



BULGARIAN TIDE GAUGE STATION ON LIVINGSTON ISLAND - BUILDING AND PERSPECTIVES

Abstract: The article describes the activities for the establishment of the first Bulgarian tide gauge station in Antarctica in December 2017, during the 26th Bulgarian Antarctic Expedition. The process of transportation and strengthening of the seabed of the tide gauge sensor proved to be a serious and difficult test for the working team due to the severe weather conditions and strong ice flow in the installation area of the facility. Initially, the station was launched experimentally, and from February 2019 it will start operating continuously. After a recording period of seven months, a heavy icebreaker broke the connecting cable of the sensor and it was transported to Bulgaria for replacement.

The tide gauge station on Livingston Island is the first for Bulgaria, both in Antarctica and in general outside the Bulgarian Black Sea coast.

Author information:

Borislav Alexandrov
 Assoc. Prof. Dr. Eng.
 Bulgarian Antarctic Institute
 ✉ alexandrov_b@abv.bg
 🌐 Bulgaria

Keywords:

Antarctica, Oceanology, Marine Geodesy,
 sea level

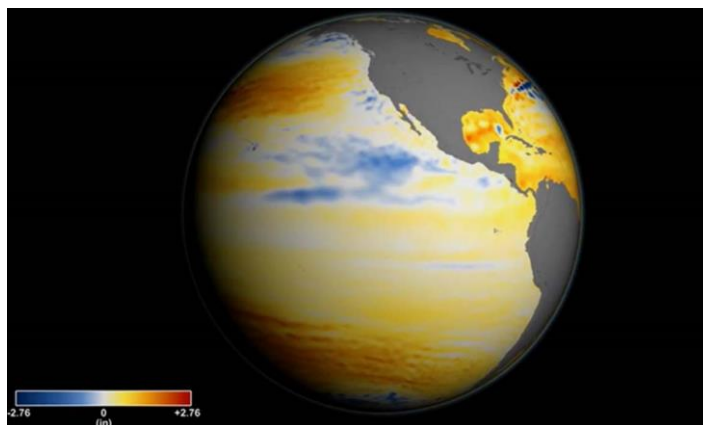
Dobroslav Dechev

Institute of Oceanology, Bulgarian academy of Sciences,
 Varna
 ✉ dechev.iobas@gmail
 🌐 Bulgaria

Въведение

Антарктида е континентът с най-голямо ледено покритие, като в неговите 14 млн. км², от които 98 % покрити с лед, се съхранява около 90% от сладката вода на Земята – или общ обем на леда – над 24 млн. км³. Средната дебелина на ледниковата покривка е 1720 m, като на места достига до 4300 m. Според математически изчисления ако ледът на Антарктида хипотетично се разтопи в кратък период, нивото на Световният океан ще се повиши със 70 метра. Една много голяма част от населението на Земята обитава крайбрежните зони, и то в пренаселени огромни мегаполиси, което идва да покаже каква е опасността от повишаване нивото на океана, дори и това да стане не мигновено, а постепенно във времето.

Според специалисти от NASA's Goddard Space Flight Center в Greenbelt (Maryland), University of South Florida (Tampa) и Old Dominion University Norfolk (Virginia) и по данни на *NASA Sea Level Change Portal*, морското ниво се е повишило със 7 см за последните 25 години (фиг. 1).



Фиг. 1. Динамика на океанското ниво в см

От спътникови данни е установена тенденция за ускоряване на този процес – през 90-те години на миналия век покачването на нивото на океана е било с около **2.5 мм/год.**, а сега – през 2021 г. е **3.3 мм/год.**

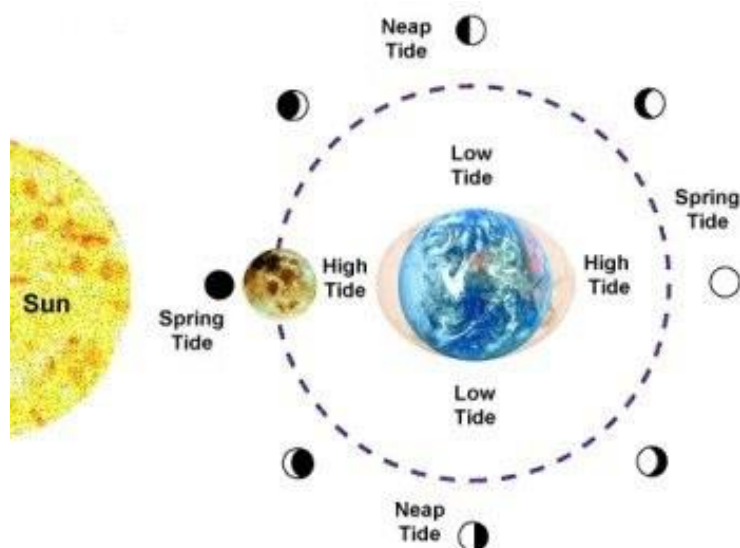
При запазване на тази тенденция, прогнозите са за повишение с над **65 см** до **2100** година, което е сериозен повод за безпокойство [5].

1. Причини за колебанията на морското ниво

Затворената геопотенциална нивоповърхнина, съпадаща със спокойното ниво на морета и океани, която във всяка своя точка е разположена перпендикулярно на посоката на силата на тежестта и продължена под сушата, се определя като геоид. Положението на свободната повърхност на океана се определя от въздействието на различни сили върху водната маса. Но тя никога не е в пълен покой, още повече като не е еднородна среда, повърхността ѝ не може да съвпадне напълно с геоидната повърхнина. По тази причина са въведени понятия като *средно многогодишно*, *годишно*, *месечно* или *денонощно ниво*, които позволяват първото им приближение да представя повърхността на геоида.

В зависимост от преобладаващата сила, движенията на реалната водна повърхност се определят като **периодични** и **непериодични**.

Първите се предизвикват от гравитационното взаимодействие между Земята, Луната и Слънцето (фиг. 2), както и от т.нар. инерционни сили на океанския електролит. Непериодичните колебания включват геодинамични и геотермални процеси в земната кора, както и физико-химични и механични въздействия. Вторият тип колебания са трудно или въобще непредсказуеми, тъй като включват подводни земетресения, изригвания на вулкани, вековни издигания на океанското дъно. Сравнително по-предвидими са ветровото въздействие върху водната повърхност, неравномерното разпределение на атмосферното налягане, колебания, свързани с плътността на водата и не на последно място изменението на водния обем вследствие на валежи, изпарение и ледниково топене.



Фиг. 2. Гравитационно взаимодействие между Слънце, Земя и Луна

Периодичните приливно-отливни колебания на морското ниво представляват двукратното му повишаване за денонощие на дадено място, последвано от две отдръпвания от сушата. Продължителността на един прилив и съответно отлив е средно 6 часа и 12 минути. Разликата над 6 часа води до промяна във времето на приливите и отливите, които закъсняват с период от около 30-50 минути всяко следващо денонощие. Обяснението на този процес се дава от теорията на Нютон за приливите. Приливно-отливните процеси се наблюдават във всички океани, но поради разлики в характера на бреговата линия и шелфа, стойностите на приливите не са еднакви.

2. Обосновка на техническото осигуряване и монтаж

При изграждане на мареографна станция са възможни три начина за получаване на информация за колебанията на морското ниво. Най-известните съоръжения са познатите класически мареографи, с изграден кладенец на брега, свързан като скачен съд с акваторията. В кладенеца е монтиран *поплавък*, свързан с пишещо съоръжение, което осигурява непрекъснат запис на промяната на нивото в кладенеца. Такъв тип са първите четири мареографни станции в България, а именно – Варна, Иракли, Бургас и Ахтопол. От 2013 година съвместно с тези мареографи, във Варна и Бургас функционират и *радарни мареографи*, които се монтират над водната повърхност и следят разстоянието между сензора и водната повърхност. Информацията се предава по кабел или безжично и се събира като база данни от стойности, привързани към избрана нула на съоръжението.

Третият вид сензори са на принципа на *хидростатичното налягане* и се монтират под повърхността на водата (фиг. 3). По предварително избрана подходяща времева схема се записват стойности за височината на водния стълб, от които след определен период може да се изведе стойност на средно морско ниво с достатъчна точност.

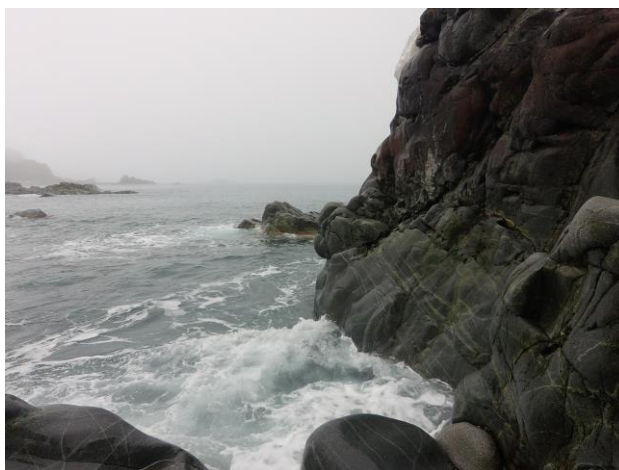


Фиг. 3. Принцип на действие на хидростатичен сензор и общ изглед

За изграждането на мареографната станция в Антарктика след обстойно проучване стана ясно, че първите два начина за запис на нивото са неподходящи. Прекалено суровите атмосферни условия на мястото не позволяват изграждането на класически мареограф, тъй като осигуряването на незамръзнал кладенец би било невъзможно или необосновано трудно, особено за зимния период в Антарктика. От друга страна технологичният процес на строителството на такова съоръжение би породило екологични проблеми, свързани с въздействието на околната среда, както и огромен финансов ресурс. Радарните датчици са добро решение на тази задача, но за тихи повърхности, които не променят водното огледало поради вятър и заледяване. А и двата факта са налице, дори и през летния период, когато морската вода в повечето дни е без ледено покритие. Все пак климатичните особености не позволяват този сензор да бъде надеждно стабилизиран над повърхността на водата и укрепен към скална основа.

За мареографна станция в акваторията на Българската антарктическа база (БАБ) беше избран хидростатичен сензор на фирмата „VALEPORT”, тип „Tidemaster”, калибриран на 7.11.2017 г от фирмата производител, и проследим по съответните стандарти на UKAS.

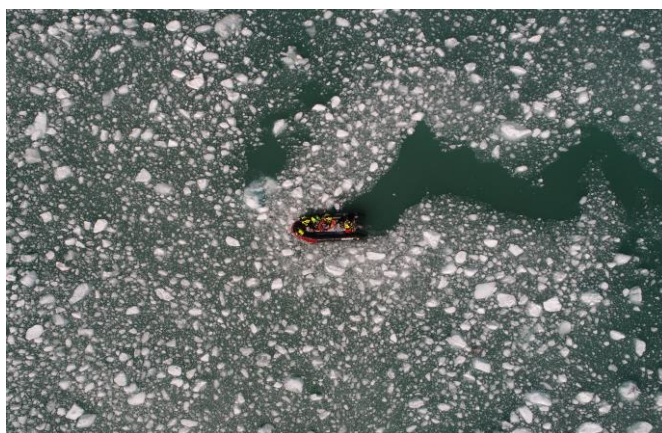
Създаването на мареографни станции предполага много технически трудности, тъй като се налага да се работи както на сушата, така и във водата. В суровите условия на Антарктика тези трудности, заедно с непредвидими рискове, нарастват в пъти. След доставянето на апаратурата до БАБ и продължителния процес на разконсервиране на базата, се пристъпи към търсене на подходящо място за монтаж на мареографния сензор. Твърде сложна и рискована задача, заради обхождането с гумена лодка тип „Зодиак” на километри брегова ивица, в опасна близост до скалите, където ще се търси мястото. Условията са такива, че с един опит не може да се намери оптималното място, налага се неколкостепенно да се обхождат заливчетата, потенциално възможни плитчини и скални откоси. Търси се удовлетворяване на всички изисквания, а именно: мястото да позволява монтаж на сензора без водолазна намеса, да бъде максимално защитен от преобладаващите ветрове, да бъде ограничен ледохода, да може свързващият кабел да достигне подходящо място на брега където да се инсталира записващото устройство (логера). Това място на сушата трябва да позволява лесен достъп на оператор за обслужване и прехвърляне на данни, което да стане с лека алпийска техника дори и при влошаване на времето (фиг. 4). В действителност комплексно удовлетворяване на всички изисквания на този континент трудно може да се постигне.



Фиг. 4. Мястото за монтаж на сензора и логера

Следващата стъпка беше подготовката на апаратурата за монтаж на дъното в зоната на двуметровата изобата без водолазна група. Това може да стане единствено като бъде прикрепен сензорът към достатъчно тежка конструкция, която да му осигури неподвижност във времето, със съображенията да бъде и достатъчно дълбоко за да не влияе прибоя, както и плаващи парчета лед в бреговата зона. Такава дълбочина не допуска навлизането на по-обемисти айсберги, а естественото ограждение от подводни скали допълнително осигурява защита на конструкцията. Самият сензор беше закрепен в предпазен метален кожух, а кабелът, водещ до логера, покрит със специална удароустойчива неръждаема тръба.

Най-сложна се оказа работата по транспортиране на тежката над сто килограма метална конструкция до набеязаното място. Както беше споменато по-горе, всяко влизане в океана в акваториите на полярните бази се осъществява с гумени лодки тип „Зодиак“, придвижвайки се много често в полузамръзнала ледена каша (фиг. 5).



Фиг. 5. Придвижване в ледената каша

Рискът от пробив на балоните на лодките вследствие на сблъсък с остри парчета лед е голям и движението става много бавно и с изключително внимание. Температурата на океана варира между -1.5 и 1.0° C и престоят на човек във водата е ограничен до минути. Допълнително утежняващо обстоятелство беше пренасянето върху бордовете на лодката на тежката метална конструкция с остри краища. За транспорта и монтажа на станцията целият работен екип беше синхронизиран до последния детайл, и като се има предвид, че всички са опитни в тези условия, операцията приключи без усложнения (фиг. 6).



Фиг. 6. Транспортиране и монтаж на подводния сензор

Накрая беше укрепен свързващият кабел към скалните пукнатини с помощта на алпийски клинове и метално осигурително въже. За целта се включи и алпинист над мястото на монтаж, който да поеме въжетата от лодката. Целият високорисков процес отне на екипът от 12 души няколко силно напрегнати часа, в които за пореден път се доказаха волята и духът на българските антарктици.

Остана последната, изцяло научна задача – да се пусне в действие мареографната станция и да се убедим, че данните се записват надеждно в логера. В скалата беше приспособена малка скална площадка с размерите на таблет, на която да може да се постави лаптоп при прехвърляне на данни или обслужване на станцията (фиг.7).



Фиг. 7. Мястото на укрепване на логера

С много рискове и напрежение, на 27 декември 2017 г беше пусната в действие първата българска мареографна станция в Антарктика, и въобще извън пределите на България. Благодарение на опита и отговорността на участниците в XXVI-та българска експедиция, станцията стартира работа без да бъде допуснато каквото и да е произшествие с хора или технически средства.

3. Резултати от обработката на записаните данни

След като всички записи от логера бяха прехвърлени и обработени се изведе експериментално средно океанско ниво за различни времеви периоди: *дневно, седмично* и

месечно ниво. За хидрографски измервания тези нива са напълно достатъчни като информационна база данни за съответния период, докато за климатична оценка и прогнозиране на приливно-отливните колебания ще се заложи на по-продължителни периоди на запис.

Общо количеството записи от 45 дневния пробен период на работа е 4290 като беше фиксиран режим на запис В4. Мареографният сензор „Tidemaster” позволява следните варианти за записване колебанията на водната повърхност (табл. 1).

Таблица 1

Код на настройката	Период на запис (секунди)	Период между запис (минути)
M1	1	2 секунди
B1	30	1
B2	40	6
B3	40	10
B4	40	15
B5	60	30

Тълкуванието на режим В4 е, че на всеки 15 минути сензорът измерва на всяка секунда разстоянието до повърхността в продължение на 40 секунди. В края на периода се осреднява една стойност, която остава в записите за този момент, като по този начин се премахва влиянието на динамичното състояние на водната повърхност. Изчислява се и стандартното отклонение на всяка стойност. Последната показана колона дава информация за състоянието на батериите на логера, което трябва да е около 6 V. На приложената извадка от запис се виждат детайлите на колебанията на нивото във времето:

Firmware version: 0741705B9
 File Creation Date: 27/12/2017 13:58:09
 Battery Level: 6.0
 TideMaster S/N: 61825
Station ID: LIVINGSTON BAB
 Calibrated: 07/11/2017
Mode: B4
 output format: TIDEMASTER

Timestamp	Depth	Depth stdev	Batt
27/12/2017 14:00:00	3.34	0.047	5.9
27/12/2017 14:15:00	3.334	0.053	6
27/12/2017 14:30:00	3.316	0.039	6
27/12/2017 14:45:00	3.267	0.035	6
27/12/2017 15:00:00	3.284	0.048	6

.....

Този режим на запис е избран със следните съображения: приливът в района на БАБ е около и малко над два метра, което за среден период от 6 часа и няколко минути показва промяна на нивото не повече от 30 см на час. Така при записани стойности на всеки 15 минути можем да разчитаме на представителност на данни за максимален интервал във височинно отношение от порядъка на 7-8 см, което е напълно достатъчно за достоверна информация относно колебанията на нивото. В тази насока е предвиждана и издръжливостта на батериите. Тъй като на този пробен етап храненето е от алкални батерии, с прогнозен живот при тези условия и режим на запис, не повече от девет месеца, се избра компромисен вариант В4, който да осигурява дейност до следващите експедиции, при 15 минутен режим. В перспектива, когато

захранването на мареографната станция ще стане от фотосоларни батерии, ще може да се съгъсят записите до 10 минути. По-кратки периоди не са целесъобразни заради огромното количество информация.

От обработката на експерименталните 4290 информативни стойности се визуализираха вариантите на среднодневно, средноседмично и средномесечно океанско ниво, както и съпоставката с астрономичните данни за положението на Луната в наблюдавания период (фиг.8, 9). Установи се, че подходът за получаване на информация за динамиката на морското ниво е правилен, както с избор на апаратура, така и на място за монтаж.



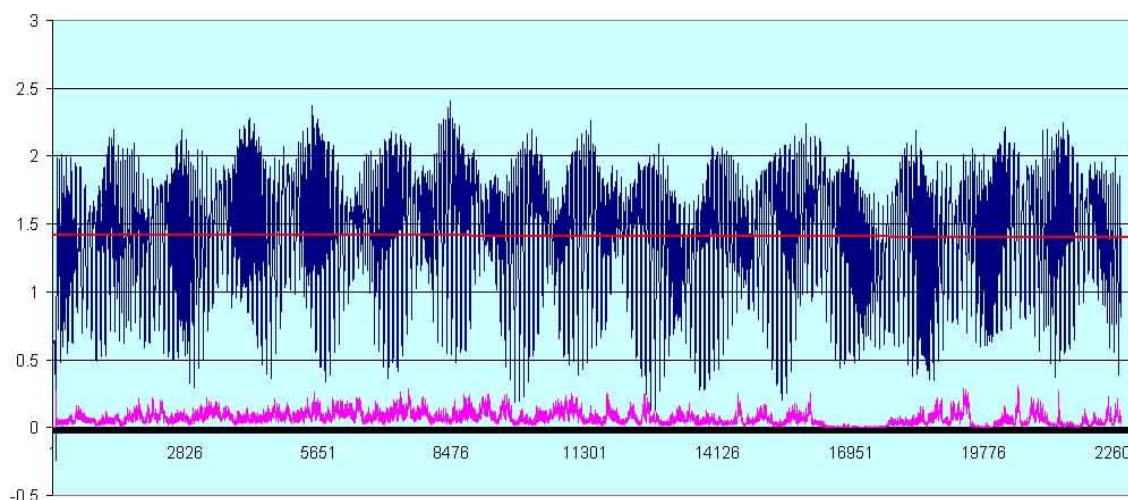
Фиг. 8. Средноседмично ниво



Фиг. 9. Съпоставка на колебанията на океанското ниво с фазите на Луната

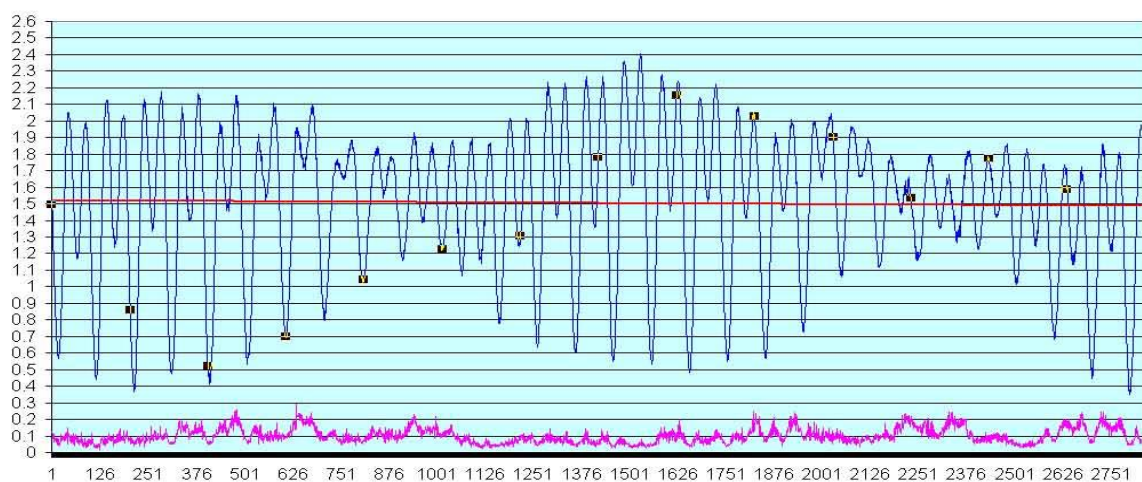
През 2019 година, по време на 28-та Българска антарктическа експедиция бяха свалени данни от зимувалата за първи път в Антарктика мареографна станция. Записаните данни се оказаха за период от над 9 месеца, от 9 януари до 16 октомври 2019 с две прекъсвания от няколко часа, което прави реално непрекъснатия запис почти седем месеца (фиг. 10). Вероятно прекъсването се дължи на метеорологични причини, но записът показва прекъсване за малко, и после продължава без никакви проблеми. При рязко влошаване на времето и тежък ледоход в

залива на о-в Ливингстън, на 16 октомври 2019 се прекъсва захранващия кабел и датчикът спира да записва.



Фиг. 10. Записите на мареографа за първия успешен зимен сезон

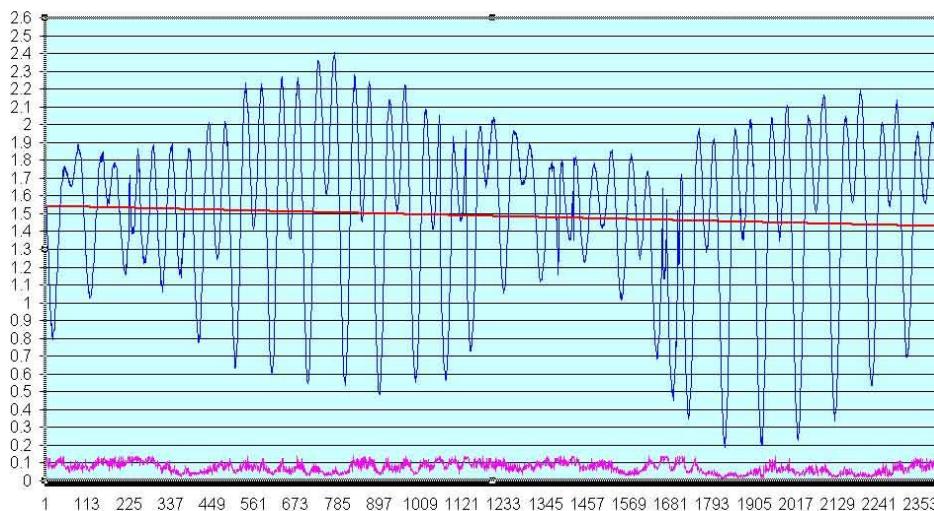
Българският антарктически мареограф не успя да извърши целогодишен запис на динамиката на морското ниво в Южния залив на о-в Ливингстън, спокойно можем да наречем тези над 26 000 записа невероятен успех за скромните възможности на българските експедиции и все пак има данни за поведението на океанската повърхност за няколко месечен период. Както се оказва в изследването на колебанията на морското ниво, не могат да бъдат правени конкретни заключения за кратки периоди, дори и да достигнат една година. За този период от седем месеца наблюдаваме покачване на нивото с 8.2 мм, но това не е представителна извадка за екстраполация на годишни стойности. Влияние оказват много фактори, взимането предвид на които, могат да дадат по-ясна представа за реалните колебания на водната повърхност и връзката на това с глобалните климатични промени.



Фиг. 11. Записите на мареографа за един синодичен месец (новолуние-новолуние)

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 съставлящи [2], 5 полудневни, 4 дневни и полугодишната приливни съставлящи. Статистическата оценка на приливите и отливите показва, че те са от смесен тип с преобладаващи полудневни приливни съставлящи. На фигури 11 и 12 са представени примерни

графики на записите за по един синодичен месец, или всъщност за интервала между две еднакви фази на Луната, който е 29.53 дни. Избрани са характерни фази - новолунието, като фаза с по-големи стойности на притеглящите сили, и първата четвърт, като квадратурен момент, с отслабващо влияние на същите сили.



Фиг. 12. Записи на мареографа за един синодичен месец (квадратура-квадратура)

4. Перспективи за работата на мареографната станция

Към настоящият момент българската мареографна станция, макар и сезонна е от голяма полза за района на о-в Ливингстън, а и особено престижно за страната ни като член на Антарктическата общност. Данните от станцията ще могат да се ползват и от експедициите на други държави. В перспектива целогодишните записи ще бъдат основополагаща информация за реален количествен анализ на глобалните климатични промени, на базата на изведено средногодишно морско ниво. Тя ще бъде използвана за изчисляване на прогнозните стойности на приливно-отливните колебания за цялата предстояща година, което е от изключителна важност за експедициите при работа с лодките в акваторията на о-в Ливингстън. Изведеното средногодишно морско ниво ще послужи за актуална информация при създаване и поддържане на височинна геодезическа основа на о-в Ливингстън, а самите данни ще могат да бъдат използвани за различни научни анализи в областта на Морската геодезия и Океанографията.

Перспективите за по-нататъшно развитие на проекта включват осигуряване преноса на информацията от ежедневните записи на данни за морското ниво по телеметричен път до България, което може да се осъществи като съвместен проект между българската и испанската антарктически програми. Допълнително се предвижда да се монтират сензори за изследване и запис на параметри на хидросредата – температура, соленост, прозрачност, рН, подводни течения и др., на различни подводни хоризонти, за изпълнението на което се предвижда включване на водолазен екип за работа в полярни условия. Допълнително хидрографно заснемане на акваторията пред Българската база с включване на комплексната информация от сензорите за хидросредата ще бъде от голяма научно-приложна значимост.

Отговорна и неотложна задача е специалната подготовка за водолазната работа, съпътстваща процесите по монтаж/демонтажа на потопяемите съоръжения, както и тяхното регулярно обслужване (почистване на сензорите, инспекция и др.). В случая ще се коментират бездекомпресионни спускания в предвид малката дълбочина, което не трябва да се приравнява с туристическите водолазни дейности поради различните спецификации. В полярни условия обслужващият екип, трябва да бъде с подходяща квалификация и опит за водолазна дейност в ледени води, т.е. да имат знания за водолазни спускания под лед, покрай айсберги и подготовка за среща с опасни видове от местната флора и фауна. Разбира се трябва да се отбележат и

логистиката, както и подходящото оборудване. По отношение и на двете – правилното планиране предодвпява инциденти! В случая визираме обстоен (предварителен и моментен) разбор на хидрометеорологичната обстановка, здравословното състояние на водолазния екип, ясни цели и поставени задачи, подбор на нужният инструментариум, отлични знания за боравене със сензори и др. подводна електроника, както и план за действие в аварийни случаи. По отношение на екипировката – всеки компонент от нея трябва да е фабрично сертифициран за работа в студени води (по повечето стандарти до под 5°C), например целолицеви маски с безжична комуникация тук са най-подходящи. Освен че защитават откритите части на лицето от студа, осигуряват комуникация водолаз-водолаз и водолаз – осигурител (на повърхността). Поради обективни причини методиката на т.нар. „промишлени водолазни спускания“ (Commercial Diving), въпреки високото им ниво на безопасност не е целесъобразно да бъдат използвани. За този тип спускания е нужна огромна логистика и много скъпо оборудване – големи плавателни съдове, екипировка, съпътстваща техника и др. Поради плаващите ледове използването на сигнален буй е често невъзможно, затова комуникацията с водолазите е задължителна – най-простите методи са автономна водолазна екипировка „SCUBA“ с горещитираната подводна безжична комуникация (при „по-чисти“ води и локална работа, може и кабелна) или пряка сигнализация водолаз – повърхност с въже и сигнали подавани чрез него. При влизане от бряг или под заледена водна повърхност задължително да се използва ходово въже „линия“, която указва мястото на слизане под водата и съответно за излизане. Всеки един от екипа е длъжен, освен своята да провери екипировката и на колегите си, които влизат под водата. Чисто физическата помощ по транспорта на оборудването и екипирането на водолазите от „сухият екип“ е задължителна предвид голямата маса на екипировката за спускания в студени води.

Правилното организиране на бъдещите научни и практически дейности, заложиени в програмата на Българските антарктически експедиции, предполага постигане на полезни и задълбочени резултати за полярната среда, и то на основата на сигурни и безопасни изследвания в екстремните условия на Антарктика. Те ще спомогнат за изграждане на единна, качествено нова постановка за океанската среда на базата на комплексен анализ на наличната информация с цел създаване на конструктивна система за спешни и неотложни мерки в оценката на глобалните климатични промени и екологията в световен аспект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаването на българската мареографна станция в Антарктика е едно уникално техническо постижение, както в научната дейност на полярните ни експедиции, така и за геодезическата общност у нас. На фона на тежките условия за работа, географската отдалеченост от цивилизацията и техническата логистика, екипността и себеотрицанието на българските полярници доказа, че за кратко време може да бъде изградено едно сложно и скъпо съоръжение с несъмнена научно-техническа значимост, което да бъде от полза не само на антарктическите експедиции, но и на човечеството като цяло. Анализирването на събираните данни ще бъде сериозен количествен показател за глобалните климатични промени, което следва да заеме приоритетно място в ангажиментите на човека за опазване живота на своята родна планета.

References:

1. Aleksandrov, B., L. Pashova, Geodezicheski izsledvania na BAB „Sv. Kliment Ohridski“ v Antarktika i prinosat im za prosledyavane na globalnite klimatichni promeni, 31 Mezhdunaroden simpozium na SGZB, Sofia, 3-5 Noemvri 2021

2. Alexandrov B., L. Pashova, Bulgarian geodetic contribution to the multidisciplinary research on Livingston island for the period 1998 – 2020, (IAG - ICCG Workshop “Geodesy for Climate Research”, March 31, 2021)
3. Bulgarian Antarctic Institute- <https://bai-bg.weebly.com>
4. www.polarcenter-bg.com
5. <https://sealevel.nasa.gov/resources/119/video-greenland-ice-mass-loss-2002-2020/>