

**ФИЗИКА НА МОРЕТО****Максимални морски нива в Бургаския залив**Добриня Р. Костичкова, Здравко К. Белберов,

Екатерина В. Трифонова, Диана И. Грудева

Институт по океанология, БАН, Варна

**Въведение**

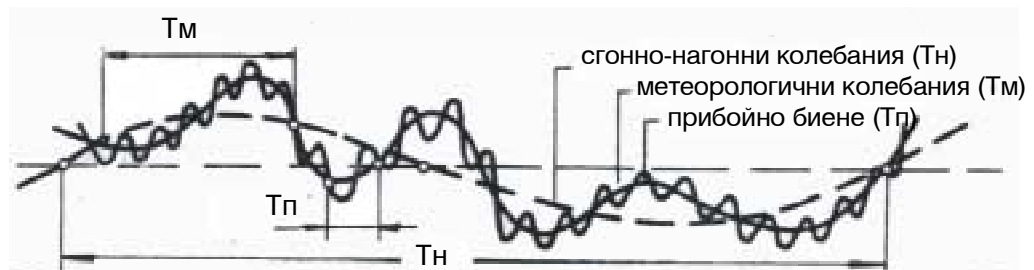
Под комбинираното въздействие на различни планетарни, хидрометеорологични и атмосферни фактори и въздействия върху морската повърхност се формира сложна система от колебателни движения (фиг. 1) с периоди от секунди, минути до часове и височини от сантиметри до метри.

Различните по генезис и характер колебания на морската повърхност в бреговата зона на българския сектор на Черно море са обект на изследвания от редица изследователи (Рогев, 1975; Кръстева, 1972, 1976; Белберов и др., 1978; Мънгов, 1980;

Костичкова, Чернева, 1980; Костичкова, Белберов, 1985; Беляшки, 1985).

Изследванията се базират на данни от дългогодишни измервания на морските нива от мареографи (ГУГК<sup>(1)</sup> и ИОБАН<sup>(2)</sup>) и пегели (НИХМ<sup>(3)</sup>) Фиг. 2.

За целите на проектирането и строителството на обект “Разширение на пристанище Бургас” от авторите са проведени целенасочени изследвания, включващи статистически и корелационен анализ на досегашната информация в тази област. Проведени са също така допълнителни изследователски дейности (Oceanographic investigations..., 1999) през

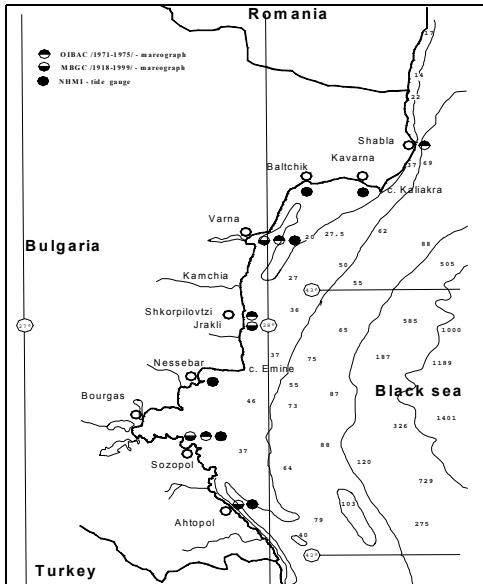


**Фиг. 1.** Видове колебания на морското ниво под въздействието на различни фактори

1 Главно управление по геодезия и картография, София

2 Институт по океанология, БАН, Варна

3 Национален институт по метеорология и хидрология, БАН, София



**Фигура 2. Картосхема на разположението на станциите, измерващи морското ниво по Българското крайбрежие**

септември 1999 г. в Бургаския залив за по-детайлно изучаване на основните колебания на морското ниво в Бургаския залив, в т.ч.:

- Приливно-отливни,
- Сгонно-нагонни,
- Големопериодични (барични),
- Прибойно осцилиране.

### 1. Приливно-отливни колебания

Първи Рогев (1975) прави пълен, задълбочен статистически анализ на приливно-отливните колебания на морското ниво във Варненския и Бургаския залив, генерирани от планетарни въздействия.

За основа на изследванията Рогев прилага оригиналните теоретични постановки на ГАУС - Бесел и Брунс, както и класическият метод на D a r v i n (1892). При анализа Рогев използва данни от мареографна станция Бургас ( $\varphi=42^{\circ}30'N$ ,  $\lambda=27^{\circ}E$ ) за периода 01.06÷30.06.1935 г. и 09.04÷08.08.1951 г.

В табл. 1 са представени резултатите от изследванията, от която е видно, че денонощните приливно отливни колебания са в порядъка на 8.0 cm, обстоятелство,

което Рогев отбелязва, че не е без значение за морската хидротехническа практика.

До същия извод за порядъка на приливно-отливните колебания се достига и от авторите след проведените целенасочени изследвания в периода 11.09÷11.10.1999 г. (Oceanographic investigations..., 1999).

За целта е използвана мареографната станция Бургас и допълнително монтиран пегел при отчитане на морското ниво на всеки час през денонощието. Върху денонощните мареограми ясно се открояват приливно отливни колебания на морското ниво в порядъка на 6 - 8 cm.

### 2. Сгонно-нагонни колебания

Вследствие на взаимодействието на въздушните маси с морската повърхност, при щормови ситуации, горните водни пластове се придвижват по посоката на вятъра, предизвиквайки повишаване или понижаване на морското ниво в бреговата зона в зависимост от посоката на доминиращия вятър.

Корелативната зависимост между повторемостта на вятъра и колебанията на морското ниво по данни от станциите Бургас и Ахтопол е представена на фиг. 3. Това обстоятелство обяснява формирането на екстремалните колебания на морското ниво в условията на бреговата зона на българския сектор на Черно море основно вследствие на ветровата и вълновата енергия, внасяна в бреговата зона при щормови условия. Показателен е катастрофалният щорм, проявил се в периода 16 - 21 февруари 1979 г., вследствие продължителното действие на вятъра с постоянна североизточна посока и скорост  $V=22\pm 28$  m/s (Белберов, Крылов, 1979). Зарегистрираното в този период максимално повишение на морското ниво е  $1.20\pm 1.50$  m в мареографна станция Иракли (фиг. 4).

За определяне на режимните характеристики на максималните водни нива в Бургаския залив е използвана редица от данни от мареографна станция Бургас за 62 години (1928 - 1980 г.) с прекъсване през 1967 и 1968 г. (Костичкова, Белберов, 1985; Белберов, Чернева, 1978), и по данни от пегели (Мънгова, 1980).

**Таблица 1(а). Астрономични приливи (по експериментални данни), пристанище Бургас**

ПЕРИОД НА НАБЛЮДЕ- НИЕ	ПОЛУДЕНОНОЩНИ									ДЕНОНОЩНИ											
	M <sub>2</sub>			S <sub>2</sub>			N <sub>2</sub>			Q <sub>2</sub>			K <sub>1</sub>			D <sub>1</sub>			P <sub>1</sub>		
	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>	A	K'	K <sub>0</sub>
	cm	-	-	cm	-	-	cm	-	-	cm	-	-	cm	-	-	cm	-	-	cm	-	-
1.6.-30.6.1935	2.4	95.9	87.6	1.6	95.4	87.1	0.2	79.6	71.3	0.5	95.4	87.1	1.8	108.2	104.0	0.7	63.2	59.0	0.6	108.2	104.0
8.4.-8.8.1951	2.4	99.3	86.1	1.4	86.9	88.6	0.4	99.5	91.2	0.4	96.0	55.6	2.3	72.9	68.7	0.9	83.1	78.9	0.8	72.0	68.7
Средно	2.4	95.2	86.9	1.5	96.1	87.7	0.3	93.7	85.5	0.5	96.1	37.8	2.1	88.3	86.35	0.8	73.15	73.15	68.9	50.4	86.35

Рогев, Б., 1946

A – амплитуда, cm.; K' – ъгъл на положението в градуси, относно поясния меридиан  $\lambda = 30^0 E$ ;

K<sub>0</sub> – ъгъл на положението в градуси относно меридиана на точката M<sub>0</sub> ( $\varphi = 43^0 15'$ ,  $\lambda = 35^0 15' E$ )

5

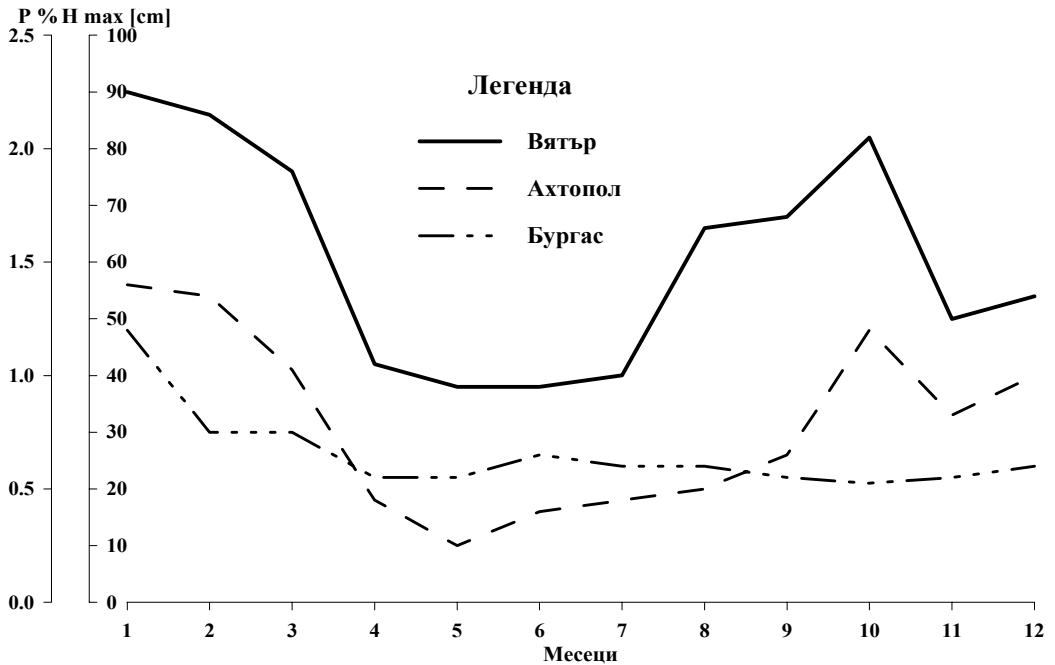
**Таблица 1(б). Астрономични приливи (по теоретични изследвания), пристанище Бургас**

M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		Q <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>		O <sub>1</sub>		P <sub>1</sub>	
R	ε	R	ε	R	ε	R	ε	R	ε	R	ε	R	ε
cm	-	cm	-	cm	-	cm	-	cm	-	cm	-	cm	-
3.6	90.0	1.7	90.0	0.1	90.0	0.4	90.0	1.8	90.0	1.2	90.0	0.6	90.0

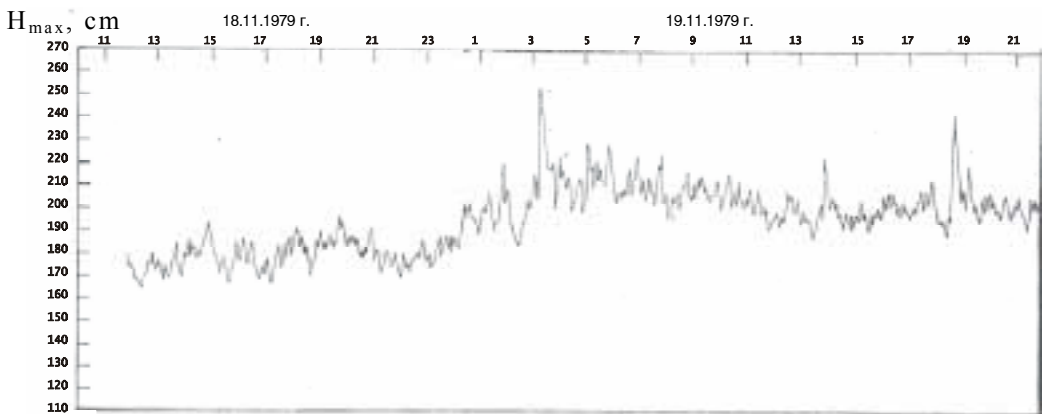
Рогев, Б., 1946

R – Теоретична амплитуда, cm.

ε - Теоретичният ъгъл в положението, в градуси



**Фиг. 3. Месечен ход на максимални морски нива в Ахтопол и Бургас и повтораемост на вятъра с направление И, СИ и ИСИ за периода 1971 - 1980**



**Фиг. 4. Колебания на морското ниво при станция Иракли за периода 18 - 21 февруари 1979 г.**

От направения анализ от авторите върху публикуваната информация, се установява, че в използваната редица от данни за максималните нива при определяне на режимните характеристики, катастрофалният щорм от февруари

1979 г. не е включен. В периода 16 - 21 февруари 1979 г. данни при мареографната станция Бургас липсват поради ограничения диапазон на измерване на мареографа на екстремални морски нива и наводняване на станцията.

Това обстоятелство наложи авторите да извършат допълнителен статистически и корелационен анализ на съществуващата банка от данни (1928 - 1989) с включване в редицата от данни максималните нива за Бургаския залив на водните нива през февруари 1979 г. и за периода 1980 - 1987 г.

Използвайки данните от мареографите във Варна, Бургас, Ахтопол и Иракли е изследвана корелативна връзка между показанията на четирите мареографа през февруари 1979 г. Резултати от изчисленията са показани в табл.2.

От табл. 2 е видно, че за възстановяване на прекъснатата редица от наблюдения при мареографна станция в Бургас е най-подходяща редица от февруарски наблюдения при Ахтопол (1979 г.), където коефициент на корелация е 0.891.

Фигурите 5 и 6 илюстрират графично корелативна зависимост между показанията на мареографите в Бургас и Иракли (фиг. 5) и Бургас и Ахтопол (фиг. 6), където коефициентите на корелация са най-високи (табл. 2). Следва да се отбележи, че в диапазона на ниските нива разсейване на точките около

апроксимиращата крива е незначително, докато при високите нива разсейването се увеличава съществено. Затова при апроксимация в областта на високи стойности се приема линейна зависимост.

Използвайки данните от пегелите във Варна, Ахтопол, Бургас, Рибното и нефтеното пристанище в Бургас, е също изследвана корелативната връзка между показанията през февруари 1979 г. Резултати от изчисленията са показани в табл. 3, които сочат най-ниски коефициенти на корелация.

За възстановяването на прекъснатата редица от мареографната станция в Бургас през февруари 1979 г. са използвани апроксимации от вида:

$$H_B = 0.788126 \cdot H_A + 52.3419 \quad (1)$$

$$H_B = 0.01 \cdot H_I^2 - 1.8699 \cdot H_I + 178.47, \quad (2)$$

където  $H_B$  - възстановено ниво в Бургас,

$H_A$  - отчетено ниво в Ахтопол в

уравнение (1) и  $H_I$  - отчетено ниво в

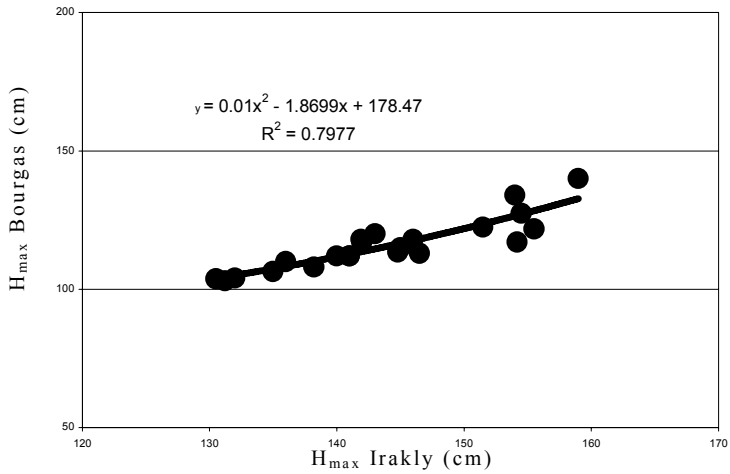
Иракли в уравнение (2). Данните са представени в табл. 4, като в колоните 1 и

**Таблица 2. Коефициенти на взаимна корелация между показанията на мареографите през февруари 1979 г.**

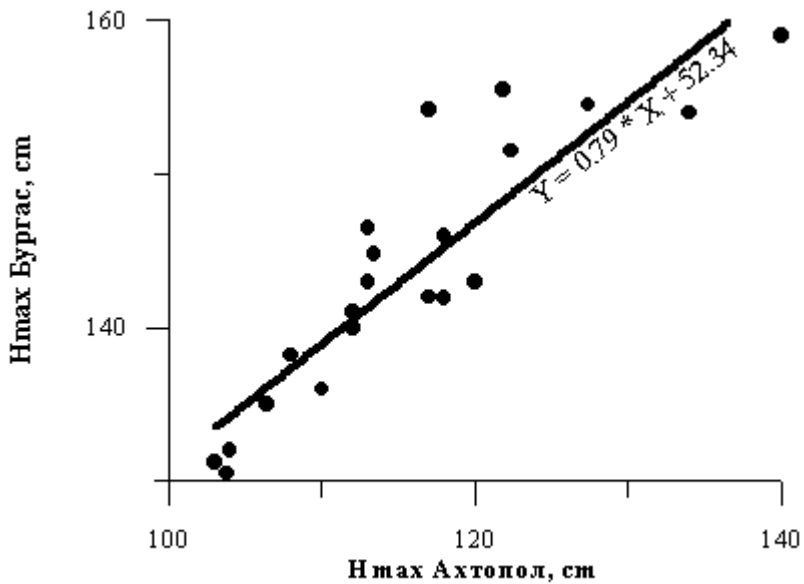
	Варна	Бургас	Ахтопол	Иракли
Варна	1	0.821	0.850	0.861
Бургас	0.821	1	0.891	0.812
Ахтопол	0.850	0.891	1	0.982
Иракли	0.861	0.812	0.982	1

**Таблица 3. Коефициенти на взаимна корелация между показанията на пегелите през февруари 1979 г.**

	Варна	Бургас	Рибното п-ще	Нефтеното п-ще	Ахтопол
Варна	1	0.885	0.863	0.899	
Бургас	0.885	1	0.800	0.880	0.680
Рибното п-ще	0.863	0.800	1	0.817	0.578
Нефтеното п-ще	0.899	0.880	0.817	1	0.508
Ахтопол		0.680	0.578	0.508	1



Фиг. 5. Корелативна връзка между данните от мареографните станции Иракли и Бургас



Фиг. 6. Корелативна връзка между данните от мареографните станции Ахтопол и Бургас

3 с \* са означени възстановени данни с използване данните от мареографна станция Иракли, а с \*\* - Ахтопол.

Възстановената редица за екстремалните значения на морското ниво за

периода 1928 - 1987 г. е допълнително статистически обработена, като за отстраняване на нестационарността (тренда) по различни причини (основно от геотектонически процеси, промяна на

нулата на мареографната станция и пегела), функцията на разпределение на максимумите на морските нива  $h$  са определени при използване отклоненията на максималните годишни нива  $H_{\max}$  от средногодишните стойности  $\bar{H}$  (Герман, 1971).

$$h = H_{\max} - \bar{H} \quad (3)$$

На фиг. 7 и в табл. 5 е представена функцията на обезпеченост на максималните морски нива на базата на редицата от данни с включване на щорма през февруари 1979 г.

Разликата с включване в многогодишната редица данните за максималните нива в периода на щорма февруари 1979 г. е в порядъка на 25 % при повторемост 1 път на 50 години.

Получените прецизирани данни за максималните морски нива при повторемост 1 път на 50 години са използвани при проектиране на хидротехническият комплекс на обект "Разширение на пристанище Бургас".

### 3. Големопериодични колебания на морското ниво

Вследствие на промени в атмосферното налягане върху морската повърхност се формират допълнителни осцилации (сейши), проявени в Бургаския и Варненски залив (Кръстева, 1976; Костичкова, Чернева, 1980).

Изследванията показват формиране на четири хармонични съставлящи на колебанията на морското ниво с периоди в порядъка на  $T=99.4-46.2$  минути и съответно с височини  $H=5-7$  cm (Табл. 6). Със същия порядък тези

**Таблица 4. Максимални водни нива, регистрирани в мареографните станции на Бургас, Ахтопол и Иракли през февруари 1979 г.**

Дата	Бургас	Иракли	Бургас	Ахтопол
	$H_{\max}$ [cm]	$H_{\max}$ [cm]	$H_{\max}$ [cm]	$H_{\max}$ [cm]
	1	2	3	4
1	135.0	115.0	135.0	106.4
2	130.5	113.0	130.5	103.8
3	132.0	115.0	132.0	104.0
4	131.2	117.4	131.2	103.0
5	138.2	121.4	138.2	108.0
6	142.0	125.0	142.0	117.0
7	143.0	129.0	143.0	120.0
8	141.0	122.0	141.0	112.0
9	140.0	127.0	140.0	112.0
10	144.8	126.0	144.8	113.4
11	151.5	124.0	151.5	122.4
12	155.5	130.9	155.5	121.8
13	146.5	120.0	146.5	113.0
14	154.2	122.4	154.2	117.0
15	143.0	119.0	143.0	113.0
16	154.5	135.5	154.5	127.4
17	<b>174.8*</b>	185.0	<b>203.7**</b>	192.0
18	<b>218.7*</b>	206.0	<b>251.7**</b>	253.0
19	<b>200.2*</b>	198.0	<b>243.0**</b>	241.9
20	<b>146.3*</b>	167.8	<b>191.8**</b>	177.0
21	<b>121.9*</b>	149.0	<b>165.8**</b>	144.0
22	159.0	140.0	159.0	140.0
23	154.0	138.0	154.0	134.0
24	141.9	122.0	141.9	118.0
25	141.0	116.0	141.0	112.0
26	146.0	123.0	146.0	118.0
27	142.0	117.0	142.0	117.5
28	136.0	113.0	136.0	110.0

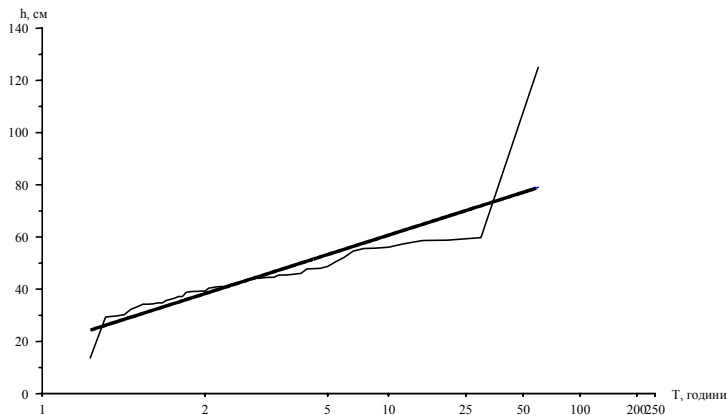
**Таблица 5. Повторяемост на максималните морски нива**

Повторяемост [години]	1	5	10	25	50	100	200	250
* $h$ [cm]	27.6	49.2	54.6	61.4	66.4	71.3	76.3	77.9
** $h$ [cm]	28.5	51.1	58.9	70.7	80.9	92.5	106.8	110.4
*** $h$ [cm]	23.7	53.23	60.69	70.12	77.12	84.06	90.98	93.20

\* В редицата на максималните нива щорма не е включен [1], [3];

\*\* Редицата на максимални нива е възстановена с използване на данните в Иракли;

\*\*\* Редицата на максимални нива е възстановена с използване на редицата в Ахтопол.

**Фиг. 7. Функция на обезпеченост на максималните морски нива в Бургас**

колебания са получени и от авторите от мареографната станция Бургас в периода 11.09. - 11.10.99 г. (Oceanographic investigations..., 1999).

Тези колебания следва да се вземат под внимание при изследване на резонансните явления в системата “кораб-кей” и колебанията на морското ниво в пристанищната акватория при проекта на обект “Разширение на пристанище Бургас”.

#### 4. Прибойни колебания на морското ниво

Вследствие на груповия строеж на морското вълнение (V e l c h e v a , C h e g n e v a , 1998) в бреговата зона се формират допълнителни осцилации в общата система на колебанията на морското ниво.

Посредством синхронни записи е изследвана (Б ы ч к о в , С т р е к а л о в , 1971) корелативната зависимост между прибойните колебания на морското ниво и основните характеристики на ветровото

вълнение (табл. 7).

В морската хидротехническа практика при определяне на екстремалните значения на максималните морски нива с необходимата нормативна повторяемост, прибойните колебания следва да се вземат под внимание при използване на зависимостта (2).

#### 5. Заключение

Анализът на публикуваните резултати и проведените целенасочени допълнителни изследвания от авторите в областта на колебанията на морското ниво в Бургаския залив показват:

Приливно-отливни колебания с амплитуди в порядъка 8.0 cm.

Големопериодични колебания (сейши) в порядъка на  $\bar{H}=5-7$  cm и  $\bar{T}=99.4-146.0$  min.

Попълването на статистическата редица от многогодишни наблюдения (1928 - 1987) чрез корелационен анализ на



**Таблица 6. Средни статистически характеристики на основните съставлящи типа на колебанията на нивото в Бургаския залив**

Хармоника	Среден период, min	Средна височина, cm	Максимална височина, cm	Най-голяма продължителност на устойчив режим, денонощия
I	146.2	5.0	24.0	4
II	121.3	5.2	17.0	3
III	108.4	6.8	27.0	3
IV	94.7	7.0	30.0	2

**Таблица 7. Резултати от синхронен запис на ветрово вълнение и приборното осцилиране**

Ветрово вълнение		Прибойно осцилиране	
H, cm	T, s	H, cm	T, s
60.0	7.5	16.1	78.0
16.0	5.5	3.2	49.0

данните от екстремалната щормова ситуация през февруари 1979 г. значително увеличава стойностите на нормативните изчислителни стойности на максималните морски нива в Бургаския залив в порядъка на 25 %.

Основните екстремални колебания на морското ниво в условията на бреговата зона на българския сектор на Черно море се формират при щормови ситуации.

При бъдещо проектиране на морски хидротехнически обекти и брегозащитни дейности следва да се прецизират публикуваните данни за максималните морски нива посредством корелация между данните от мареографните станции (ГУГК) и пегелите (НИМХ) (фиг. 2) в периода на екстремалния щорм през февруари 1979 г.

## Литература

- Белберов, З. К., Д. Р. Костичкова, Ж. И. Чернева, 1978. Закономерности на ветровото вълнение в акваторията на Варненския и Бургаския залив, Фонд ИО, БАН.
- Белберов, З. К., В. И. Захариев, Ю. М. Крылов, Д. Р. Костичкова, Р. Н. Манярова, Ю. П. Поляков, 1982. Анализ на катастрофалния щорм през февруари 1979 г., Океанология, 9.
- Беляшки, Т., 1982. Математико-статистически анализ на резултатите от наблюденията във Варна и Бургас. Бюлетин, ГУКК, № 1.
- Бычков, В. С., С. С. Стрекалов, 1971. Морские нерегулярные волны.
- Герман, В. Х., 1971. Исследование и расчет вероятностных характеристик экстремальных уровней моря. Тр. ГОИН, вып. 107, С. 149.
- Костичкова, Д. Р., Ж. И. Чернева, 1980. Голямопериодични колебания на морското ниво във Варненския и Бургаския залив. Океанология, 6, р. 24 - 29.
- Костичкова, Д. Р., З. К. Белберов, 1985. Анализ на максималните водни нива по Българското Черноморско крайбрежие. Океанология, 14, р. 3-8.
- Кръстева, Е., 1972. Многогодишни колебания на морското ниво във Варна и Бургас. СУ. Геол.-геогр. фак., 64, № 2

- Кръстева, Е., 1976. Сейшообразните колебания на морското ниво във Варненския и Бургаския залив. Проблеми на географията, С.
- Мънгов, Г., 1980. Определяне на максималните морски нива по Българското Черноморско крайбрежие. Хидрология и метеорология, № 6, 13 - 21.
- Рогов, Б., 1975. Колебания на нивата пред Бургас и Варна. Изв. Държавен географски институт, С.
- Чернева, Ж. И., А. Велчева, 1998. Фаза на ветровото вълнение в бреговата зона. Тр. на ИО - БАН, Варна.
- Velcheva, A., Z. Cherneva, 1998. The influence of Wave Grouping of Wave Grouping of Wave Height Distribution. In.: Proc. Of the 17-th Int. Conf. OMAE, June 5-9, Lisbon, Portugal, CD OMAE 98.
- Darvin, 1892. Proceedings of the Royal Society.
- Oceanographic Investigations of the Bourgas Beach Area. По договор с Pacific Consultants International", Tokyo, Japan, 1999. Фонд ИО - БАН

## Sea Level Surface Variations in Bourgas Bay

Dobrinka Kostichkova, Zdravko Belberov, Ekaterina Trifonova, Diana Grudeva

### (Summary)

Available existing data base (1928 - 1989) and published scientific results (1975 - 1985) in the sphere of sea level surface variations with diverse genesis: tidal, storm surge and high periodical (barical) variations were checked, processed and analyzed.

It was noticed during the review process that the extreme storm event of Feb. 1979 was not included probably due to the lack of data at the flooded Bourgas mareograph station. Hence, for determination of regime characteristics of maximum sea levels with normative repetition was used incomplete statistical data row by authors. The mareograph stations of Ahtopol, Irakli and Varna registered highest levels during the same period (1.20 - 1.50 m).

Supplementary statistical processing and correlation analysis has been performed to include it in the statistical row of database and to estimate the water level in Bourgas during the Feb.1979 extreme event.

Постъпила 27.03.2001 г.