

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СРЕДНО МОРСКО НИВО В АКВАТОРИЯТА НА БЪЛГАРСКАТА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА ЧРЕЗ НИСКОЧЕСТОТНИ ФИЛТРИ

Доц. д-р инж. Борислав Александров УАСГ,

Български антарктически институт

SUMMARY

Sea level is one of the most important characteristics of the world's oceans. A dynamic environment that never rests even for short periods, and knowledge of which is of paramount importance for all the people. This has necessitated, since ancient times, the observation of ocean-level behavior, with its continuous and cyclical fluctuations, and the search for ways to quantify it. As a consequence of this scientific and practical task, more modern ways for accurate, continuous and automated collection of information about the level around the world are emerging. Analysis of the joint data allows to build and maintain a unified system for permanent monitoring of the sea level worldwide, as well as for the trends in its dynamics.

The article discusses several options for calculating the mean daily sea level using low-frequency data filters of the tide gauge station installed in the aquatory of the South Bay on Livingston Island, Antarctica.

Key words: sea level, Antarctica, climate changes

РЕЗЮМЕ

Морското ниво е една от най-важните характеристики на Световния океан. Динамична среда, която никога не изпада в покой дори и за кратки периоди, и познаването на която е от водещо значение за живота на хората. Това е наложило от древни времена да се наблюдава поведението на океанското ниво, с неговите непрекъснати и циклични колебания и да се търсят начини за неговото количествено определяне. Като следствие на тази научно-практическа задача се появяват и все по-съвременни начини за точно, непрекъснато и автоматизирано събиране на информация за нивото по целия свят. Анализирани съвместните данни позволява да се изгради и поддържа единна система за перманентно проследяване на морското ниво в световен мащаб, както и за тенденциите в неговата динамика.

Статията разглежда няколко варианта за изчисляване на среднодневно морско ниво с помощта на нискочестотни филтри от данни на мареографната станция, монтирана в акваторията на Южния залив на о-в Ливингстън, Антарктика.

Ключови думи: морско ниво, Антарктика, климатични промени

1. УВОД

Морското ниво в глобален аспект е качествен показател за състоянието на климатичната система на Земята, обхващаща както океана, така и криосферата. То може да се разглежда като важен индикатор за това, което се случва с климата в днешни дни, а и какво би могло да се случив в бъдеще. В днешно време е доказано недвусмислено, че нивата на Световния океан и на сушата се намират в постоянна динамика. Докато при сушата като основна причина се определят главно тектонични процеси и промяна на ледниковото покритие, то за останалата, повече от 2/3 повърхност на планетата, това се обяснява с изменение на общия обем на водата и промяната в океанските течения. От научна гледна точка приливните изменения и общата динамика на водното ниво оказват голямо влияние на редица биологически и геоложки процеси. Най-осезаеми са посочените процеси в крайбрежните зони, където по начало е концентрирана голямата част от населението. Изследванията на климата на Земята придобиват все по-значителна тежест и вниманието на хората се ангажира с тази актуална проблематика. В цивилизования свят въпросите, свързани с изменението на средното морско ниво, заемат водещо място в научните изследвания като основен фактор и индикатор за глобалните климатични промени и съпътстващите ги природни процеси. Такива са например топенето на ледниците, топлинното разширение на океана, мощните океански течения с техния пренос на водни маси от тропиците към полярните области [2]. Дългосрочните промени в глобалното средно морско ниво (GMSL) се дължат предимно на три процеса:

- *ледниково топене* – от затоплящата се атмосфера и океана, планинската ледникова покривка се топи и така добавя сладка вода в океана;
- *термично разширение* – океанската вода се разширява от поглъщане на приетата топлина, а това води до повишаване на морското ниво;
- *съхранение на континентална вода* – водата, която се отстранява от сушата или сезадържа на нея може да доведе до нетна промяна на общото количество вода в океана.

2. МАРЕОГРАФНИТЕ СТАНЦИИ И КОЛЕБАНИЯТА НА МОРСКОТО НИВО

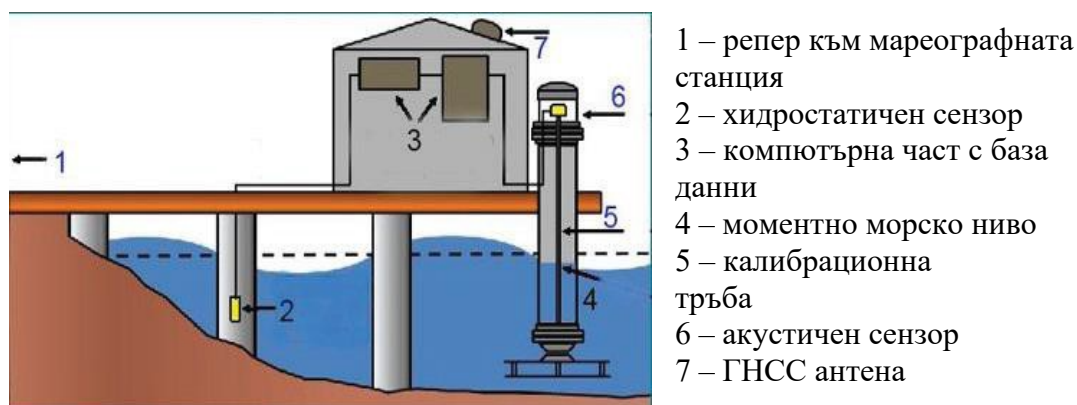
Мареографните станции изпълняват основна роля относно познанията за Световния океан в научен и в научно-приложен аспект. Единствено от съвместните изследвания на спътниковата алтиметрия в глобален аспект и мареографните измервания, може да се говори за достоверна информация относно колебанията в морското ниво по цялата планета. То се формира от различни сили, въздействащи на водните маси, и никога не изпада в покой, самите те не са еднородни по своя физико-химичен състав, а освен това и наличието на геодинамични и геотермални явления в подкоровата част на планетата, правят изучаването на цялостния облик на океана една сложна, мултидисциплинарна природна наука с особена значимост за хората. С нарастване на местата с непосредствено изследване на океанското ниво се детайлизира все повече комплексната картина на нивото в глобален мащаб, както и следствията от това, в актуалните насоки на изучаване на глобалните климатични промени.

При изследване динамиката на морско ниво се изчисляват **среднодневни, средномесечни, годишни и многогодишни** стойности.

Според характера на задачата, която трябва да се реши с помощта на средно морско ниво, се правят и съответните изчисления на записаните за желанния период

стойности. Ако целта е да се изследва въобще динамиката на океана, а резултатите да се използват за изясняване на научни проблеми и да се обменят с други заинтересовани страни, то тогава следва да има продължителни записи на нивото, повече от една година. Така могат да се определят в детайли голям брой приливни съставящи, и то с необходимата точност и надеждност. За геодезически цели, и по-точно за дефиниране на височинна система, както и за представителни оценки на климатичните промени, следва да се разполага с времеви ред от записи на нивото за период, непо-малък от 19 години.

Съвременните мареографни станции (фиг. 1) се изграждат като комплексни инженерно-технически съоръжения с най-високотехнологична апаратура [5]. Строителството им в близост до брега включва сложни конструкции, сериозен финансов ресурс, както и опитен оперативен персонал за обслужване на всички модули. Почти всички изброени фактори са трудно постижими в антарктическите води, оскъпяват се многократно, а за строителството там има изключително строги правила и екологични изисквания.



Фиг. 1. Вид на съвременните мареографни станции

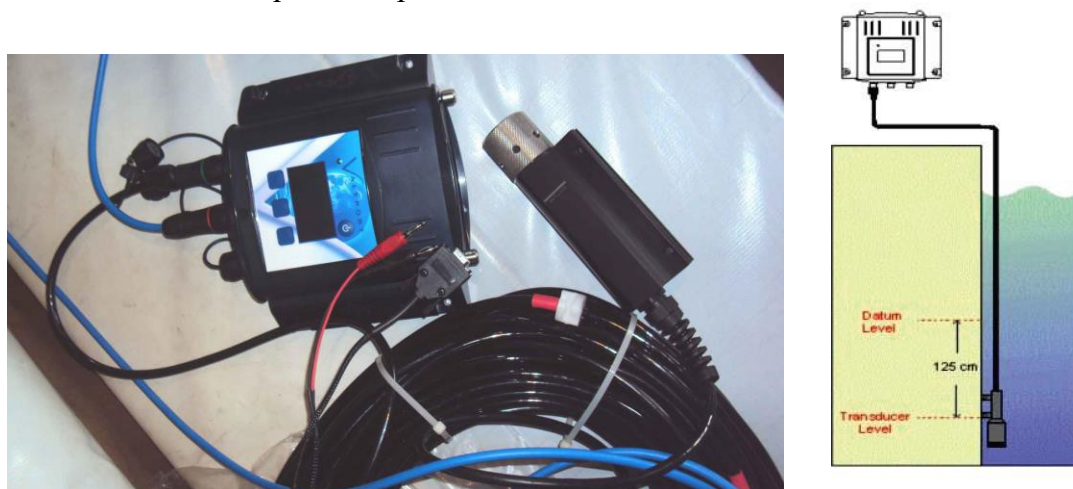
Когато се разглежда в практически аспект, информацията за морското ниво по време на експедициите в Антарктика, може да се използват приближения, тъй като ниските и високи нива на брега пред БАБ влияят най-вече на експлоатацията на лодките и логистичното осигуряване на полярниците. Достатъчно е да се знаят моментите на висока и ниска вода, с приблизителната стойност на прилива, за да бъдат осигурени безопасното обслужване и навигация на плавателните средства.

3. БЪЛГАРСКИЯТ МАРЕОГРАФ НА О-В ЛИВИНГСТЪН

Българската мареографна станция е монтирана в Южния залив на о-в Ливингстън по време на 27-та антарктическа експедиция, през 2019 г. За конкретния случай при нейното изграждане, след обстойно проучване се изясни, че принципът на хидростатичният сензор е най-подходящ [1]. Прекалено суровите атмосферни условия на мястото не позволяват изграждането на класически мареограф, тъй като осигуряването на незамръзващ кладенец би било невъзможно или необосновано трудно, особено за зимния период в Антарктика. От друга страна технологичният процес на строителството на такава

съоръжение би породило екологични затруднения, свързани с въздействието на околната среда, както и огромен финансов ресурс. За целите на Българската антарктическа програма е избран хидростатичен сензор на фирмата „VALEPORT”, тип „Tidemaster”, калибриран на 7.11.2017 г от фирмата производител, и проследим по съответните стандарти на UKAS (фиг. 2).

Този тип сензори са на принципа на хидростатичното налягане и се монтират под повърхността на водата. 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. 2. Хидростатичен сензор на фирмата „VALEPORT”, тип „Tidemaster” и принцип на действие

В първите дни на 28-та експедиция, непосредствено след дебаркиране на екипа през октомври 2019 г, са трансферирани данните. Установени са над 9 месеца записи, от януари до октомври, с две прекъсвания от няколко часа, което прави реално непрекъснатия запис почти седем месеца. 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. След прехвърляне на всички данни е установено, че след първият зимен период на работа, мареографната станция съдържа около 26 000 записа на колебанията на морското ниво.

От получените данни са определени среднодневни нива, а чрез тях са изведени средномесечни според стандартите на Международната хидрографска организация (ИНО). Там е указано, че за средномесечно морско ниво се обработват всички записи, които трябва да бъдат през не по-малко от 1 час. Необходимо е да няма прекъсвания на записите за повече от 3 часа, а ако има такова събитие, то трябва тези данни да се допълнят интерполационно. В случай на по-голяма пауза се взимат данни от съседни мареографни станции. При изчисляване на средномесечните нива не трябва да се допускат прекъсвания, по-големи от 3 последователни дни. Записите от о-в Ливингстън са през 15 минути, като интервалът е съобразен както с възможностите за енергийно захранване, така и с наличната памет в логера. Премахнати са неинформативните стойности и такива, чийто стандарт надхвърля три пъти средната грешка. Изчислени са средни нива за всички възможни цели месеци, от април до септември.

4. ФИЛТРИ ЗА ПРИЛИВНИТЕ ФЛУКТУАЦИИ

В обработката на данни за динамиката на океанската повърхност се използват нискочестотни филтри, отчитащи приливните флукутации и приложими за почасови записи. Целта им е да бъде премахнато влиянието на приливната енергия при денонощните и по-високите честотни колебания на нивото. Филтрите са наречени така според честотата на събитията, които позволяват да преминат през тях, в случая да се регистрират, и същевременно не допускат останалите. При обработката на записите на морското ниво, те се филтрират през един час, като така се гарантира достоверност на информацията за наблюдаваната физическа величина.

За определяне на среднодневно ниво могат да се използват филтри на Doodson, Godin, Demerliac, Munk “Tide Killer”, както и линеен 25 позиционен филтър [3]. За всеки филтър се използват различен брой записи на морското ниво, обхващащи симетрично определен момент, за който се отнасят изчисленията. За коректни резултати е необходимо да се използват записи от мареографите през един час. Посочените филтри са показани с коефициентите си в таблица 1.

Филтърът на **Doodson** [4]. използва 39 записа, симетрични относно един централен момент, и се прилага за всеки ден, като дава осреднена стойност за нивото. Коефициентите на филтъра за $1 < t < 19$ приемат вида:

$$F(t) = (2,1,1,2,0,1,1,0,2,0,1,1,0,1,0,0,1,0,1)$$

Филтърът е симетричен и $F(t) = F(-t)$, което означава, че се взимат записи, преди и след изчислителния момент, и се коригират с посочените коефициенти. Така например, ако се определя средната стойност на нивото за датата 17 април, е необходимо да направим извадка на почасовите записи от 17 ч на 16 април, до 07 ч на 18 април, което прави общо 39 стойности. Подредени в часова последователност, отчетените дълбочини се умножават с коефициентите на симетричния филтър и всички произведения се сумират. Полученото се дели на 30, а резултатът е средното ниво към избрания централен момент – 12 ч на 17 април.

Друг филтър с подобно предназначение е на **Godin** [4]. В този случай се използват 35 коефициента преди, и също толкова след избрания основен момент за изчисление на нивото. Съответните произведения на отчетените нива с коефициентите се събират и сумата се разделя на 14400. Получената стойност е средното ниво. Разликата с предишния филтър е, че се взимат данните от целия предходен и следващия ден. Така общо се анализират 71 записа за 72 часа период.

При филтърът на **Demerliac**, коефициентите отново отразяват тридневен почасов периодна запис, като стойностите им са различни, а получената сума се дели на 24576.

За сравнение е използван и филтър **Munk “Tide Killer”**. При него обработката включва общо 49 симетрично разположени около един централен момент стойности на отчетеното почасово ниво. По подобен начин всяка от тях се умножава по нивото, а общата им сума се дели на 10^7 .

Най-лесен за изчисления е **линейният филтър** с 25 измервания, при който се подбират данни от 0 ч на съответната дата, до 0 ч включително, на следващата, а всичките

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

София, 01 – 03 ноември 2023 г.

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

Sofia, 01 – 03 November 2023

коэффициенти са единици.

От сравняването на посочените филтри следва да бъде изчислено еднакво ниво за конкретен ден. След установяване на тази пълна идентичност, се счита, че за други желани периоди за изчисление може да бъде използван който и да е от тях.

За данните, записани от мареографа на о-в Ливингстън, са направени изчисления за **среднодневно морско ниво**, с филтър на Doodson, а впоследствие е направено сравнение и състаналите посочени начини за обработка. Използвани са записи на нивото за 1, 2 и 3 април 2019 година, а целта е изчисляване на средно ниво за 2 април, като за базов момент е избран 12:00 часа. Включени са 39 записа, на всеки кръгъл час, с начало 16 ч на 1.04 и край 06 ч на 3.04 (фиг.1). Изчисленото средно морско ниво за 2 април с посочения филтър е **1.50 м**. За този период има четири високи води и три ниски.

По подобен начин са представени и резултатите за среднодневно ниво на 2 април, 12:00ч, местно време, изчислено чрез различни нискочестотни филтри – фигури 3, 4, 5, 6 и 7.

№ по ред	Линсен филтър за 25 отчета	Doodson (30)	Godin (14400)	Demerliac (24576)	Munk “Tide Killer” (10 ⁷)
0	1	0	444	768	395287
1	1	2	443	766	386839
2	1	1	440	762	370094
3	1	1	435	752	354118
4	1	2	428	738	338603
5	1	0	419	726	325633
6	1	1	408	704	314959
7	1	1	395	678	300054
8	1	0	380	658	278167
9	1	2	363	624	251492
10	1	0	344	586	234033
11	1	1	323	558	219260
12	1	1	300	512	208050
13		0	276	465	195518
14		1	253	435	180727
15		0	231	392	165525
16		0	210	351	146225
17		1	190	325	122665
18		0	171	288	101603
19		1	153	253	85349
20			136	231	72261
21			120	200	60772
22			105	171	47028
23			91	153	30073
24			78	128	13307
25			66	105	
26			55	91	
27			45	72	
28			36	55	
29			28	45	
30			21	32	
31			15	21	
32			10	15	
33			6	8	

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

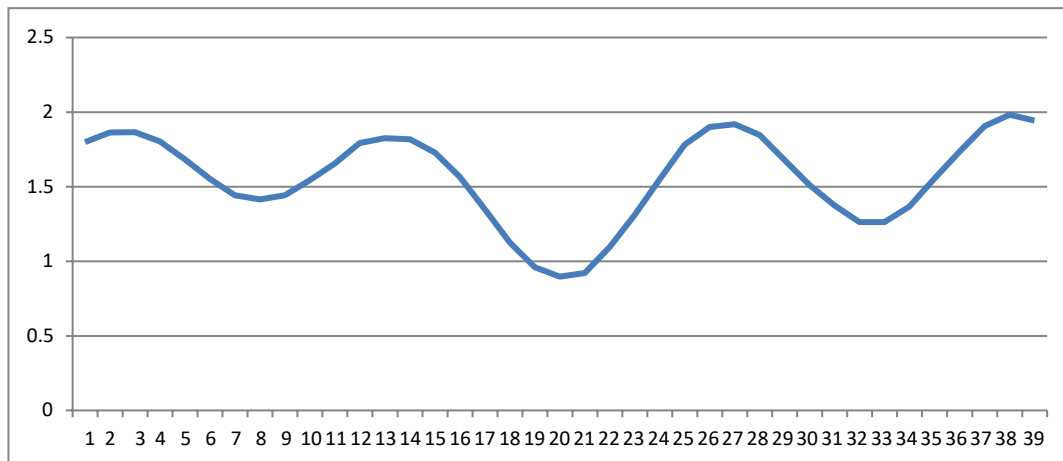
София, 01 – 03 ноември 2023 г.

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

Sofia, 01 – 03 November 2023

34			3	3	
35			1	1	

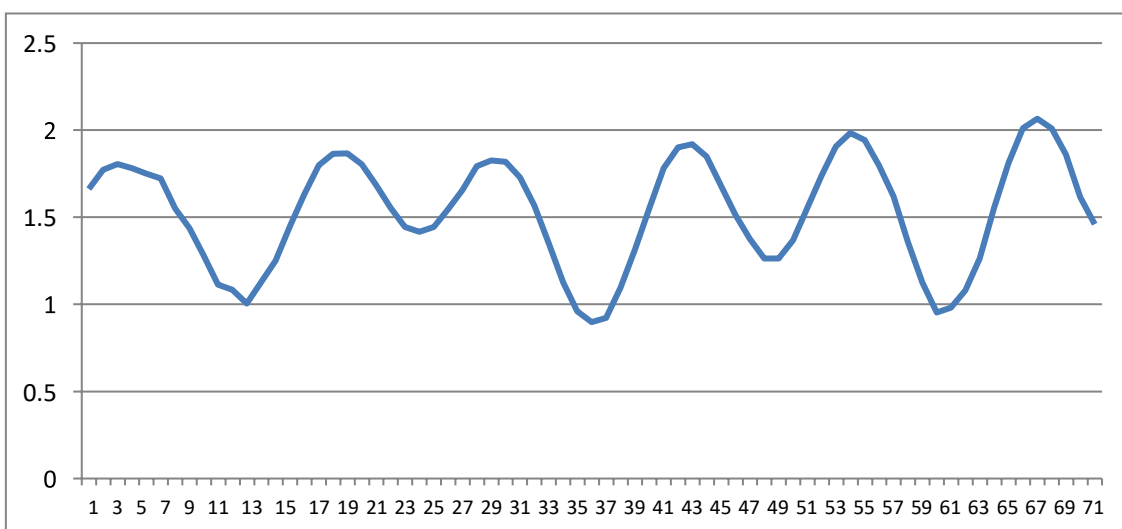
Таблица 1. Коефициенти на различни филтри за изчисляване на среднодневно морско ниво



Фиг. 3. Определяне на среднодневно морско ниво с филтър на **Doodson**
(2 април 2019 година)

Отново за същата дата, но вече с филтър на Demerliac, стойността на среднодневното ниво е **1.51 м**, като са използвани 71 стойности през един час, в интервала 1.04, 01:00 ч до 3.04 23:00 ч. Графиката е на фиг. 4.

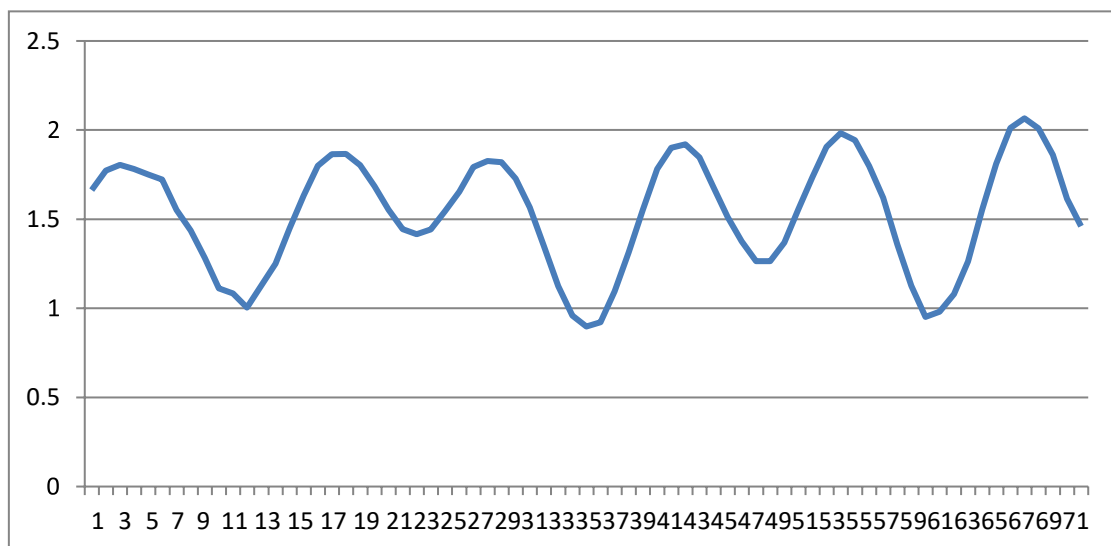
Следващият използван за сравнение филтър е Godin. Броят на записите и периодът на отчитане е както при Demerliac, отново през един час (фиг. 5). Изчисленото средно ниво е **1.51 м**.



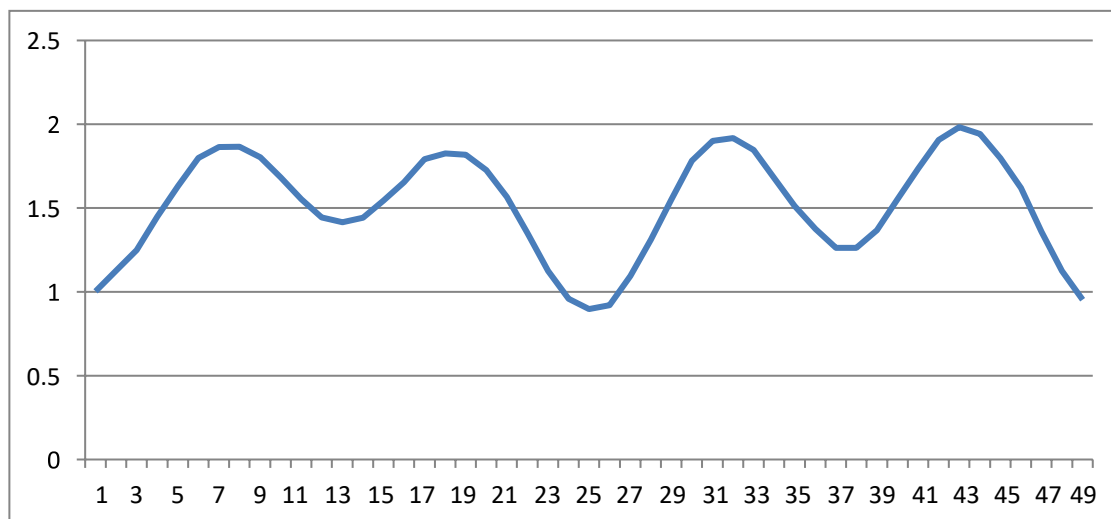
Фиг. 4. Определяне на среднодневно морско ниво с филтър на **Demerliac**
(2 април 2019 година)

Последният използван филтър е Munk “Tide Killer”. На базата на 49 записа през един час, в интервала 1.04, 12:00 ч до 3.04., 12:00 ч е получено среднодневно ниво за 2 април **1.50 м** (фиг. 6).

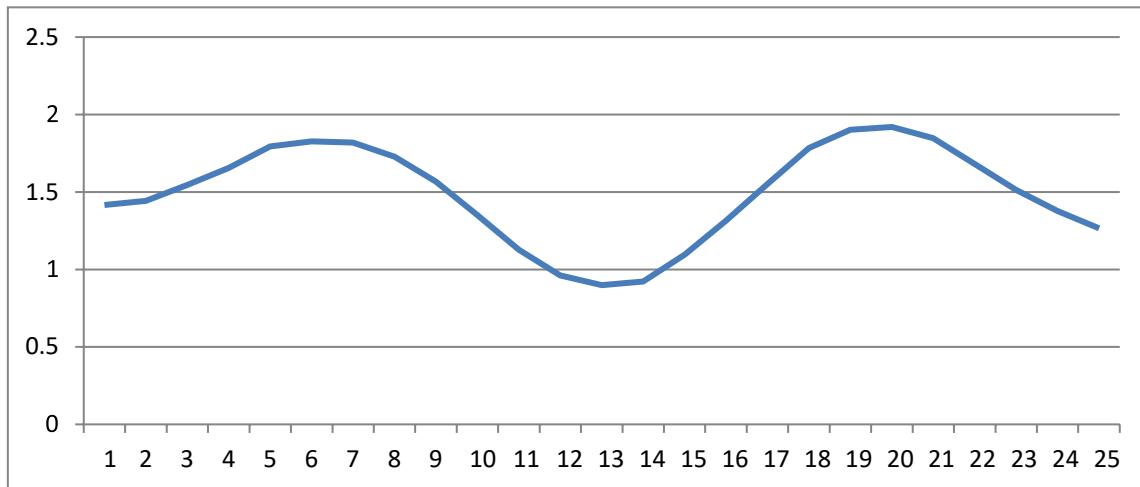
От направените сравнения се вижда, че разликата в среднодневното ниво, определено по 4 различни филтъра се различава до 1 см.



Фиг. 5. Определяне на среднодневно морско ниво с филтър на **Godin**
(2 април 2019 година)



Фиг. 6. Определяне на среднодневно морско ниво с филтър на **Munk “Tide Killer”**
(2 април 2019 година)



Фиг. 7. Определяне на средnodневно морско ниво с **линеен филтър**
(2 април 2019 година)

От всички посочени филтри най-опростен вид има линейният, който използва 25 записа, с начало 0:00 ч на датата, до 0:00 ч на следващата дата, като коефициентите за умножение са единици (табл. 1). За 2 април 2019 с този филтър е определено средnodневно ниво от **1.49 м**, което не показва голямо отклонение от представените по-горе сложни изчисления. На фиг. 7 е графиката на линейния филтър.

№ по ред	Име на филтър	Брой коефициенти	Брой записи на нивото	Средно ниво за 2 април (m)
1	Doodson	20	39	1.50
2	Demerliac	36	71	1.51
3	Godin	36	71	1.51
4	Munk “Tide Killer”	25	49	1.50
5	Линеен филтър	13	25	1.49

Таблица 2. Резултати от изчисленията на морското ниво за 2 април 2019 г с различните филтри

В таблица 2 са приложени резултатите от изчисленията на средnodневно морско ниво за 2 април 2019 г, с използване на петте изброени нискочестотни филтъра. След като е установено от сравнението на различните филтри, че резултатите се съгласуват еднозначно, са изчислени и средните морски нива за отделни дни, седмично и месечно, поотделно за вариациите на лунните фази – за новолунията, квадратурите (първа и последна четвърт) и пълнолунията. Приложените филтри доказват, че за тези цели могат да се използват линейните филтри, а разликите в отделните методи не надхвърля повече от 1 см, което е в границите на точността на измерване и напълно задоволява целта на изследванията.

По посочения начин могат да се изчислят среднодневните нива за целия период на записаните данни. След това от получените среднодневни стойности се определят и средните месечни нива, а при наличие на дванадесет пълни месеца може да се изведе и средно ниво за годината. И както вече беше споменато, за точно за дефиниране на височинна система, или за проследяване на климатичните промени, следва да се разполага с времеви ред от записи на нивото за период, не по-малък от 19 години.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научният анализ относно измененията на морското ниво следва да се обосновава с дългопериодични наблюдения на колебанията на нивото, но всяко отделно измерване като частот редицата, може да се разглежда като сума на три компонента. По този начин средното морско ниво, заедно с приливите, и добавено метеорологичното въздействие, ни дават моментното средно морско ниво. Това означава, че за правилното определяне на нивото трябва да се определят посочените съставлящи. Средното морско ниво представлява ред от измерени стойности на морското ниво за период, не по-малък от една година. Когато се предполага използването му за геодезически цели, т.е. извеждане на височинна система, този период трябва да бъде значително по-дълъг, а именно 19 години.

От монтираната през 2017 година мареографна станция са налични полезни данни, с чиято обработка могат да се направят първоначални оценки за динамиката на океанското ниво. Най-важно е, че е поставено началото на един бъдещ ред от целогодишни измервания, които ще бъдат от полза както за прогнозиране на приливите и отливите в Южния залив, но и ще позволят участието на българските учени в международните антарктически изследвания, свързани със Световния океан и глобалните климатични промени. Съвместната обработка и анализ на информацията от мареографната станция, физико-химичните параметри на водата, метеорологичните записи и перманентната ГНСС станция от 2019 г, могат да осигурят комплексна база от данни за състоянието на океана, сушата и обкръжаващият ги климат в района на БАБ и Южните Шетландски острови, което може да допринесе за опознаването на особеностите на Антарктическият континент.

6. ЛИТЕРАТУРА:

1. Български антарктически институт - <https://bai-bg.weebly.com>
2. Георгиев, Г., Морска хидрометеорология, В., Стено, 2000.
3. Руководство по измерению уровня моря и интерпретации результатов, Междуправительственная океанографическая комиссия, Юнеско 1985
4. Simon, B., Coastal Tides, Monaco, 2013
5. <https://www.psmsl.org/>

Адрес на автора:

Борислав Александров,
e-mail: alexandrov_b@abv.bg