

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

Sofia, 08 - 09 November 2018

**XXVIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБУЧЕНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”**

София, 08 - 09 Ноември 2018

**ПЪРВАТА БЪЛГАРСКА МАРЕОГРАФНА СТАНЦИЯ
В АНТАРКТИКА, О-В ЛИВИНГСТЪН**

Борислав АЛЕКСАНДРОВ (BG)

РЕЗЮМЕ

Статията отразява дейностите по създаване на първата българска мареографна станция в Антарктика през декември 2017 година. След одобрение от Българския антарктически институт на идеята за монтиране на мареографна станция в акваторията на Българската антарктическа база, се направи необходимата организация за монтаж и стартиране на станцията в работен режим. Процесът на транспортиране и укрепване на морското дъно на мареографния сензор се оказа сериозно и трудно изпитание за работния екип, поради тежките атмосферни условия и силен ледоход в зоната на монтаж на съоръжението.

Ключови думи: Антарктика, морско ниво, мареографни измервания

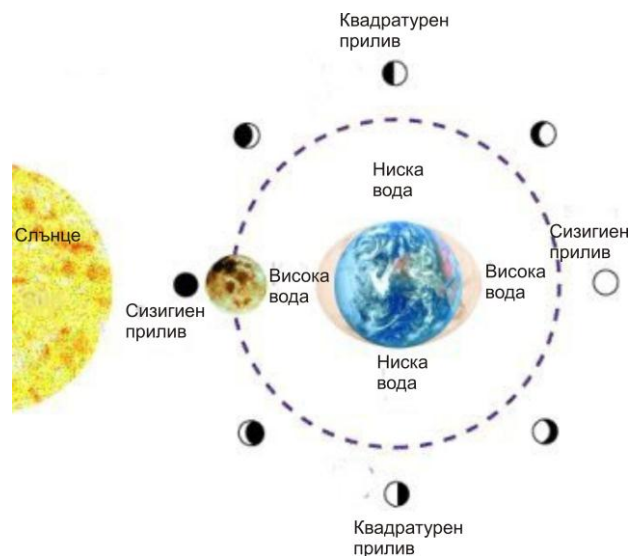
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Още от древни времена човекът е забелязал, че на много крайбрежни места дълбочината на морето се променя, като дори била установена периодичност на явлениято. Този неоспорим факт бил причина върху навигационните карти да бъдат изписвани най-малките измерени дълбочини, което пък довело до голямо увеличаване на плавателните ограничения. С течение на годините и мореходния опит, както и опознаването на колебанията в морското ниво, станало възможно голяма част от тези акватории да станат плавателни. Независимо от мащабите на тогавашния флот и плиткогазещите кораби, се появил теоретичен интерес в приливно-отливните събития. Промяната на дълбочините вследствие на различните причинители не била решаваща за ефективното използване на плавателните съдове. В морската литература се цитира гръцкият учен Питеас, според когото още в IV в. пр.н.е. е установена връзка между положението на Луната и промяната на морското ниво. Едва десет века по-късно в Англия се поставя началото на редовни наблюдения на приливните изменения на морското ниво с цел предсказването им. Така първите таблици с прогнозни приливи се появяват едва през XI век - приливните таблици за р. Темза. Може да се каже, че първата научно обоснована теория на приливно-отливните явления е дадена от Нютон (1687 г).

2. ПРИЧИНИ ЗА КОЛЕБАНИЯТА НА МОРСКОТО НИВО

Еквипотенциална повърхност е такава, която във всяка своя точка е разположена перпендикулярно на посоката на силата на тежестта. Такава затворена геопотенциална нивоповърхнина, съвпадаща със спокойното ниво на морета и океани, и продължена под сушата, носи името геоид. Положението на свободната повърхност на океана се определя от въздействието на различни сили върху водната маса. Но тъй като тя не е в пълен покой и не е еднородна среда, то повърхността ѝ не може да съвпадне напълно с геоидната повърхнина. За тази цел 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 неперидични.

Първите се предизвикват от **гравитационното взаимодействие** между Земята, Луната и Слънцето (фиг. 1), както и от т. нар. **инерционни сили** на океанския електролит. Неперидичните 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. 1. Гравитационно взаимодействие между Слънце, Земя и Луна

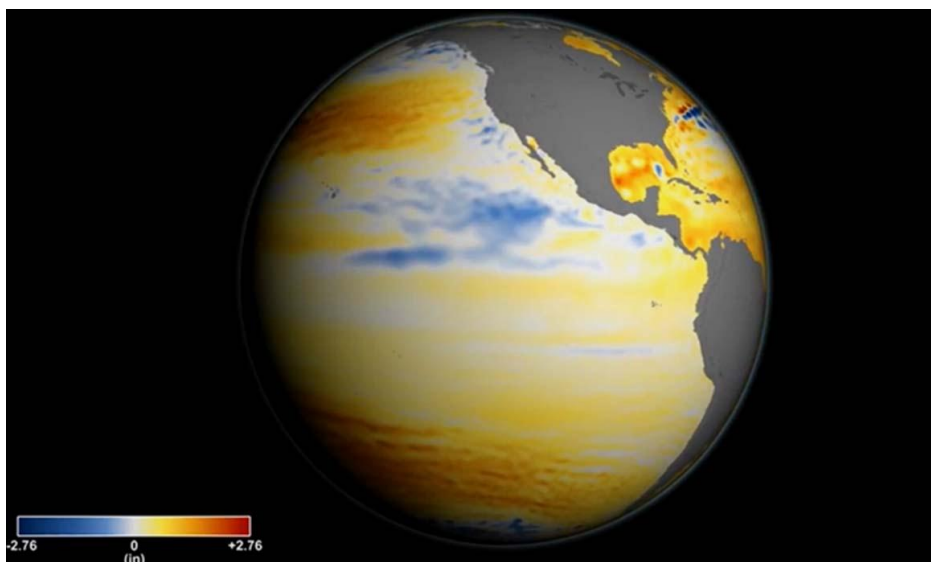
Периодичните приливно-отливни колебания на морското ниво представляват двукратното му повишаване за денонощие на дадено място, последвано от две отдръпвания от сушата. Продължителността на един прилив и съответно отлив е средно 6 часа и 12 минути. Разликата над 6 часа води до промяна във времето на приливите и отливите, които закъсняват с 50 минути всяко следващо денонощие. Обяснението на този процес се дава от теорията на Нютон за приливите. По-големите и близко разположени тела си взаимодействат и по-силно, а притегателната сила се компенсира от центробежната сила. Пълното уравнивяване на двете сили е само в центъра им, а в различните части от повърхността на телата съотношението между притеглящата и центробежната сили е различно и се изразява с равнодействащата им сила, наречена

приливообразуваща. Приливно-отливните процеси се наблюдават във всички океани, но поради разлики в характера на бреговата линия и шелфа стойностите на приливите не са еднакви.

3. НЕОБХОДИМОСТТА ОТ ИНФОРМАЦИЯ ЗА МОРСКОТО НИВО ВЪВ ВОДИТЕ НА АНТАРКТИКА

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 – около 24 млн. км³. Средната дебелина на ледниковата покривка е 1720 m, като достига до 4300 m. Според математически изчисления ако ледът на Антарктида хипотетично се разтопи в един момент, нивото на Световния океан ще се повиши със 70 метра. Като се има предвид процента на живеещите в близост до бреговата линия на континентите, и то концентрирани в огромни мегаполиси, можем лесно да си представим 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* в Tampa и *Old Dominion University* в Norfolk (Virginia) и по данни на NASA Sea Level Change Portal, морското ниво се е повишило със **7 cm** за последните **25 години**.



Фиг. 2. 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 mm/год.**, а сега – през 2018 г. е **3.4 mm/год.**

При запазване на тази тенденция, прогнозите са за повишение с около **65-70 cm** до **2100** година – твърде обезпокоителни стойности за всички крайбрежни населени места.

4. ИЗБОР НА ТЕХНИЧЕСКО ОСИГУРЯВАНЕ И МОНТАЖ

При изграждане на мареографна станция са възможни три начина за получаване на количествена информация за колебанията на морското ниво. Най-известните съоръжения са познатите класически мареографи, състоящи се от кладенец на брега, свързан като скачен съд с морската вода. В кладенеца е монтиран **поплавък**, свързан с пишещо

съоръжение, което осигурява непрекъснат запис на промяната на нивото в кладенеца. Такъв тип (A.Ott-Kempten, по данни на НИГГГ) са съществуващите в България четири мареографни станции, 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 непрекъснато 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 конкретния случай при изграждането на мареографната станция в Антарктика след детайлно обсъждане стана ясно, че първите два начина за запис на информация за 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 заледряване. 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 биха допуснали 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”, с номер на сертификат за калибриране 51604 от 7.11.2017 г от фирмата производител, и проследим по съответните стандарти на UKAS.

При изграждане на мареографни станции са налице много технически трудности, тъй като се налага да се работи както на сушата, така и във водна среда. Когато този процес се извършва в суровите условия на Антарктика, тези трудности нарастват в пъти. Самото пренасяне на апаратурата на такова огромно разстояние, през летища, пристанища и различни превозни средства е нелека задача. След доставянето на апаратурата до БАБ и продължителния процес на приваждане на базата в използваем вид, се пристъпи към

избор на подходящо място за монтаж на мареографния сензор. Много сложна и рискована задача, тъй като трябва да се обходят с гумена лодка тип „Зодиак“ километри брегова ивица, в опасна близост до брега, където ще се търси мястото, и където полузаледените вълни не стихват. Условието са такива, че с един опит не може да се намери оптималното място, налагат се втори, трети път да се обхождат заливчетата, потенциално възможни плитчини и скални откоси. Търси се удовлетворяване на много изисквания, а именно: мястото да позволява монтаж на сензора без водолазна намеса, да бъде максимално защитено 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 трябва да позволява разумен достъп на оператор за обслужване и прехвърляне на данни, което да може да се достига с лека алпийска техника дори и при влошаване на времето (фиг. 4). В действителност комплексно решаване на всички изисквания на този континент трудно може да се постигне.

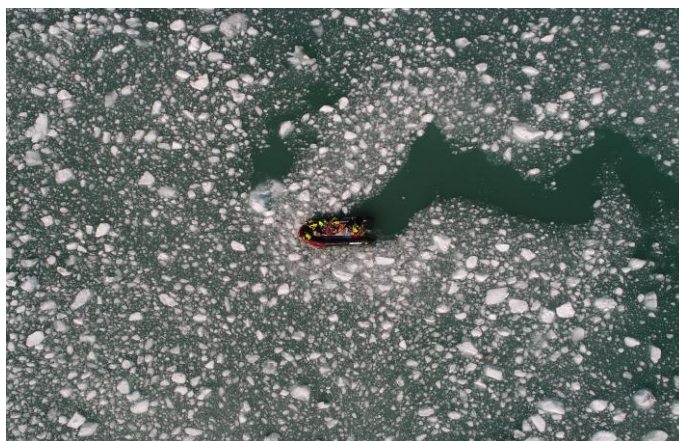


Фиг. 4. Мястото за монтаж на сензора и логера

По тази причина се търси отимално балансиран компромис, при който да се намали риска от произшествия с хората, повреда или загуба на апаратурата, както и разместване на сензора. След избора на няколко предполагаеми места, се започна с обход по скалите над брега с оглед по-добрата видимост от височина за детайли при подходите и укрепването на станцията. По този начин до окончателното решение за място на монтаж се достигна след повече от 10 дни, имайки предвид, че метеорологичните условия не са благоприятни за външна работа всеки ден.

Следващата стъпка беше да се подготви 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 прибоят, както и дрейфащи 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 100 килограма метална конструкция до набелязаното място. Както беше споменато по-горе, всяко влизане в океана в акваториите на полярните бази се осъществява с гумени лодки, придвижвайки се в полузамръзнала ледена каша (фиг. 5).



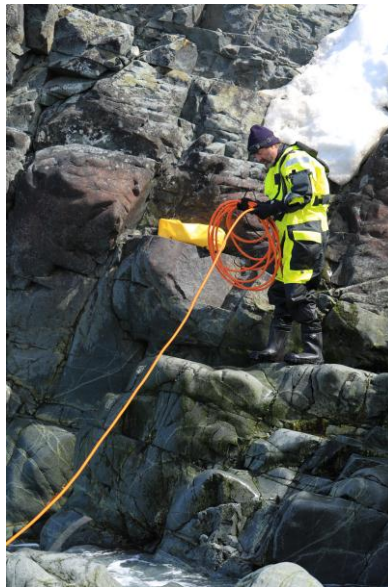
Фиг. 5. Придвижване в ледената супа

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. Не трябва да се допуска срязване на лодките, тъй като температурата на океана варира между -1.5 и 1.0° C и престоят на човек във водата е ограничен до минути. А какво представлява този процес, като допълнително върху бордовете на лодката се придържа на ръка много тежка 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 никакви усложнения (фиг. 6), като дори закрепването на конструкцията на дъното беше наблюдавана непосредствено с маска под водата.



Фиг. 6. Транспортиране и монтаж на подводния сензор

Финалната част беше укрепване на свързващия кабел към скалните пукнатини и пускане в действие на логера. За целта с помощта на алпинист кабелът беше привързан към скалата с метално въже и клинове, а за логера се приспособи малка скална площадка с размерите на таблет, на която да може да се постави лаптоп при прехвърляне на данни или настройване на параметрите на запис (фиг. 7).



Фиг. 7. Мястото на укрепване на логера

След всички перипетии 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.

Общо количеството записи от 45-дневния пробен период на работа е 4290 при фиксиран режим на запис B4. Мареографният сензор „Tidemaster” осигурява при него запис на всеки 15 минути в продължение на 40 секунди. По този начин се премахва влиянието на динамичното състояние на водната повърхност, а в края на периода се осреднява една стойност, която остава в записите за този момент. Изчислява се и средната квадратна грешка 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

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаването на българската мареографна станция в Антарктически води е едно уникално техническо постижение както в дейността 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 на българските полярници доказва, 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. Анализирането на събираните данни ще бъде верен количествен показател за глобалните климатични промени, което следва да заеме приоритетно място в ангажиментите на човека за опазване живота на своята родна планета.

Издавам благодарност на всички колеги от XXVI-та Българска антарктическа експедиция (2017/18 г), които безрезервно помогнаха за просъществуването на Първата българска мареографна станция в Антарктика.

ЛИТЕРАТУРА

<https://www.valeport.co.uk/Products/Tide-Gauges/Tide-Gauge-Product-Details>

Автор:

Доц. д-р инж. Борислав Александров,
УАСГ, София, бул. „Хр. Смирненски” 1,
катедра „Геодезия и геоинформатика”,
Български антарктически институт
e-mail: alexandrov_b@abv.bg