

## ИЗСЛЕДВАНЕ ИЗМЕНЕНИЯТА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА МОРСКАТА ВОДА В ПОВЪРХНОСТНИЯ СЛОЙ КРАЙ ЗАПАДНИЯ БРЯГ НА ЧЕРНО МОРЕ ЗА ПЕРИОДА 2000–2015 г.

НИКОЛАЙ РАЧЕВ<sup>1</sup>, ПЛАМЕН КРАЙЧЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Катедра „Метеорология и геофизика“

<sup>2</sup> Национален институт по метеорология и хидрология, БАН

*Николай Рачев, Пламен Крайчев. ИЗСЛЕДВАНЕ ИЗМЕНЕНИЯТА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА МОРСКАТА ВОДА В ПОВЪРХНОСТНИЯ СЛОЙ КРАЙ ЗАПАДНИЯ БРЯГ НА ЧЕРНО МОРЕ ЗА ПЕРИОДА 2000–2015 г.*

В работата са оценени тенденциите в измененията на температурата на водата в повърхностния слой в четири станции по западното крайбрежие на Черно море за периода 2000–2015 г. Получените оценки за тенденциите са сравнени с аналогични от други изследвания, а също така и с тенденциите в изменението на температурата на въздуха. Установено е значително увеличение на средногодишните температури на морската вода за разглеждания период, което е обусловено основно от повишението на температурата на въздуха, а второстепенна роля имат морските течения. Показано е, че по-голямо е увеличението на температурите на морската вода в по-северните станции. Трендът на температурите през февруари е незначителен, а най-голям е през ноември.

*Nikolay Rachev, Plamen Kraichev. CHANGES IN THE SEA SURFACE TEMPERATURE ALONG THE WESTERN BLACK SEA COAST FOR THE PERIOD 2000–2015*

The changes of the sea surface temperature (SST) for four coastal stations along the western Black Sea coastline for the period 2000–2015 are determined. The estimated trends are compared with similar reports from other studies and with trends of the air temperature, also. It was found an increase in annual mean SST for the period of consideration, mainly coupled with the increase of the air temperature and the role of the sea currents is of secondary importance. It is shown that the SST trends are more significant in the northern stations. The trend of the SST in February is negligible, while the biggest trend is in November

**Keywords:** sea surface temperature, Black Sea

**PACS numbers:** 92.70.Kb, 92.05.Df

*За контакти:* Николай Рачев, Катедра „Метеорология и геофизика“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. „Джеймс Баучър“ 5, 1164 София, тел.: +359 2 8161 289, e-mail: nick@phys.uni-sofia.bg

## 1. УВОД

През последните десетилетия една от най-дискутираните теми в обществото са климатичните изменения. В публикуваните за периода 1990–2013 г. 5 доклада на Междуправителствената експертна група по изменение на климата (IPCC) [1, 2] се документират все повече последици от глобалното затопляне. Най-съществени изменения се наблюдават в три от компонентите на климатичната система – атмосфера, хидросфера и криосфера.

Важна част от процеса на определяне на промените в климата на Земята са регионалните климатични изследвания. Измененията на средните температури не са еднопосочни по цялото земно кълбо, а едновременно се наблюдават райони с повишаващи се и намаляващи средни температури. През последните години са публикувани редица изследвания, разглеждащи измененията в температурата на повърхността в крайбрежните райони на Черно море, но в по-голямата си част те обхващат предимно северните части на морето. Недостатъчно внимание е отделено на промените на температурата на водата по българското черноморско крайбрежие. Основната идея на настоящото изследване е да бъдат обработени и анализирани налични данни за температурата на морската вода в западните части на морето, свободно достъпни от интернет, за периода 2000–2015 г.

Целта е да бъдат оценени тенденциите в измененията на температурата на морската вода в няколко крайбрежни станции в западната част на Черно море и те да се сравнят както с тенденциите за други райони на морето, а така също и с тенденциите на изменение на температурата на въздуха за територията на България.

## 2. КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ СПОРЕД ДОКЛАДИТЕ НА IPCC

Петият доклад на IPCC [1] със сигурност констатира, че глобалната средна температура на земната повърхност е нараснала от края на XIX век. Първото десетилетие на XXI век е било най-топлото за целия период на инструменталните записи. Много вероятно е най-топлият 30-годишен период за последните 1400 години да е този в северното полукълбо за периода 1983–2012 г. [1]. Средните глобални данни за приземната температура показват затопляне със среден тренд от 0,08 °C за десетилетие за периода 1901–2012 г. Средният тренд за периода 1951–2012 г. е значително по-голям (0,118 °C за десетилетие). В сравнение със средната температура от периода 1850–1900 г. общите увеличения на средната глобална температура за периодите 1986–2005 г. и 2003–2012 г. са съответно 0,61 и 0,78 °C [1, 2]. Очевидно процесът на повишаване на

средните глобални температури продължава с по-бързи темпове през последните години.

Най-голямо увеличение на температурите се наблюдава над континентите, като за периода 1979–2012 г. средният тренд е 0,262 °C на десетилетие. За същия период трендът на температурата в повърхностния слой (0–75 m) на океана е 0,12 °C за десетилетие по данни от преки измервания. Скоростта на нарастване на температурата на морската вода е над 2 пъти по-малка от тази на атмосферата [1]. За глобалната приземна температура трендът е 0,155 °C за десетилетие. Най-съществено е повишението на температурите в северното полукълбо. За океаните най-голямо увеличение на повърхностната температура се наблюдава в северния Атлантически океан.

Затоплянето на океаните се наблюдава и в дълбочина. Аномалиите на температурата на морската вода спрямо средната температура за периода 1971–2010 г. показват ясно затопляне след 1987 г., което след 2001 г. обхваща целия слой от 0 до 700 m. Повишението на температурите на морската вода в слоя от 0 до 700 m отново е най-добре изразено в тропичните и умерените ширини на северните части на океаните. След 1975 г. се наблюдава увеличаване на разликата между температурите на повърхността и на дълбочина 200 m, водещо до усилване на устойчивостта в повърхностните слоеве на океана. Налице е увеличение на топлосъдържанието на повърхностните (до 700 m) слоеве и промяна в режима на конвективните процеси в океаните. За периода 1971–2010 г. е отчетено нарастване на топлосъдържанието на системата океан–суша–атмосфера, като около 64 % от енергията е разходвана за повишаване температурата на горните 700 m на океана, а останалите 36 % са за увеличение температурата на останалата част на океаните, атмосферата, литосферата и за намаляване на криосферата [1].

### 3. ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВЪЗДУХА ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ

През последните десетилетия са публикувани редица статии, разглеждащи климатичните характеристики на България [3–5]. Показано е, че локалният климат активно реагира на глобалните климатични промени. В изследването на Syrakova and Mateev [3] са анализирани климатични данни за температурата на въздуха за периода 1951–1995 г. Пресметнатите тенденции в изменението на температурите през лятото и есента са отрицателни, а през пролетта са положителни за територията на България, достигащи в някои станции интервала 0,26–0,35 °C за десетилетие. При годишните трендове на температурата преобладават отрицателните стойности, особено в южна България, но трендовете са значително по-

малки (от  $-0,06$  до  $-0,15$  °C за десетилетие) от сезонните. Положителни годишни трендове има само в някои станции на северна България, и то със стойности до  $0,05$  °C за десетилетие [3].

В климатичното изследване на Александров [4] е получено, че измененията на годишните температури през XX век не са статистически значими. От началото на 1980 година се наблюдава тенденция към слабо затопляне, усилващо се след 1990 г. За периода 1971–2010 г. е оценен тренд на повишаване на температурата от  $0,38$  °C за десетилетие. Последните години на XX столетие се характеризират и с увеличение на годишните максимална и минимална температури на въздуха [4].

Изследването на Рачев и Димитрова [5] разглежда периода 1995–2012 г. Оценената тенденция за повишаване на средногодишните температури за България е  $0,58$  °C на десетилетие по синоптични данни,  $0,62$  °C за десетилетие по данни от атмосферния реанализ ERA-Interim и  $0,72$  °C за десетилетие по климатични данни. Тези трендове са над два пъти по-големи от оценките на IPCC [1] за периода 1979–2012 г. Максималните температури се покачват повече от минималните. Това съответства на изводите на IPCC [1], направени за други райони. Най-много за разглеждания период се е повишила средната температура през есенните месеци [5].

Линейните трендове за периода 1995–2012 г., получени по синоптичните данни за станциите Варна и Бургас, са съответно  $0,68$  °C и  $0,51$  °C на десетилетие, а по климатичните данни са  $0,9$  °C и  $0,62$  °C на десетилетие. Средногодишните температури са най-високи през 2007 г. и значително превишават климатичните норми за Варна и Бургас – съответно с  $1,8$  °C и  $1,5$  °C [5].

Измененията на температурите за територията на България не са изолирани от тези за Европа и естествено е да ги следват в основни линии. Последното изминало десетилетие в Европа е било най-топлото за периода на инструменталните измервания [1].

#### 4. ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВОДАТА В ЧЕРНО МОРЕ

Температурният режим на полузатвореното Черно море е силно чувствителен към глобалните и регионалните изменения на температурата на атмосферата. Температурният режим в крайбрежните райони на Черно море се определя от географското местоположение, радиационните баланси на сушата и на повърхността на морето, процесите на обмен между повърхностните слоеве на морето и привидния слой на атмосферата, конвективния обмен между повърхностните и по-дълбоките слоеве, адвекцията на водни маси от морските течения, процесите на турбулентно смесване, сгонно-нагонните крайбрежни процеси [6]. В годишния топлинен

баланс на морето определящи са процесите на обмен през повърхността на морето, а поради уникалната термохалинна структура на повърхностните слоеве на Черно море климатичната изменчивост засяга най-силно горните 70–80 m от водите на морето.

В изследването на Репетин [6] са разгледани измененията на температурата на морската вода и на въздуха в 23 брегови станции, разположени от устието на р. Дунав до Кавказ. Показано е, че средногодишната температура на морската вода е по-висока от тази на въздуха във всички станции, като измененията на двете температури е почти синхронно. Аналогично е поведението и на годишните амплитуди на температурата на водата и въздуха, като съществува обратна пропорционалност между стойностите на средногодишните температури и годишните амплитуди.

При изследване на междугодишната изменчивост на температурата на повърхността на морето са използвани станциите с най-продължителни редове от данни, покриващи периода 1924–2006 г. За този период трендове във всички станции по северното крайбрежие (от Одеса до Феодосия) са положителни. Повишението на температурата е най-съществено през зимния период – между 0,9–1,6 °C за 83 години за различните станции. Летните температури са с незначителни повишения, като единствено в най-северните станции (Одеса, Очаков) е регистрирано намаление с около 0,2–0,4 °C. По данни за период от сто години (1906–2006 г.) температурата на водата в Ялта се е повишила с 0,9 °C (т.е. тренд от 0,09 °C за десетилетие). Оцененият тренд в тази станция за периода 1986–2006 г. е около 1 °C за десетилетие, т.е. на един порядък по-голям [6]. Тази рязка промяна на тренда след 1986 г. е характерна за всички станции по северното крайбрежие на Черно море, като средният линеен тренд на нарастване на температурата на морската вода е 0,7 °C за десетилетие.

За някои от станциите по югоизточното кавказко крайбрежие трендовете на температурата на морската вода за периода 1924–2006 г. са отрицателни, въпреки положителните им стойности през последните 20 години на разглеждания период [6]. Изследването на Гицба и Екба [7] за станция Сухуми показва, че от 1895 до 1944 г. температурата на морската вода се е повишила с 0,1 °C, следва намаление с 0,23 °C за периода 1945–1992 г., а увеличението само за 20 години след 1992 г. е 0,8 °C.

Оцененият линеен тренд на повърхностната температура за цялата акватория на Черно море в изследването на Nardelli et al. [8] е 0,75 °C за десетилетие за периода 1985–2006 г. Подобни са и резултатите в изследването на Shapiro et al. [9], даващи трендове за периода 1985–2000 г., които за открито море са 0,48 °C, а за западните крайбрежни райони са 0,63 °C за десетилетие. Корелацията между данните за температурата на морската вода и температурата на въздуха са съответно 0,826 и 0,845,

докато коефициентът на корелация между температурните редове за открито море и за шелфовите райони е 0,506. Това ясно показва, че в крайбрежните райони съществено влияние имат и процесите, свързани с динамиката на шелфовата зона и пресноводния баланс. Оцененият в [6] среден коефициент на корелация между годишните стойности на температурата на морската вода в крайбрежните райони и температурата на въздуха е 0,85. Най-голям е за станциите в северозападната част на морето (0,85–0,93), а най-нисък (0,68–0,77) за станциите по югоизточното кавказко крайбрежие. Възможно обяснение на тези особености е потърсено в промяната на количеството на валежите и речния вток, водещо до промяна в устойчивостта на повърхностните водни слоеве [6].

Измененията на приземната температура на въздуха в Европа са под влияние на годишните колебания на температурата на повърхността на океана в Северния Атлантик [6]. В изследването на Симонов и Алтман [10] са определени колебания на температурите на морската вода в Черно море и на въздуха с периоди 2,2; 2,9; 7 и 25 години. Периодите около 12–18 години не съвпадат, като обикновено тези за морската вода са с 2–3 години по-големи от тези за атмосферата. В изследването на Nardelli et al. [8] е получена добра корелация (–0,65) между фазите на Североатлантическата осцилация (NAO) и дългопериодичните колебания на температурата на повърхността на Черно море. Показано е, че морето реагира на промените на NAO със закъснение от 2,4–3,5 години, като това е обяснено с факта, че сигналът се разпространява и в по-дълбоките слоеве на морето, променя се термохалинната структура на повърхностните слоеве и свързаната с това система от течения в морето. Показано е, че при положителна фаза на NAO се увеличава интензивността на двата кръговрата в източната и западната част на морето.

## 5. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ

За реализирането на настоящото изследване са използвани налични необработени данни, свободно достъпни от интърнет, за периода 2000–2015 г. Източник на метеорологични и океанографски данни е сайтът <http://www.stringmeteo.com> [11]. От този сайт са получени данни за температурата на морската вода в 4 станции на западния бряг на Черно море – Констанца, Шабла, Варна и Бургас. Данните за температурата на въздуха в станции Варна и Бургас са изтеглени от същия сайт [5].

Температурата на морската вода в повърхностния слой се измерва след пробовземане от дълбочина не по-голяма от 1 m. Пробовземането обикновено се извършва от крайбрежно съоръжение, навлизащо на няколко десетки метра навътре в морето. Различните условия в отделните станции, заедно със субективния фактор при извършване на измерванията, са

предпоставка за нарушаване съпоставимостта на данните. Това не е пречка за осъществяване на основната цел на настоящото изследване, а именно, оценка на трендовете на изменение на температурата на морската вода.

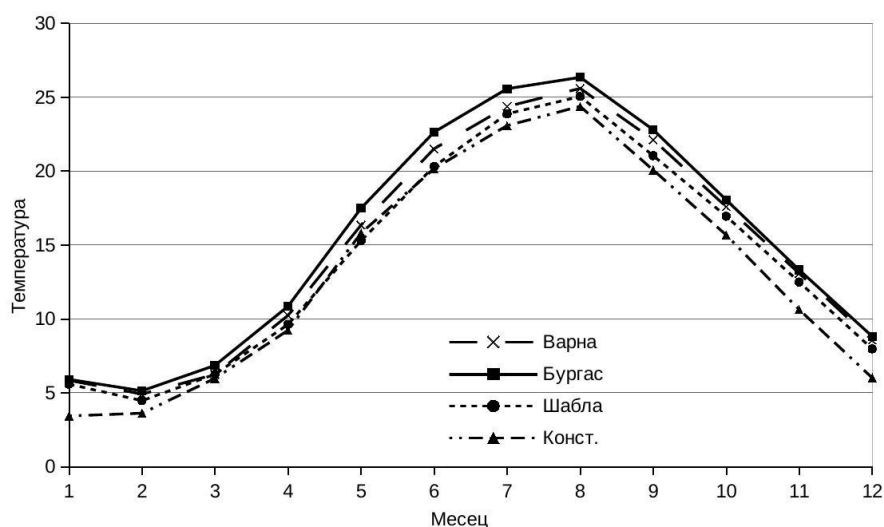
Измерванията на температурата на повърхностния слой морска вода се извършват в три от основните синоптични срокове 6, 12 и 18 UTC. В редиците от данни за някои от разглежданите станции и за отделни периоди присъстват само измерванията в 12 UTC. Най-пълни са данните за температурата на морската вода в Бургас. Те са с малко на брой липсващи срочни данни. С малко повече липсващи данните са тези за Констанца. В данните от Варна има няколко години, в които измерванията са правени по един път на ден, и то само в 12 UTC. За тази станция липсват данни за периода ноември 2011–януари 2012 г. Последната станция, от която са използвани данни, е Шабла, в която периодите с липсващи данни са най-много – изцяло липсват данни за януари–август 2000 г., февруари–септември 2001 г. и след октомври 2013 г. По тази причина времевият ред от данни за станция Шабла е с 4 години по-кратък. За разглеждания период има още една станция, в която е измервана температурата на морската вода – Ахтопол. Данните за нея са само за 12 UTC и за периода юни 2011–октомври 2013 г., поради което те не са използвани в настоящото изследване.

Определянето на средните дневни, месечни и годишни температури на водата е направено чрез осредняване на наличните данни. Липсата на регулярни данни естествено ще доведе до известно „изкривяване” на получените резултати. Считаме, че това „изкривяване” не е от голямо значение при изпълнението на целите на настоящото изследване, доколкото поради големия топлинен капацитет на водата денонощните амплитуди на температурата на морската вода са обикновено няколко десети от градуса и са на порядък по-малки от денонощните амплитуди на температурата на въздуха. При отсъствие на интензивни динамични процеси в крайбрежните райони (например ъпуелинг) месечните амплитуди на температурата на водата са обикновено до няколко градуса. Разбира се, най-добрият вариант е да се извърши хомогенизация на данните за температурата на морската вода чрез използване на данни за температурата на въздуха в станцията. Това е сложна процедура, доколкото денонощният ход на температурата на морската вода не зависи само от температурата на въздуха, а и от редица динамични причини. Използването на данни от съседните океанографски станции също не е възможно поради голямата им отдалеченост.

## 6. РЕЗУЛТАТИ

### 6.1. СРЕДНОМЕСЕЧНИ ТЕМПЕРАТУРИ НА МОРСКАТА ВОДА

Представянето на резултатите от обработката на данните започва с анализ на средномесечните температури. На фиг. 1 са представени осреднените за периода 2000–2015 г. средномесечни температури за четирите станции. Годишният ход на температурата се характеризира с постепенно затопляне от 3–6 °С през януари–февруари до максимална температура през август около 24–27 °С и последващ обратен процес на охлаждане на морската вода през есента до 6–8 °С. Стойностите на температурите са в пряка зависимост от географската ширина на станциите. Малко по-различен е годишният ход на температурата в станция Констанца, където най-ниските температури са през януари, а не през февруари.



Фиг. 1. Годишен ход на средните месечни температури на морската вода

В разглеждания период има единични години, през които се наблюдава по-съществена разлика в годишния ход на температурата. Например за станциите Бургас и Варна януарските температури са били по-ниски от февруарските през 2000 и 2002 г. През 2002 и 2012 г. средномесечните температури през юли са били по-високи от тези през август за всички разглеждани станции. През 2003 г. средномесечните температури през юли са били необичайно ниски, като за станции Варна и Бургас са били по-ниски от температурите през юни 2003 г.

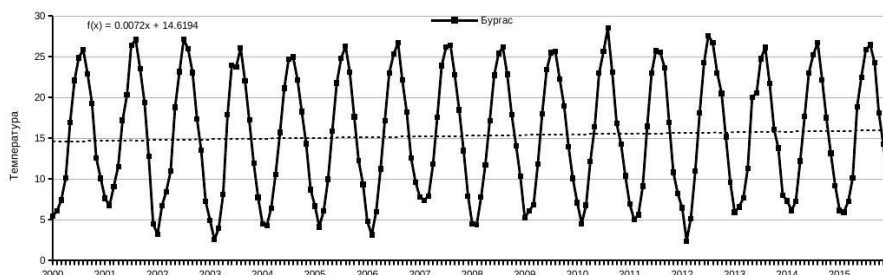


В табл. 1 са представени средните, максималните и минималните температури за четирите станции, а също така и максималните и минималните годишни амплитуди на температурата. В скоби е показан месеца и/или годината, през която са получени съответните стойности на температурата.

**Таблица 1.** Температурни характеристики за четирите станции през разглеждания период

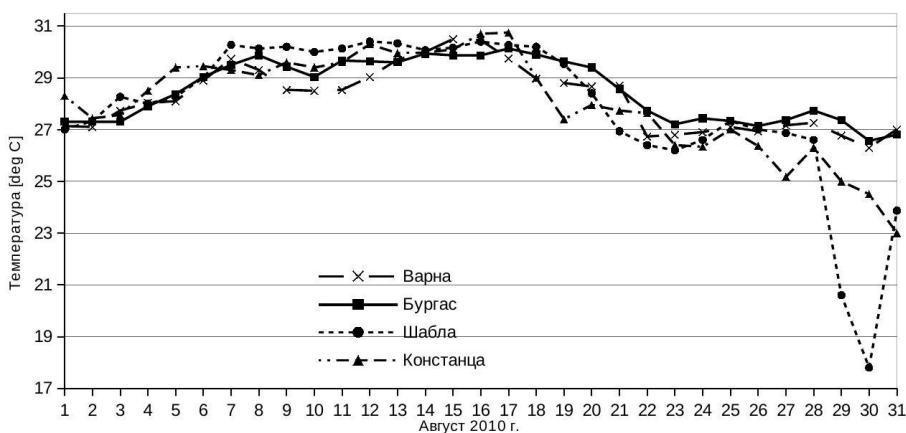
Температура	Бургас	Варна	Шабла	Констанца
Средногодишна	15,3	14,7	14	13,2
Най-висока средна месечна	26,3 (VIII)	25,6 (VIII)	25 (VIII)	24,4 (VIII)
Най-ниска средна месечна	5,1 (II)	4,9 (II)	4,5 (II)	3,4 (I)
Максимална месечна (VIII.2010)	28,5	28,2	27,9	27,9
Минимална месечна (II.2012)	2,4	2,8	1,8	1,1
Максимална годишна амплитуда	25,2 (2012)	24 (2010)	24,1 (2010)	25,7 (2010)
Минимална годишна амплитуда	19 (2007)	18,6 (2007)	19 (2011)	19,1 (2007)

През разглеждания период най-високи месечни температури са регистрирани през август 2010 г., а най-ниски – през февруари 2012 г., и за четирите станции. Максималните годишни амплитуди на температурата в три от станциите са през 2010 г. и са свързани с необичайно високите температури през август на тази година. Единствено в станция Бургас максималната годишна амплитуда е през 2012 г., когато температурата през февруари е била по-ниска от тази във Варна. През 2012 г. е отчетено и необичайно бързо затопляне на повърхностните води и достигане на максималните температури през юли. В три от станциите минимална е била годишната амплитуда на температурата през 2007 г. поради сравнително високите температури през февруари – с около 2 °C над средната за месеца температура. Единствено в Шабла минималната годишна амплитуда на температурата е през 2011 г., когато зимата е била относително топла, но с най-ниска температура през март и съответно при последвалото затопляне температурата през август е по-ниска от средната. Част от тези особености са видни на фиг. 2, на която е представен годишният ход на температурата по месечни данни за станция Бургас за периода 2000–2015 г.



Фиг. 2. Изменение на температурата на морската вода в станция Бургас

От данните в табл. 1 и фиг. 2 се вижда, че 2010 г. е била аномална по отношение на температурата на морската вода. През август 2010 г. са измерени рекордно високите сročни температури за целия разглеждан период, които са за: Шабла 31 °С (07.08.2010, 12 UTC); Варна 31,5 °С (13.08.2010, 12 UTC); Бургас 30,6 °С (17.08.2010, 18 UTC); Констанца 31,4 °С (17.08.2010, 12 UTC). На фиг. 3 са представени среднодневните температури за четирите станции за август 2010 г.



Фиг. 3. Среднодневни температури на морската вода през август 2010 г.

Характерно за първата седмица на август 2010 г. е, че температурата на морската вода в Констанца е по-висока от тази в трите по-южни станции. През втората седмица на август 2010 г. най-високи са температурите в Шабла, като се наблюдава и бързо повишение на температурата в станция Варна. В средата на третата седмица е регистрирана най-високата стойност на температурата в Бургас и едновременно и в Констанца. Следва понижение на температурите във всички станции до климатичните им норми. Към края на август

(29–30.08.2010 г.) в района на Шабла се наблюдава рязък спад на температурите до 17,6 °С. Намаление на температурата се наблюдава и в Констанца. Основната причина за понижението на температурите в двете станции е явлението ъпуелинг, характерно за прибрежието на север от нос Калиакра, в резултат на духащия в случая близо две денонощия умерен южен вятър.

Регистрираните максимални температурни рекорди на морската вода през август 2010 г. са в резултат на комплексното влияние на няколко фактора: 1) продължително задържане на антициклонно барично поле над европейската част на Русия; 2) преобладаващо ясно време без валежи и достигане на необичайно високи температури на въздуха; 3) преобладаващ слаб североизточен вятър, водещ до даунуелинг в крайбрежните райони; 4) слаба бризова циркулация поради високите минимални температури; 5) необичайна циркулация в западната част на Черно море, където западно от п-в Крим почти през целия месец е разположен квазистационарен антициклоничен вихър [12].

Едно от възможните обяснения за рекордните температури, измерени през август 2010 г. по нашето крайбрежие, е базирано на адвекцията на топли води от морските течения. Температурата на водата в началото на годината е близка до климатичните норми (фиг. 2). Според изследването на Гицба и Екба [7] за периода 1994–2012 г. максималните средни месечни температури в станция Сухуми (Грузия) за зимните месеци са измерени през 2010 г. и те са с около 2 °С по-високи от климатичните норми. Средногодишните температури на морската вода и на въздуха са били най-високи също през 2010 г. Хипотезата е следната: топлите води от източните части на Черно море са транспортирани от Основното черноморско течение в западната част на морето. След п-в Крим е формиран квазистационарен антициклоничен вихър, под чието влияние основната част от водите се отклонява на югозапад, а друга част се отклонява на северозапад, достигайки северозападните плитни райони на морето. След допълнително затопляне при споменатите метеорологични условия в северозападните части на морето водите достигат българското крайбрежие. Имайки предвид факта, че затоплянето на морската вода през август 2010 г. е започнало от север на юг, вероятно адвекцията на топли води също е причина за достигането на рекордните температури на водата през лятото на 2010 г.

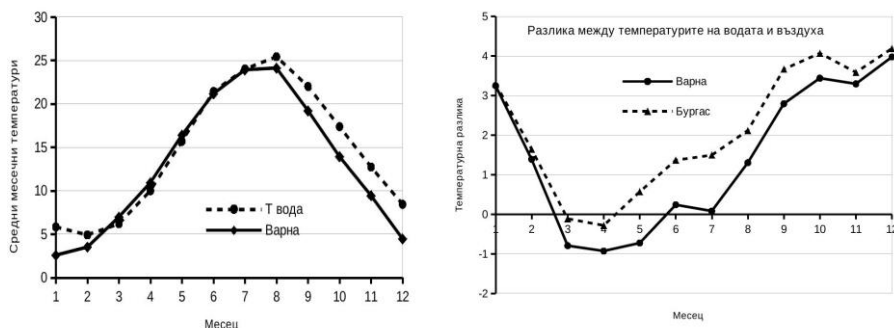
Адвекцията на студени води от крайбрежните течения е една от причините за регистрираните ниски температури през февруари 2012 г. Необичайно ниска през този месец е била и средната температура на въздуха, но намаление на средната месечна температура в станция Бургас от 0,7 °С през януари до –0,2 °С през февруари не може изцяло да обясни понижението на температурата на морската вода от 6,4 °С до 2,4 °С през този период. Допълнително температурата на морската вода през март 2012

г. в Бургас е с около 2 °С по-ниска от средномесечната, а е и с около 1,5 °С по-ниска от средната температура на въздуха. Анализът на спътникови изображения за температурата на морската вода [12] показва наличието на добре изразена фронтална линия край западните брегове на Черно море, разделяща студените крайбрежни води от топлите води в открито море. Най-ниска е температурата на водата в крайните северозападни райони на морето, като температурата постепенно се увеличава в южна посока. Фронталната линия се проследява и по югозападните брегове на морето [12]. През февруари 2012 г. северозападните крайбрежни райони на морето (включително Констанца) са били покрити с лед и адвекцията на студени води е една от причините за ниските температури на водата и в по-южните станции.

Подобна е ситуацията и през зимните месеци на 2011 г., когато средните температури на морската вода в Шабла и Варна през март са по-ниски от тези през февруари. В същото време средната температура на въздуха се е повишила – за станция Варна от 2,3 °С през февруари на 5,7 °С през март [11]. От фиг. 2 се вижда, че за станция Бургас температурата на морската вода през март е с около 0,5 °С по-висока от тази през февруари, при повишение на температурата на въздуха в станцията с 3,4 °С. Анализът на спътникови изображения за температурата на морската вода [12] отново показва наличието на добре изразена фронтална линия край западните брегове на Черно море, откриваща се до Босфора.

Адвекцията на води от Основното черноморско течение, а също така крайбрежните течения, речният вток, процесите на ъпуелинг и др. водят до изменения на температурата на морската вода и в някои случаи може да са определящи. Температурният режим на морската вода в крайбрежните станции зависи основно от взаимодействието с атмосферата [6, 9, 10, 13]. Имайки предвид това, е потърсена връзка между годишните изменения на температурата на въздуха и на водата в станции Варна и Бургас, за които са налични климатични данни за температурата на въздуха за периода до 2011 г. [5].

На фиг. 4 са представени годишният ход на температурата на морската вода и на въздуха за станция Варна и разликите между температурите на морската вода и на въздуха за станциите Бургас и Варна. Вижда се, че през зимните месеци ходът на температурата на водата от февруари до юни следва повишаването на температурата на въздуха. След месец май за Варна и април за Бургас температурите на водата са по-високи от тези на въздуха. Тази особеност се запазва и след достигането на максималните температури през месец август.



**Фиг. 4.** Годишен ход на температурата на морската вода и на въздуха за станция Варна (ляво) и разлики между средномесечните температури на морската вода и въздуха за Бургас и Варна (дясно), изчислени по данни за периода 2000–2011 г.

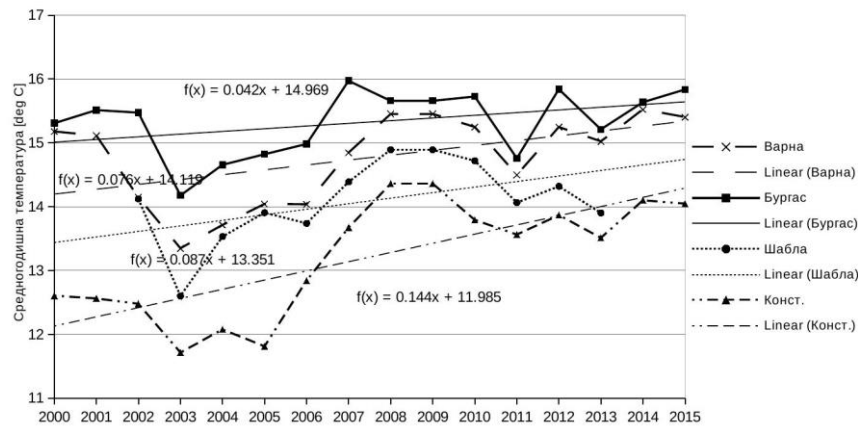
Това е свързано както с големия топлинен капацитет на водата, така и с адвекцията на води от Основното черноморско течение. За станция Варна е характерно, че за месеците март, април и май температурата на въздуха е по-висока от температурата на морската вода. За станция Бургас температурата на морската вода и въздуха почти се изравняват през март и април. Най-големите разлики между температурата на морската вода и тази на въздуха са през декември – над 4 °С. Темпът на увеличение на разликата между двете температури във Варна за месеците юли–октомври е по-голям от съответния за Бургас.

#### 6.2. ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА МОРСКАТА ВОДА ЗА ПЕРИОДА 2000–2015 г.

По данни за средногодишните стойности на температурата са оценени линейните трендове на изменение на температурата на повърхностния слой на морската вода за четирите разглеждани станции (фиг. 5). Те са, както следва: Бургас +0,42 °С за десетилетие, Варна +0,76 °С за десетилетие, Шабла +0,87 °С за десетилетие, Констанца +1,44 °С за десетилетие. Трендът за станция Шабла е за периода 2002–2013 г. Може да се направи изводът, че колкото по-северна е дадена станция, толкова по-голямо е увеличението на температурите. Сравнението на тези резултати с оценките на други автори [6, 8] за периода 1986–2006 г. показва, че увеличението на температурата на морската вода е с още по-бързи темпове за последните 16 години.

От фиг. 5 е видно добре, че междугодишните изменения на температурата на морската вода не са плавни и трендът не е линеен.

На фигурата са представени линейните трендове на температурата, за да могат да бъдат правени сравнения на стойностите им както между разглежданите станции, а така също и с резултати от други изследвания.

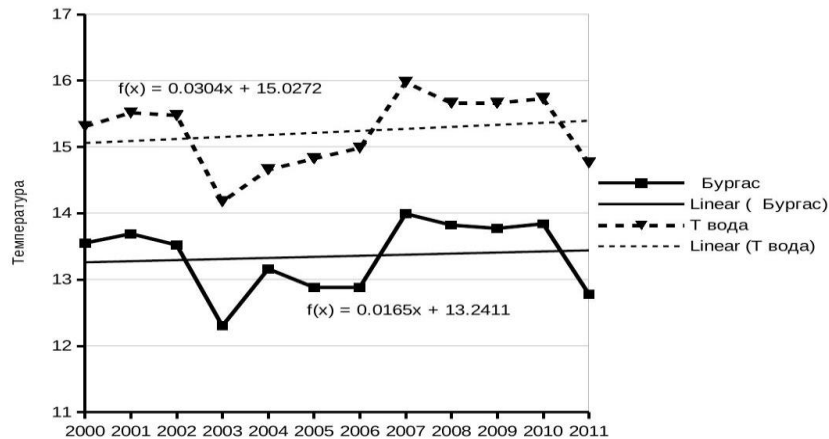


Фиг. 5. Средногодишни температури на морската вода за периода 2000–2015 г.

След относително топлите 2000 и 2001 г. следват няколко години с пониски температури. След 2006 г. до 2009 г. се наблюдава рязко увеличение на температурата. След поредното относително слабо понижаване до 2013 г. следва ново увеличаване на средногодишните температури през последните две години 2013–2015 г. Подобни скокове в температурата на морската вода са регистрирани и през други години. По спътниковите данни за температурата на водата са открити бързи увеличения на температурата през 1993–1994 г., 1996–1998 г. и 2006–2007 г. [14]. Характерното е, че след подобни скокове на температурата в следващите няколко години тя остава относително висока.

Сравнени са измененията на температурата на морската вода и температурата на въздуха за периода 2000–2011 г. в станциите Варна и Бургас (фиг. 6). Средногодишната разлика между температурата на морската вода и въздуха е 1,5 °C за Варна и 1,9 °C за Бургас. Графиките на температурите на въздуха и на водата за Бургас имат приблизително еднакъв ход. По-съществено разминаване има за 2005 и 2006 г., когато пониските температури на въздуха не са довели до спад в температурата на морската вода. Изчисленият коефициент на линейна корелация между температурата на водата и въздуха е 0,96. Може да се направи заключението, че в дълбоко врязания в сушата и плитък Бургаски залив температурата се определя основно от вариациите в температурата на въздуха.

В станция Варна коефициентът на линейна корелация между температурата на водата и въздуха е 0,79, което показва, че повишаването на температурата на морската вода се дължи основно на повишаване на температурата на въздуха, но влияние има и адвекцията на водни маси от морските течения и други фактори.



Фиг. 6. Средногодишни температури на морската вода и въздуха в Бургас за периода 2000–2011 г.

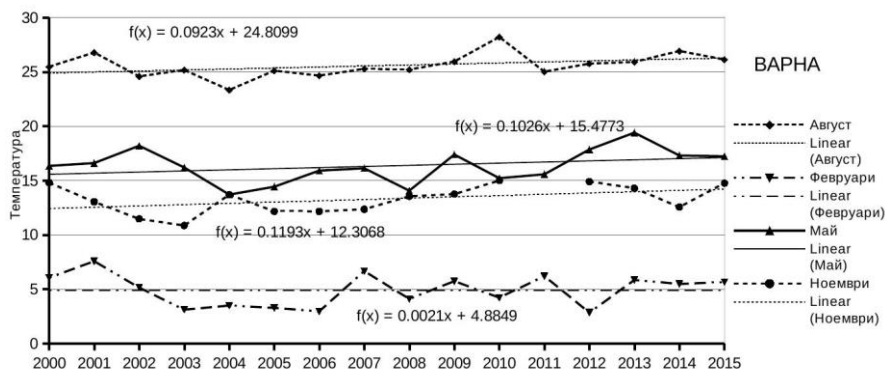
Оцененият тренд за климатичните данни за температурата на въздуха в станция Бургас е 0,16 °C за десетилетие и е по-малък от тренда на нарастване на температурата на морската вода, който е 0,3 °C за десетилетие. Аналогична е и ситуацията във Варна, където и двата тренда са по-високи и са съответно 0,22 °C и 0,59 °C. Естествено, при къси редици от данни оценките за трендовете силно зависят от началната и крайната година на разглеждания период. Например оценените трендове на температурата на морската вода за периода 2000–2011 г. са с около 30 % по-малки от тези за периода 2000–2015 г. Сравнението за по-дълги периоди показва, че трендовете на изменение на температурите на морската вода и на въздуха в двете станции са почти еднакви. Това не е в съгласие с изводите от докладите на IPCC [1], според които температурата на въздуха над сушата се увеличава около 2 пъти по-бързо от температурата на повърхността на океаните. Оцененият среден за четирите станции тренд на температурата на морската вода за периода 2000–2015 г. е 0,87 °C и е няколко пъти по-голям от оценките на IPCC [1]. Една от причините за по-бързото повишаване на повърхностните температури в Черно море е, че поради уникалната термохалинна структура на водите измененията на температурата обхващат основно горните 70 m от водния стълб [15].

Анализ на някои от причините, водещи до наблюдаваните изменения на температурата на морската вода, е проведен в изследването на Полонски и др. [15]. В периода 1980–1990 г. е регистрирано съществено обновяване на водите на студения междинен слой (СМС), водещо до усиление устойчивостта през топлото полугодие и намаляване дебелината на повърхностния активен слой в морето. Принос за това има и тенденцията за разпресняване на повърхностните води. През 1990 г. горната граница на СМС се е издигнала до 40 m дълбочина. Показано е, че в повърхностните слоеве на морето до дълбочина 75 m определящи за промяната на температурата са сезонните колебания, а на по-големи дълбочини определящи са дългопериодичните изменения с периоди от порядъка на десетилетия. Очевидно за изясняване на факторите, водещи до промени на температурата на повърхността на Черно море, трябва да се отчетат не само промените в атмосферата, но и промените в термохалинната структура на морето, а също така и промените в морските течения. Пример за влиянието на теченията върху измерените температури на водата беше даден по-горе в текста.

Разгледани са и измененията в отделните станции през различните месеци за периода 2000–2015 г. На фиг. 7 са представени графики за измененията на температурата във Варна през февруари, май, август и ноември. Тези месеци са избрани като представителни месеци от сезоните. Най-голямо е увеличението на температурите за месец ноември, следвано от месец май. По-малко е увеличението на температурите за август, а трендът на температурите през февруари е близък до 0. Това се съгласува с изводите от Рачев и Димитрова [5] за сезонните трендове на изменение на температурата на въздуха за територията на България.

Аналогични резултати са получени и за станции Бургас и Констанца. Направените анализи показват, че тенденциите на изменение на февруарските температури в тези станции са незначителни. Средният тренд на повишаване на температурите (за Бургас, Варна и Констанца) е най-голям за ноември: 1,5 °C за десетилетие, а по-малки са трендовете за май (1 °C за десетилетие) и за август (0,9 °C за десетилетие). Тези тенденции се различават от получените за станция Сухуми [7], където за периода 1992–2012 г. е получено най-голямо увеличение на температурата на морската вода през юли и август – съответно 2,2 и 1,6 °C, а февруарските температури са се понижали с 0,2 °C.





**Фиг. 7.** Средномесечни температури на морската вода за февруари, май, август и ноември във Варна за периода 2000–2015 г.

Приносът на отделните месеци към общото повишение на температурите на морската вода зависи от географската ширина. Например от общото за разглежданите четири месеца повишение на температурата в станция Бургас 45 % се дължи на повишението на температурите през месец май, а в Констанца съответният процент е 22. Обратна е зависимостта за месец август, през който относителното тегло на повишението на температурите нараства от 17 % в Бургас до 30 % в Констанца. Най-малко варира относителният принос на повишението на температурите през ноември – между 38 и 48 %, като най-много през разглеждания период са се повишили ноемврийските температури в Констанца.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тенденциите на нарастване на температурите на повърхността на Черно море по данни за четирите станции по западното крайбрежие, оценени за периода 2000–2015 г., са по-големи от тенденциите, получени от предишни изследвания [1, 6, 8]. Оцененият среден за четирите станции тренд на средногодишните температури е  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  за десетилетие. Най-голямо е увеличението на температурата в станция Констанца, а най-малко в станция Бургас. През най-студения месец на годината (февруари) няма добре изразена тенденция на изменение на средногодишните температури на морската вода, докато през ноември са оценени най-големите трендове. Повишението на температурата на морската вода е пряко свързано с повишението на температурата на въздуха.

В някои от анализиранияте случаи трябва да се отчете и влиянието на морските течения, за да бъдат обяснени аномалните годишни и сезонни изменения на температурата на морската вода. За установяване и на други причини, свързани със същественото повишаване на температурата на морската вода, е необходимо изследването да бъде продължено с анализ и на промените в термохалинната структура на морето.

Настоящото изследване е част от дипломната работа на Пламен Крайчев “Изследване измененията на температурата на морската вода в повърхностния слой в западното крайбрежие на Черно море.”, защитена през 2016 г., ОКС “Магистър”, “Метеорология”, катедра “Метеорология и геофизика”.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge, 2013.
- [2] IPCC. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2007.
- [3] Syrakova, M. and V. Mateev. *Bulgarian Geophysical Journal*, 2009, **35**, 33.
- [4] Александров, В. Климатични промени: състояние на проблема, научни изследвания в БАН и България. София, 2008.
- [5] Рачев, Н. и Д. Димитрова. *Annual of Sofia University „St. Kliment Ohridski”, Faculty of Physics*, 2016, **109**.
- [6] Репетин, Л.Н. В: *Мониторинг прибрежной и шельфовой зон морей*, УНИГМИ, 2012, 99-116.
- [7] Гицба, Я. и Я. Екба. *Известия Южного федерального университета, Технические науки*, 2013, **9** (146), 148.
- [8] Nardelli, V., S. Colella, R. Santoleri, M. Guarracino, A. Kholod. *Journal of Marine Systems*, 2010, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2009.07.001.
- [9] Shapiro G. I., D. L. Aleynik, and L. D. Mee. *Ocean Sci.*, 2010, **6**, 491, doi:10.5194/os-6-491-2010.
- [10] Симонов, А. и Е. Алтман. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное моря*, т. 4, 1, Гидрометеоиздат, 1991.
- [11] <http://www.stringmeteo.com/synop/index.php>, Фактически данни, NOAA.
- [12] [http://dvs.net.ru/mp/data/main\\_ru.shtml](http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml), Морской гидрофизический институт РАН.
- [13] Виноградов К. А. *Очерки по истории отечественных гидробиологических исследований на Черном море*. Издательство академии наук Украинской ССР, 1958.
- [14] Гинзбург А.И., А.Г.Константиной, Н.А.Шеремет. *СПДЗЗК*, 2011, **8**, 4, 209.
- [15] Полонски А.Б., И.Г. Шокурова, В.Н. Белокопитов. *Мор. гидрофиз. Журн.*, 2013, **6**, 27.