен въздух“ е нанесена корекция с предполагаеми стойности на силата на тежестта, ще се получи поле-носител на аналогична информация за възможно наличие на кухини в дълбочина.

#### Използвана литература:

- [1]. **Грушунский Н.П., Сажина Н.Б.**, Гравитационная разведка, 1981, Москва, Трето преработено издание, 392 стр.
- [2]. **Джорова С.Н.**, Лекционен курс по „Гравиметрични приложения в геологията и геофизиката“ за спец. „Висша геодезия“, 2023-2024г., УАСГ
- [3]. **Джорова С.Н.**, Интегриран подход при едно часно решение на обратната задача в теорията на потенциала, 2014, София, УАСГ, автореферат, науч.р-л проф. д-р инж Славейко Господинов
- [4]. **Зидаров К.К.**, Обратна гравиметрична задача в геопроучването и геодезията, БАН, 1984, София
- [5]. **Ламбева Т.В.**, Лекционен курс по „Спътникова геодезия“, 2022-2023г., УАСГ
- [6]. **Пенева Е.П.**, Лекционен курс по „Гравиметрия“, 2021-2022г., УАСГ
- [7]. **Цановски Ю.**, ГНСС – Добри геодезически практики, 2023, София
- [8]. **Цановски Ю.**, Лекционен курс по „Кинематични приложения на ГНСС“ за спец. „Висша геодезия“, 2023-2024, УАСГ
- [9]. **Denker H.**, Regional gravity field modeling: Theory and practical results, Monograph in: Sciences of Geodesy – II, Chapter 5: 185-291, Springer Verlag, 2013, Berlin, Heidelberg
- [10]. **Efinger B.**, Gravimetrische Untersuchungen und Einflussmodellierung "Stuttgart 21", Geodatisches Institut in Universität Stuttgart, 2014, Stuttgart



