

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 28.05.2018 г.

МОНИТОРИНГ НА НИВОТО НА ЧЕРНО МОРЕ В ОСНОВНИТЕ МАРЕОГРАФНИ СТАНЦИИ ВАРНА И БУРГАС

И. Георгиев¹, А. Иванов²

Ключови думи: мареографни измервания, мониторинг на морското ниво, вертикални движения на земната кора, средно морско ниво, веково изменение

РЕЗЮМЕ

Мрежите от мареографни станции служат за непрекъсната регистрация и мониторинг на морското ниво. Освен научните и приложни изследвания и задачи (определяне на нулата на височинната система, индикация за климатичните промени), информацията за морското ниво играе важна роля за корабоплаването в крайбрежните райони, при строителството на пристанищни съоръжения и при определянето и контрола на тяхното височинно положение.

Началото на мареографните наблюдения в България е поставено през 1928 г., когато влизат в действие основните мареографни станции във Варна и Бургас. Статията описва възстановяването на мареографните измервания в основните станции във Варна и Бургас през 2013 година и замяната на самопишещите мареографи с радарна мареографна апаратура. Определени са вертикалните движения на земната кора в мареографните станции от многократни нивелачни измервания. Извършена е обработка и анализ на месечни регистрации на морското ниво за периода 1928 – 2017 година по метода на единичния спектър и по метода на най-малките квадрати. Получени са оценки за средното морско ниво, вековото изменение (тренд) и амплитуди и фази на сезонни и дългопериодични вариации на морското ниво.

¹ Иван Георгиев, проф. дтн, Национален институт по геофизика, геодезия и география при БАН, ул. „Акад. Г. Бончев”, бл. 3, 1113 София, e-mail: ivan@bas.bg

² Антон Иванов, инж. д-р, Национален институт по геофизика, геодезия и география при БАН, ул. „Акад. Г. Бончев”, бл. 3, 1113 София, e-mail: anton_iv66@abv.bg

1. Въведение

Мрежите от мареографни станции служат за непрекъснато наблюдение и мониторинг на морското ниво. Наблюденията на морското ниво, неговото изменение и вариации във времето имат важно значение и за научните изследвания, и за практиката. Информацията за морското ниво играе важна роля за корабоплаването в крайбрежните райони, при строителството на пристанищни съоръжения и при определяне и контрол на тяхното височинно положение. Изучаването на колебанията на морското ниво е от особена важност при прогнозиране на наводнения и оценка на климатичните промени.

Морското ниво има особено значение за геодезията, тъй като средното морско ниво, определено за дълъг период от време, е служило като изходна повърхнина при изчислението на височините на точките от земната повърхност и дълбочините на моретата и океаните. Въпреки че съвременните височинни системи се дефинират чрез геопотенциални коти, средното морско ниво продължава да играе важна роля в научните изследвания и практиката, особено във връзка с дефинирането и реализацията на Унифицирана глобална височинна референтна система UGVRS (Unified Global Vertical Reference System).

По долу, под „мареографни станции” се имат предвид основните мареографни станции от Националната мареографна мрежа във Варна и Бургас¹.

2. Кратък исторически преглед на мареографните измервания в България

Началото на мареографните наблюдения у нас е поставено през 1928 година, когато влизат в действие основните мареографни станции във Варна и Бургас. Те са построени във връзка със завършването, през 1930 година, на Главната прецизна нивелация на България и необходимостта от определяне на изходна отчетна повърхност („нула”) на изчислените височини на реперите. От регистрациите на мареографа във Варна, за периода юли 1928 г. – януари 1931 г., е определено средното морско ниво, т.нар. нормална нула, съответстваща на 68,17 cm по мареографната лата. По този начин е дефинирана т.нар. Черноморска височинна система.

Мареографна станция Варна

Намира се във Военноморската база срещу Морската гара. Представлява малка постройка от около 6 квадратни метра, построена на кея. В нея има изграден кладенец, директно свързан с морето посредством тръба с дължина около 5 m. Мареографният апарат е разположен над кладенеца, в който е монтирана метална лата с дължина 2,10 m за визуални отчети на морското ниво.

Мареографна станция Бургас

Станцията се намира на територията на пристанище Бургас. Тя е изпълнявала контролна функция по отношение на станцията във Варна. Сградата е с площ около 12 m². Мареографният апарат е разположен над кладенец. Мареографната лата за визуални отчети е във външен кладенец, който е на три метра от морето. Общата тръбна връзка море – външен кладенец – вътрешен кладенец, е около 20 m. До 1974 г. връзката между външния и вътрешния кладенец се е осъществявала чрез сифонна система и изпомпване на водата.

¹ Мареографните станции в Иракли и Ахтопол, поради технически причини, не са в работен режим

2.1. Мареографна апаратура 1928 – 2013 година

Мареографните апарати в станциите Варна и Бургас са от механичен тип през периода 1928 – 2013 година, марка „А.Отт” Kempten, Германия. Един мареограф тип „А. Отт” Kempten се състои от:

- цилиндър, върху който се поставя мареографната диаграма;
- носач с писец;
- часовник, който завърта цилиндъра на един оборот за 24 часа;
- предавателен механизъм – система от зъбни колела и 2 линеала – подвижен и неподвижен;
- поплавок, който предава колебанията на нивото на писеца, който от своя страна ги регистрира на диаграмата.

Мареографната диаграма е със седмична смяна. Мащабът на записа е 1:5. Морското ниво се изобразява чрез непрекъсната вълнообразна линия върху диаграмата.

2.2. Нивелачни измервания за определяне на вертикалните движения на земната кора в мареографните станции

За контролиране на височинното положение на мареографните лати и апарати, при мареографните станции са създадени специални контролни нивелачни полигони, които се измерват ежегодно с прецизна нивелация I клас.

Тези полигони са изградени и измервани от бившия Географски институт при Министерство на отбраната и Военно-топографската служба (ВТС), след 1957 г. се поддържат от „Геопланпроект”, от 1968 г. – от НИГиФ, а от 2013 г. измерванията се извършват от НИГГГ БАН.

При обработката и анализа на измерванията всички мареографни регистрации се коригират с потъването на мареографната лата, за да бъдат отделени вертикалните движения от измененията на морското ниво.

2.2.1. Нивелачни измервания на мареографна станция Варна



Фиг. 1. Потъване на мареографната лата в мареографна станция Варна за периода 1928 – 2015 година

Контролният нивелачен полигон се измерва от 1928 г. Първоначално е включвал три основни репера, намиращи се на около 330 m от мареографната станция. Един от тях през последните години е унищожен. Главният репер е стенна призма на Флотската казарма, южна фасада. Тези репери се свързват с мареографната лата и мареографния апарат.

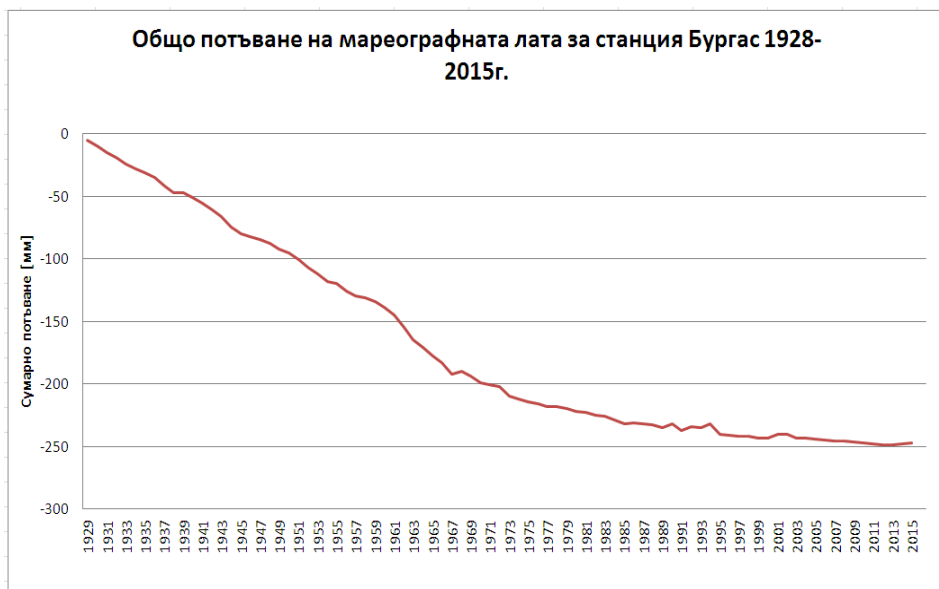
Контролният полигон до 1983 г. е с дължина 28 km и връзка с Вековния нивелачен репер (ВНР) 28, намиращ се на разклона за с. Тополи. След това измерването е съкратено до дължина 7 km и връзка с репера на ДНФ в центъра на Варна. От многократните измервания е установено, че този репер може да се смята за неподвижен по отношение на мареографната станция и изпълнява ролята на изходен репер при определяне на височинното положение на мареографната лата.

На фиг. 1 е показано потъването на мареографната лата в мареографна станция Варна за периода 1928 – 2015 година. От тези измервания се вижда, че латата е подложена на непрекъснато потъване, като за периода 1928 – 2015 година то достига 57,5 cm. Средната стойност на потъването за района на мареографната станция Варна е -7 mm/y.

2.2.2. Нивелачни измервания на мареографна станция Бургас

Контролният нивелачен полигон на станция Бургас се измерва от 1928 г. Първоначално е включвал три репера, намиращи се на около 500 m от мареографната станция. Два от тях през последните години са унищожени. Останал е основният репер – стенна призма на пристанищното управление (сега Митница).

До 1983 г. контролният полигон е с дължина 24 km и връзка с ВНР 63 от Държавната нивелачна мрежа I клас. След това полигонът е съкратен до дължина 5 km, като преминава през централната част на гр. Бургас.



Фиг. 2. Потъване на мареографната лата в мареографна станция Бургас за периода 1928 – 2015 година

Височинното положение на мареографната станция се контролира чрез нивелачен репер (НР 12) – основния репер в контролния полигон при мареографната станция, на-

миращ се на митницата, южна фасада, тип „стенна призма“. Ходът НР 12 – мареографната лата на механичния мареограф, е с дължина 0,480 km. За контролиране на височинното положение на НР 12 се измерва превишението НР 12 – НР 13, намиращ се на Централна поща, гр. Бургас.

Сумарното потъване на мареографната лата за периода 1928 – 2015 година е 24,8 cm (фиг. 2). Средната стойност на верикалните движения на земната кора, определена от многогодишните нивелачни измервания, е -3 mm/y.

3. Въвеждане в работен режим на основните мареографни станции Варна и Бургас

До 2013 година, за период от няколко години, мареографната апаратура в основните мареографни станции Варна и Бургас не е в постоянен работен режим. Това е основната причина АГКК, НИГГГ и Институтът по океанология (ИО) при БАН да инициират съвместен проект за подновяване и осъвременяване на мониторинга на морското ниво.

През 2013 г. са възстановени измерванията с механичните мареографи в мареографните станции Варна и Бургас, като по този начин е подновен непрекъснатият мониторинг на нивото на Черно море в станциите Варна и Бургас. Въвеждането в експлоатация на механичните мареографи в станциите Варна и Бургас започна в началото на 2013 г. Тъй като самопишещите мареографни апарати тип “А. Ott.” Kempten, са морално и физически остарели (в експлоатация от 1928 г.), въвеждането им в работен режим и функционирането им до края на 2015 г. бе съпътствано от големи трудности. Основните проблеми могат да се обобщат като износване на всички механични части, както и на часовниците, контролиращи измерванията.

Първите регистрации на механичните мареографи, след повторното им въвеждане в експлоатация, бяха съответно:

- за мареографа във Варна – месец март 2013 г.;
- за мареографа в Бургас – месец октомври 2013 г.

В началото на 2013 година в двете станции са инсталирани съвременни радарни мареографи тип Vega Plus (фиг. 3). Данните от радарните мареографи се предават и записват в реално време в база данни. За период от две години радарните мареографни апарати работят съвместно с механичните, за да бъдат контролирани регистрациите и се осигури безпроблемно продължение на дългите временни редове с регистрации на двете станции. През 2014 година е създадено web базирано приложение (<http://niggg.bas.bg/wp-content/uploads/2014/02/mare/text.html>), на което в реално време се визуализира нивото на Черно море в основните мареографни станции Варна и Бургас.

Тъй като в продължение на 10 години, през периода 2003 – 2013 година, не са били извършвани нивелачни измервания за контрол на вертикалните движения на контролните полигони на мареографните станции, през 2013 г. те бяха възобновени, като същевременно започнаха и нивелачни измервания за контрол на стабилността и на радарните мареографи. Нивелачни измервания бяха извършени и през 2015 г.

Всички изброени по-горе дейности по въвеждането в работен режим на мареографните станции от Националната мареографна мрежа фактически доведоха до възстановяване на непрекъснатия мониторинг на нивото на Черно море в двете основни мареографни станции Варна и Бургас.

3.1. Инсталиране на радарна мареографна апаратура

В началото на 2013 година НИГГГ, съвместно с Института по океанология, монтира и въведе в експлоатация радарни мареографи в основните мареографни станции Варна и Бургас.

Монтирани бяха радарни мареографи Vega Plus (фиг. 3).



Фиг. 3. Радарен мареограф тип Vega Plus

Подробна техническа спецификация на радарния мареограф може да бъде намерена на сайта <https://www.vega.com/>. Тук само трябва да се отбележи, че радарният мареограф може да извършва измервания на морското ниво с честота до 10 Hz, а точността на прибора по паспорт е по-малка от 1 cm.

Радарните мареографи са свързани със специализиран сървър в Института по океанология, където данните се записват и съхраняват в база данни. Данни за нивото на Черно море във Варна и Бургас в реално време могат да се получат и на специално разработената web страница на НИГГГ – <http://niggg.bas.bg/wp-content/uploads/2014/02/mare/text.html>.

Първите регистрации на нивото на Черно море с радарните мареографи бяха получени съответно:

- на 5 май 2013 г. във Варна;
- на 28 май 2013 г. в Бургас.

През 2013 година е извършена и прецизна нивелация между мареографните лати и излъчвателите на радарните мареографи и в двете станции. Радарните мареографи са привързани към основните нивелачни репери на мареографните станции, за да се следи тяхното височинно положение и да бъде продължен монорингът на вертикалните движения на земната кора.

4. Корекции на мареографните регистрации заради вертикалните движения на земната кора

За да бъдат коректно анализирани временните редове на мареографните регистрации – средномесечни, дневни или часови, те трябва да бъдат коригирани заради вертикалните движения на земната кора в мареографните станции.

Средната стойност на вертикалните движения на земната кора в мареографните станции, определена от многогодишните нивелачни измервания, е -7 mm/y за Варна и

-3 mm/y за Бургас. Всички мареографни регистрации – месечни, дневни и часови – са коригирани заради вертикалните движения, чрез интерполация, за съответния момент.

5. Попълване на липсващи данни в мареографните регистрации

Пропуски в мареографните регистрации могат да се получат по различни причини, обикновено те са технически. За попълване на пропуските в мареографните регистрации могат да се използват различни методи и схеми.

Обработката и анализът на мареографните регистрации от станциите Варна и Бургас се извършват съгласно препоръките на Междуправителствената океанографска комисия IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), Sea Level Station Monitoring Facility, като за попълване на липсващите данни е приложен методът на единичния спектър SSA (Singular-Spectrum Analysis), [1].

6. Обработка и анализ на мареографните регистрации от станциите Варна и Бургас

6.1. Привеждане на измерванията от механичните и радарните мареографи към единно начало

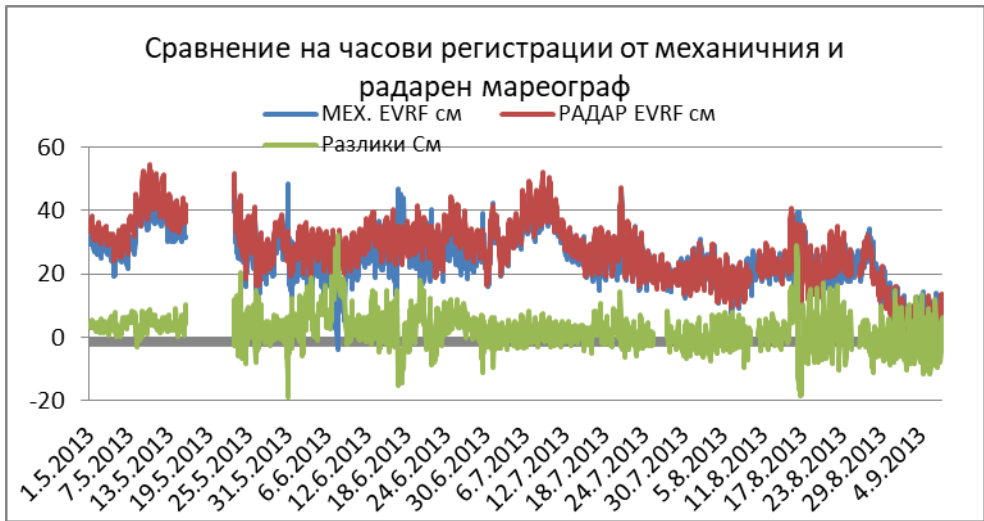
Предварителната обработка на мареографните регистрации включва:

- корекции на мареографните регистрации заради вертикалните движения на земната кора;
- отстраняване на груби грешки.

Всички мареографни регистрации са приведени към единна височинна система, официално приетата в България Европейска височинна система EVRS (European Vertical Reference System), реализация EVRF2007 (European Vertical Reference Frame 2007).

За да могат да бъдат обработвани и анализирани регистрациите от механичните и радарни мареографи, те трябва да бъдат приведени към единно начало. Основна роля при привеждането на измерванията към единно начало играят изградените контролни нивелачни репери и т.нар. основен нивелачен репер на мареографната станция TGBM (Tide Gauge Bench Mark), към който се отнасят регистрациите. Наличието на TGBM е основна препоръка на Перманентната (международна) служба за средното морско ниво PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level). Извършената през 2013 и 2015 година нивелачна връзка между механичните мареографи (мареографните лати), радарния мареограф (излъчвателя на мареографа) и основните репери на станциите на практика решава въпроса със смяната на мареографната апаратура.

Директното сравнение между регистрациите на самопишещите и радарните мареографи позволява да се направи изводът, че дългите временни редове с измервания са успешно продължени. За илюстрация, на фиг. 4 е показано сравнение между часовите регистрации на механичния мареограф (със синьо), радарния мареограф (червено) и разликите между тях (зелено). Резултатът от сравнението е напълно удовлетворителен, като трябва да се отбележи, че малкото стойности със сравнително по-големи разлики се дължат изключително на субективни грешки при отчитане на данните от механичния мареограф!

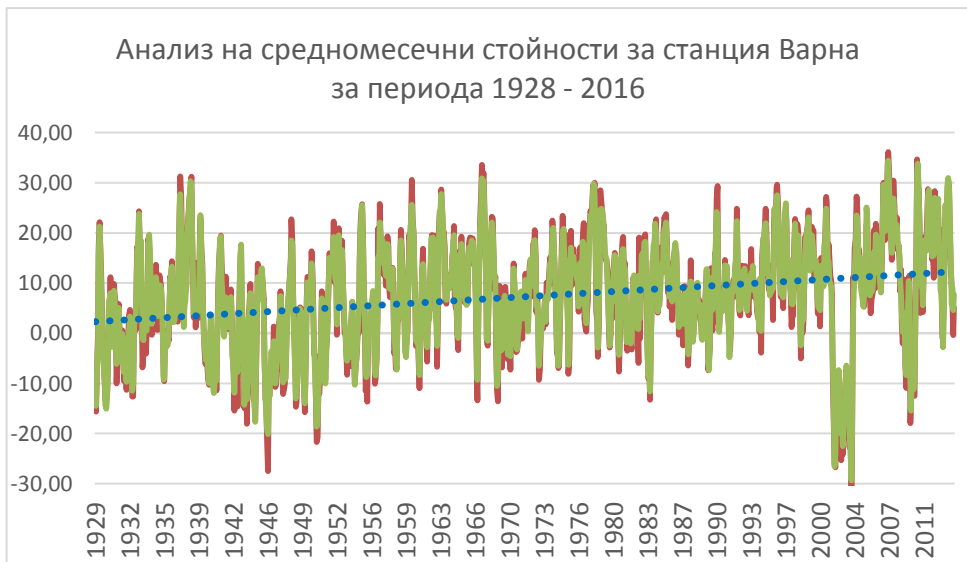


Фиг. 4. Сравнение между часовите регистрации на механичния и радарния мареограф в станция Варна за периода май – септември 2013 година

6.2. Обработка и анализ на мареографни регистрации за периода 1928 – 2016 година

6.2.1. Обработка и анализ на средномесечни стойности на морското ниво в станция Варна

За да бъдат определени трендът и средното морско ниво в мареографните станции, са обработени и анализирани средномесечни стойности на морското ниво за периода 1928 – 2016 година (01.01.2017 г.).

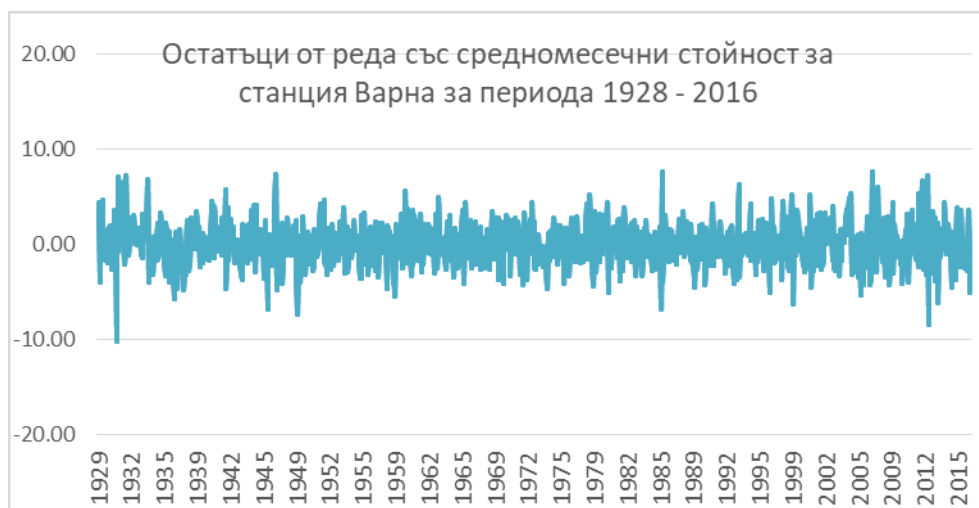


Фиг. 5. Средномесечни стойности и тренд на морското ниво за станция Варна

Данните са анализирани по метода на единичния спектър SSA със софтуера Caterpillar SSA [1]. Временните редове са моделирани, като са оценявани средното морско ниво, неговият тренд, сезонни вариации (годишна и полугодишна) и дългопериодични компоненти, определени като значими след спектрален анализ. Остатъците на реда са изследвани за автокорелация.

За да бъдат контролирани резултатите, временните редове са анализирани и чрез линейно-регресионен модел по МНМК, като са оценявани същите параметри, както и при метода на единичния спектър. При обработката тежестните коефициенти на попълнените стойности са десет пъти по-малки от тези на реално измерените.

На фиг. 5 са показани средномесечните стойности на морското ниво (с червено), моделираният ред (в зелено) и неговият тренд (синьо). На фиг. 6 е показан временният ред с остатъците, средната му стойност е 0,02 cm, със средна квадратна грешка 2,2 cm.



Фиг. 6. Временен ред с остатъците за мареографна станция Варна

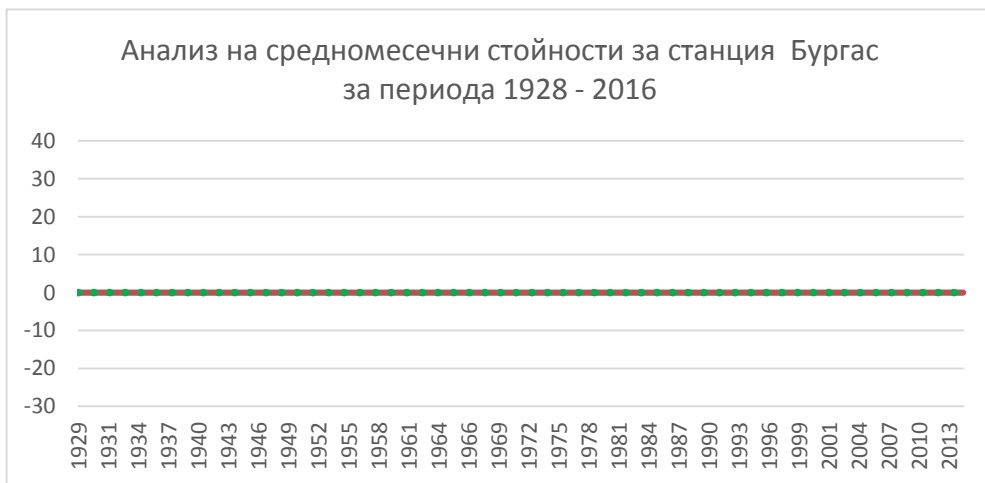
Резултатите от анализа по МНМК са обобщени в табл. 1. Стойностите на средното морско ниво и тренда са съответно 1,9 cm и +1,2 mm/y.

Таблица 1. Резултати от анализа на средномесечни стойности на морското ниво за станция Варна. Дадени са средна стойност на морското ниво в EVRS, тренд, сезонни и дългопериодични компоненти

		[cm]	Средна грешка [cm]		Средна грешка [cm]		
Средна стойност		1,90	0,52				
Тренд		0,12	0,01				
Честота	Период [месеци]	Косинусов коеф. [cm]	Средна грешка [cm]	Синусов коеф. [cm]	Средна грешка [cm]	Амплитуди [cm]	Фази [о]
0,08333	12	-4,15	0,36	5,31	0,36	6,74	308,01
0,16667	6	1,61	0,36	-0,76	0,36	1,78	154,55
0,00448	223,2	-1,46	0,36	2,50	0,36	2,90	300,29
0,07246	13,8	-0,05	0,36	-1,14	0,36	1,14	267,39

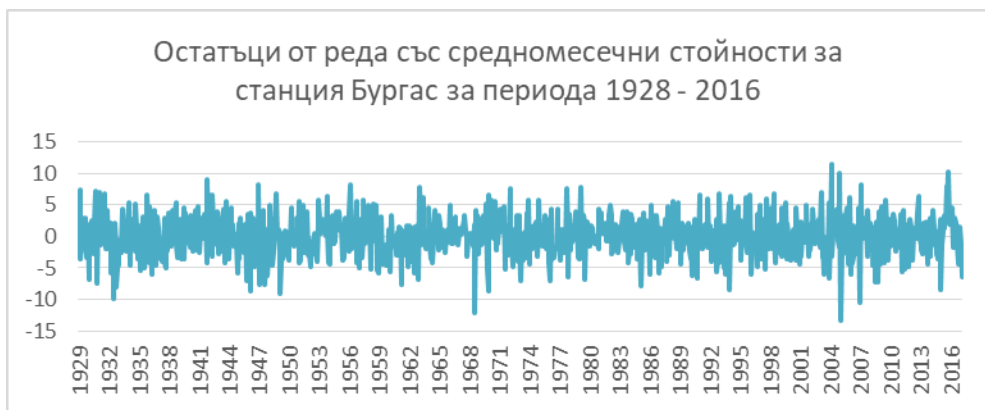
6.2.2. Обработка и анализ на средномесечни стойности на морското ниво в станция Бургас

Обработени и анализирани са средно месечни стойности на морското ниво за периода 1928 – 2016 година (01.01.2017 г.). На фиг. 7 са показани средномесечните стойности на морското ниво (със синьо), моделираният ред (червено) и неговият тренд (зелено).



Фиг. 7. Средномесечни стойности и тренд на морското ниво за станция Бургас

На фиг. 8 е показан временният ред с остатъците, средната му стойност е 0,1 cm, със средна квадратна грешка 3,2 cm.



Фиг. 8. Временен ред с остатъците за мареографна станция Бургас

Резултатите от анализа по МНМК са обобщени в табл. 5. Средното морско ниво е 3,7 cm, а трендът +1,4 mm/y.

Таблица 5. Резултати от анализа на средномесечни стойности на морското ниво за станция Варна. Дадени са средна стойност на морското ниво в EVRS, тренд и сезонни и периодични компоненти

		[cm]	Средна грешка [cm]		Средна грешка [cm]		
Средна стойност		3,73	0,56				
Тренд		0,14	0,01				
Честота	Период [месеци]	Косинусов коеф. [cm]	Средна грешка [cm]	Синусов коеф. [cm]	Средна грешка [cm]	Амплитуди [cm]	Фази [o]
0,08333	12	-4,22	0,39	5,66	0,39	7,06	306,71
0,16667	6	1,76	0,39	-0,66	0,39	1,88	159,44
0,00448	223,2	-2,55	0,39	1,84	0,39	3,15	324,22
0,07246	13,8	-1,04	0,39	-1,36	0,39	1,72	232,56

7. Заключение

От описаните за периода 2013 – 2017 година дейности и от извършваните се непрекъсната обработка и анализ на мареографните регистрации в Националния институт по геофизика, геодезия и география и получените резултати, могат да бъдат направени следните изводи:

- Успешно е подновен непрекъснатият мониторинг на нивото на Черно море в основните мареографни станции Варна и Бургас.
- В двете мареографни станции са инсталирани съвременни радарни мареографи тип Vega Plus. Данните от радарните мареографи се предават и записват в реално време в база данни. За период от две години радарните мареографни апарати работят съвместно с механичните, за да бъдат контролирани регистрациите и се осигури безпроблемно продължение на дългия временен ред на двете станции.
- Създадено е web базирано приложение (<http://niggg.bas.bg/wp-content/uploads/2014/02/mare/text.html>), на което в реално време се визуализира нивото на Черно море в основните мареографните станции Варна и Бургас.
- Подновени са нивелачните измервания на контролните полигони на мареографните станции за контрол на вертикалните движения.
- Обработени и анализирани са регистрации на морското ниво в основните станции Варна и Бургас и са получени оценки за средното морско ниво, вековия тренд на изменението му и сезонни и дългопериодични вариации за периода 1928 – 2016 година.
- Обработката и анализът на мареографните регистрации се извършва регулярно в НИГГГ при БАН.

Всичко това дава основание да се заключи, че мониторингът на нивото на Черно море в основните мареографни станции Варна и Бургас е успешно възстановен.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Codiga, D. L.* (2011). Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. Technical Report 2011-01, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59 p.
2. *Golyandina, N., E. Osipov.* (2007). The “Caterpillar” – SSA method for analysis of time series with missing values. *Journal of Statistical Planning and Inference* 13, p. 2642–2653.
3. Manual on Sea Level Measurements and Interpretation. Volume IV: An Update to 2006. Manuals and guides 14, Intergovernmental Oceanographic Commission, JCOMM Technical Report No. 31, WMO/TD. No. 1339.

BLACK SEA LEVEL MONITORING AT THE MAIN TIDE GAUGE STATIONS VARNA AND BURGAS

I. Georgiev¹, A. Ivanov²

Keywords: tide gauge registrations, sea level monitoring, vertical crustal motions, mean sea level, secular trend

ABSTRACT

Tide gauge networks serve for permanent registration and monitoring of the sea level. Except pure scientific and applied studies (defining the vertical system’s reference point, climate changes indication), the information for the changing sea level is important for the ship’s navigation in coastal regions, for harbor works building and maintaining and monitoring their height location and deformation.

Tide gauge measurements started in Bulgaria in the remote past 1928, when the main tide gauge facilities in Varna and Burgas became operational. The paper describes the tide gauges measurements recovery in the main stations Varna and Burgas in 2013 and the exchange of the old tide gauge recorders with radars. Vertical crustal motions are obtained by long term repeated precise leveling to decouple the land motions from sea level changes. Analysis of the monthly registration of the sea level for the period 1928 – 2017 are performed to obtain estimates for mean sea level, secular trend and seasonal and long periods tide constituents. To analyze the time series we use independently two methods – the single spectrum analyses and least square regression.

¹ Ivan Georgiev, Prof. DScTech., National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography at the Bulgarian Academy of Sciences, e-mail: ivan@bas.bg

² Anton Ivanov, Dr. Eng., National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography at the Bulgarian Academy of Sciences, e-mail: anton_iv66@abv.bg