

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА БАБ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ В АНТАРКТИКА И ПРИНОСЪТ ИМ ЗА ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ГЛОБАЛНИТЕ КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ**

**Борислав Александров, Любка Пашова**

### **РЕЗЮМЕ**

Докладът представя накратко геодезическите дейности, извършени в района на Българската антарктическа база „Св. Климент Охридски“ на о-в Ливингстън от 1998 г. до днешни дни. Обобщени са резултати от изследвания на динамиката на океанското ниво, картографирането на крайбрежния район и топографията около БАБ. Накратко са разгледани комплексните геодезически измервания, извършени по време на 28-та национална антарктическа експедиция през сезон 2019-2020 г., които включват и първоначални данни за някои основни параметри от състава и свойствата на океанската вода в близост до крайбрежието. В контекста на глобалните климатични промени и нарастващия антропогенен натиск върху околната среда, геодезическите изследвания и резултатите от тях допринасят за изясняване на механизмите на взаимодействие на сложните климатични процеси, както в района на БАБ и Антарктика, така и за останалите континенти.

**КЛЮЧОВИ ДУМИ:** ГНСС, МАРЕОГРАФНА СТАНЦИЯ, КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ, БАБ „СВ. КЛ. ОХРИДСКИ“, О-В ЛИВИНГСТЪН

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Антарктида е най-студеният, най-високият, най-сухийт и най-ветровитият от всички континенти. Заобиколен е от Южния ледовит океан - един от най-големите и най-бурни световни океани. Континентът има площ  $\sim 14$  млн  $\text{km}^2$ , от които по-малко от 2% са свободни от лед. Ледената покривка се издига до над 4000 m над морското равнище. Районът обхваща приблизително една десета от земната суша и играе важна роля във формирането на климата на Земята. Голямата надморска височина с непрекъснатата ледена покривка, допринасяща за високо алbedo и отрицателните стойности на радиационния баланс формират специфичния климат на Антарктида, който с основание може да се нарече най-студен на планетата. Средните „летни“ януарски температури над източната част от континента са под  $-25^\circ\text{C}$ , а през юли не надвишават  $-50^\circ\text{C}$ . Температурите се покачват в посока към крайбрежните зони до над  $-10^\circ\text{C}$ , като напоследък и все по-често са измервани и положителни стойности до  $15^\circ\text{C}$ . Независимо от това, континентът си остава с най-неблагоприятни условия за живот - ледена пустош без растителна покривка и животински свят.

Антарктида и Южният океан имат уникална и крехка екосистема, характеризираща се с единствена по рода си флора и фауна и много къса хранителна верига. Антарктида е

последният от континентите, който все още не е достатъчно добре проучен. Съвременните спътникови методи предоставят възможности за получаване на ценна информация на недостъпните и отдалечени райони от ледения континент (Александров, Пашова, 2021).

Докладът представя основни геодезически дейности, извършени от български геодезисти през последните три десетилетия на Българската Антарктическа база (БАБ) "Св. Кл. Охридски" на о-в Ливингстън. Геодезистите са участвали в седем експедиции, по времето на които са извършени класически геодезически измервания и е инсталирана съвременна научна апаратура. Резултатите от тях са ползвани за картографиране на части от острова и морското дъно; поставено е начало на дългосрочни наблюдения чрез изграждане на перманентна ГНСС и мареографна станции за изследване движенията на сушата в района на БАБ и измененията на морското ниво, които са съпроводени с други морски наблюдения. Специално внимание е отделено на 28-та национална антарктическа експедиция, проведена през астралния сезон 2019-2020 г. В тази експедиция са извършени морски геодезически дейности и са положени основите на нова изследователска лаборатория. Представени са предварителни анализи на наблюдения от мареографни, хидрографски и ГНСС измервания в района на БАБ. Направен е кратък преглед на спътникови геодезически мисии, чиито данни се използват за изследване времевите вариации на ледниковата покривка, гравитационното поле и приносът на топенето на ледовете от Антарктика в баланса за определяне повишаването на глобалното морско ниво.

## **2. БЪЛГАРСКА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ", О-В ЛИВИНГСТЪН**

Българската Антарктическа база се намира в източния бряг на вътрешния залив Емона с координати 62°38'29"S, 60°21'53"W, който е част от Южния залив на о-в Ливингстън от архипелага Южношотландски острови, Западна Антарктика (Фиг. 1а). Достъпът до базата е само през морето (фиг. 1б), като годишно посещенията на кораби са около 5. В близост до БАБ е испанската антарктическа база „Хуан Карлос I“ (Фиг. 1в). Българският Антарктически Институт (БАИ; <http://www.bai-bg.net/>) организира и провежда ежегодните антарктически експедиции и поддръжката на БАБ, работи в сътрудничество с научни колективи от Испания, Великобритания, Русия, Германия, Аржентина, Бразилия, Чили, Южна Корея и др. Член е на COMNAP (Съвет на мениджърите на национални антарктически програми), SCALOP (Комитет за антарктическа логистика и операции), EPB (Европейски полярен борд) SCAR (Научен комитет за антарктически изследвания). Република България е консултативен член на Договора за Антарктида, ратифициран от България през 1978 г., който регулира международните отношения за дейностите на ледения континент. Договорът е в сила от 1961 г., подписан е от 49 държави, 29 от които, включително България, имат право да участват в срещите за вземане на решения.

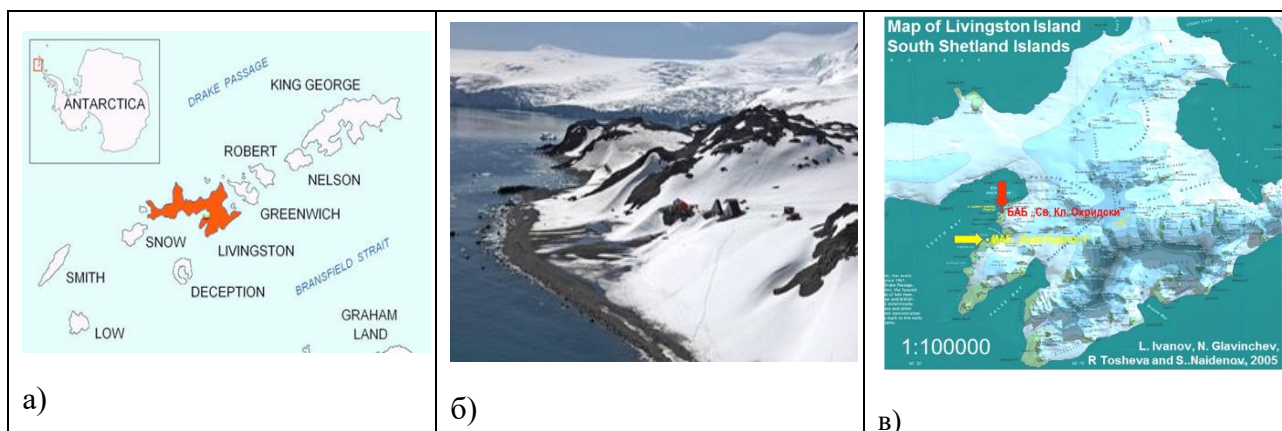
Научните изследвания провеждани на БАБ са залегнали в приетата през 2016 г. петгодишна Национална програма за полярни изследвания, която е насочена към осъществяване на научното развитие и организация на логистиката в Антарктида. На о-в Ливингстън ежегодно се провеждат специализирани експедиции от учени от България и други страни. Основно място от научните приоритети заемат науките за Земята. БАБ е включена в актуализираната Пътна карта на Националната научна инфраструктура за периода 2020-2027 г. като уникална научна инфраструктура (<https://mon.bg/bg/4>).

XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ  
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В  
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”

София, 04 – 05 ноември 2021 г.

XXXI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN  
GEODESY AND RELATED FIELDS

Sofia, 04 – 05 November 2021



**Фигура 1.** Разположение на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън: а) архипелаг Южношетлъндски острови; б) изглед към базата; в) БАБ „Св. Кл. Охридски“ (в червено) и ИАБ „Хуан Карлос I“ (в жълто)

Създаденият през 2018 г. Консорциум "Българска антарктическа база "Св. Климент Охридски“ между Софийски Университет "Св. Климент Охридски“ и Българския антарктически институт, към който през 2020 г. се присъедини и Висшето военноморско училище "Н. Й. Вапцаров“ (ВВМУ), цели да създаде високотехнологични и модерни условия за работа, които да осигурят възможности и материална база на всички заинтересовани учени - от България и от чужбина - да осъществяват оригинални и мултидисциплинарни изследвания за решаване на научни задачи в глобален контекст в Полярните региони и Световния океан.

От август 2021 г. българската антарктическа наука може да разчита и на научноизследователския кораб „Св. Св. Кирил и Методий“, с военен номер 421, който бе предаден на командването на ВВМУ (фиг. 2). Корабът ще обслужва логистиката на антарктическите ни експедиции, в които ще се извършват интердисциплинарни изследвания на океанската и морска вода в целия свят, биоразнообразието, метеорологичните процеси и много други с научна и приложна насоченост.



**Фигура 2.** Тържествена церемония за кръщаване на първия български военен научноизследователски кораб с името „Св.Св. Кирил и Методий“, 27 юли 2021г., Варна

### **3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ПО ВРЕМЕ НА АНТАРКТИЧЕСКИТЕ ЕКСПЕДИЦИИ НА О-В ЛИВИНГСТЪН**

Интердисциплинарните изследвания с многонационално участие в БАБ "Св. Климент Охридски" започват през 1996 г. и оттогава са реализирани 29 експедиции. В последните две десетилетия се изпълняват различни изследователски проекти през летните сезони, започвайки от ноември-декември до февруари-март. Основните научни приоритети са фокусирани върху изследвания от направления науки за Земята - геология, геофизика, физика, глациология, метеорология, геодезия, картография, зообиология, ботаника, екология и медицина. В изпълнение на Националната програма за полярни изследвания за периода 2017-2021, приета с Решение № 718 от 29.08.2016 г. на Министерския съвет, Центърът за полярни изследвания към СУ "Св. Климент Охридски" периодически обявява конкурси за финансиране на научни проекти. Освен научните изследвания, Българският антарктически институт финансира и образователни проекти (<https://bai-bg.weebly.com/>).

Първоначалните геодезически експедиции включват извършване на класически геодезически измервания, GPS измервания на отделни характерни точки в района на БАБ и картографиране на части от острова за изработване на топографски карти, които непрекъснато са допълвани и е подобрявана тяхната точност. Геодезическите дейности бележат своето начало през декември 1998 г. с включването на двама геодезисти в 7-та антарктическа експедиция - инж. Борислав Александров от УАСГ и инж. Димитър Димитров от БАН. Изградена е работна геодезическа основа – самостоятелна мрежа от точки. По това време е налична една точка, чиито координати са определени чрез многодневни GPS измервания от немски специалисти, служеща да осигури височинно привързване на останалите точки. Картографираната територия в района на БАБ покрива над 70 ha открити от сняг и лед скални пасажи, която е изработена в М 1:2000.

По време на 9-та експедиция, сезон 2000/2001 г., са извършени GPS измервания за геоложко картиране и е изследвана вертикалната рефракция в района на БАБ. Направени са реални изследвания за поведението на визирния лъч, с продължителни наблюдения на точки, избрани над различна постилаща повърхност - ледени полета, открити скали, морска повърхност и комбинации от тях. Проследявани са промените на зенитните ъгли, температурата и атмосферното налягане в различни части от денонощието.

Геодезическите дейности в 18-та експедиция (2009/2010 г.) са насочени към изучаване на дъното на Южния залив на о-в Ливингстън и неговия релеф. Сформиран е екип от гл. ас. инж. Борислав Александров и ст. ас. инж. Юрий Цановски от УАСГ за създаване на водомерен пост и извършване на хидрографска снимка на залива, с изработване на цифров модел на дъното. Монтирана е водомерна лата, закрепена на вертикална скала, в сравнително тихо място на залива. Отчетите на морското ниво са привързани височинно към изградената геодезическа мрежа на сушата. В продължение на три седмици са правени отчети на нивото през ~2 часа. Изчертана е графика на колебанията на морското ниво и се поставя начало за бъдещи хидроложки наблюдения. Хидрографската снимка в акваторията пред БАБ е извършена с хидрографен комплекс Garmin GPSMap 521, собственост на геодезическия екип. Записани са 4191 точки за водна площ от около 1.5 km<sup>2</sup>. По аналогичен начин е извършена хидрографска снимка на акваторията пред испанската полярна база "Хуан Карлос I", като са регистрирани

3258 точки на площ от около 60 ha.

В 21-та антарктическа експедиция участва ас. инж. Аспарух Камбуров от Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“. Целта на изследванията, които се извършват е изследване на влиянието на Слънцето върху измервания с Глобални навигационни спътникови системи (ГНСС) в полярни условия. През 2013 г. настъпва максимумът на 11-годишния цикъл на слънчевата активност, като вследствие на увеличената емисия на радиационни и магнитни потоци от Слънцето, земната йоносфера се активизира. В резултат започват да се отчитат грешки в преминаващите през нея спътникови навигационни сигнали, като понякога се стига дори до загуба на GPS сигнал.

Пет години по-късно, през 2015/2016 г., в 24-та експедиция участват едновременно четирима български геодезисти. Представители на Геодезическия факултет на УАСГ са отново доц. д-р инж. Борислав Александров и гл.ас. д-р инж. Юри Цановски, а полк. инж. Петър Данчев и кап. д-р инж. Георги Михайлов са от Военно-географската служба (ВГС) при МО. Те изпълняват важен геодезически проект за създаване на цифрова едромасщабна топографска карта за района на БАБ по поръчка на Агенцията по геодезия, картография и кадастър към МРРБ. За първи път геодезистите използват безпилотна летателна система (БЛС) и съвременна хидрографска система за заснемане дъното на Южния залив на о-в Ливингстън. Използвани са и три двучестотни ГНСС приемника. Осъществяването на пилотна хидрографска снимка в акваторията на БАБ на о-в Ливингстън поставя началото на нова научна и научно-приложна насока в геодезическите дейности. Използването на съвременен метод за изследване дъното на морска акватория, извършван на базата на синхронизирани измервания с ехолот и ГНСС, позволява бързо и оперативно получаване на информация за подводния релеф в залива и постигане на необходимата точност в планово и дълбочинно отношение. Създаден е цифров модел на сушата и дъното на акваторията пред БАБ в мащаб М 1:2 000. Детайлната батиметрична карта позволява използването ѝ при дебаркиране на лодки на брега и за обозначаване на безопасни морски пътища и котвени стоянки за големи кораби. Определено е и мястото на безопасната за плаване зона, ограничена от 20 m изобата. Хидрографските дейности и изследвания на о-в Ливингстън поставят начало на периодично провеждани измервания, като намеренията са за продължаване на кампанийните измервания за получаване на достоверни факти, изясняващи глобалните промени на климата. Въз основа на геодезическите измервания и последващата им обработка през 2016 г. е издадена топографска карта от 2 листа.

По време на 25-та българска антарктическа експедиция (2016/2017г.) участие вземат гл.ас д-р инж. Аспарух Камбуров от МГУ „Св. Иван Рилски“, полк. инж. Петър Данчев и кап. д-р инж. Георги Михайлов от ВГС при МО. Увеличена е заснетата с БЛС площ, а резултатите са ползвани при изработване и допълване съдържанието на топографските карти.

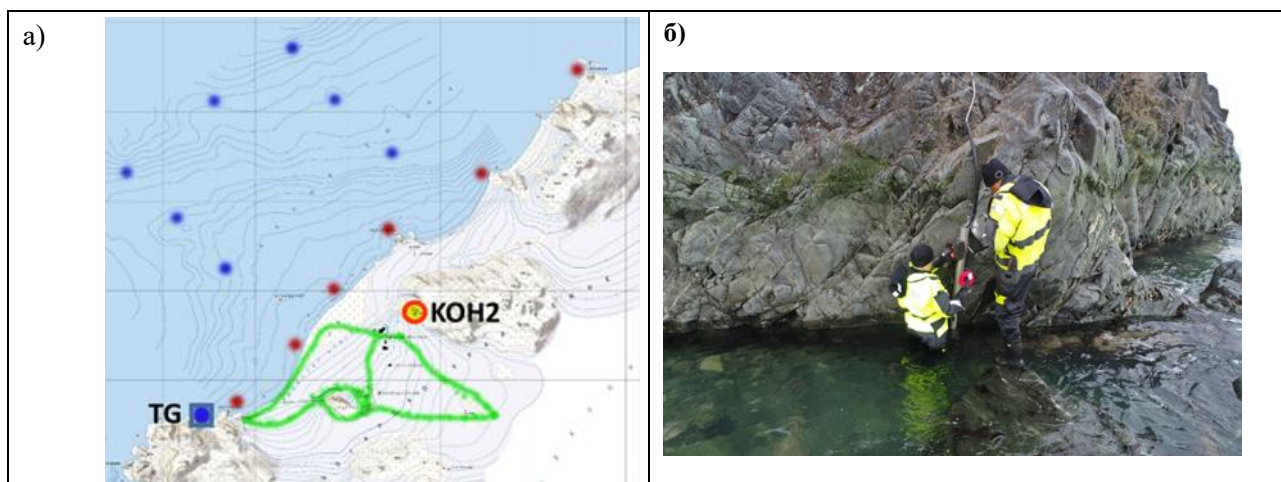
#### **4. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ 28-ТА АНТАРКТИЧЕСКА ЕКСПЕДИЦИЯ ПРЕЗ СЕЗОН 2019/2020 Г.**

След първите геодезически измервания по време на антарктическата експедиция през 1998г., геодезическите дейности в БАБ „Св. Кл. Охридски“ са продължени и насочени към изграждане на дългосрочна научноизследователска инфраструктура. По време на 26-та експедиция (2017/2018 г.) пробно се инсталира автоматизиран мареограф в Южния залив. Регистрацията

на измененията на нивото са за период от 45 дни, като впоследствие той е преместен и инсталиран на друго място в следваща експедиция.

На 13 ноември 2019 г. стартира 28-та Българска антарктическа експедиция. Към БАБ „Св. Климент Охридски“ се отправят 11 българи със задача да разконсервират базата след зимния период и да я подготвят за успешното изпълнение на одобрените научни проекти за антарктическо лято 2019-2020 г. По време на експедицията е поставено началото на изграждане на нова научна лаборатория. Проектът за изграждане на лабораторията е съобразен със специфичните за Ледения континент тежки климатични натоварвания, особено през зимния период на годината. Бъдещата сграда ще бъде със закрыта площ от 330 m<sup>2</sup>, повдигната над терена върху 32 колони.

За първи път е извършено експериментално изследване на океанската вода в залива „Емона“ пред БАБ, като са измерени соленост, проводимост и температура (фиг. 3а). За целта е използван сензор, чрез който се регистрират малки промени в солеността на водата (в диапазона  $\pm 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Чрез оптична USB базова станция BASE-U-4 е извършено прочитане на данните от записите във водата. Целта е да се изследва връзката между измененията на солеността и проводимостта на морската вода и вариациите на морското ниво, записвани първоначално през сезона на 28-та експедиция, а впоследствие и целогодишно. Първоначалните измервания и анализи показват логични промени в стойността на солеността в районите с плаващи ледени късове, около брега и в дълбочина (Александров, 2020). Направени са измервания за същите параметри на водата на дълбочини в диапазона 0.1 m - 8 m. Средните стойности на солеността са съответно на брега - 17.7-22.7‰, в залива - 23.0-24.1 ‰ и в залива при вода без ледени късове - 27.5 ‰. Средната стойност на температурата на океанската вода е в границите 0.9 - 1.0° C. Научните изследвания целят извеждане на количествена връзка между солеността на водата и измерваното морско ниво в района на БАБ. Очаква се дългосрочните и целенасочени геодезически измервания да допринесат да се оцени влиянието на климатичните промени в района на о-в Ливингстън, отчитайки непрекъснатото топящите се ледници, повишаването на водното ниво и температурата на световния океан.



**Фигура 3.** а) Разположение на геодезически точки в БАБ: KON2 перманентна ГНСС станция, TG – мареограф, точки, в които са измерени соленост и температура (в синьо – в акваторията и в червено – до брега); б) Монтаж на мареографната станция в Южния залив

XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ  
 “СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В  
 ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”

София, 04 – 05 ноември 2021 г.

XXXI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
 MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN  
 GEODESY AND RELATED FIELDS

Sofia, 04 – 05 November 2021

По време на 28-та експедиция е инсталирана повторно, но на друго място, мареографната станция с непрекъснато регистриране на морското ниво (фиг. 3б). Инсталиран е хидростатичен сензор от тип Valeport, чрез който е извършен непрекъснат запис на вариациите на морското ниво за период от 9 месеца с две прекъсвания от няколко часа - от 9 януари до 16 октомври 2019 г. Регистрацията е на всеки 15 минути. При рязко влошаване на времето и тежък ледоход в залива на о-в Ливингстън, на 16 октомври 2019 г. се прекъсва хранващият кабел и датчикът спира да записва. Данните от 15-минутните регистрации на измененията на морското ниво за периода 14 март 2019 г. - 16 октомври 2019 г. са обработени и са оценени над 30 статистически значими хармонични съставящи (Alexandrov, Pashova, 2021). В таблица 1 са представени 5 полудневни, 4 дневни и полугодишната приливни съставящи. Обработката е извършена със софтуерната програма T\_tide (Pawlowicz et al., 2002). Статистическите оценки на приливите и отливите показва, че те са от смесен тип с преобладаващи полудневни приливни съставящи. Получените резултати показват, че основните приливни съставящи са сходни по стойност с тези от публикации на чужди автори, главно испански, за региона на о-в Ливингстън и съседния о-в Дисепшън. Установени са разлики във фазите на някои от съставящите, за които допълнително се изясняват причините.

**Таблица 1.** Основни приливни съставящи, оценени от регистрациите на морско ниво в БАБ

Приливна съставяща	Честота (cph)	Амплитуда (m)	Ср.кв.гр. (m)	Фаза (°)	Ср.кв.гр. (°)
M2	0.0805114	0.396	±0.002	190.99	±0.25
S2	0.0833333	0.199	±0.002	248.46	±0.51
K2	0.0835615	0.059	±0.002	246.78	±1.84
N2	0.0789992	0.053	±0.002	153.14	±1.89
L2	0.0820236	0.016	±0.002	211.92	±6.74
K1	0.0417807	0.275	±0.002	23.94	±0.44
O1	0.0387307	0.260	±0.002	6.14	±0.47
P1	0.0415526	0.091	±0.002	31.01	±1.29
Q1	0.0372185	0.057	±0.002	357.39	±2.19
SSA	0.0002282	0.074	±0.046	96.63	±35.35

$$2(M2+S2) = 1.19 \text{ m} ; 2(K1+O1) = 1.07 \text{ m} ; F = (K1+O1)/(M2+S2) = 0.900 - \text{смесен прилив}$$

През м. декември 2019г. е инсталиран ГНСС приемник, който приема сигнали от навигационните системи GPS, GLONASS, SBAS, WAAS и EGNOS. Перманентната ГНСС станция, оборудвана с антена Trimble Geodetic Zephyr 3, стабилизирана на 15 cm над месинговата плоча на стълб с принудително центриране, започва да работи на 24.12.2019 г. Точката е маркирана като KOH2 с координати 62°38'24".4 S, 60°21'49".4 W в ГПС WGS'84. Данните са обработени от д-р Валентин Коцев с професионалния софтуер GAMIT/GLOBK, разработен от Департамента по земни, атмосферни и планетарни науки на Масачузетския университет, САЩ.

## **5. ИЗПОЛЗВАНЕ НА СЪВРЕМЕННИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДАННИ ЗА ПОЛЯРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

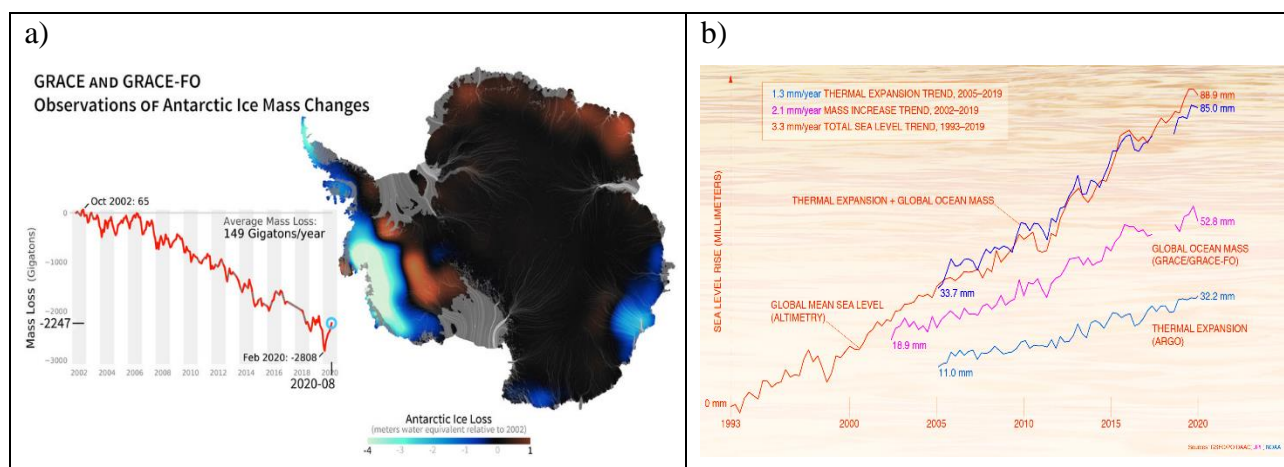
Спътниковите дистанционни наблюдения са основният инструмент за измерване на глобалните промени на земната суша и в океана, биосферата и атмосферата. През последните три десетилетия активните технологии за дистанционно наблюдение позволиха все по-точно измерване на различни параметри на околната среда за изследване на процесите, протичащи в и около Земята. В този контекст, съществен принос за изследване на глобалното земно гравитационно поле имат геодезическите спътникови гравитационни мисии GRACE, CHAMP и GOCE (<https://com2.iag-aig.org/sub-commission-23>). Успешното реализиране на мисиите CHAMP на Германия (2000), GRACE на САЩ (2002), ESA GOCE (2009) и GRACE-FO на САЩ / Германия (2018) доведоха до революция в картографирането на глобалното гравитационно поле. Тези спътникови мисии са единствените системи, чрез които може директно да се наблюдава разпределението на масите и масовия транспорт в тялото на Земята. Глобалните модели на статичното гравитационно поле на Земята са от решаващо значение за геофизичните и геодезическите приложения (Ince et al., 2019). Спътниковите гравиметрични данни са особено ценни за извеждане на нови комбинирани модели на земната гравитация с висока разделителна способност и са основна стъпка напред към решаване на проблема с осигуряване на геодезически данни за полярните региони. Те предоставят нов инструмент за изследване в континентален мащаб на литосферната структура и геоложката еволюция на Антарктида. Спътниковата мисия GOCE предостави данни за извеждане на модели на статичното гравитационно поле с висока точност и голяма разделителна способност. В комбинация с допълнителна информация за гравитационното поле от наземни данни и спътникова алтиметрия може да се постигне още по-висока пространствена разделителна способност. Най-новият глобален модел на земното гравитационно поле е GOCO06s, изчислен в рамките на проекта GOCO (Gravity Observation Combination), е получен само от спътникови измервания (Kvas et al., 2021). Той се основава на над милиард наблюдения, придобити за последните 15 години от 19 спътника. Използвани са преработени данни от мисиите GRACE и GOCE, актуализирани са основните модели и са направени съществени подобрения в последователността от обработка на данните и тяхното комбиниране. Поради дългия период на наблюдение, GOCO06s моделът се състои не само от статично гравитационно поле, но включва допълнително моделирани времеви вариации. Подходящото моделиране на шума за използваните наблюдения води до реалистична информация за точността на полученото решение за гравитационното поле. Оценката на точността на моделното решение, представена от пълната дисперсионно-ковариационна матрица, е изключително полезна за по-нататъшно комбиниране с данни за земната гравитация и се публикува заедно с решението. Спътниковите мисии GRACE, CHAMP и GOCE и последващите ги нови такива осигуряват ценни данни, които се използват в геонауките, като геодезия, хидрология, океанография, глациология и физика на твърдата Земя. Гравитационните модели са достъпни на сайта на Международната асоциация по геодезия (<http://icgem.gfz-potsdam.de/home>).

Наличните от 90-те години спътниковите радарни, а по-късно и лазерни наблюдения се използват за изследване динамиката на ледниците, проследяване на обемното им изменение, оценка на приноса им във водния баланс при определяне повишаването на морското равнище и при симулации с глобални климатични модели. Съвременният подход за обработка и анализ на спътникови наблюдения се основава на необходимостта от съставяне на времеви редове от



спътникови изображения на цели континенти и оценка на тяхната точност. Определянето на заземяващата линия на морските ледници, където ледът започва да се носи в океанските води, е от решаващо значение при дългосрочни проучвания. Този подход е приложен от Mohajerani et al. (2021) за картографиране на индуцираната от приливите и отливите заземителна линия около Антарктида с използване на 22 935 интерферограми. Обработеният огромен обем от радарни изображения е анализиран с използване на съвременни интелигентни методи - конволюционни невронни мрежи. Приложената процедура за откриване на заземителни линии е сравнима с ефективността, която се постига с използване на експертно човешко знание. Интелигентните методи значително повишават ефективността за автоматично разпознаване на образи, извършване на бърз анализ на големи по обем масиви от данни и оценка на тяхната точност и намират все по-широко приложение в науките за Земята.

Придобиването на точни геодезически данни е съществено важно за задълбочаване познанията за глобалните екологични проблеми свързани с климатичните промени и повишаването на морското равнище. По последни оценки на Калифорнийския технологичен институт JPL (<https://grace.jpl.nasa.gov/resources/31/antarctic-ice-loss-2002-2020/>), ледниковата маса намалява с  $\sim 150 \text{ Gt a}^{-1}$ , което се равнява на повишаване на средното морско ниво с  $\sim 0.4 \text{ mm a}^{-1}$  (фиг.4). Загубата на ледникова маса, според Groh & Horwath (2021), по данни от гравиметричните спътникови мисии GRACE и нейния наследник GRACE-FO за периода 2002-04 -2020-07, е оценена на  $-90.9 \pm 43.5 \text{ Gt a}^{-1}$  и съответно повишаване на средното морско ниво с  $0.25 \pm 0.12 \text{ mm a}^{-1}$ . Ледът се топи годишно с  $0.162 \text{ km}^3$  ( $1 \text{ t} = 1.09 \text{ m}^3$ ) от общо 22 млн.  $\text{km}^3$ , което е 0.7% от цялата ледена покривка на Антарктида. Геодезическите измервания и оценки на различни параметри са определящи за много дейности от мултидисциплинарните изследвания в Антарктида, които обикновено не могат да се извършват другаде по света. Те допринасят съществено за подобряване на числените климатични модели и научното определяне на съществените климатични променливи (величини) (<https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables>). Чрез тези климатични променливи се предоставят емпирични доказателства, необходими за разбиране и прогнозиране на еволюцията на климата, определяне на мерките за смекчаване и адаптиране, оценка на рисковете, обяснение на основните причини за климатичните събития и подпомагане на климатичните услуги.



Фигура 4. Оценки на топенето на ледовете в Антарктида (а) и повишаването на глобалното морско ниво (б)  
(източник: <https://svs.gsfc.nasa.gov/31158>)

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глобалното повишение на температурите по цялата планета вече е доказано и е повод за многобройни обсъждания за предприемане на спешни мерки за реакция на цялото човечество. Ускореното топене на ледовете в двата ледени резервоара на Земята - Антарктида и Гренландия - може да промени океанските повърхностни и дълбочинни течения, което да доведе до сериозни изменения в климатичната система и последващи негативни ефекти в много части от планетата ни. Колосалните количества вода от топенето ще са причина за съществено покачване на средното морско ниво, което пък заедно с общото разширение на водните обеми вследствие на повишената глобална температура, би причинило сериозни последици за жителите на крайбрежните райони в цял свят.

През последните три десетилетия български учени работят на Белия континент и те доказаха потенциала на българската наука. С научните резултати, получени от изпълнението на изследователски проекти в различни научни области, бе показана ползността от присъствието на български изследователски екипи в Антарктида. Атестат за това как се оценяват постиженията на българските екипи, работещи на о-в Ливингстън, е търсенето им като желан партньор в много и различни международни проекти. Досега седем български геодезисти са допринесли за развитието на геодезическата наука и практика в екстремните условия на Антарктида и са част от утвърдените експерти, които допълват знанията за най-суровия континент на Земята.

Дейностите, залегнали в актуализираната програма за БАИ са свързани с последните изследователски теми от международен интерес. Те включват даване на научно обяснение на последните промени в климатичната система чрез извършване на непрекъснати и дългосрочни наблюдения на ключови климатични параметри за оценка на променящия се глобален климат, оценяване влиянието на човека върху климатичната система, проучване на процесите на обратна връзка и използване на данните при симулации на климатични модели.

## БИБЛИОГРАФИЯ

Александров, Б. „Геодезически дейности на остров Ливингстън, Антарктика“, Дисертация, УАСГ, София, 2011.

Александров, Б. „Изследване на основни физико-химични параметри на морската вода в акваторията на българската антарктическа база на о-в Ливингстън“, XXX Международен симпозиум “Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, София, 04 – 06 ноември 2020 г., <http://symp2020.geodesy-union.org/>, 2020.

Александров, Б., Пашова, Л. Геодезически изследвания на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън и приносът им за изучаване на съвременни геофизични процеси, Сб. доклади „X Национална конференция по геофизика“, 04 юни 2021, 1-10, <https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N1>

БАБ, Българска антарктическа база, <https://bab-bg.weebly.com/> (29 септември 2021)

БАИ, Български антарктически институт, Национална програма за полярни изследвания 2017-2021 г., - <https://bai-bg.weebly.com> (29 септември 2021)

Alexandrov, B., Pashova L. “Bulgarian geodetic contribution to the multidisciplinary research on Livingston Island for the period 1998 - 2020”, First workshop of the Inter-Commission Committee on Geodesy for Climate Research of the International Association of Geodesy, March 29-31, 2021, <https://iccc.iag-aig.org/iccc-workshops/ws21>

XXXI МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ  
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В  
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”  
София, 04 – 05 ноември 2021 г.

---

XXXI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN  
GEODESY AND RELATED FIELDS  
Sofia, 04 – 05 November 2021

Groh, A., & Horwath, M. (2021), Antarctic ice mass change products from GRACE/GRACE-FO using tailored sensitivity kernels, *Remote Sensing*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/rs13091736>.

Ince, E. S., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., and Schuh, H. ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans, *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 647–674, <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>, 2019.

Kvas, A., Brockmann, J. M., Krauss, S., Schubert, T., Gruber, T., Meyer, U., Mayer-Gürr, T., Schuh, W.-D., Jäggi, A., and Pail, R. GOCO06s – a satellite-only global gravity field model, *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 99–118, <https://doi.org/10.5194/essd-13-99-2021>, 2021.

Mohajerani, Y., Jeong, S., Scheuchl, B. et al. Automatic delineation of glacier grounding lines in differential interferometric synthetic-aperture radar data using deep learning. *Sci Rep* 11, 4992 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84309-3>, 2021.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28(8), 929–937, doi:10.1016/s0098-3004(02)00013-4, 2002.

## **ДАНИИ ЗА АВТОРИТЕ**

**доц. д-р инж. Борислав Александров**

**Университет по архитектура, строителство и геодезия, Геодезически факултет**

**Адрес за контакт: бул. "Хр. Смирненски" 1, София 1046**

**e-mail: [alekb\\_fgs@uacg.bg](mailto:alekb_fgs@uacg.bg)**

**доц. д-р инж. Любка Пашова**

**Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките**

**Адрес за контакт: ул. Акад. „Г. Бончев” бл. 3, гр. София 1113**

**Телефон: 02/9793349**

**e-mail: [lpashova.niggg@geophys.bas.bg](mailto:lpashova.niggg@geophys.bas.bg)**