

ПЪРВИ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В РАЙОНА НА БЪЛГАРСКАТА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА НА О-В ЛИВИНГСТОН

Н. Кръстев², П. Ставрев¹, Р. Радичев¹, В. Станчев³, Д. Димов⁴, Д. Йорданова³, В. Гурев³

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700

²Милвекс ООД

³Софийски университет "Св. Кл. Охридски", Физически факултет

⁴Софийски университет "Св. Кл. Охридски", Геолого-географски факултет

РЕЗЮМЕ. В изпълнение на програмата за изследване на дълбочинния геоложки строеж на о-в Ливингстон с геофизични методи се извършиха първи гравитационни измервания по време на XIV-та Антарктическа експедиция, 2005 – 2006 г. Построена бе опорна гравиметрична мрежа, състояща се от Базова гравиметрична точка при Българската Антарктическа База (БАБ) и три отдалечени опорни точки. На тази основа се извърши измерване на два гравиметрични профила между връх Крумов камък и БАБ, и над плутона Хесперидес. Обработката на данните разкри проявата на Буге аномалии с амплитуда до 5 mGal на терен от 1 km² при денивелации над 200 m. Създадената опорна мрежа, направената рекогносцировка и придобитият опит в техниката на измерване при трудни теренни и климатични условия създават предпоставки за предприемане на следващи стъпки в гравиметричното изследване на района.

FIRST GRAVIMETRIC INVESTIGATIONS IN THE AREA OF THE BULGARIAN ANTARCTIC BASE AT LIVINGSTON ISLAND

N. Krastev², P. Stavrev¹, R. Radichev¹, V. Stanchev³, D. Dimov⁴, D. Jordanova³, V. Gourev³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700

²Milvex Ltd., Sofia

³Sofia University "St. Kl. Ohridski", Faculty of Physics

⁴Sofia University "St. Kl. Ohridski", Faculty of Geology and Geography

ABSTRACT. Gravity measurements in the area of the Bulgarian Antarctic Base (BAB) at Livingston Island were first implemented during the XIVth Antarctic Expedition 2005 – 2006. They are part of the program for geophysical exploration of the Island. The Base gravimetric grid was established first. It includes the Base Gravimetric Station near the BAB and three distant supporting stations around. Then, on this base two gravimetric profiles were measured: between the pick of Kroumov Kamak and BAB, and along the outcrop of the Hesperides pluton. The results obtained after a data processing show the existence of Bouguer anomalies of intensity up to 5 mGal in an area of 1 km² on a terrain of height differences up to 200 m. The created Base gravimetric grid, the accomplished profile test measurements and the experience from the gravity data acquisition in the specific terrain and climate situation create preconditions for the next steps in the gravity investigation of the area.

Въведение

Геофизичните изследвания са основна съставна част на научните програми за опознаване на Антарктика. Те обхващат изучаване проявите на физичните полета на Земята като гравитационното, геомагнитното, геоелектричното и геотермичното поле, на сеизмичността на Земята и на естествената радиоактивност, както и на физичните свойства на средата и физико-химичните процеси протичащи във водната, въздушната, йоносферната, магнитосферната и околоземната геосфери. Резултатите от геофизичните изследвания дават незаменима информация както за геофизичните феномени така и за решаването на множество геоложки задачи, за търсене и проучване на минерални и енергийни суровини, за откриване на екообекти и провеждане на екомониторинг, за оценка на опасностите от природни бедствия, за целите на навигацията, за изследване на археоложки и други обекти. По отношение на геоложките

задачи геофизичните методи като дистанционни по своя характер позволяват устано-вяване, проследяване и дълбочинно характеризиране на геоложки структури, недостъпни или трудно достъпни за изучаване с преките геоложки методи в антарктическите условия. Освен пространствени и морфоложки характеристики геофизичните данни съдържат информация за възраст и за процеси засегнали изучаваните обекти в геолошко време, за геодинамиката на изследваните райони и др.

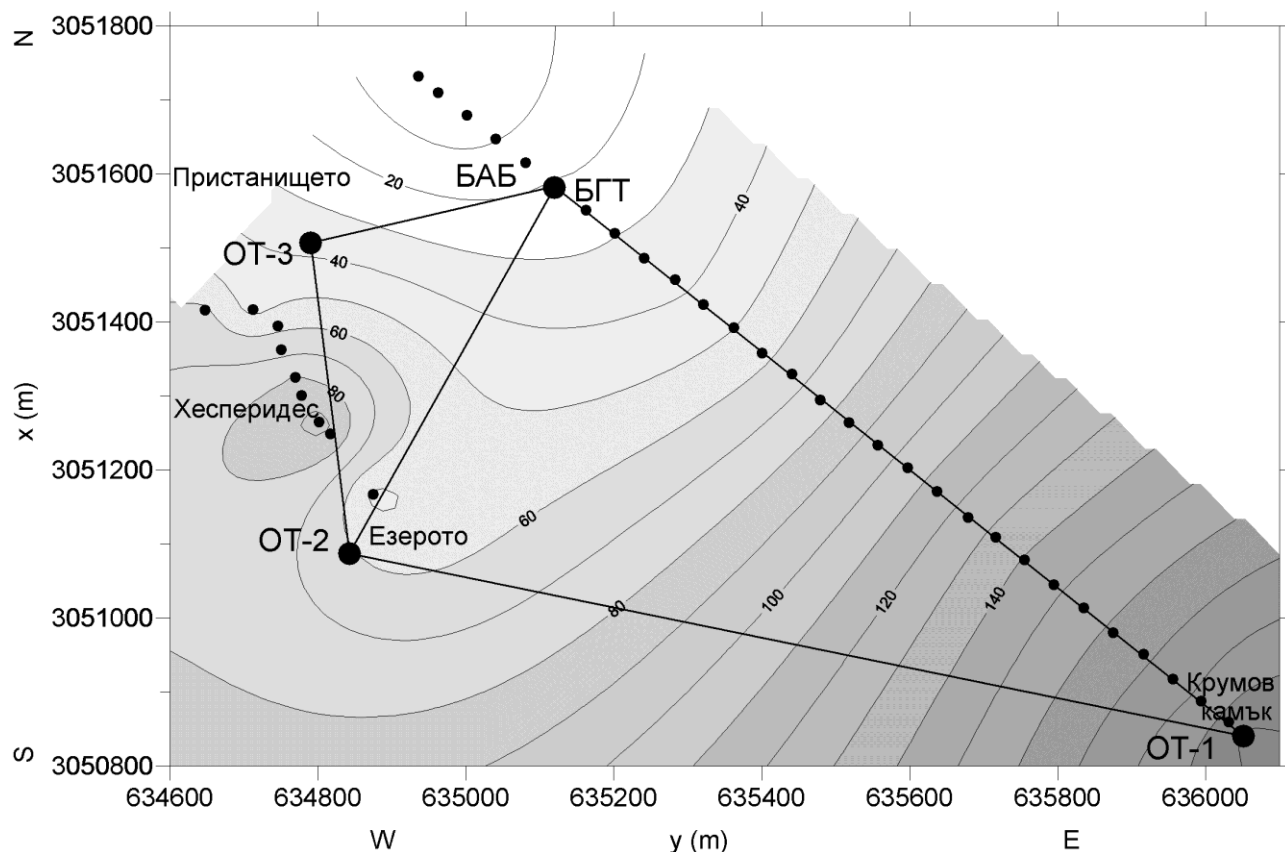
В района на Българската Антарктическата База "Св. Климент Охридски" (БАБ) до 2004 г. са провеждани главно магнитни проучвателни снимки. Първи са измерванията проведени от Д. Димов през 1996-1997 г. на полуостров Хърд (Dimov et al., 1997). На една по-малка площ, но с погъстена мрежа точки е направена и снимка в участъка на ледник "Морски лъв" (Димов и др., 1997). Опитът от тези измервания е използван по-късно през 2002 г. за извършването на детайлна магнитна снимка от Н. Кръстев

и Д. Димов в района около разкритието на интрузивно тяло с габро-диоритов до кварц-диоритов състав, известно като плутон Хесперидес (Кръстев и др., 2005). През 2005 г. в района на БАБ бяха проведени първи площни измервания на вертикалния магнитен градиент (Krastev et al., 2005). В същия район е извършено и електромагнитно профилиране за установяване дебелината на ледената покривка по една линия между БАБ и връх Крумов камък. Сеизмологични наблюдения, изследване на вълни-цунами и на съвременни геодинамични явления са направени от Б. Рангелов с първата българска сезонна сеизмологична станция в района (Рангелов, 2002).

Анализът на проведените геофизични работи около БАБ доказва несъмнено ефективността на геофизичните методи и необходимостта от продължаването им за по-обхватно и детайлно проучване на района. В тази насока са и предприетите стъпки от авторския колектив за въвеждане на гравиметричния метод в практиката на научните изследвания в района. За целта бе създадена опорна гравиметрична мрежа и измерени два гравиметрични профила за получаване на сведения относно характера на гравитационното поле в района и за особеностите на методиката и техниката на измерванията в антарктически условия.

Опорна гравиметрична мрежа в района на БАБ

За извършването на относителни гравитационни измервания в района на БАБ бе развита опорна гравиметрична мрежа, състояща се от два триъгълни полигона с обща страна, всичко 4 гравиметрични точки. Главната базова гравиметрична точка БГТ е установена близо до сградите на БАБ. В нея започват и завършват дневните гравиметрични рейсове. Помощните опорни точки са ОТ-1 Крумов камък, ОТ-2 Езерото и ОТ-3 Пристанището, разположени както указва наименованието им (Фиг. 1). Точка с определена абсолютна стойност на силата на тежестта бе заснета на брега на залива Сали рокс (SRA) със съдействието на колеги от Испанската Антарктическа База "Хуан Карлос I". Всяка страна от полигоните на опорната мрежа бе измерена в три цикъла, а връзката с отдалечената абсолютна точка в два цикъла поради възникналите трудности в транспорта по море. Но сравнително краткото време от 1 час на цикъл позволи да се отчете достатъчно точно часовият ход на гравиметъра.



Фиг. 1. Схема на опорната гравиметрична мрежа БГТ-ОТ1-ОТ2-ОТ3 и профили (О) БАБ-БГТ-Крумов камък и (Х) по разкритието на плутона Хесперидес. Изолинии на интерполирани височини на терена по котите на измервателните точки

В резултат на извършените измервания с гравиметър ГНУ-КБ е установена относителната стойност на интензитета на силата на тежестта в абсолютната и в опорните точки спрямо БГТ. Получени са следните стойности:

ОТ-1: - 41.39 mGal; ОТ-2: - 2.20 mGal;

ОТ-3: + 3.72 mGal; SRA: + 1.34 mGal,

със средна квадратична грешка след изравняване на нарастванията по страните на полигоните ± 0.24 mGal. Опорната мрежа послужи за проследяване на часовия ход

на гравиметъра в отдалечени от БАБ редови измервателни точки.

Измерване и обработка на гравиметричните профили

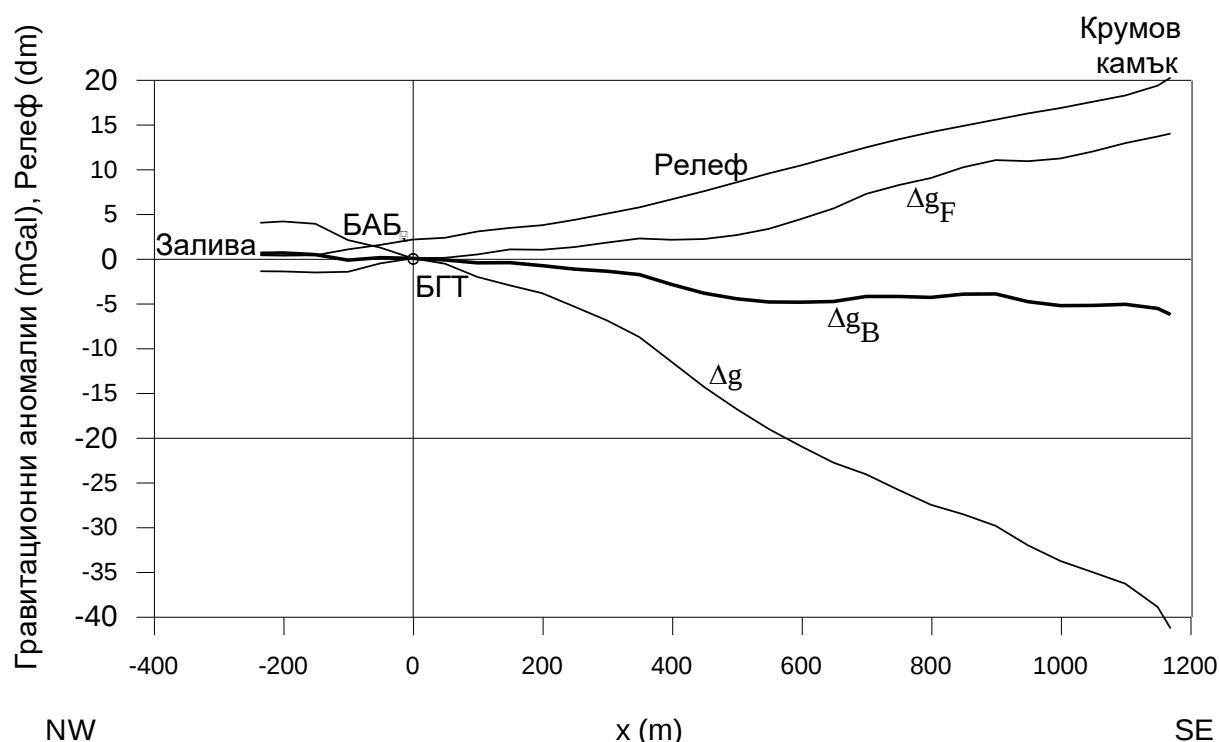
Измерени са два рекогносцировъчни профила. Първият започва от брега на морето, през БАБ и БГТ до ОТ-1 Крумов камък с дължина 1350 m (фиг. 1 и 2). Профилът има 30 измервателни точки през 50 m. Линията на втория профил върви приблизително по билото на разкрития плутон Хесперидес и има дължина 400 m с 9 измервателни точки през 30 до 50 m (фиг. 1 и 3).

Организацията на работа и климатичните условия при БАБ наложиха измерванията да се проведат в къси дневни рейсове с опорни измервания през интервал до 90 минути. Във всяка точка се извършваха над три независими измервания до установяване на последователни отчети с разлика в границите на една стотна от делението. Дневният рейс включваше повторни контролни измервания в редовите точки на профилите. Общият брой повторни измервания е 93 на 39 редови точки, или средно 2.5 повторения на гравиметрична точка, при норма средно 0.1 повторения. Така при трудните условия на Антарктика бе осигурена по-голяма надеждност на данните.

Точността на измерванията, оценена по средната квадратична грешка е ± 0.25 mGal, което съответства на средномасщабни измервания при наземни снимки в нормални условия с използвания гравиметър.

Хоризонталните координати на всяка точка от опорната мрежа и от двата профила са определени посредством GPS – модел “eTrex Vista C, GARMIN” с допустима грешка до първите метри. Измерванията за котите на точките бяха извършени посредством теодолит модел DELTA 010 и електронен далекомер АЕМ 1200 със стандарт на грешката не по-голям от ± 0.05 m.

Резултатите за координатите на измервателните точки и измерените нараствания на интензитета на силата на тежестта по двата профила са дадени графично на фиг. 1, 2 и 3. Аномалните стойности на полето са изчислявани относно БГТ. Дадени са относителните стойности на аномалиите в свободен въздух Δg_F и в редукция Буге Δg_B при стандартната плътност на междинния слой 2.67 g/cm³. Абсолютните стойности на аномалиите се отличават с константа от показаните за малката дължина на профила. Корекция за релеф в Буге аномалиите не е въвеждана поради ограничените възможности за ползване на подробни топографски данни. Но за сравнително късите профили тази корекция има близки стойности за отделните точки.



Фиг. 2. Гравиметричен профил (0) БАБ-БГТ-ОТ1 Крумов камък с кривите на измерените нараствания на гравитационния интензитет Δg и на изчислените Буге аномалии Δg_B и аномалии в свободен въздух Δg_F

Плътност на скалните разновидности

За интерпретацията на гравиметричните данни е необходимо да се разполага с конкретните за района на

БАБ стойности на плътността на скалите. Определянето на плътността е извършено на 211 скални образеца с помощта на денситометъра на Самсонов (Ставрев и др., 2007). Анализът на получените резултати показва следното.

Седиментните скали имат най-ниска плътност – между 2.57 g/cm^3 и 2.73 g/cm^3 , средно 2.63 g/cm^3 . Най-плътни от тях са алевролитите. Дайките са с плътност от 2.58 g/cm^3 до 2.80 g/cm^3 , средно 2.68 g/cm^3 . Ефузивните скали показват по-висока плътност – от 2.73 g/cm^3 до 2.86 g/cm^3 , средно 2.78 g/cm^3 . Диоритите са с широк диапазон на плътността – от 2.62 g/cm^3 до 2.91 g/cm^3 , средно от 2.72 g/cm^3 за гранодиоритите до 2.83 g/cm^3 за разнообразните диорити. Ледовете както е известно имат плътност 0.92 g/cm^3 .

Набелязаната плътностна диференциация е добра предпоставка за ефективно прилагане на гравиметричния метод при изучаване дълбочинните характеристики на магматогенните образувания и картиране на разломните нарушения в района на БАБ.

Анализ на гравиметричните профили

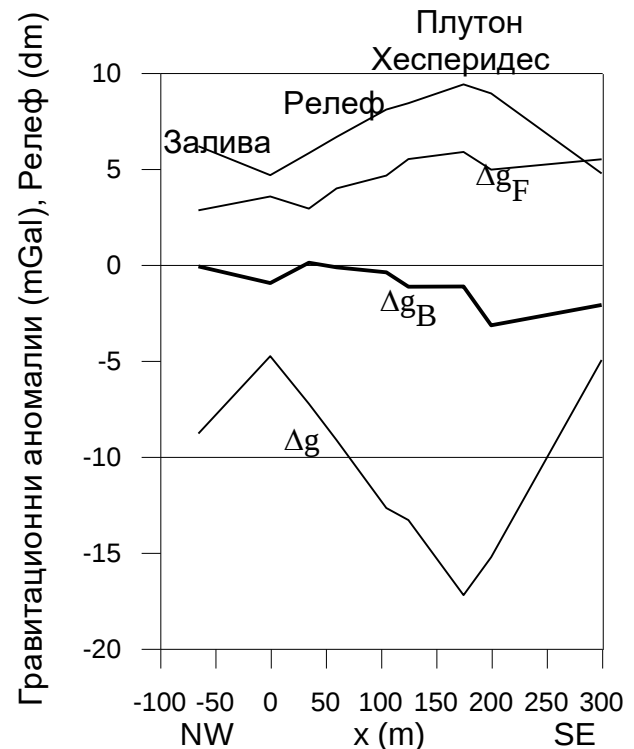
Първият гравиметричен профил с посока СЗ-ЮИ от залива през БАБ и БГТ към връх Крумов камък е представен на фигура 2. Дадени са кривите на измерените действителни разлики в интензитета на силата на тежестта Δg между редовите точки на профила и БГТ, изчислените относителни стойности на аномалиите в свободен въздух Δg_F и в редукция Буге Δg_B спрямо БГТ. Релефът е отчетен по котите на редовите точки. Измененията на установените разлики Δg по профила съответстват на очакваните според измененията на височините на терена. Аномалията в свободен въздух Δg_F следи почти паралелно релефа с отклонения само в средната част на профила, където коренните скали са покрити от леден слой.

Амплитудата на Буге аномалията по профила достига 5 mGal като намалява в ЮИ посока с отдалечаване от залива. Аномалията има вида на гравитационен преход от нивото на БГТ към по-ниското ниво около Крумов камък. При точката с абсциса 400 m може да се очаква субвертикален контакт на скални слоеве с различна плътност, причинен от разлом с пропадане около 50 m в южна посока запълнен от ледове и сняг. Но за по-уверена интерпретация на тази аномалия е необходимо да се направи измерване по няколко паралелни профила или площна снимка в района.

Вторият профил е показан на диаграмата на фиг. 3. Поведението на измерените относителни стойности Δg и на аномалията в свободен въздух Δg_F се съгласува с очакванията за този релеф на профилната линия по дължината на плутоничното тяло. Буге аномалията Δg_B над плутона показва понижени стойности с около 3 mGal в югоизточната част на билото. Този факт може да се тълкува като проява на по-малко плътни скални маси в тази посока или с намаляване на вертикалния размер на плутоничните скали, вероятно гранодиорити с повишени магнитни свойства. Но такова предположение следва да се потвърди с данни от площна гравиметрична снимка с корекция за релеф.

Заклучението от направения анализ е, че извършените измервания дават достоверна информация за характера на гравитационното поле в района. Те отразяват с

указаната точност действителното поведение на гравитационния интензитет. Изчислените аномалии в свободен въздух показват очакваните изменения в права корелация с релефа. Аномалиите Буге имат достатъчно високи амплитуди за да разкрият особеностите в разпределението на плътностните нееднородности свързани с геоложките структури в района на БАБ. Така гравиметричните изследвания могат да се ползват успешно за целите на геоложките проучвания с провеждането на профилни и разширени площни снимки в разкрити и покрити от ледове райони на Антарктика.



Фиг. 3. Гравиметричен профил (O) БАБ-БГТ-ОТ1 Крумов камък с кривите на измерените нараствания на интензитета Δg и на изчислените Буге аномалии Δg_B и аномалии в свободен въздух Δg_F .

Методичен опит от гравиметричните изследвания в района на БАБ

Извършените повече от 200 измервателни действия в точките на опорната мрежа и профилите в района на БАБ дават възможност да се извлече методичен опит за бъдещите гравиметрични проучвания на района.

Котите на измервателните точки разположени върху сняг забележимо се менят поради непрекъснатото топене на снега през антарктическото лято и от снеговалежите. Съществува и ефектът на постоянно потъване на загрятите от светлината тъмни колчета в снега. Това налага гравиметричните работи да вървят скоро след геодезичната трасировка и нивелация. Повторните контролните измервания от същия и особено от предни рейсове могат да се извършват само в запазители положения си точки.

Транспортът на гравиметъра с моторна шейна или пеша предизвиква чувствителни разлики в часовия ход на уреда. Препоръчва се използването на един вид транспорт в даден гравиметричен рейс.

При измерванията на снежна и ледена покривка се изпитват трудности с хоризонтирането на гравиметъра. Ако той се поставя върху плоска подложка се получава топене на пресования сняг с бързо излизане от нагласеното хоризонтално положение. Необходимо е използването на ниски трикраки подложки.

По време на измерванията се появява трудност, свързана със светлинния контраст, който при честите смени от виждане в тъмния окуляр на гравиметъра последвано от ослепителната белота на околността при снемане на отчета, въздейства силно и причинява умора след 2-3 часа работа. Използването на защитни тъмни очила не решава задоволително проблема, препоръчва се измерването при облачно време.

В една точка се налага снемането на 4, 5 и повече независими отчета, докато се получи стабилен резултат. Това удължава времето на измерване до десет минути, което заедно с усложнения транспорт води до снижена производителност на гравиметричните работи.

След приключване на дневния рейс гравиметърът да се оставя извън добре отоплявани помещения, но в закрито предверие в подходящ съд. Преди началото на рейса гравиметърът да се изважда на открито за темпериране около 30 мин. Първичната обработка на данните и оценката за качеството следва да се извършва непосредствено след дневния рейс. Препоръчително е използването на широкодиапазонни термостатни гравиметри. Необходимо е достатъчно точно и обхватно топографско осигуряване на снимките за изчисляване на гравиметричните аномалии с въвеждане на корекции за релеф.

В заключение може да се направи изводът, че гравиметричните работи изискват внимателна предварителна подготовка за всеки елемент от измервателните действия и от обработката на данните.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ

Благодарности. Изпълнението на изследователските работи бе подпомогнато от НС "Научни изследвания" при МОН по договор НЗ-1318/03. Българският антарктически институт с неговия директор проф. д-р Хр. Пимпирев осигури участието на геофизика Н. Кръстев в експедициите до БАБ.

Литература

- Димов, Д., Станчев В., А. Петрова. 1997. Детайлна магнитна снимка и профил на малък ледник южно от БАБ "Св. Климент Охридски" – остров Ливингстън, Антарктида. – Год. СУ "Св. Климент Охридски", 50 години спец. Геология, 115-117.
- Кръстев, Н., Д. Димов, В. Станчев, П. Ставрев. 2005. Геофизични изследвания в района на Българската научна база на остров Ливингстон, Антарктика, 2002 г. – Год. СУ "Св. Климент Охридски", Физ. ф-т, 98, 141-152.
- Рангелов, Б. 2002. Комплексни геолого-геофизични изследвания в Антарктида. – Год. МГУ "Св. Иван Рилски", т. 45, св. I, Геология, 117-121.
- Ставрев, П., Н. Кръстев, В. Станчев, Р. Радичев, Д. Йорданова, Д. Димов. 2007. Геофизични изследвания в района на Българската Антарктическа База: Геомагнитни и гравиметрични изследвания. – Научен отчет по тема НЗ-1318/03 към НС "НИ" при МОН.
- Dimov, D., Stanchev V., A. Petrova. 1997. Magnetic anomaly map of the Livingston Island. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 50, 7.
- Krastev, N., Dimov D., Tocheva Z., Kies A., Stanchev V., Jordanova D., Jordanova N., P. Stavrev. 2002. Geophysical Investigations in the area of the Bulgarian scientific base at Livingston island, Antarctica, year 2002. *Book of Abstracts, 3rd Balkan Geophysical Congress, Sofia*, 260
- Krastev, N., D. Dimov, P. Stavrev, V. Stanchev, R. Raditchev, M. Georgiev, D. Jordanova. 2005. Geophysical investigations during the 13th Bulgarian Antarctic Expedition 2005. *Forth Congress of the Balkan Geophysical Society, 9-12 Oct. 2005, Bucharest, Romania, Conference volume*, 613-616.