https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N1

Geodetic surveys of BAB "St. Kliment Ohridski" on Livingston Island and their contribution to the study of modern geophysical processes

Borislav Alexandrov[1], Lyubka Pashova [2]

[1] University of Architecture Civil Engineering and Geodesy, 1 "Hr. Smirnenski" Blv., 1046 Sofia, Bulgaria, E-mail: alekb_fgs@uacg.bg
[2] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography - Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria, E-mail: lpashova.niggg@geophys.bas.bg

Key words: GNSS, tide gauge, geodynamical processes, Livingston Island

Abstract
The report briefly presents modern geodetic surveys of Livingston Island, conducted after 1998 at the Bulgarian Antarctic Base "St. Kliment Ohridski". Activities for mapping the topography of the island and the seabed are summarized. The main results of the processing and analysis of the data collected from measurements performed during the 28th National Antarctic Expedition, season 2019-2020 are considered. In the context of global changes and the growing anthropic pressure on the environment, geodetic observations and research contribute to clarifying the mechanisms of interaction of complex processes in the BAB region.

Геодезически изследвания на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън и приносът им за изучаване на съвременни геофизични процеси

Борислав Александров [1], Любка Пашова[2]

[1] Университет по архитектура, строителство и геодезия, бул."Хр. Смирненски", София 1046, E-mail: alekb_fgs@uacg.bg
[2] Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл. 3; София 1113, E-mail: lpashova.niggg@geophys.bas.bg

Ключови думи: ГНСС, мареограф, геодинамични процеси, о-в Ливингстън

Резюме
Докладът представя накратко съвременни геодезически изследвания на о-в Ливингстън, извършени след 1998г. на Българската антарктическа база (БАБ) “Св. Климент Охридски“. Обобщени са дейности за картографиране на топографията на острова и морското дъно. Разгледани са резултати от обработката и анализа на данните, събрани от комплексни геодезически измервания, извършени по време на 28-ата национална антарктическа експедиция, сезон 2019-2020 г. В контекста на глобалните промени и нарастващия антропогенен натиск върху околната среда, геодезическите наблюдения и изследвания допринасят за изясняване на механизмите на взаимодействие на сложни процеси в района на БАБ.

Въведение

Антарктида е най-студеният, най-високият, най-сухият и най-ветровитият от всички континенти и е заобиколен от Южния ледовит океан - един от най-големите и най-бурни световни океани. Континентът има площ ~14 млн 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 формиране на климата на Земята. 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 див континент, 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. Придобиването на точни геодезически данни е жизненоважно за подпомагане на почти всички аспекти на провежданите мултидисциплинарни изследвания, които обикновено не могат да се провеждат другаде. Резултатите от тях помагат да се разберат по-добре глобалните екологични проблеми свързани с климатичните промени, разрушаването на озона и повишаването на морското равнище.

Българската Антарктическа база (БАБ; https://bab-bg.weebly.com/) е основана по време на първата антарктическа експедиция през 1988 г., организирана по случай стогодишнината на Софийския университет. Тя 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 Южношетлъндски острови, Западна Антарктика (Фиг. 1а). Достъпът до базата е само през морето, като годишно посещенията на кораби са около 5. В същото време базовото местоположение предлага удобен достъп до планината Фризленд, хребета Бърдик, планината Боулс, полуостров Хърд и полуостров Варна. В близост до БАБ е испанската антарктическа база „Хуан Карлос I“ (Фиг. 1б). През 1993 г. с президентски указ базата е кръстена на „Св. Климент Охридски“. Българският Антарктически Институт (БАИ; http://www.bai-bg.net/), създаден през 1993 г., е национален оператор на дейностите в Антарктида, който организира и провежда ежегодните антарктически експедиции и поддръжката на БАБ. БАИ 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 (БАИ; http://www.bai-bg.net/). БАБ е включена в актуализираната Пътна карта на Националната научна инфраструктура за периода 2020-2027г. като уникална научна инфраструктура (https://mon.bg/bg/4). 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“, 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.



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

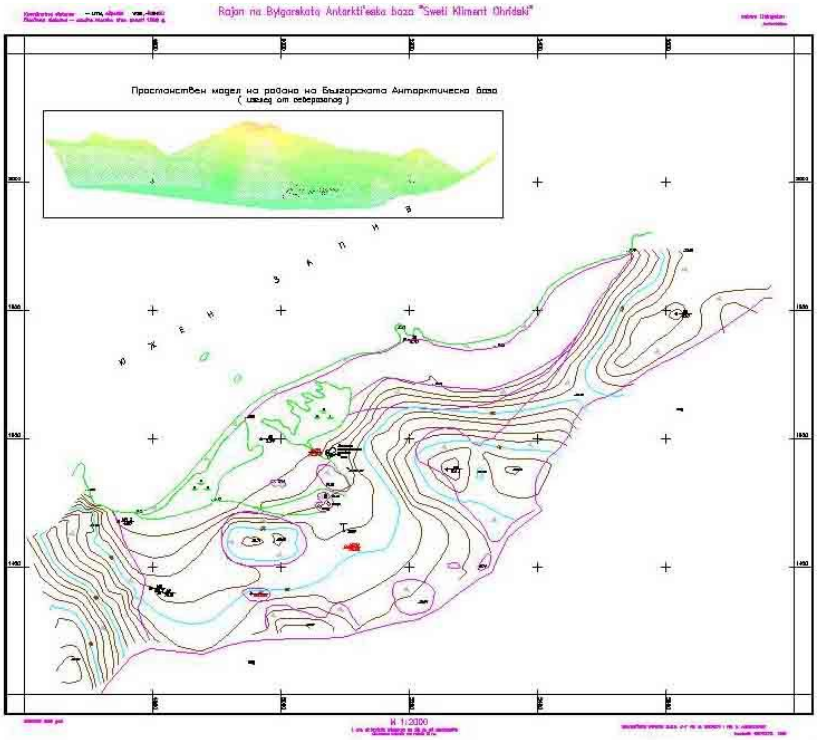
Този доклад представя основни геодезически дейности, извършени от български геодезисти през последните три десетилетия. Български геодезисти са участвали в 7 експедиции, по времето на които са извършени класически геодезически измервания и е инсталирана съвременна научна апаратура. Резултатите от тях са ползвани за картографиране на топографията на 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 паралелно с други морски наблюдения. Специално внимание е отделено на 28-та национална антарктическа експедиция, проведена през астралния сезон 2019-2020 г. В рамките на тази експедиция са извършени морски геодезически дейности и са положени основите на нова изследователска

лаборатория. Представени са предварителни анализи на измервания от мареографната станция, проводимостта, солеността и температурата на океанската вода около брега и в дълбочина на залива Емона и от ГНСС станцията KOH2. 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 в баланса за определяне повишаването на глобалното морско равнище.

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" периодично 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 наблюдения на отделни характерни точки в района на БАБ и картографиране на топографията на острова за изработване на топографски карти, които непрекъснато са допълвани и е подобрявана тяхната точност. Геодезическите дейности бележат своето начало през астралния сезон 1998/1999 г. с включването на двама геодезисти в 7-та антарктическа експедиция - инж. Борислав Александров от УАСГ и инж. Димитър Димитров от БАН (Александров, Димитров, 1999). Изградена е работна геодезическа основа, като мрежата от точки е проектирана като самостоятелна. 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. Геодезическата мрежа се състои от 9 точки с разстояния между тях от 109 до 428 m. Проектирането е извършено с помощта на единствената налична топографска карта в мащаб 1:25 000, издадена през 1991 г. от Formada por el Sevicio geografico del Ejercito, Madrid. Предвидено е измерването на всички дължини чрез светлодалекомер, съобразно най-благоприятните условия през астралното лято. Най-ниската точка е с височина 3.24 m, а най-високата – 64.40 m. Точката БАБ-1, непосредствено пред БАБ, е с височина 12.47 m. Височинно мрежата е привързана към определената през 1997 г. с GPS наблюдения точка KOH-1 с елипсоидна височина 24.00 m. Картографираната територия в района на БАБ покрива над 70 ha открити от сняг и лед скални пасажи, която е изработена в М 1:2000 (Фиг.2).



Фигура 2. Първа топографска карта за района на БАБ, изработена от геодезисти

По време на 9-та експедиция, сезон 2000/2001 г., са извършени GPS измервания за геоложко картиране и е изследвана вертикалната

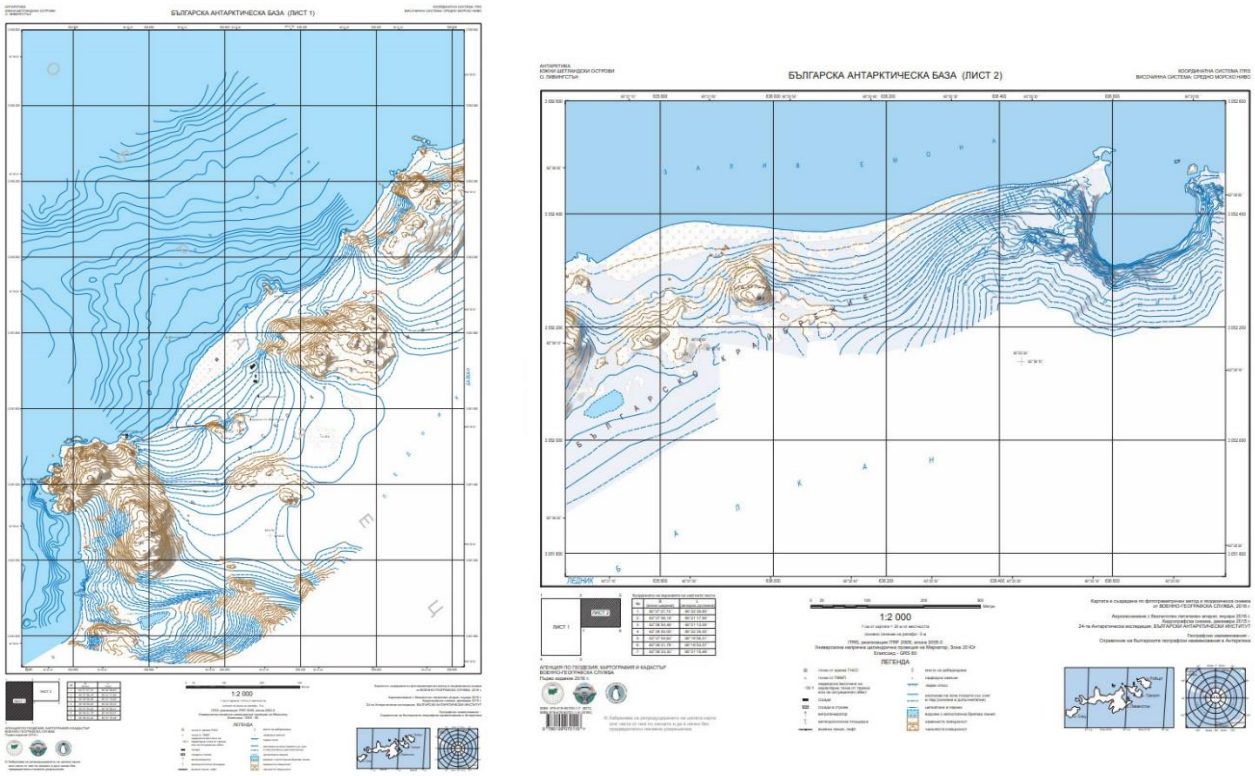
рефракция в района на БАБ (Александров, 2011). Направени са реални изследвания за поведението на визирния лъч, с продължителни наблюдения на точки, избрани над различна постилаща повърхност - ледени полета, открити скали, морска повърхност и комбинации от тях. Проследявани са промените на зенитните ъгли, 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. Юри 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, подходящо закрепена във вертикална скала, на сравнително тихо място в 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, макар и за много кратък период, но се поставя началото 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, като времетраенето на снимката е около 2 часа и половина, изминатият път с лодка е 15.7 km. Общо заснетата водна площ е около 1.5 km^2. По аналогичен начин е извършена хидрографска снимка на акваторията пред испанската полярна база ”Хуан Карлос I”. В тази снимка са регистрирани 3258 точки на площ от около 60 ha, което отнема около 2 часа. Впоследствие за испанската акватория също е изготвен цифров пространствен модел на морското дъно (Александров, Цановски, 2018).

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 при МО. Те изпълняват важен геодезически проект за създаване на цифрова едромащабна 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 ехолотна и спътникова части, 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 перспективата е да се извършват циклично за получаване на достоверни факти, изясняващи глобалните промени на климата. Въз основа на геодезическите измервания и последващата им обработка през 2016 г. от ВГС е издадена топографска карта от 2 листа (Фиг. 3) (Александров, 2020).

По време на юбилейната 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.

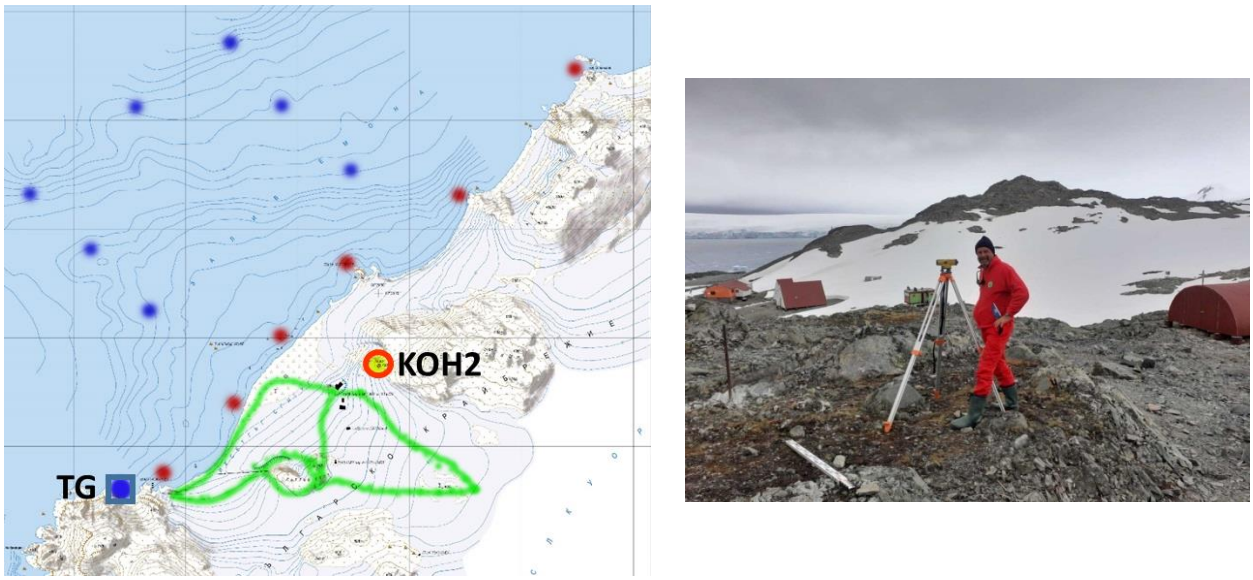


Фигура 3. Топографска карта за района на БАБ в М 1:2000, 2 листа

Основни резултати от 28-та антарктическа експедиция през астрално лято 2019/2020 г.

През годините геодезическите дейности са насочени към изграждане на дългосрочна научноизследователска инфраструктура. По време на 26 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 антарктическото лято 2019-2020 г. (Александров, 2021). По време на експедицията е поставено началото на изграждане на нова научна лаборатория в БАБ. Проектът за изграждане на нова лаборатория е съобразен със специфичните за Ледения континент тежки климатични натоварвания, особено през зимния период на годината. Бъдещата сграда ще бъде със закрита площ от 330 m^2, повдигната над терена на не по-малко от 80 cm, върху 32 колони, всяка издигната върху бетонен фундамент с размери 1x1 m.
След одобряване на проект с ръководител арх. Пенка Станчева, е взето решение да се започнат техническите дейности по трасиране на проекта върху терена. Геодезическа работа по трасиране и координиране на фундаментите на Лабораторията извършена от доц. Борислав Александров. Поради липсата на достатъчно подробна топографска карта с точност до сантиметри, се налага преместване на бъдещата сграда, съобразно особеностите на реалния терен. Това изместване е от порядъка на 3m със завъртане от около 5^0 на бъдещата конструкция. След обозначаването на всички фундаменти е направена геометрична нивелация, чрез която всяка колона получава кота, изчислена от известен репер в развитата геодезическа мрежа. За първи път в българските експедиции при геодезическите измервания е използван технически нивелир, с който са направени няколко важни нивелачни хода. Чрез геометрична нивелация са определени: височината на водоизточника над постройките, превишението между основната сграда и мястото за дебаркиране и стоварване на експедиционен багаж, денивелацията между съществуващата база и бъдещата Лаборатория.

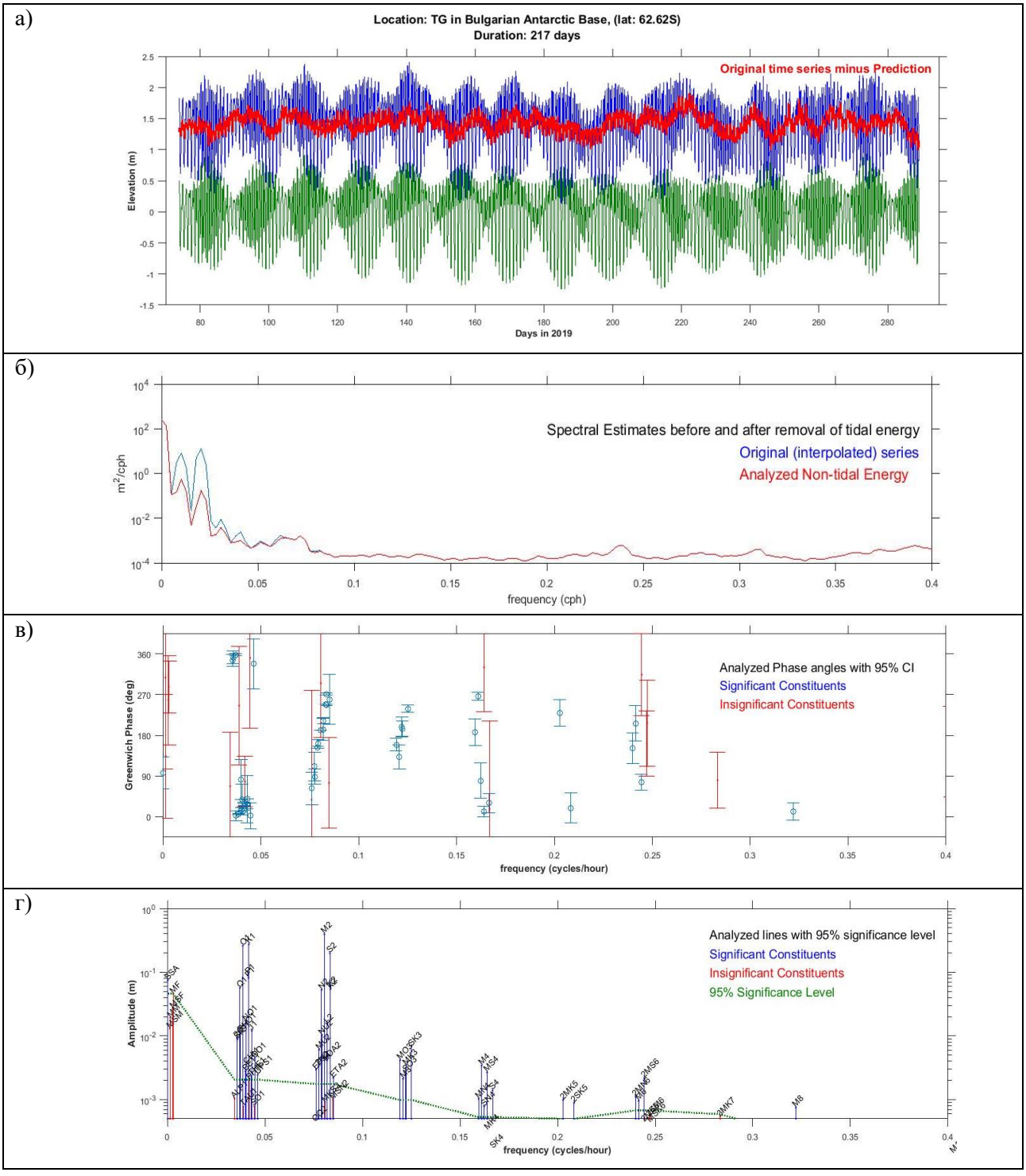
За първи път е извършено експериментално изследване на океанската вода, като са измерени соленост, проводимост и температура (Фиг. 4а). За целта е използван сензор, чрез който се регистрират малки промени в солеността на водата (в диапазона ±5000 μS/cm). Чрез оптична USB базова станция BASE-U-4 е извършено 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, както 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 от 23.0 – 24.1 ‰ и в залива при вода без ледени късове – 27.5 ‰. Средна стойност на температурата на океанската вода 0.9 - 1.0˚C. Извеждането на количествена връзка между солеността на водата и измереното морско ниво се очаква да даде информация за влиянието на климатични промени в района на о-в Ливингстън, имайки предвид непрекъснато топящите се ледници, повишаването на нивото и температурата на световния океан.



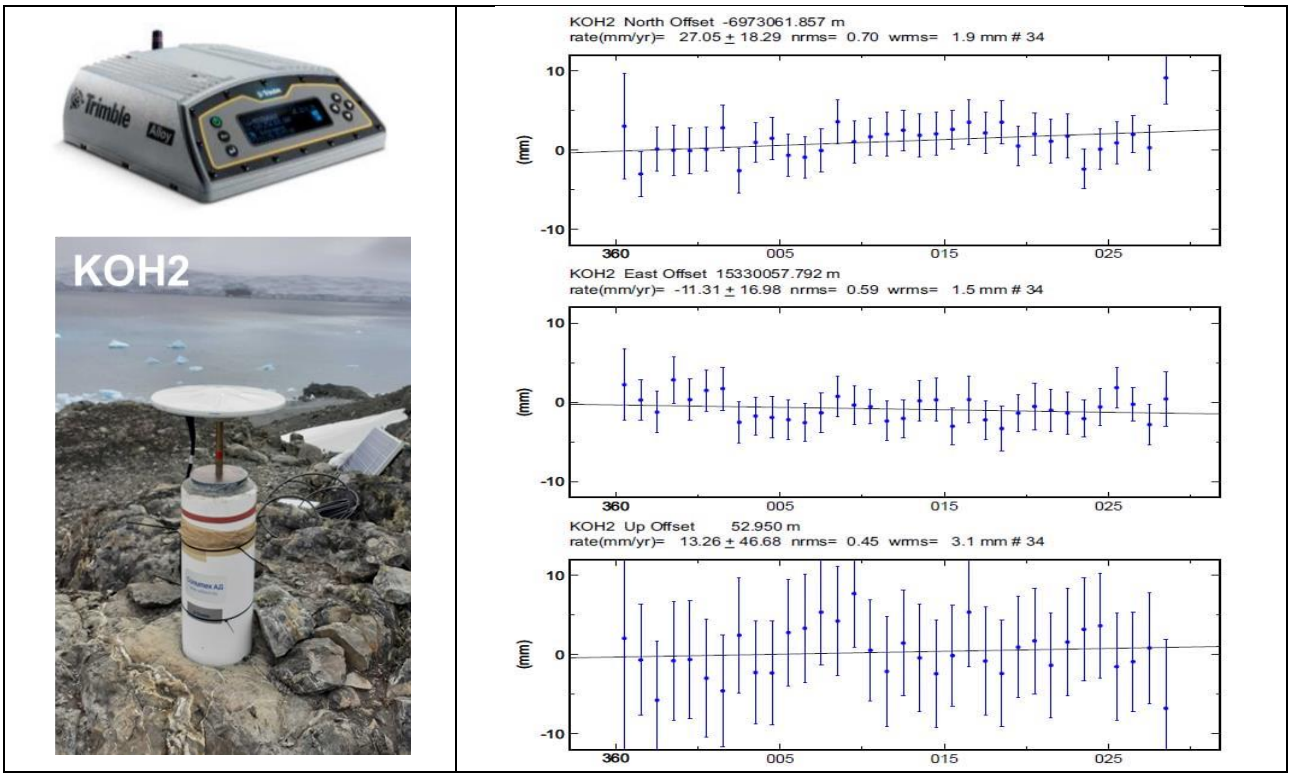
Фигура 4. а) Разположение на геодезически точки в БАБ: КОН-2 перманентна ГНСС станция, TG – марегораф, точки, в които са измерени соленост и температура (в синьо – в акваторията и в червено – до брега), б) извършване на нивелачни измервания (означените в зелено линии на фиг. 4а)

По време на 28-та експедиция е инсталирана повторно, но на друго място, мареографната станция с непрекъснато регистриране на морското ниво (Фиг. 4а). 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 захранващият 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 основни хармонични съставящи (Alexandrov, Pashova, 2021). Обработката е извършена със софтуерната програма T_tide (Pawlowicz et al., 2002). Резултатите са представени на фиг. 5. Статистическите оценки на приливите и отливите показва, че те са от смесен тип с преобладаващи полудневни приливни съставящи. Получените резултати са сравнени с публикувани от чужди автори изследвания за определяне на приливни съставящи, главно испански, за региона на о-в Ливингстън и съседния о-в Дисепшън. Установено е сходство в стойностите на основните приливни съставящи. Предстои допълнително изследване за установени по-големи разлики във фазите на някои хармонични съставящи, с цел тяхното изясняване.
През м. декември 2019г. е инсталиран ГНСС приемник R 9s с 672 канала на запис, 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 (Фиг.4а) с координати $62^0$38’24”.4 S, $60^0$21’49”.4 W в ГРС WGS’84. Резултатите от предварителната обработка на 37-дневните ГНСС наблюдения са представени на фиг. 6. 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.



Фигура 5. Резултати от обработка на мареографните наблюдения: а) оригинални и прогнозни стойности на морското ниво; б) спектрални оценки на приливната енергия; в) приливни съставящи с 95% доверителна вероятност; г) значими приливни съставящи



Фигура 6. Резултати от предварителната обработка на ГНСС измерванията в точка KOH2

Използване на съвременни спътникови данни за полярни изследвания

Спътниковите дистанционни наблюдения са основният инструмент за измерване на глобалните промени в сушата, 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 спътниковите 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. Данните от мисията GRACE са обработени и са получени последователни 15-годишни модели на глобалното гравитационно поле и неговите времеви вариации до юни 2017 г. 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. 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. 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. Тази информация за точността, 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 като са използвани 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.

Заключение

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 полезността 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 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.

Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на Българския антарктически институт за подкрепата за участието на доц. Борислав Александров в 6 антарктически експедиции и предоставената информация, използвана в настоящия доклад.

Литература

Александров, Б., Димитров, Д. „Антарктика – свирепа красота“, сп.“ГКЗ“, бр.1, 1999.

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

Александров, Б., Цановски, Ю. „Българската антарктическа мисия и приносът на УАСГ за нея, Годишник УАСГ, Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“ т. 51, бр. 9, стр. 177-191, 2018.

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. „Геодезическата наука и практика в 28-та българска антарктическа експедиция“, Годишник на УАСГ, т. 54, бр. 1, 191-199, 2021.

БАБ, Българска антарктическа база, https://bab-bg.weebly.com/ (28 май 2021)

БАИ, Български антарктически институт, Национална програма за полярни изследвания 2017-2021 г., - https://bai-bg.weebly.com (28 май 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

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.

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.

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.