

ИЗМЕНЕНИЯ НА СРЕДНИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ И ВАЛЕЖИ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 1995–2012 г.

НИКОЛАЙ РАЧЕВ, ДЕСИСЛАВА ДИМИТРОВА

Катедра „Метеорология и геофизика“

*Николай Рачев, Десислава Димитрова. ИЗМЕНЕНИЯ НА СРЕДНИТЕ
ТЕМПЕРАТУРИ И ВАЛЕЖИ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 1995–2012 г.*

В работата са оценени тенденциите в измененията на температурата и валежите за територията на България за периода 1995–2012 г. Разгледани са годишните и сезонните трендове за цялата територия на България, а също така и за отделни метеорологични станции. Използвани са синоптични, климатични данни и данни от атмосферни реанализи на ECMWF. Получените оценки за тенденциите са сравнени с аналогични от докладите на IPCC и от други изследвания. Установено е увеличение на средногодишните температури за територията на България през разглеждания период. Валежните суми се характеризират със съществена междугодишна изменчивост, но за периода на разглеждане не се наблюдава значим тренд. Показано е, че в някои случаи данните от атмосферния реанализ ERA-Interim добре описват тенденциите в изменението на температурите и могат да бъдат използвани и за климатични изследвания.

*Nikolay Rachev, Desislava Dimitrova. CHANGES IN AVERAGE TEMPERATURES AND
PRECIPITATION IN BULGARIA FOR THE PERIOD 1995–2012*

The changes of temperature and precipitation for the territory of Bulgaria for the period 1995–2012 are determined. The annual and seasonal trends for the whole territory of Bulgaria, as well as for individual weather stations are estimated. Synoptic, climatic data and data from atmospheric reanalysis of ECMWF are used. The estimated trends are compared with similar reports from the IPCC and other studies. It was found an increase in annual mean temperatures for the territory of Bulgaria during the period under consideration. Total precipitation is characterized by significant interannual variability, but a significant trend is not observed for the duration of the examined period. It is shown that in some cases, the atmospheric reanalysis data of ERA-Interim are able to describe temperature trends well and can be used for climate research.

Keywords: climate variability, Bulgaria

PACS numbers: 92.70.Kb, 92.60.Ry

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. Докладите на Междуправителствената експертна група по изменение на климата (IPCC) имат за цел да разгледат направените проучвания и да дадат балансирана оценка на наличната информация за промените в климата и възможностите за намаляване на въздействието им. За периода 1990–2014 г. са публикувани 5 доклада на IPCC [1], в които се документират все повече последици от глобалното затопляне и все по-уверено се твърди, че една от основните причини за наблюдаваните промени е човешката дейност.

Важна част от процеса на определяне на промените в климата на Земята са регионалните климатични изследвания. Показано е, че измененията на средните температури не са еднопосочни по цялото земно кълбо, а едновременно се наблюдават райони с повишаващи се и намаляващи средни температури. Естествено е да бъде потърсен отговор на въпроса какви са измененията за територията на България. През последните години са публикувани няколко изследвания, разглеждащи климатичните изменения за България, но данните, използвани в тях, в повечето случаи не обхващат периода след четвъртия доклад на IPCC [2]. Основната идея на настоящото изследване е да бъдат обработени и анализирани налични данни, достъпни в Internet, за периода 1995–2012 г.

Целта е да бъдат оценени тенденциите в измененията на температурата и валежите за територията на България за периода 1995–2012 г. Разгледани са годишните и сезонните трендове за цялата територия на България, а също така и за отделни метеорологични станции. Използвани са синоптични, климатични данни и данни от атмосферни реанализи на ECMWF. Получените оценки за тенденциите са сравнени с аналогичните от докладите на IPCC.

2. КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ

2.1. КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ СПОРЕД ДОКЛАДИТЕ НА IPCC

Петият доклад на IPCC [1] констатира, че средната глобална приземна температура е нараснала от края на XIX век. Всяко едно от последните три десетилетия е по-топло от всички предишни десетилетия от времето на инструменталните записи, а първото десетилетие на XXI век е било най-топлото. Много вероятно е най-топлият 30-годишен период за последните 1400 години да е този в северното полукълбо за периода 1983–2012 г. [1].

Оценените тенденции на повишение на средната глобална температура за периодите 1880–2012 г., 1901–2012 г. и 1951–2012 г. са

съответно 0,064; 0,08 и 0,118 °C за десетилетие [1]. Средните глобални температури за периодите 1986–2005 г. и 2003–2012 г. са съответно с 0,61 °C и с 0,78 °C по-високи от средната температура за периода 1850–1900 г. [1, 2]. Очевидно повишаването на средните глобални температури продължава, и то с все по-бързи темпове.

Най-голямо увеличение на средните температури се наблюдава над континентите, където за периодите 1880–2012 г. и 1979–2012 г. трендовете са съответно 0,092 °C и 0,262 °C на десетилетие. За периода 1850–2012 г. средната температура над сушата се е повишила с около 1,5 °C [1]. Повишават се и максималните и минималните температури над сушата, което е по-добре изразено след 1950 г. Броят на екстремно студения дни и нощи през първото десетилетие на XXI век е намалял с около 20 дни, сравнено с нормалния период 1961–1990 г., екстремно топлите дни и нощи са се увеличили също с около 20 дни [1].

Тенденциите в изменението на средните годишни валежи се характеризират с голяма пространствена и времева променливост. В тропичните и екваториалните райони засушаването след 1970 г. е последвано от увеличаване на средните валежи, особено добре забележимо през последното десетилетие. В умерените ширини на северното полукълбо (30N–60N) тенденциите след 1951 г. са за увеличаване на валежите, но трендовете не са статистически значими. Слабо увеличение на глобалните валежи се наблюдава след 2000 г., но за умерените ширини на южното полукълбо (30S–60S) тенденцията е към засушаване.

2.2. СЦЕНАРИИ ЗА ПРОМЯНА НА КЛИМАТА ПРЕЗ XXI ВЕК

Прогнозите за климата през XXI век са базирани на анализи на резултатите от числени климатични модели, инициализирани с наличните данни и с приложени форсирания съгласно разработените сценарии за развитието на нашата цивилизация. Според най-вероятните климатични сценарии средната глобална приземна температура за периода 2016–2035 г. се очаква да бъде с повече от 1 °C над средната за периода 1850–1900 г. и с от 0,3 °C до 0,7 °C над средната за периода 1986–2005 г. Очаква се повишението на средните сезонни и средната годишна температура да бъде по-голямо в тропиците, отколкото в средните географски ширини [1].

По отношение на предполагаемите промени на валежите моделните симулации показват, че е много вероятно средните зонални валежи да се увеличат във високите и средните географски ширини и е по-вероятно да намалят в тропиците.

Измененията на температурите и валежите няма да са регионално еднородни. Най-голямо повишение на температурите се очаква да настъпи над сушата във високите географски ширини на северното полукълбо [1].

Разликата между валежите във влажните и сухите райони и между влажните и сухите сезони ще се увеличи през XXI век, но може да има регионални изключения. За територията на Балканския полуостров при благоприятните климатични сценарии не се очакват съществени промени в средното количество валежи, но при неблагоприятните сценарии тенденцията е за намаление на валежите с 20–30% към края на XXI век [1].

2.3. КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ В БЪЛГАРИЯ

Изследванията на климата на България включват статистическа обработка на данните, реконструкция на климата с помощта на климатични модели, а също така и провеждане на числени експерименти, целящи установяването на бъдещи климатични промени според сценариите на IPCC [3–9].

В изследването на Syrakova and Mateev [5] са анализирани климатични данни за температурата на територията на България за периода 1900–2000 г. Най-интересни са резултатите от периода 1951–1995 г., които са получени по данни от 31 климатични станции. В настоящата работа се използват данни от 33 станции. Избраният от нас период на разглеждане е от 1995 до 2012 г., като идеята е да се сравнят трендовете на температурата през последните години с тези за периода 1951–1995 г. След хомогенизацията на данните за периода 1951–1995 г. пресметнатите тенденции в изменението на температурите през лятото и есента са отрицателни, а през пролетта са положителни [5]. Положителните трендове на температурите в някои станции достигат интервала 0,26–0,35 °C за десетилетие през пролетта, а отрицателните са в интервала от –0,26 до –0,35 °C за десетилетие през есента. При годишните трендове на температурата преобладават отрицателните, 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 [5].

Климатичното изследване на Александров [7] разглежда климатичните тенденции за същите периоди, както Syrakova and Mateev [5]. И при двете изследвания измененията на годишните температури не са статистически значими, но се различават най-вече по районите с положителни и отрицателни тенденции. Тенденцията за средната годишна температура за периода 1931–2000 г. разделя територията на България по диагонал на две зони с противоположни тенденции на температурата [7]. Североизточните, източните и южните области в България са с тенденции към намаляване на средната температура на въздуха, докато над западните, северо-западните и централните области има тенденция към повишаване. Средната температура през пролетта не показва значителни изменения през XX век.

Лятото е било по-топло от началото на осемдесетте години. В общи линии положителните аномалии са били в страната в течение на последните години на XX век – след 1980 г. се наблюдава тенденция към затопляне, като 1994 и 2000 г. са най-топлите в страната през XX век [7]. Тенденцията за повишаване на температурата продължава и през първото десетилетие на XXI век. Средногодишната температура през 2009 г. е била с 1,2°C над обичайните за страната температури и тя е 12-та поредна година с температури, по-високи от нормата за страната [10].

По отношение на екстремалните температури последните години на XX век са с най-високи минимални и максимални температури на въздуха. Линейните тенденции за века се изменят в интервала от 0,6 до 0,8 °C за минималните температури и от 0,4 до 0,6 °C за максималните. Повишението на минималните температури е по-добре изразено в северна България, а на максималните в северозападна и югоизточна България [7].

Междугодишната изменчивост на средногодишните суми на валежите за територията на България за XX век е голяма, като преобладаващата тенденция в края на миналото столетие е към намаляване [7]. Най-значителните суши в страната са били през 1945 и 2000 г. Тенденциите през XX век на средногодишните суми на валежите са отрицателни в източните и западните части на България, а са положителни в някои от централните и северозападните области. От края на седемдесетте години на XX век се наблюдава отрицателна тенденция на летните и есенните валежи. Положителна тенденция на валежите се наблюдава през пролетта и най-вече през зимата [7]. Промяна има и в интензитета на валежите, който се увеличава през последните десетилетия [10].

Измененията на температурите и валежите за територията на България не са изолирани от тези за останалата част на Европа и ги следват в основни линии. По-голямата част от Европа е с тенденция към затопляне през XX век. Средногодишната температура на въздуха за континента се е повишила с 0,8–1,0 °C. През XX век валежите над северна Европа са се увеличили с 10–40%, докато валежите в някои региони от южна Европа са намалели с до 20% [1]. През втората половина на XX век средната температура на приземния въздух над Балканския полуостров е с тенденция към намаление до края на 70-те години, а след това тенденцията е към затопляне. Колебанията на средния годишен валеж през XX век показват, че засушаванията са част от климатичния цикъл на територията на Балканския полуостров [1].

Резултатите от моделни симулации на климатичните промени в нашия регион показват, че за периода 2020–2050 г. средногодишната температура на въздуха ще се повиши с около 2 °C [9]. Моделите показват също, че честотата и интензитетът на екстремните метеорологични явления – интензивни валежи, екстремни температури и други – също ще се увеличат.

3. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ

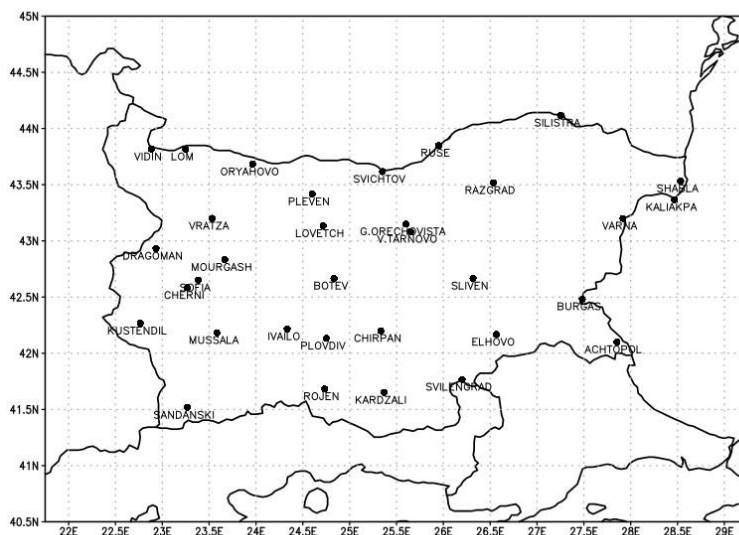
3.1. ТЕМПЕРАТУРА И ВАЛЕЖИ В БЪЛГАРИЯ

Основната идея на настоящото изследване е да бъдат анализирани налични данни, свободно достъпни от Internet, за периода 1995–2012 г. Основен източник на климатични и синоптични данни е сайтът <http://www.stringmeteo.com> [11–13]. От него може да се изтегли метеорологична информация за избрани станции на територията на България. След 2012 г. броят на достъпните синоптични станции е силно ограничен – от 33 на 11 станции. Информацията от климатичните станции е до края на 2011 г.

В синоптичните станции наблюденията се извършват през 3 часа, 8 пъти в денонощието, едновременно във всички станции по света. Данните участват в международния метеорологичен обмен и показват моментното състояние на приземния слой на атмосферата. Използвани са синоптични данни от архива на NOAA (код SYNOP) [11]. На фиг. 1 е представена карта на България с нанесени 33 синоптични станции, данните в които са измерени от Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ) и изтеглени от архива на NOAA. При анализа на данните са използвани всичките станции, като в някои случаи са разделени според надморската им височина: такива, които са с надморска височина, по-малка от 600 m, и с надморска височина, по-голяма от 2000 m. Последното е направено с цел сравнение на резултатите с предишни изследвания на климата на България.

В редиците от синоптични данни има липсващи данни за отделни станции. Например има липсващи данни за 2 и повече години за станции Рожен, Горна Оряховица, Чирпан и Свиленград. В станция Черни връх има 4 месеца за 1999 г. с изцяло липсващи данни, което води до нереална оценка за средногодишната температура, както ще бъде посочено по-нататък в текста.

В климатичните станции наблюденията се правят 3 пъти в денонощието – в 07:00, 14:00 и 21:00 часа местно време. Данните от тези наблюдения се подлагат на климатична обработка за получаване на климатични характеристики. В табл. 1 са представени 20 станции, от които са използвани климатични данни. Данните са достъпни на адрес http://www.stringmeteo.com/synop/semi_cent.php [12].



Фиг. 1. Местоположение на синоптичните станции

За климатичните станции в табл. 1, отбелязани със звезда, са налични данни и за количеството валеж. В по-голямата си част синоптичните и климатичните станции съвпадат. Станциите Хасково, Добрич и Казанлък, фигуриращи в списъка на климатичните станции, отсъстват от синоптичните станции. Тези климатични данни ще бъдат наричани “архив 1” по-долу в текста.

Таблица 1. Климатични станции (архив 1)

КЛИМАТИЧНИ СТАНЦИИ				
Видин*	Русе	Черни връх*	вр. Ботев	Бургас*
Лом	Варна*	София*	Пазарджик*	Сандански*
Плевен*	Добрич*	вр. Мусала	Казанлък*	Кърджали
В. Търново*	Кюстендил*	Пловдив	Сливен	Хасково*

Използвани са климатични данни и от проекта ECA&D (European Climate Assessment & Dataset project). Проектът ECA&D получава данни от 62 страни и съдържа серии от наблюдения за 12 елемента от 7855 станции в Европа и Средиземноморието [13]. България участва в ECA&D с данни от 14 климатични станции. Преди да бъдат изпратени към ECA&D, националните метеорологични служби осъществяват първичен контрол на данните [14]. Следва допълнителна обработка на данните в ECA&D,

гарантираща доброто им качество. Данните са само за 14 климатични станции и не покриват хомогенно територията на България. Затова в настоящата работа данните на ECA&D са използвани при необходимост от уточняване достоверността на климатичните данни от архив 1.

Европейският център за средносрочни прогнози (ECMWF) е водещ научно-изследователски център при провеждането на атмосферни реанализи. Един от последните проекти на ECMWF при реанализите е ERA-Interim [15], част от данните от който са свободно достъпни в мрежата с хоризонтална разделителна способност $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$. Територията на България се покрива почти изцяло от 21 мрежови клетки с данни на ERA-Interim. Използваните в настоящата работа данни за приземната температура и валежите са през 6 часа за периода 1995–2013 г. От тях са получени средномесечните и средногодишните температури и валежи за територията на България. Едно от най-големите достойнства на данните на ERA-Interim е отсъствието на липсващи данни. В редица изследвания е доказана възможността данните на ERA-Interim да бъдат използвани при оценки на климатичните изменения [16].

При анализа на температурата и валежите в София са използвани и данни от автоматичната метеорологична станция на катедра „Метеорология и геофизика“, разположена на територията на Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Климент Охридски“ в Борисовата градина. Измерванията от станцията се осредняват за период от 10 min и са свободно достъпни на адрес: meteo.phys.uni-sofia.bg. Редицата от непрекъснати измервания започва от средата на 2007 г.

3.2. ПРЕСМЯТАНЕ НА СРЕДНИТЕ ДНЕВНИ ТЕМПЕРАТУРИ

Приземната температура на въздуха е основна измервана величина при синоптичните и климатичните наблюдения. Интересът към начина на обработка на данните за температурата при определяне на средните дневни, месечни и годишни температури на приземния въздух нарасна значително през последните години в резултат на широко дискутираното глобално затопляне. Доколкото синоптичните наблюдения се извършват синхронно в основните (00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 ч. UTC) и допълнителни (03:00, 09:00, 15:00 и 21:00 ч. UTC) синоптични срокове, а климатичните измервания се извършват в срокове по локално време (за България – 07:00, 14:00 и 21:00 ч. EET), не е редно да се прави директно сравнение между средните температури, получени след обработка на двата типа данни [17]. Още повече климатичните измервания в различните страни се извършват в различни срокове и се използват различни формули за определяне на средните дневни температури. Имайки предвид това, в докладите на IPCC [1] се правят изводи за температурните тенденции и отклоненията от

нормите, като се предполага, че сроковете на наблюденията и методите за пресмятане на средните температури не се променят.

В изследването на Bonacci et al. [17] са анализирани пресметнатите средни дневни, месечни и годишни температури по три различни формули за три станции в Хърватия за периода 1999–2011 г. Резултатите са сравнени със съответните температури, изчислени по едночасови измервания. Максималните отклонения на средните дневни температури са в интервала от $-3,56^{\circ}\text{C}$ до $+3,73^{\circ}\text{C}$, за средомесечните температури – от $-0,79^{\circ}\text{C}$ до $+1,39^{\circ}\text{C}$, и от $-0,3^{\circ}\text{C}$ до $+0,76^{\circ}\text{C}$ за средните годишни температури. Средногодишните температури за целия разглеждан период в трите станции, изчислени по две от формулите, са по-високи от реалните. Изследването на Bonacci [17] още веднъж потвърждава, че от изключителна важност е начинът на пресмятане на средните дневни температури. Използването на неподходящи формули може да доведе до съществени отклонения от реалните средни температури и това да бъде интерпретирано като настъпващи климатични изменения. Scotto and Shulman [18] показват, че промяна на срока на климатичните наблюдения при запазване начина за определяне на средната дневна температура е довело до промяна на средногодишните температури в някои райони на САЩ с $0,7^{\circ}\text{C}$.

В изследването на Besselaar et al. [19] са направени сравнения между климатични и синоптични данни за температурите и валежите в Европа за периода 1982–2004 г. Сравненията показват, че трендовете на температурата и валежите, пресметнати за двата типа данни, са в много добро съгласие (разликите са до 10%), но оценките за минималните и максималните температури могат да се различават значително. Минималните температури са обикновено по-ниски при климатичните данни (сравнени със синоптичните), докато максималните температури са по-високи. Разлики се наблюдават и при валежните суми, дължащи се главно на различните интервали на измерване при двата типа данни.

В изследването на Cornes and Jones [16] е направено сравнение между средните дневни температури в Европа за периода 1980–2011 г., оценени по данни от атмосферните реанализи ERA-Interim и данни от наблюдения. Показано е, че данните на ERA-Interim много добре описват сезонните изменения на температурата и междугодишните ѝ трендове, но отново има разлики в минималните и максималните температури, получени от данните на ERA-Interim и от наблюденията.

Имайки предвид изложеното, в настоящата работа е акцентирано върху тенденциите в изменението на температурите, а не върху сравнението на техните средни стойности, доколкото анализите са проведени на базата на различни времеви редици от данни – синоптични, климатични и данни от атмосферни реанализи.

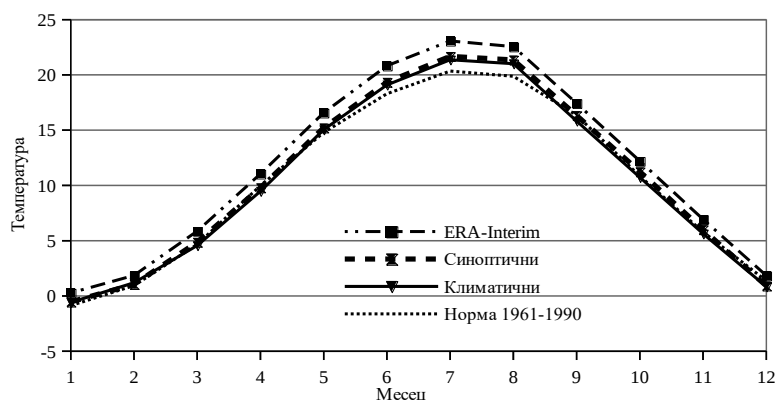
4. ИЗМЕНЕНИЕ НА ПРИЗЕМНАТА ТЕМПЕРАТУРА В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 1995–2012 г.

Представянето на резултатите от обработката на данните започва с анализ на средномесечните температури. Изчислените средномесечни температури по данни от синоптични наблюдения (SYNOP) за периода 1995–2012 г. се характеризират с голяма междугодишна изменчивост. Амплитудата на годишния ход (по месечни данни) на средната за територията на България температура е най-голяма през 2012 г. – 28,7 °C. През 2012 г. е бил най-студеният февруари (средна температура –4,2 °C) и най-топлият юли (средна температура 24,5 °C). Най-малка е била годишната амплитуда през 1997 г. (20,6 °C), когато средната температура през юли е била най-ниска (20,3 °C) за разглеждания период. През 2010 г. средната температура през ноември (10,3 °C) е била по-висока от тази през октомври (9 °C). Октомври 2010 г. е най-студеният, а август (23,1 °C) и ноември 2010 г. – най-топлите през разглеждания период. През 2007 г. е бил най-топлият януари (+4,8 °C), а средната юлска температура е също висока (24 °C). Март е бил най-студен през 1996 г. (0 °C), а най-топъл – през 2001 г. (9,1 °C). Средномесечната температура през април 1997 г. (5,4 °C) е била по-ниска от тази през февруари 2002 г. (5,6 °C).

Всички особености в годишния ход на средните месечни температури, пресметнати по синоптични данни, се наблюдават и при температурите, получени по данни от атмосферни реанализи – ERA-Interim. По отношение на стойностите на температурите има известни различия. Това е добре видно на фиг. 2, където са представени осреднените за периода 1995–2012 г. средномесечни температури за трите типа данни, а също така и нормите за периода 1961–1990 г. Температурите по данни на ERA са средно с около 1,1 °C по-високи от тези по синоптичните данни. Това може да бъде обяснено с факта, че за осъществяване на реанализите са използвани и данни от стандартните синоптични измервания в някои от станциите, съставлящи архива на NOAA. Разделителната способност на числения модел, с който е извършен реанализа на ERA-Interim, е $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$, което за нашите географски ширини дава клетка около 60×80 km. С такава мрежа не е възможно да се опише адекватно разнообразният релеф на България и затова моделният релеф на ERA-Interim е изгладен и по този начин са изключени високите части на планините. Най-голяма е разликата между двата типа данни през топлото полугодие (април–септември), като разликите в средномесечните температури може да надмине 1,5 °C.

От фиг. 2 се вижда, че няма съществени разлики в годишния ход на температурите, определен по климатичните и синоптичните данни. С изключение на февруари, средните температури по климатичните данни са по-ниски от тези по синоптичните данни. Сравнението с графиката на

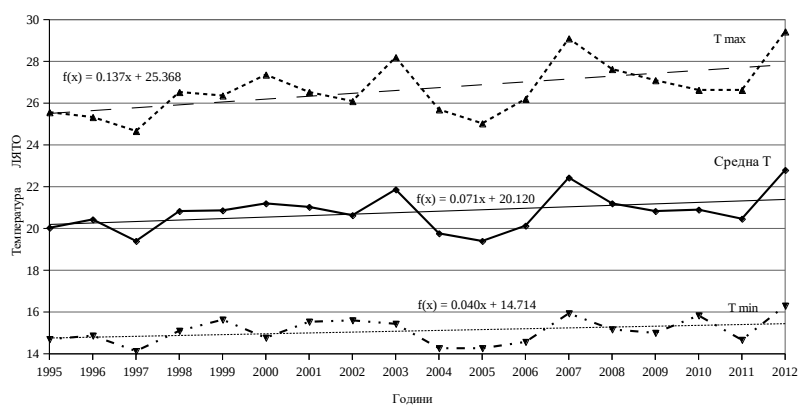
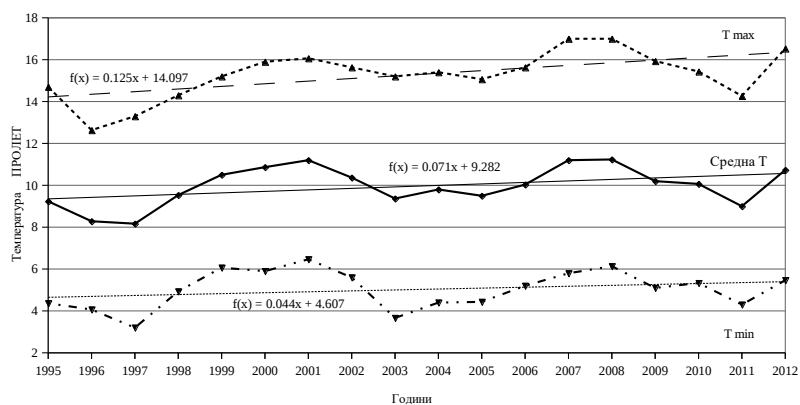
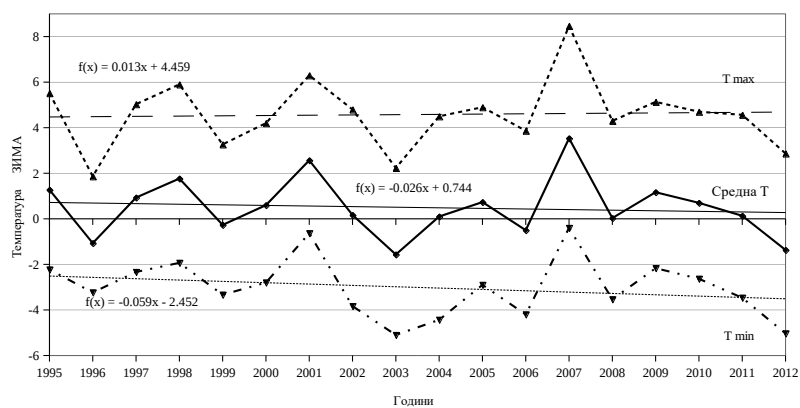
нормите за 1961–1990 г. показва, че средната температура за разглеждания период през летните месеци се е повишила.

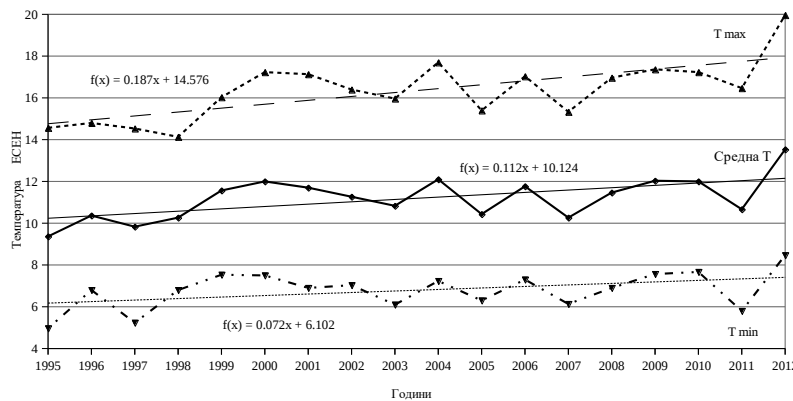


Фиг. 2. Годишен ход на средните месечни температури по данни на ERA-Interim, синоптични и климатични данни за периода 1995–2011 г. и климатични норми 1961–1990 г.

Независимо от различните начини на обработка на данните за температурата при трите серии данни основните закономерности в годишния ход на температурата са добре отразени. Разбира се, има и известни разлики, които се дължат както на естеството на данните, така и на различния брой станции, използвани при получаването на средномесечните температури, различните периоди с липсващи данни и т.н. Разминаванията на самите стойности на температурата между трите типа данни не е от съществено значение за осъществяването на основната задача на настоящото изследване, а именно – оценка на тенденциите в измененията на температурата.

За установяване на тенденциите в измененията на средните температури през периода 1995–2012 г. са разгледани сезонните средни, минимални и максимални температури по синоптичните данни. Сезоните са дефинирани, както следва: зима = декември–февруари; пролет = март–май; лято = юни–август; есен = септември–ноември. Резултатите са представени на фиг. 3. През зимата се наблюдава тенденция към понижаване на средната ($-0,26^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$) и минималната ($-0,59^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$) температура, а максималната температурата има тенденция към леко повишение ($+0,13^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$). На графиката се откроява относително студената зима на 2012 г. Ако се отчетат топлите зими на 2013 и 2014 г., най-вероятно тенденцията за повишаване на максималните температури през зимата ще стане по-добре изразена.





Фиг. 3. Сезонни температури за територията на България през периода 1995–2012 г. Представени са минималните, максималните и средните температури

Графиките на средните температури за пролетта, лятото и есента показват ясно изразен положителен тренд. Есенните тенденции на повишаване на температурата ($+1,12^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$ за средните температури) са най-големи в сравнение с останалите сезони. Сравнението с предишни изследвания [5] показва обръщане на тенденциите от отрицателни през лятото и есента за периода 1951–1995 г. към положителни за периода 1995–2012 г. Тенденциите за зимата и пролетта са без промяна.

Трябва да се отбележи също, че трендовете на повишение на максималните температури през пролетта, лятото и есента са 2–3 пъти по-големи от трендовете на минималните температури. Това съответства на изводите на IPCC [1], направени за други райони. През последните години се регистрират много повече рекорди на максималните температури, отколкото на минималните. Получените сезонни трендове са значително по-големи от тези в други изследвания [5, 7].

Повишението на температурите през пролетта, лятото и есента не е плавно през разглеждания период. На фиг. 3 се вижда повишаване на температурата от 1997 до 2002 г. През зимния, пролетния и есенния сезон следва захлаждане, като през 2003 г. има по-сериозен спад на температурите, особено при минималните. Друга е ситуацията през лятото, където през 2003 г. има повишаване на температурата. Ясно се вижда, че зимата, пролетта и лятото на 2007 г. са най-топлите за периода 1995–2012 г. След 2007 г. има лек спад на температурата до 2011 г., когато отново започва по-рязко покачване, с изключение на зимния сезон, през който температурата продължава да пада и след 2011 г. През есента измененията на температурите са по-различни. През 2007 г. виждаме захлаждане,

последвано от повишение на температурата и спад през 2011 г. След това отново имаме по-рязко затопляне.

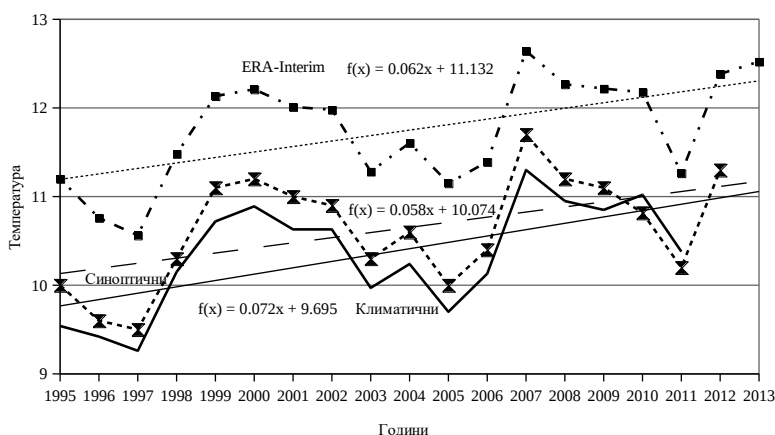
В изследването на Peneva and Rachev [4] е показана значителната декадна изменчивост на температурите за територията на България. От фиг. 3 (и следващата по-долу фиг. 4) може да се оцени период на изменчивост на температурата от 7–8 години.

На фиг. 4 е представено изменението на средногодишните температури за периода 1995–2012 г. по данни от синоптичните измервания в 33 станции. На фигурата е изчертан и линейният тренд на температурите. Оценената тенденция за повишаване на средногодишните температури за България за периода 1995–2012 г. е $0,58^{\circ}\text{C}$ на десетилетие. Според Петия доклад на IPCC [1] тенденцията на нарастване на температурата над сушата за периода 1979–2012 г. е средно с $0,262^{\circ}\text{C}$ на десетилетие. Трендът на средните температури за България, получен в настоящата работа, е над два пъти по-голям от този на IPCC [1] за периода 1979–2012 г. Това не е учудващо, ако се вземе предвид, че 13 от 18-те разглеждани години са със средни климатични температури над нормалните (1961–1990 г.) за България. В изследването на Syrakova and Mateev [5] не е получен статистически значим тренд на средногодишните температури за периода 1951–1995 г. Очевидно повишаването на температурите, започнало през 70-те години на XX век, продължава, и то с по-бързи темпове. Ако трендът от $0,58^{\circ}\text{C}$ на десетилетие се запази до средата на XXI век, ще се сбъднат песимистичните сценарии за повишаване на средногодишната температура в България с 2°C през периода 2020–2050 г. [9].

Интересно е да бъдат оценени линейните трендове на средногодишните температури и по другите две серии данни (фиг. 4). По данните от атмосферния реанализ ERA-Interim е получен тренд $0,62^{\circ}\text{C}$ за десетилетие, а по климатичните данни (архив 1) трендът е $0,72^{\circ}\text{C}$ за десетилетие. Измененията на средногодишните температури през разглеждания период са качествено много подобни.

Най-високи са средните стойности на температурата по данните на ERA-Interim, а най-ниски обикновено са тези по климатичните данни. Основната причина средните температури на ERA-Interim да са най-високи бе спомената по-горе в текста. Една от причините средните климатични температури да се различават от средните синоптични е в различните срокове на наблюдение и в различния начин на изчисляване на среднодневната температура. Друга причина е, че всяка станция има характерен денонощен ход на температурата, който може съществено да се различава от синусоидалния, и получените среднодневни климатични температури да се различават от средните температури от синоптичните измервания. Проверката показва, че в някой от разглежданите станции, среднодневните климатични температури са по-високи от средните

синоптични, а в други е обратното. Причина за по-ниските средногодишни климатични температури е и по-големият относителен дял на планинските станции – 3 от 20 (15%), докато при синоптичните станции има 4 планински станции от общо 33 (12%).

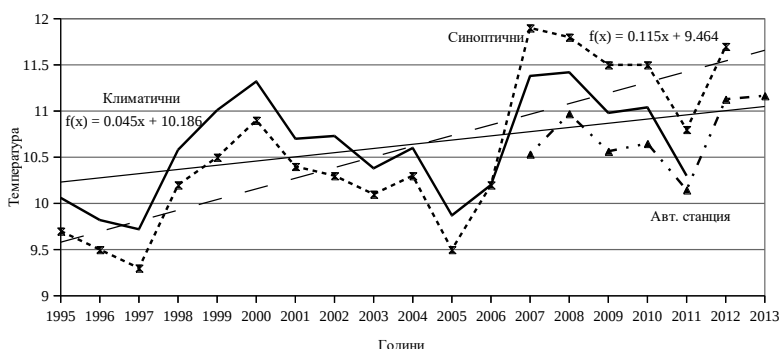


Фиг. 4. Средногодишни температури за България по синоптични данни, ERA-Interim и климатични данни

Впечатление прави обръщането на разликата между средногодишните климатични и синоптични температури след 2009 г. (фиг. 4). До 2009 г. синоптичните температури са по-високи от климатичните, а след това климатичните са по-високи. Обяснение на тази промяна ще бъде потърсено по-долу в изложението, но тя може да се дължи или на съществена промяна в денонощния ход на температурата, или в проблеми при обработката на данните, или на нарушаване представителността на станциите, вследствие застрояване на околностите им.

Разгледани са измененията на температурите в конкретни станции на територията на България за периода 1995–2012 г. На фиг. 5 е представено изменението на средногодишните температури за станция София. От графиката за средната температура на София се вижда по-рязко затопляне от 1997 до 2001 г. и от 2005 до 2007 г., като 2007 г. е отново годината с най-високи температури за периода 1995–2012 г. Следва понижение на температурата до 2011 г., а през 2012 г. има рязко затопляне. По-топлите и по-студените периоди съответстват на тези на фиг. 4. Средногодишната температура за периода 1995–2011 г. за София по климатичните данни е 10,6 °C, което е с 0,7 °C над климатичната норма за станцията (9,9 °C за периода 1961–1990 г.). Само 3 са годините през разглеждания период, когато средната температура в София е била под нормата (1996, 1997 и

2005). И на тази графика се наблюдава интересната смяна на знака на разликата между средната климатична и средната синоптична температура – след 2006 г. средните температури по синоптични данни превишават тези по климатични данни. Средният скок на температурите между 2006 и 2007 г. за София е 1,1–1,2 °C по климатичните данни и по данните от Era-Interim. Необяснимо е защо скокът на температурата по синоптични данни е 1,7 °C.



Фиг. 5. Средногодишни температури за София по синоптични данни, по климатични данни и по данни от автоматична метеорологична станция (МГ)

Опит за изясняване на този въпрос е направен чрез сравнение със средногодишните температури, получени по данни от автоматичната метеорологична станция на катедра „Метеорология и геофизика“. Сравнението показва, че средногодишната температура по данни от автоматичната станция се отклонява от климатичната температура по същия начин, както е било до 2005 г. отклонението на синоптичните данни от климатичните за станция София. Разликата от 0,1–0,2 °C може да се обясни с разположението на автоматичната станция и няколко километра разстояние между станциите. Този резултат показва колко е важна хомогенизацията на метеорологичните данни [5, 6]. Най-вероятно данните по синоптичните срокове са повлияни от промяна на инфраструктурата в района на синоптичната станция София.

Имайки предвид изложеното, може да се направи заключение, че оцененият по синоптични данни тренд от 1,15 °C на десетилетие за станция София е нереално висок. Линеиният тренд на климатичните температури е 0,45 °C за десетилетие.

В станция Видин имаме почти пълно съвпадение на климатичните и синоптичните средногодишни температури. Оценените трендове на средногодишните температури са 0,38 и 0,36 °C на десетилетие, съответно за синоптичните и за климатичните данни. Средната климатична температура за Видин за периода 1995–2011 г. е 11,64 °C, а нормата за

периода 1961–1990 г. е 11,2 °C (0,44 °C затопляне). И тук само 3 от 17-те години са със средногодишна температура под нормата.

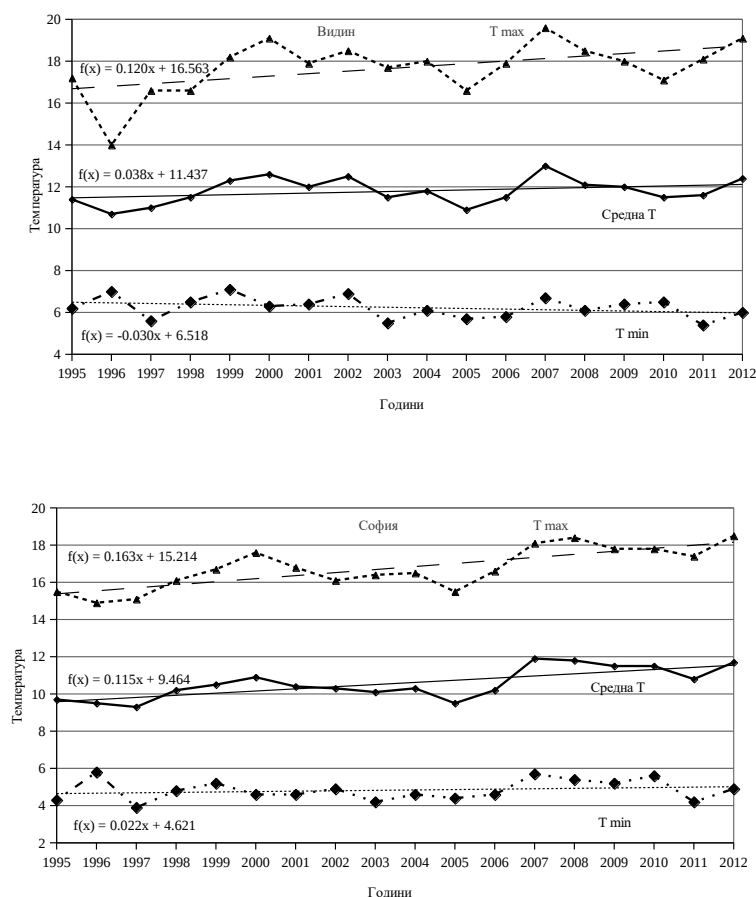
Примери за станции, в които средните климатични температури са по-високи от средните температури по синоптични данни, са Варна и Бургас. Разликата между двата типа данни за двете станции е около 0,6 °C. Обяснението на този факт е във вида на денонощния ход на температурата в крайморските станции. Поради влиянието на морето амплитудата на денонощния ход на температурата е по-малка. Наличието на бризова циркулация води до по-нисък максимум на температурата в 14 часа, сравнено със станция, далеч от морето. От друга страна, големият топлинен капацитет на водата води до сравнително по-малко понижаване на температурите след залеза на слънцето. Имайки предвид изложеното в т. 3.2, става ясно защо средните климатични температури са по-високи от средните синоптични. Линейните трендове, получени по синоптичните данни за 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.

На фиг. 6 са представени средните, максималните и минималните температури за станции София и Видин за периода 1995–2012 г. по синоптични данни. Полезно е получените трендове да се сравнят с тези за цялата територия на страната, които за десетилетие са 0,58 °C за средните температури; 0,24 °C за минималните и 1,13 °C за максималните.

За станция София тенденцията за увеличение на минималните температури съответства на средната за България, но тенденциите за увеличение на средните и на максималните температури са значително по-големи от средните за страната. Причина за това най-вероятно е наличието на систематична грешка в данните за температурата в София след 2006 г., както бе коментирано по-горе в текста. Независимо от това, ясна е тенденцията за по-голямо увеличение на максималните температури, отколкото на минималните. Такъв беше и изводът при разглеждането на сезонните температури (фиг. 3).

За станция Видин е характерен отрицателен тренд за минималните температури от –0,3 °C на десетилетие, докато трендът на максималните температури е почти същият, както средния за България. Отрицателният тренд на минималните температури в станция Видин най-вероятно се дължи на местоположението на тази станция – в северозападната част на страната, която не е защитена от нахлувания на по-хладни въздушни маси от север. От друга страна, както се отбелязва в докладите на IPCC [1, 2], повишаването на глобалните температури не е постепенно, а се характеризира с нарастваща междугодишна изменчивост, която се съпътства и с увеличаване интензивността на екстремалните явления.

Такива за Видин са нахлувания на студени въздушни маси, установяването на продължителни мъгли, инверсии на температурата и т.н.



Фиг. 6. Средногодишни, средни минимални и средни максимални температури за София и Видин по синоптични данни

Надежден индикатор за наличието на промени в температурата са данните от планинските върхове, доколкото те са най-слабо засегнати от процесите на урбанизация. Разгледани са средногодишните температури за 3 високопланински станции – Мусала, Ботев и Черни връх. Характерна особеност за високопланинските станции е относително малката амплитуда на денонощния ход на температурата и в резултат на това следва, че средните климатични температури са много близки до средните температури по синоптични данни. Това наистина е така. Измененията на

средногодишните температури за разглеждания период са синхронни за трите станции.

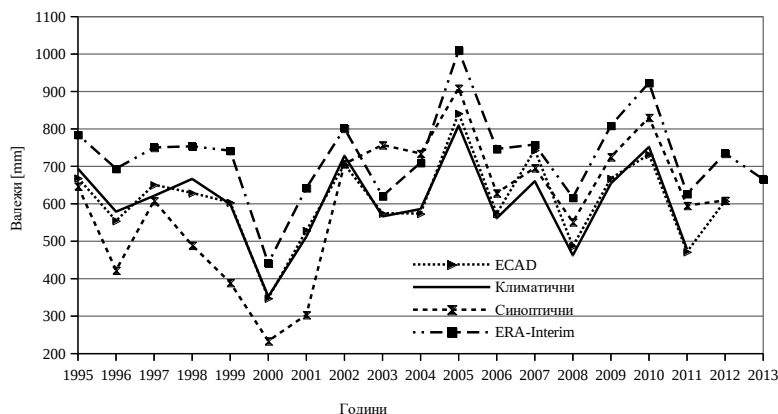
Средните за периода 1995–2011 г. температури по климатичните данни за Мусала, Ботев и Черни връх са: $-2,4^{\circ}\text{C}$; 0°C и $0,54^{\circ}\text{C}$. Те са с около $0,6^{\circ}\text{C}$ по-високи от климатичните норми за периода 1961–1990 г., които са съответно -3°C ; $-0,6^{\circ}\text{C}$ и $0,1^{\circ}\text{C}$. Линеините тенденции на повишаване на температурите на трите върха, които леко се различават в зависимост от надморската им височина, са съответно: $0,53^{\circ}\text{C}$, $0,63^{\circ}\text{C}$ и $0,77^{\circ}\text{C}$ на десетилетие.

5. ИЗМЕНЕНИЕ НА ВАЛЕЖИТЕ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 1995–2012 г.

Една от характерните черти в пространственото разпределение на валежите е тяхната т.нар. „петнистост“. Именно затова дъждомерните станции са на порядък повече от синоптичните. От друга страна, междугодишните изменения в количествата валежи за територията на България са значителни [4]. Имайки предвид това, с данни от 33 синоптични станции за валежите за период от 18 години в настоящата работа не е възможно да се направи достоверно представяне на тенденциите в изменението на валежите за територията на България. Още повече че в достъпните данни за валежите в синоптичните станции има редица неточности и липси. Затова с по-голяма сигурност могат да се оценят трендовете в количествата валеж за отделни станции.

На фиг. 7 са представени средногодишните валежни суми по двете бази климатични данни (архив 1 и ECA&D), синоптични данни и данни от ERA-Interim. На фигурата се вижда съществено разминаване между синоптичните и климатичните данни, особено за периода 1998–2001 г. Разликите между двете графики, представящи климатичните данни, са сравнително малки и най-вероятно се дължат на различния брой станции, използвани при осреднението на данните за валежите.

Оцененият линеен тренд по климатичните данни за периода 1995–2011 г. е близък до нула, доколкото става компенсиране на по-влажните и по-сухите години. Най-суха е била 2000 г., а 2005 г. – годината с най-много валеж, последвана от 2010 г. Средните валежи за периода на разглеждане са около 607 mm и са под нормата за територията на България за периода 1961–1990 г. (672 mm). Тук трябва да се обърне внимание на следното: използваните климатични данни от архив 1 са от 20 станции, от които само в 13 има данни за валежите. Изчисленият среден валеж в тези станции за периода 1961–1990 г. е 610 mm. След това уточнение става ясно, че средногодишната сума на валежите за периода 1995–2011 г. не се отклонява съществено от нормата.



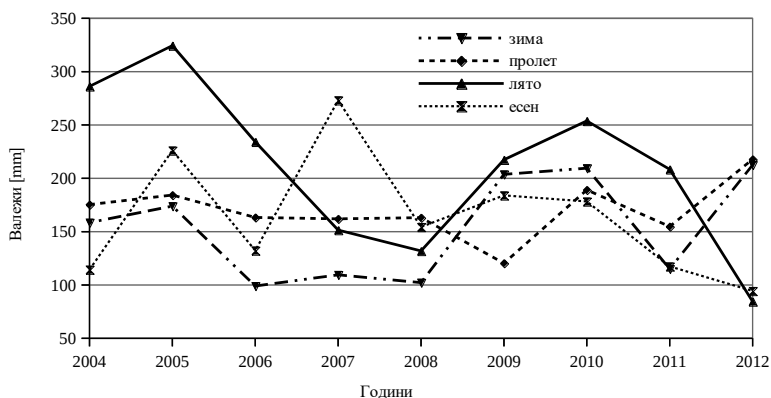
Фиг. 7. Средногодишни валежи по синоптични данни, климатични данни (архив 1 и ECA&D) и по ERA-Interim

На фиг. 7 са представени и среднегодишните валежи по данните на ERA-Interim. Качествено те следват междугодишния ход на валежите по климатичните данни, но стойностите са по-високи. Средногодишните валежи на ERA-Interim за периода 1995–2011 г. са 731 mm и са над нормата за периода 1961–1990 г. Най-вероятно това се дължи на лошата разделителна способност на модела, при което се завишава влиянието на валежите във високопланинските станции.

Анализът на валежните суми за периода 1995–2011 г. по синоптичните данни демонстрира добре изразен минимум на годишните валежни суми през 2000 г. Сравнението с климатичните данни и тези от ERA-Interim показва, че този минимум не е реален и най-вероятно се дължи на непълните и неточни данни за валежите по синоптичните срокове. Наличието на този нереален минимум на валежите и на двата максимума на валежите през 2005 и 2010 г. води и до нереални оценки на тренда на среднегодишните валежи за периода 1995–2011 г., който достига до около 15 mm на година. Това е причината, поради която са разгледани сезонните трендове на валежите след 2004 г. (фиг. 8), когато е видно по-добро съвпадение на климатичните и синоптичните данни за валежите.

На фиг. 8 се забелязва ясно изразен тренд към намаляване на валежите през лятото и есента, докато през зимата и пролетта се вижда по-скоро увеличаване на валежите. Това е в съгласие с изводите на Александров [7]. Оценените трендове са +5,9 mm/година за зимата, +1,5 mm/година за пролетта, -17,5 mm/година за лятото и -6,7 mm/година за есента. Оценените сезонни трендове по данните на ERA-Interim са съответно: +8,6; +4,6; -16,7 и -7,3 mm/година, и са много близки до тези по синоптичните

данни.



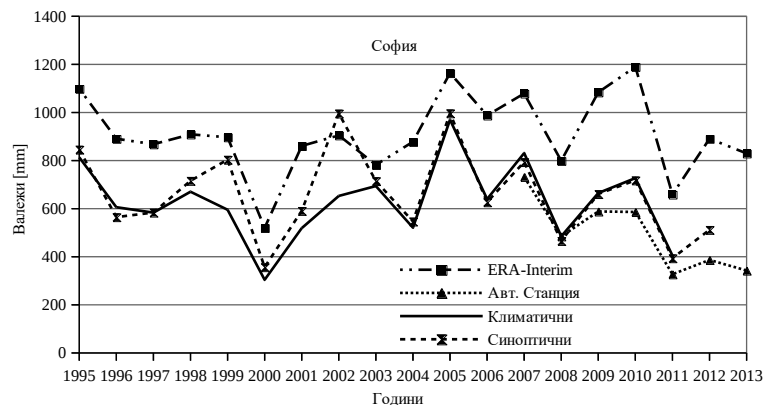
Фиг. 8. Сезонни валежи за периода 2004–2012 г. по синоптични данни

С най-малка междугодишна изменчивост са валежите през пролетта и тяхното количество средно за периода 2004–2012 г. е най-близко до климатичната норма (149 mm/година). Най-голяма е изменчивостта на валежите през лятото, когато през 2005 г. валежите надвишават около 2 пъти климатичната норма (176 mm/година). С летни валежи над нормата са и 2009, 2010 и 2011 г. През 2012 и 2013 г. летните и есенните валежи са значително под климатичните норми.

Получените резултати за трендовете и количествата на валежите в най-общи линии съвпадат с изводите на Александров [7], според който засушаванията и периодите с превишаващи нормата валежи са част от климатичния цикъл за територията на България.

На фиг. 9 са представени средногодишните валежи за София по синоптични, климатични данни и ERA-Interim. Най-суха е била 2000 г., следвана от 2011 г., а най-голямо количество валеж има през 2005 г. Тенденцията при валежите е към леко намаляване, което не е статистически значимо.

Средните валежи за разглеждания период за София са между 628 mm/година по климатичните данни и 669 mm/година по синоптичните данни. И двете стойности превишават климатичната норма за периода 1961–1990 г., която е 571 mm/година. Данните по ERA-Interim дават значително по-голяма сума на средногодишните валежи (916 mm). На фигурата е представена и графика на валежите, измерени в автоматичната станция на катедра “Метеорология и геофизика” на СУ “Св. Климент Охридски” за периода 2007–2013 г. Данните от автоматичната станция добре се съгласуват със синоптичните и климатичните данни на НИМХ.



Фиг. 9. Средногодишни валежи за София по синоптични, климатични данни, ERA-Interim и автоматична метеорологична станция

Разгледани са и средногодишните валежи по синоптични, климатични и данни от ERA-Interim за още няколко града в България. За Видин има съществено разминаване между синоптичните и климатичните данни през периода 1995–1998 г. Това още веднъж потвърждава изводите на Syrakova [6], че е необходим първичен контрол на метеорологичната информация и внимателно третиране на екстремалните стойности. Средните валежи за периода 1995–2012 г. за Видин са между 572 mm/година и 595 mm/година, съответно според климатичните и синоптичните данни. Стойностите са над нормата за 1961–1990 г., която е 556 mm/година. Оценените линейни трендове на валежите за Видин показват леко увеличаване с около 3 mm/година. Подобна е и ситуацията във Варна, където валежите по синоптични данни за периода 2002–2007 г. значително превишават нормата (474 mm/година за периода 1961–1990 г.). Според синоптичните данни през 2004 г. е паднал валеж 4,5 пъти над климатичната норма. Интензивни краткотрайни валежи във Варна са регистрирани през споменатия период, но тяхното правилно кодиране в синоптичните съобщения е под въпрос и не е редно те да се отчитат при определяне на тенденциите в изменението на валежните суми. Оцененият линеен тренд на валежите във Варна по климатичните данни е с малки отрицателни стойности (–3 mm/година). Средното количество валежи за периода 1995–2011 г. е 542 mm/година и е с около 15% над нормата.

В табл. 2 са представени средногодишните валежи и температури в 7 станции по синоптични, климатични и данни от ERA-Interim за периода 1995–2011 г., а също така и нормите за периода 1961–1990 г. Данните от ERA-Interim са вземани от най-близкия до съответната станция възел на моделната мрежа.

Таблица 2. Средногодишни валежи и температури по синоптични, климатични и ERA-Interim данни за периода 1995–2011 г. и норми за периода 1961–1990 г.

Станция	Валежи [mm]				Температура [°C]			
	Норма	Клима- тични	Синоп- тични	ERA	Норма	Клима- тични	Синоп- тични	ERA
София	571	628	669	916	9,9	10,59	10,49	9,75
Видин	556	572	595	742	11,2	11,64	11,75	11,42
В.Търново	694	688	611	660	11,3	12,08	12,14	12,17
Кюстендил	582	573	619	882	10,7	11,04	10,92	9,77
Бургас	529	566	688	562	12,5	13,15	12,55	12,81
Варна	474	542	880	561	12,0	12,76	12,19	12,41
Плевен	581	601	516	684	11,7	12,28	11,91	12,12

От табл. 2 се вижда, че най-добро съвпадение между стойностите по трите бази данни има за станция В. Търново. Сравнително близки са стойностите по климатични данни и тези от ERA-Interim за станции Варна, Бургас и Плевен. Тези станции са в равнинната част на България и може да бъде направен изводът, че данните от ERA-Interim могат да бъдат използвани за оценки на валежите и температурите в станции, намиращи се сравнително далеч от планински масиви.

Внимателно трябва да се използват данните от ERA-Interim за крайбрежните райони, където се простира влиянието на Черно море и средните температури на ERA-Interim са малко по-ниски от климатичните. Съществени са разликите между климатичните данни и тези на ERA-Interim в станции, близо до планини – Кюстендил, София, Видин. Правило е в тези станции да има завишаване на средногодишните валежи и занижаване на температурите по данни от ERA-Interim, сравнени с климатичните данни. Причината е в грубата разделителна способност на модела и невъзможността му добре да описва орографските особености [16]. Имайки предвид това, не е коректно да бъдат сравнявани данните на ERA-Interim с тези от високопланинските станции.

Разгледани са валежите и в две планински станции – Черни връх и вр. Мусала. Отново се наблюдават съществени разлики между синоптичните и климатичните данни, особено за станция Черни връх. Явно става въпрос за липсващи и некоректни данни за валежите в синоптичните съобщения – не е възможно валежите на Черни връх за периода 1998–2000 г. да са под 100 mm. Затова трендовете са оценени само по климатични данни.

Тенденцията на валежите на Черни връх по климатични данни е оценена на 2,3 mm/година, което не е статистически значимо и може да се каже, че валежите остават почти без промяна. Средногодишната сума на валежите на Черни връх за периода 1995–2011 г. е 789 mm, което е

значително под нормата за 1961–1990 г. от 1030 mm.

Данните за валежите на вр. Мусала по синоптични и климатични измервания показват по-добро съвпадение, но отново е коректно да се оцени линейният тренд по климатичните данни. Наличието на минимум на валежите по синоптични данни през 1996 г. и на максимум през 2009 г. оказва силно влияние на направените оценки за тренда и променя знака му. И за станция Мусала важат изводите, направени за Черни връх. Може да се смята, че няма статистически значимо изменение на валежите в станция Мусала ($-4,2$ mm/година). Средногодишните за периода 1995–2012 г. суми на валежите са 847 mm. Тук са използвани климатичните данни на ECA&D, тъй като в другия климатичен масив данни (архив 1) няма данни за валежите в станция Мусала. Сравнението с нормата за 1961–1990 г. показва, че средните валежи през разглеждания период на вр. Мусала са под нормалните (1176 mm).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализите на годишния ход на средните месечни температури, определен по климатични и по синоптични данни, показват, че най-много за разглеждания период се е повишила средната температура през летните месеци. Температурите през пролетта, лятото и есента показват ясно изразен положителен тренд. Повишаването на максималните температури е по-голямо от това на минималните и съответства на изводите на IPCC [1], направени за други географски райони. Трендът на средните температури за България, получен в настоящата работа, е между $0,58$ и $0,72^{\circ}\text{C}$ на десетилетие. Той е над два пъти по-голям от този на IPCC за периода 1979–2012 г. Тенденцията за нарастване на температурите, оценени за периода 1995–2012 г., са по-големи и от тенденциите, получени от предишни изследвания за България – за периода 1971–2010 г. е оценен тренд от $0,38^{\circ}\text{C}$ за десетилетие [7].

Средните валежи за територията на България през разглеждания период са около 615 mm и са под нормата за периода 1961–1990 г. (672 mm). Оцененият линеен тренд по климатичните данни за периода 1995–2011 г. е близък до нула. Съществува тренд към намаляване на валежите през лятото и есента, докато през зимата и пролетта е регистрирано по-скоро увеличаване на валежите. Най-голяма е изменчивостта на валежите през лятото. Тенденциите на валежите в планинските станции не са статистически значими и валежите там остават почти без промяна за периода 1995–2011 г.

Средните температури за територията на България през периода 1995–2012 г. са се повишили с около $0,6^{\circ}\text{C}$. Ако се запази това повишение и за в бъдеще, голяма е вероятността от сбъждане на песимистичните

климатични сценарии на IPCC. Не е установена значима промяна в средните валежи за периода 1995–2012 г. Намаление на валежите за територията на България е имало в годините преди 1995 г. и за разглеждания период те остават под нормата за периода 1961–1990 г.

Настоящото изследване е част от дипломната работа на Десислава Димитрова “Изменения на средните температури и валежи в България за периода 1995–2012 г.”, защитена през 2014 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] Koleva, E. K., L. Krastev, E. L. Peneva, E. V. Stanev. *Bulg. J. Met. and Hydr.*, 1996, 7, 3/4, 73.
- [4] Peneva, E. L., N. H. Rachev. *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski", Fac. de Phys.*, 2008, **101**, 39.
- [5] Syrakova, M. and V. Mateev. *Bulgarian Geophysical Journal*, 2009, **35**, 33.
- [6] Syrakova, M. *Bulgarian Geophysical Journal*, 2010, **36**, 63.
- [7] Александров, В. Климатични промени: състояние на проблема, научни изследвания в БАН и България. София, 2008.
- [8] Syrakov, D., M. Prodanova, N. Miloshev, K. Ganev, G. Jordanov, V. Spiridonov, A. Bogatchev, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou. In: Large-Scale Scientific Computing, 2009, doi:10.1007/978-3-642-12535-5_64.
- [9] Спиридонов, В. Проектът CECILIA. 2009, <http://www.cecilia-eu.org/>.
- [10] Корчев, Г. Глобалното затопляне е несъмнено, 2010, <http://www.desant.net/show-news/20807/>.
- [11] <http://www.stringmeteo.com/synop/index.php>, Фактически данни, NOAA.
- [12] http://www.stringmeteo.com/synop/semi_cent.php, Месечни температури и валежи – климатични.
- [13] http://www.stringmeteo.com/synop/semi_cent2.php, Месечни обобщения за времето в страната – данни от ECA&D.
- [14] Semenov, M. A., S. Pilkington-Bennett, P. Calanca. *Climate Research*, 2013, **57**, doi: 10.3354/cr01164.
- [15] Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., et al. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 2011, **137**, doi: 10.1002/qj.828.
- [16] Cornes, R. C., P. D. Jones. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 2013, **118**, doi:10.1002/jgrd.50799.
- [17] Bonacci, O., I. Željko, R. Šakić Trogrlić and J. Milković. *Theor Appl. Climatol.*, 2013, **114**, doi 10.1007/s00704-012-0830-8.
- [18] Scotto, F. L. and M. D. Shulman. *Climatology*, 1985, **10**, 3.
- [19] van den Besselaar, E. J. M., A. M. G. Klein Tank, G. van der Schrier, P. D. Jones. *J. Geophys. Res.*, 2012, **117**, doi:10.1029/2011JD016687.