https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N8

Harmonical analysis of hourly tide gauge data at Varna station for period 5.2013-1.2023

Anton Ivanov
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria, anton_iv66@abv.bg

Abstract
The sea level observations in Bulgaria was started in 1928, when the main tidal stations Burgas and Varna were built. They were built in connection with the completion of the Main Precision Leveling of Bulgaria and the need to determine the starting level of the surface for determining the heights of the benchmarks. On a global scale, networks of tide gauge stations serve to continuously monitor sea level. Determining mean sea level and its change is of particular importance when assessing climate change. Mean sea level has an important role for shipping, in the construction of port facilities. In geodesy, the mean sea level determined by a long period of observations served as a reference surface, in calculating the heights of points on the earth's surface, as well as in determining the depths of seas and oceans. Sea level observations were conducted with a mechanical type tide gauge with a float. In 2013, radar devices were installed to continue the series of observations. The radar tide gauge at Varna station is located in the well of the station. It is placed above the tide gauge bar - as the excess between the contact point of the tide gauge and control, NR11 is 32.63 m.

Хармоничен анализ на часови стойности от мареографна станция Варна за периода 5.2013-1.2023

Антон Иванов,
Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките,
София 1113,България anton_iv66@abv.bg

Ключови думи: *морско ниво, приливни влияния, хармоничен анализ*

Резюме
Началото на мареографните наблюдения в България е поставено през 1928 година, когато са изградени и основните мареографни станции Бургас и Варна. Те са изградени във връзка със завършването на Главната прецизна нивелация на България и необходимостта от определяне на изходна ниво повърхнина за определяне височините на реперите.
В глобален мащаб мрежите от мареографни станции служат за непрекъснато наблюдение на морското ниво. Определянето на средното морско ниво и неговото изменение е от особено важно значение при оценка на климатични промени. Средното морското ниво има важна роля за корабоплаването, при строителството на пристанищни съоръжения. В геодезията средното морско ниво определено от дълъг период от наблюдения е служило за изходна повърхнина, при изчисление на височините на точките от земната повърхност, както и при определяне на дълбочините на морета и океани. Наблюденията на морското ниво са се извършвали с мареограф от механичен тип с поплавък. През 2013 година са инсталирани радарни апарати, с който да се продължи редът от наблюдения. Радарният мареограф в станция Варна е разположен в кладенеца на станцията. Той е поставен над мареографната лата - като превишението между контактната точка на мареографа и контролен НР11 е 32.63м.

1. Въведение

Измерените стойности на морското ниво могат да се разглеждат като съставени от приливни и неприливни компоненти. Приливите са периодични изменения породени от промяната на гравитационния потенциал. Основна причина за приливите е изменението на гравитационното поле на Земята, породено от взаимодействието между системите Луна-Земя и Слънце-Земя. Приливните компоненти могат да се моделират и оценят – да бъдат представени като хармонична функция с амплитуда, период и фаза.

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N8

Неприливните компоненти се дължат на изменение на атмосферното налягане, промяна на температурата на морската вода, ветрове, изменения, водещи до промяна на количеството водни.
Причина за годишния астрономически прилив е изменението на разстоянието до Слънцето в рамките на 1 година. Изменението на деклинацията на Слънцето от е причина за полугодишния прилив .
Вариацията на годишните и полугодишните приливни компоненти Sa и Ssa е доста по-голяма от тези на дневните и полудневните. Причина за това са метеорологичните фактори, които оказват съществено влияние върху изменението им. За да бъдат коректно оценени сезонни колебания трябва да се разполага с достатъчно дълъг ред от мареографни измервания.
Сезонните изменения на морското ниво са важна част, която трябва да бъде взета под внимание при установяване изменението на средното морско ниво. Сезонните изменения зависят от много локални фактори. Влиянието на сезонните изменения зависи от географската ширина, както и от дълбочината на морското дъно, отнасящи се за открито море или за крайбрежни части.
Приливът Mn е причинен от вариации в гравитационното поле на Земята в следствие на наклона на орбитата на Луната от 5°09′ спрямо еклиптиката. Възходящият възел, в който Луната пресича еклиптиката от юг на север, се движи ретроградно по протежение на еклиптиката с почти постоянна скорост на 0,053 ° за среден слънчев ден. Това движение е с период от 18,61 години.

2. Метод и данни

За анализирането на редът от часови стойности на морското ниво е използван методът на хармоничният анализ. При него наблюдавано морско ниво се представя като сума от хармонични функции, които се определят в зависимост от дължината на времевия ред. Основни предимствата на хармоничния анализ по метода на най-малките квадрати е възможността да се обработват временни редове с пропуски в наблюдавания период и възможността да се разграничат приливни компоненти с близки честоти. За определяне влиянието на значимите за модела приливни компоненти, се използва критерият на Rayleigh. Според него минималната дължина от наблюдения, необходима за определяне на приливни компоненти с близки честоти се нарича синодичен период.
При обработката на измерванията е важно не само да отделим влиянието между два близки по честота прилива, но и да определим възможно най-много като използваме най-дългия синодичен период. Според (Schuerman, 1958) за разграничаването на дневните приливи O1 от M1 (27.55 дни), P1 от M1 (32,5 дни) ;P1 от K1(182,6дни); K1от S1 и K1 от P1 (365.25 дни).А за полудневните приливи K2 от S2 (182,6 дни) ,T2 от S2 (365.25 дни). Избор на приливни компоненти, които ще се включат в модела зависи от периода на наблюдение и от качеството на наблюдаваните данни. Според (Pugh, 1987) за анализиран период от една година е възможно да се установи влиянието на 60 до 100 приливни компонента. При анализиран ред от данни за период от 19 и повече години позволява определянето на 300 и повече прилива. Категоризирането на приливите е според тяхната честота те се разделят на: астрономични полудневни, астрономични дневни и дълго периодични компоненти. Използван е следният модел за хармоничен анализ по МНМК представен в (Codiga, 2019):

$$x^{mod}(t_i) = \sum_{q=1}^{n_{allc}} \left(E_{iq} a_q\right) + \bar{x} + \dot{x}(t_i - t_{ref})$$

n_{allc} всички приливи, a_qкомплексни амплитуди за прилив q, E_{iq}- експоненциална функция $\bar{x}$-средна стойност , $\dot{x}$,- тренд за време $t_{ref}(t_i - (t_i - t_{ref})$, като $t_{ref} = (t_1 + t_n)/2$
Използвани са часови стойности на морското ниво от мареографна станция Варна (43,1926°, 27,9114°) за периода 05.2013-1.2023г. Те са получени чрез осредняване от радарния мареограф, който отчитат

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N8

морското ниво в секунден интервал. За периода са използвани 74380 от 85420 часови стойности на морското ниво. Липсващите измервания не са попълвани.

3. Резултати от обработката на часови стойности на морското ниво

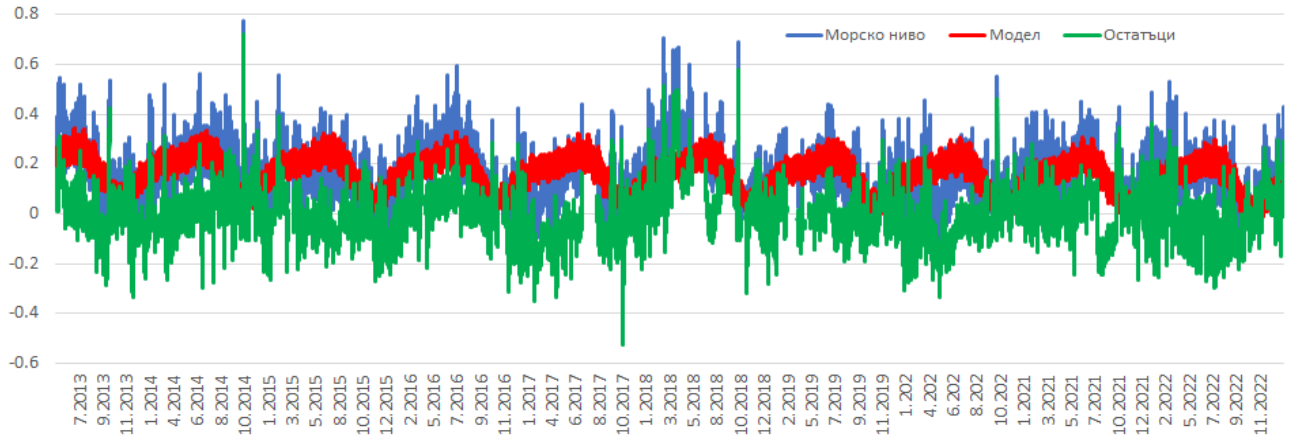
Данните за морското ниво се коригират за вертикалните движения на Земята за района на мареографската станция. Предвижда се получените резултатите да бъдат сравнени с резултатите от метода InSAR (Atanasova-Zlatareva and Nikolov, 2017) и (Atanasova-Zlatareva and Nikolov, 2019). От проведеният хармоничен анализ е определено средно морско ниво от 15.8см с тренд на изменение 3.1мм/г. Определените средна стойност и тренд на морското ниво са използвани само за да бъдат изчислени приливните съставящи. Те се различават от получените резултати от анализа на средномесечни стойности на морското ниво - 1.1см с тренд на изменение 1.6мм/г. получен в (Ivanov et al., 2019). На фигура 1 са представени времевия ред от часови стойности на морското ниво. Със синя линия е означено морското ниво, с червена-моделът, а със зелена остатъците. Както се вижда на графиката има и пикови стойности, който най-вероятно са от щормови влияния. Те са наблюдавани на октомври 2014 и 2018 година. Периодът от наблюдения от почти десет години е достатъчен да се установят точните характеристики на годишния прилив и полугодишния прилив. Най-голямо влияние за изменението на морското ниво съответно 69.4% е годишният прилив - Sa с амплитуда 7.8см и фаза 137.78°. Установено е влиянието на полугодишния прилив Ssa - 11.7% с амплитуда 3.2см и фаза 255.2°. Определени са влиянията на дневните приливи K1, S1, O1, P1, на полудневните K2, S2,N2,L2.
Установени са 68 приливни влияния като част от тях са представени в таблица 1

Таблица 1. Резултати от анализът на часови стойности на морското ниво за периодът 5.2013-1.2023 от мареографна станция Варна

	ПЕ	**Ампл.**	**Ампл.**	**Фази**	**Фази**
	%	[см]	[см] 3σ	[°]	[°]3σ
'SA'	69.37	7.79	0.098	137.78	0.73
'SSA'	11.72	3.20	0.098	255.21	1.77
'M2'	6.03	2.30	0.097	8.21	2.42
'K1'	3.17	1.67	0.103	49.54	3.53
'S1'	2.91	1.60	0.138	248.89	4.95
'S2'	1.57	1.17	0.098	12.07	4.82
'MSF'	1	0.94	0.098	228.81	6.02
'MF'	0.93	0.90	0.098	145.55	6.23
'O1'	0.82	0.85	0.105	43.53	7.09
'MSM'	0.79	0.83	0.098	308.34	6.77
'P1'	0.68	0.77	0.098	38.39	7.29
'MM'	0.39	0.58	0.098	37.60	9.68
'N2'	0.22	0.44	0.097	6.88	12.53

	ПЕ	**Ампл.**	**Ампл.**	**Фази**	**Фази**
	%	[см]	[см] 3σ	[°]	[°]3σ
'K2'	0.1	0.30	0.107	1.06	20.6
'PSI1'	0.05	0.22	0.099	328.24	26.38
'PI1'	0.03	0.17	0.098	109.75	32.93
'Q1'	0.02	0.14	0.105	20.08	43.78
'PHI1'	0.02	0.13	0.098	0.44	44.74
'T2'	0.02	0.12	0.098	29.45	45.62
'OO1'	0.02	0.12	0.108	59.63	52.59
'NO1'	0.01	0.11	0.097	44.67	50.37
'NU2'	0.01	0.11	0.097	0.45	52.19
'MKS2'	0.01	0.10	0.106	264.23	62.77
'J1'	0.01	0.09	0.104	105.25	64.49
'L2'	0.01	0.09	0.094	47.62	59.53

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N8



Фигура 1. Мареографни данни станция Варна за периода 5.2013-1.2023

Заключение

Определени са 68 приливни влияния с най-голямо влияние за изменението на морското ниво са астрономичните дългопериодични приливи годишен Sa и полугодишен SSa. Влиянието на дългопериодичните приливи - MM и MF, причинени от гравитационното поле на луната, имат по-малък ефект. При проведеният анализ не е установено влиянието на нодалния прилив, за това е необходим ред от наблюдения от 19 години. Това е вероятната причина получените стойности за годишният и полугодишният прилив да се различават от тези на линейния регресионен модел представен в (Ivanov et al., 2019).

Таблица 2. Сравнение на получените резултати от хармоничния анализ с получените в (Ivanov et al., 2019)

5.2013-1.2023			5.2013-12.2018		
'SA'	7.79см	137.78°	'SA'	9.94 см	141.24°
'SSA'	3.20 см	255.21°	'SSA'	2.65 см	270.88 °

Получените резултати от анализа на часови стойности за периода 5.2013 -1.2023 и за 5-2013-12.2018 е представен в таблица 2. Получените резултати за по-късия период от наблюдения показват по-големи стойности за амплитудите на годишния и полугодишния прилив.

Литература

Atanasova M., Nikolov H.. Studying the coastall and slides processes by InSAR. Proc. SPIE 11156, Earth Resourcesand Environmental Remote Sensing/GIS Applications X, 1115619 (3 October 2019), Applications X,, 1115619, SPIE 2020,Proceedings of SPIE - The International SocietyforOpticalEngineering, 2019, 11156, 1115619, 2019, ISBN:978-151063015-4, ISSN:0277786X, DOI:https://doi.org/10.1117/12.2532799, 1-10.

Atanasova-Zlatareva M., Nikolov H., Displacements Monitoring Of TheTrifonZarezan Landslide ByGnss Observations And Insar Introduction, Proceedings 9th Congress of the Balkan Geophysical Society, EAGE-2017, Antalya, Turkey, 2017. p 5

Codiga, D.L., Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions, Technical Report 2011-01, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI., USA, 2011, 59pp;

Ivanov A.,Georgiev, I.,Dimitrov, N. Analysis of 90 years sea level data at Varna tide gauge station. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 19,2.2,2019, ISSN: 1314-2704, DOI10.5593/sgem2019/2.2/S09.002, 11p-16p

Pugh D., Tides, surges and mean sea level, John Wiley and son, 1987

Schuerman P., Manual of harmonic analysis and prediction of tides, Washington, United States government printing office, 1958, 338p.