

RECENT EXTREME AIR TEMPERATURE CHANGES IN MONTENEGRO

DRAGAN BURIĆ^{1*}, VLADAN DUCIĆ², JOVAN MIHAJLOVIĆ²,
JELENA LUKOVIĆ², JOVAN DRAGOJLOVIĆ³

¹*Hydrometeorological and Seismological Service of Montenegro, Podgorica, Montenegro*

²*University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia*

³*Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Kosovska Mitrovica, Serbia*

Abstract: The studies show that the changes in intensity and frequency of the extreme weather events have been registered in many regions of the world. This paper gives an analysis of the change of 12 air temperature parameters, out of which 9 are climate indices. The indices suggested by WMO-CCL/CLIVAR have been used in order to investigate the changes in temperature extremes. The research related to the topic has been carried out by using the data from 23 meteorological stations for the 1951 – 2010 period and calculations have been done on the seasonal level. The results show that the maximum and minimum air temperatures, which have “warmer values”, are becoming more frequent on the territory of Montenegro which corresponds to the general idea of global warming.

Key words: temperature indices, extremes, trend, Montenegro.

Introduction

The changes in intensity and frequency of the extreme weather events have been registered in many regions of the world, such as: high and low temperatures, droughts, floods, thunderstorms, heat waves, heavy rain showers, fires, etc., causing considerable damage (IPCC, 2007). Since temperature and precipitation extremes may cause significant damage to the environment and human life and work, they have become the main subject of many studies (Klein-Tank and Können, 2003; Gajić-Čapka, 2009; Durao et al., 2010; El Kenawy et al., 2011; Ducić et al., 2012).

The warming trend in Europe has been more distinct since 1979 both on seasonal and annual level. The only exception is autumn with slight decreasing trends (Klein-Tank and Können, 2003; IPCC, 2007; Della-Marta et al., 2007). Considering regional aspects, the South of Europe is getting warmer most intensively, while the Atlantic Coastline of the continent gets least heat (Del Rio et al., 2005).

Trigo et al. (2006) emphasize that the XX century in the Mediterranean was marked with the positive temperature trends in all seasons, especially in winter and summer. There is a general opinion that warmer weather conditions in the region of the Mediterranean will have a negative influence on the environment and additionally make the economic situation worse (Kostopoulou and Jones, 2005; Della-Marta et al., 2007;

*E-mail: dragan.buric@meteo.co.me

Article history: Received 14.06.2015 ; Accepted: 11.09.2015

The paper is part of the main scientific project № 43007 financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

Efthymiadis et al., 2011). Del Rio et al. (2011) showed that Spain had the positive trends in summer and spring temperature for the 1961 – 2006 period. However, Türkeş et al. (2002) noticed a significant trend of winter and spring annual temperature growth on the opposite side of the Mediterranean, in the south of Turkey, for the 1929 – 1999 period, while there was a drop in the temperature in the northern and central parts of the country during the summer and autumn season. Feidas et al. (2004) got negative winter temperatures trends for Greece for the 1955-2001 period. The results for Italy (Brunetti et al., 2006) indicate a warming trend in the instrumental period on the territory of the entire country, but maximum temperature growth was more distinct than minimum temperature in the second half of the twentieth century.

Using the maximum temperature data from three meteorological stations in Serbia, Unkašević and Tošić (2009) concluded that the hottest summers, considering the intensity and duration of heat waves, were recorded from 1951-1952, 1987-1998 (particularly 1994) and 2000-2007. Unkašević and Tošić (2011) emphasize that the reason for the heat wave during the July of 2007 was both the existing synoptic situation, that is, the inflow of warm and dry air from the north of Africa towards the south-eastern part of Europe and adiabatic warming.

World Meteorological Organization (WMO, 2009), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) and many authors (i.e., Cook et al., 2009; Rahmstorf and Coumou, 2011; Hansen et al., 2012) point out that we should expect an increase in intensity and frequency of temperature, precipitation and other weather extremes in the present warming conditions. Therefore, the main objective of this study is to investigate temperature changes on the territory of Montenegro.

Data and methodology

Air temperature data from 23 meteorological stations (Figure 1.), for the 1951-2010 period have been used in this study. The investigation into series homogeneity and filling in of missing data has been done by MASH v3.02. This method was developed by the Hungarian Meteorological Service (Szentimrey, 2003).

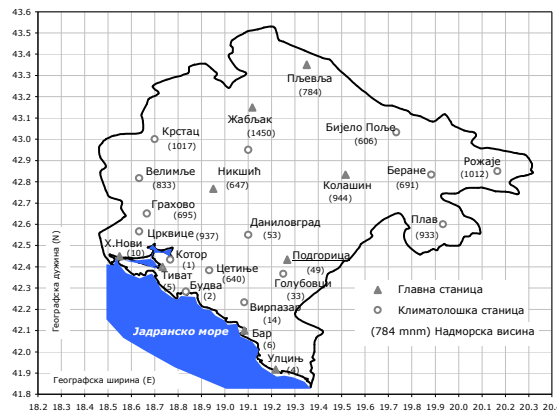


Figure 1. Locations and altitude of meteorological stations included in the analysis

In this study temperature extremes have been analysed according to 9 indices, out of which five are warm (SU, TR, TD, Tn90p and Tx90p), and four cold (FD, ID, Tx10p and Tn10p). All these indices have been defined according to the number of days with maximum (Tx) and minimum (Tn) temperature above/beneath an absolute or percentile

threshold. Besides climate indices, which were taken from the list of 27 indices², mean (Tsr), mean maximum (Txsr) and mean minimum (Tnsr) temperatures have been analysed.

Percentile thresholds have been calculated for each calendar day in the 1961-1990 period from a 5-day window whose central term is a particular day. That way 150 data become available for each calendar day (WMO, 2009). Consequently, 365 (366) thresholds have been calculated for each station.

Table 1. Definitions and abbreviations of the ETCCDI indices of temperature extremes used in this study

| No. | Mark | Unit | Definition |
|-----|-------|-------------|---|
| 1. | Tsr | °C | Mean air temperature |
| 2. | Txsr | °C | Mean maximum air temperature |
| 3. | Tnsr | °C | Mean minimum air temperature |
| 4. | FD | No. of days | No. of frost days in the time unit - daily Tn<0°C |
| 5. | Tx10p | No. of days | No. of cold days - daily Tx<10th percentile |
| 6. | Tn10p | No. of days | No. of cold nights - daily Tn<10th percentile |
| 7. | ID | No. of days | No. of ice days - daily Tx<0°C |
| 8. | SU | No. of days | No. of summer days in the time unit - daily Tx>25°C |
| 9. | TD | No. of days | No. of tropical days in the time unit - daily Tx>30°C |
| 10. | Tx90p | No. of days | No. of warm days - daily Tx>90th percentile |
| 11. | Tn90p | No. of days | No. of warm nights - daily Tn>90th percentile |
| 12. | TR | No. of days | No. of tropical nights - daily Tn>20°C |

Slope of the trend has been estimated by Sen's method (*Sen's slope estimates*), and its significance tested by Mann-Kendall test (*Mann-Kendall*). Trend analysis in ETCCDI workshop (Expert team on Climate Change Detection and Indices) is actually based on the utilization of these parameter methods (Zhang et al., 2005), and the main advantage of these methods is that they do not require normal distribution (Salmi et al., 2002; Olofintoye, Sule. 2010; Šumenjak, Šuster, 2011; Mondal et al., 2012). Trend estimates of temperature indices have been done on seasonal level for each station separately.

Results and discussion

Winter. In the 1951-2010 period, the trend of mean winter temperature (Tsr) was positive on 16 and negative on 7 stations, but the changes were insignificant in all places. Similar qualitative results were obtained for winter mean minimum temperature (Tnsr), while 5 stations in the northern part of the country recorded a significant increasing trend. Mean maximum temperature (Txsr) increased on all stations and there were significant changes on 6 stations. Results given in Table 2 also show that there was a trend of a decreasing number of frost days (FD) in most parts of Montenegro.

The changing numbers of frost days are significant only on six stations- decreasing trend on 5 stations and increasing on one station. Changes of cold days (Tx10p) and cold nights (Tn10p) are insignificant in most parts of Montenegro. Summer and tropical days (SU and TD), as well as tropical nights (TR), are typical for the warmer part of the year and therefore these indices were not estimated for winter season. The same goes for other seasons and those rare indices, thus obtained results can give a false picture and they are not shown.

Ice days (ID) are quite rare along the coast and in southern parts of Montenegro and therefore the trend on these stations hasn't been discussed (10 stations in total). From 13 observed stations, only one recorded an increasing trend of the number of ice days (Kolašin). On twelve remaining stations the number of these days decreased and on 9 stations the intensity trend was significant. The number of winter warm days (Tx90p)

² http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

increased in most parts of Montenegro, on 16 stations significantly. The number of warm nights (Tn90p) generally increased, but positive tendency was significant only on one station (Rožaje).

Spring. During the spring season, all air temperature parameters indicate that there is a tendency of warming on the territory of Montenegro (Table 3.). The trend of mean, mean maximum and mean minimum spring temperature is positive on all observed stations and significant in most parts of Montenegro. The only exception is the Grahovo station which records an insignificant decrease in mean minimum temperature.

The number of spring cold days (Tx10p) is decreasing in all observed places and significance terms are proved on 19 stations out of 23. It is similar with the number of cold nights (Tn10p). On the other hand, the number of summer days (SU) and warm days (Tx90p) is increasing on the whole territory of Montenegro and a positive tendency is significant in most cases. There is a significant increase in the number of warm nights (Tn90p).

Summer. Statistically significant increasing trend of mean summer temperature (Tsr) has been registered on 18 out of 23 stations. In this case, the smallest and insignificant changes of mean summer temperature have been recorded in the south-western part of Montenegro, both for winter and spring. Also, an increase in mean maximum (Txsr) and mean minimum (Tnsr) temperature is significant in most parts of Montenegro. The number of cold days (Tx10p) and cold nights (Tn10p) is decreasing in this season, too, and it is significant in southern parts of the country on 16 stations (Table 4.). All analysed stations are recording an increasing trend of the number of days with $T_x > 25^{\circ}\text{C}$ (SU), and this positive tendency is significant for almost the whole territory of Montenegro. Trend estimates for the 1951-2010 period showed that there was a tendency of an increasing number both of tropical days (TD) and warm nights (Tn90p) on all stations, and that it is insignificant only on two stations. During the three summer months there is a significant increasing number of warm days (Tx90p) on the whole territory of Montenegro. This trend of tropical nights (TR) has been estimated only on stations located in the southern part of Montenegro since the tropical nights are quite rare in northern parts. This index shows the presence of a warming trend, too. Therefore, all indices which have been discussed are in favour of warmer summers on the territory of Montenegro.

Autumn. Obtained results for autumn season are given in Table 5. Trend estimates show that nothing important happens with the mean autumn temperature (Tsr) because the changes are insignificant on 19 out of 23 stations. Moreover, it could be said that warming is not recorded in this season because there is a negative tendency on almost half of the observed stations. Generally, the changes of both mean maximum and mean minimum temperatures (Tnsr and Txsr), and the number of frost days (FD) are insignificant.

Comparing the trend values of the seasonal number of cold days (Tx10p) for the 1951-2010 period, the smallest changes occurred during autumn. The number of cold nights (Tn10p) decreased significantly on 7 stations and increased on two, while other places recorded insignificant changes. During the three autumn months, almost all stations located on the north of the country recorded a decrease in the number of summer days (SU), including even Crkvice, while the trend on the south of Montenegro was positive. Yet, the number of changes of summer days in autumn is mainly insignificant. Autumn number of warm days (Tx90p) and warm nights (Tn90p) increases in most parts of Montenegro, and 13, actually 10 stations, record significantly positive tendencies.

The results for Montenegro are mainly in accordance with previous studies the for the Mediterranean region and surrounding areas (Klein-Tank and Können, 2003; Kostopoulou and Jones, 2005; Кнежевић et al., 2011; Hertig et al., 2010; El Kenawy et al., 2011; Efthymiadis et al., 2011), particularly considering the increasing trend of warm temperature indices.

Table 2. Trend of air temperature parameters for the winter season in the 1951-2010 period

| Station | °C/decade | | | No. of days/decade | | | | | |
|--------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | Tsr | Txsr | Tnsr | FD | Tx10p | Tn10p | ID | Tx90p | Tn90p |
| Ulcinj | -0,00 | 0,09 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | / | 1,5** | 0,30 |
| Bar | 0,04 | 0,10 | 0,13 | -0,8** | 0,00 | -0,9* | / | 1,5* | 0,00 |
| Budva | 0,02 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | / | 1,7*** | -0,50 |
| Tivat | -0,09 | 0,05 | -0,09 | 1,4 ⁺ | 0,00 | 0,9 ⁺ | / | 0,7 ⁺ | 0,40 |
| Kotor | 0,02 | 0,04 | -0,07 | -0,10 | 0,00 | 0,00 | / | 1,4*** | -0,9 ⁺ |
| Herceg Novi | -0,01 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | -0,60 | 0,00 | / | 1,7*** | 0,40 |
| Virpazar | 0,00 | 0,30 | 0,01 | 0,50 | -1,3** | 0,70 | / | 1,8*** | 0,80 |
| Golubovci | 0,11 | 0,23 | 0,03 | 0,00 | -0,6 ⁺ | 0,20 | / | 1,7** | 0,60 |
| Podgorica | 0,10 | 0,25 | 0,05 | 0,00 | -0,40 | 0,20 | / | 1,7** | 0,60 |
| Danilovgrad | -0,10 | 0,17 | -0,04 | 0,40 | 0,00 | 0,80 | / | 1,3** | 0,90 |
| Cetinje | -0,07 | 0,21 | -0,11 | 0,00 | -0,50 | 0,60 | -0,22* | 1,7** | 0,40 |
| Crkvice | -0,08 | 0,09 | -0,15 | 0,70 | -0,30 | 0,9 ⁺ | -0,34 | 0,50 | 0,00 |
| Grahovo | -0,14 | 0,13 | -0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | -0,46* | 0,40 | 0,30 |
| Velimlje | 0,07 | 0,22 | -0,04 | -0,30 | -0,8* | 0,50 | -0,24 | 1,0* | 0,30 |
| Nikšić | 0,08 | 0,16 | 0,04 | 0,70 | -0,30 | 0,00 | -0,34 | 1,1* | 0,00 |
| Krstac | 0,10 | 0,22 | -0,04 | -0,80 | -0,40 | 0,00 | -0,91 | 0,9 ⁺ | 0,00 |
| Kolašin | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,24 | 0,70 | 0,00 |
| Plav | 0,12 | 0,05 ⁺ | 0,21 ⁺ | -1,6** | -0,40 | -0,60 | -1,54* | -0,40 | 0,50 |
| Rožaje | 0,08 | 0,04* | 0,39* | -1,3*** | 0,00 | -0,30 | -1,49 ⁺ | -0,30 | 1,7*** |
| Berane | 0,16 | 0,34 ⁺ | 0,24 ⁺ | -1,6* | -1,2** | -0,50 | -2,50** | 1,5** | 0,50 |
| Bijelo Polje | 0,04 | 0,19 ⁺ | 0,20 ⁺ | -1,10 | -0,6 ⁺ | -0,30 | -1,82* | 0,60 | 0,40 |
| Žabljak | 0,15 | 0,32 ⁺ | 0,20 ⁺ | 0,00 | -0,7 ⁺ | -0,40 | -3,08** | 1,9** | 0,60 |
| Pljevlja | 0,14 | 0,25* | 0,24 | 0,00 | -0,9** | -0,7 ⁺ | -2,17** | 0,90 | 0,00 |

Significance of the trend on the level: *** - $\alpha = 0,001$; ** $\alpha = 0,01$; * $\alpha = 0,05$ u + $\alpha = 0,1$.

Table 3. Trend of air temperature parameters for the spring season in the 1951-2010 period

| Station | °C/decade | | | No. of days/decade | | | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | Tsr | Txsr | Tnsr | Tx10p | Tn10p | SU | Tx90p | Tn90p | |
| Ulcinj | 0,19** | 0,26 ⁺ | 0,13 ⁺ | -1,2** | -0,5 | 1,0* | 1,8*** | 1,2* | |
| Bar | 0,23*** | 0,28*** | 0,30*** | -1,2** | -1,4*** | 0,9* | 2,1*** | 1,8** | |
| Budva | 0,25*** | 0,30*** | 0,25*** | -1,3** | -1,4** | 1,2** | 2,0*** | 1,4** | |
| Tivat | 0,02 | 0,23 | 0,00 | -0,8** | 0 | 1,1* | 1,4** | 0,5 | |
| Kotor | 0,14* | 0,21 | 0,05 | -0,2 | -0,7 ⁺ | 1,1* | 1,7** | -0,2 | |
| Herceg Novi | 0,14* | 0,16* | 0,18* | -1,0** | -0,8* | 0,5 | 0,8* | 1,6** | |
| Virpazar | 0,04 | 0,34 | 0,11 | -1,7*** | -0,6 | 0,8 | 1,2* | 0,8* | |
| Golubovci | 0,22** | 0,31 ⁺ | 0,13 ⁺ | -1,4*** | -1,0** | 0,7 | 1,2* | 1,3* | |
| Podgorica | 0,24*** | 0,34** | 0,17** | -1,2** | -1,0* | 1,3* | 1,8** | 1,7** | |
| Danilovgrad | 0,11 ⁺ | 0,32** | 0,16** | -0,8* | -0,6 ⁺ | 1,2* | 1,7** | 2,0*** | |
| Cetinje | 0,08 | 0,33 | 0,05 | -1,2** | 0 | 0,8* | 1,3* | 1,2* | |
| Crkvice | 0,10 | 0,30 | 0,07 | -1,2** | -0,2 | 0,5** | 1,4* | 0 | |
| Grahovo | 0,03 | 0,27 | -0,10 | -1,0* | 0,9* | 0,7* | 1,3* | 0 | |
| Velimlje | 0,12 | 0,18* | 0,14* | -0,9** | -0,9* | 0,4 | 1,1 ⁺ | 1,2 | |
| Nikšić | 0,16* | 0,20 ⁺ | 0,12 ⁺ | -0,6 | -0,8* | 0,1 ⁺ | 0,8 ⁺ | 0,9* | |
| Krstac | 0,13 ⁺ | 0,20 | 0,11 | -0,7* | 0 | 0,5* | 1,3* | 1,0 ⁺ | |
| Kolašin | 0,20** | 0,25* | 0,18* | -0,4 | 0 | 0,3 | 1,2* | 1,0* | |
| Plav | 0,24** | 0,29** | 0,28** | -1,0* | -1,7*** | 0,4 | 0,8 | 1,1 ⁺ | |
| Rožaje | 0,26** | 0,33*** | 0,49*** | -0,6 | -1,6*** | 0,4* | 1,0* | 3,2*** | |
| Berane | 0,27** | 0,41** | 0,29** | -0,8* | -0,9* | 1,2** | 2,1*** | 2,0*** | |
| Bijelo Polje | 0,24** | 0,30*** | 0,29*** | -0,7 ⁺ | -1,1* | 0,9* | 1,1* | 2,0*** | |
| Žabljak | 0,27** | 0,39*** | 0,31*** | -0,9* | -1,0* | / | 2,1** | 1,9*** | |
| Pljevlja | 0,17* | 0,34* | 0,19* | -0,8* | -0,9* | 0,7* | 1,5** | 0,8* | |

Significance of the trend on the level: *** - $\alpha = 0,001$; ** $\alpha = 0,01$; * $\alpha = 0,05$ u + $\alpha = 0,1$.

Table 4. Trend of air temperature parameters for the summer season in the 1951-2010 period

| Station | °C/ decade | | | No. of days/decade | | | | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|--------|------------------|--------|
| | Tsr | Txsr | Tnsr | Tx10p | Tn10p | SU | TD | Tx90p | Tn90p | TR |
| Ulcinj | 0,22*** | 0,18* | 0,17* | -0,3 | -0,3 | 0,4 | 2,8* | 2,0*** | 2,0** | 2,4 |
| Bar | 0,31*** | 0,35*** | 0,37*** | -0,8** | -1,5*** | 1,9** | 3,7*** | 4,3*** | 3,9*** | 5,6*** |
| Budva | 0,36*** | 0,35*** | 0,43*** | -1,0** | -1,7*** | 1,6** | 5,0*** | 3,6*** | 4,0*** | 7,5*** |
| Tivat | 0,10 | 0,37 ⁺ | 0,09 ⁺ | -0,9** | 0,0 | 0,8* | 5,5*** | 4,4*** | 1,2** | 0,7* |
| Kotor | 0,11 ⁺ | 0,32* | 0,16* | -0,5 | -0,4 | 0,7 ⁺ | 4,6*** | 3,7*** | 1,8** | 2,6** |
| Herceg Novi | 0,14* | 0,11*** | 0,25*** | 0,0 | -0,6 ⁺ | 0,7 ⁺ | 1,3 | 1,5* | 2,9*** | 5,0*** |
| Virpazar | -0,11 | 0,29** | 0,21** | -0,8** | -0,9** | 0,7* | 1,8 | 2,2** | 1,0 ⁺ | 0,0 |
| Golubovci | 0,26** | 0,32** | 0,21** | -0,6* | -1,1** | 0,9* | 2,5* | 3,1*** | 1,8** | 2,5* |
| Podgorica | 0,27** | 0,34** | 0,22** | -0,5 ⁺ | -0,6 ⁺ | 0,6 ⁺ | 3,8** | 3,6*** | 2,3** | 3,2** |
| Danilovgrad | 0,11 | 0,34*** | 0,25*** | 0,0 | -0,6 ⁺ | 0,4 | 3,6** | 3,6*** | 2,5** | 1,7** |
| Cetinje | 0,06 | 0,45 | 0,11 | -0,6 ⁺ | 0,3 | 3,3*** | 4,3*** | 3,6*** | 1,7** | / |
| Crkvice | 0,17* | 0,44 | 0,12 | -0,7 ⁺ | 0,0 | 5,0*** | 0,6* | 4,1*** | 1,3 | / |
| Grahovo | 0,11 | 0,22 | 0,03 | -0,7 ⁺ | 0,5 | 2,0* | 1,3 ⁺ | 1,9** | 0,9 | / |
| Velimlje | 0,19 ⁺ | 0,26* | 0,20* | -0,2 | -0,5 ⁺ | 2,4* | 1,4 ⁺ | 2,4** | 3,0* | / |
| Nikšić | 0,25** | 0,30*** | 0,26*** | 0,0 | -0,9* | 2,3** | 3,1** | 2,9*** | 2,5*** | / |
| Krstac | 0,14 ⁺ | 0,25* | 0,17* | 0,0 | 0,0 | 3,0** | 1,0* | 2,9** | 2,3** | / |
| Kolašin | 0,29*** | 0,20*** | 0,26*** | 0,0 | -1,0** | 2,8* | 0,9* | 2,7*** | 2,5*** | / |
| Plav | 0,39*** | 0,39*** | 0,49*** | -0,5 ⁺ | -2,4*** | 3,1** | 1,4* | 2,7*** | 3,3*** | / |
| Rožaje | 0,33*** | 0,39*** | 0,63*** | 0,0 | -1,3*** | 3,2** | 1,3** | 2,9*** | 6,7*** | / |
| Berane | 0,33*** | 0,46*** | 0,39*** | -0,6* | -1,1*** | 3,3*** | 3,9*** | 3,6*** | 3,6*** | / |
| Bijelo Polje | 0,33** | 0,23*** | 0,44*** | -0,2 | -1,7*** | 1,5* | 2,3* | 2,0** | 3,9*** | / |
| Žabljak | 0,28** | 0,32*** | 0,34*** | -0,3 | -1,0** | 1,6** | / | 2,4** | 2,9*** | / |
| Pljevlja | 0,28** | 0,27*** | 0,35*** | -0,3 | -1,4*** | 2,2** | 1,8* | 2,3** | 2,7*** | / |

Significance of the trend on the level: *** - $\alpha = 0,001$; ** $\alpha = 0,01$; * $\alpha = 0,05$ u + $\alpha = 0,1$.

Table 5. Trend of air temperature parameters for the autumn season in the 1951-2010 period

| Station | °C/ decade | | | FD | No. of days/decade | | | | |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------|------------------|------------------|
| | Tsr | Txsr | Tnsr | | Tx10p | Tn10p | SU | Tx90p | Tn90p |
| Ulcinj | 0,0 | 0,17 | 0,01 | / | 0,0 | 0,3 | 0,9 | 1,5*** | 0,0 |
| Bar | 0,11 ⁺ | 0,17** | 0,21** | / | 0,0 | -0,9** | 1,6* | 2,0** | 1,5* |
| Budva | 0,09 | 0,16 | 0,12 | / | 0,0 | -0,4 | 1,6** | 1,3* | 1,0 ⁺ |
| Tivat | -0,08 | 0,09 | -0,02 | / | 0,0 | 0,3 | 0,7 | 0,8 ⁺ | 0,0 |
| Kotor | -0,01 | 0,05 | 0,02 | / | 0,4 | -0,6 ⁺ | 0,6 | 1,0* | -0,7 |
| Herceg Novi | -0,01 | 0,10 | 0,04 | / | 0,0 | -0,1 | 0,5 | 0,9* | 0,7 |
| Virpazar | -0,17* | 0,21 | -0,04 | / | -1,1** | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 1,0 ⁺ |
| Golubovci | 0,03 | 0,16 | -0,03 | / | -0,5 | 0,3 | 0,7 | 1,0 ⁺ | 0,2 |
| Podgorica | 0,03 | 0,18 | -0,01 | / | -0,2 | 0,2 | 1,6* | 1,7** | 0,6 |
| Danilovgrad | -0,12 | 0,10 | 0,05 | / | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,0 ⁺ | 0,3 |
| Cetinje | -0,11 ⁺ | 0,16 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 1,0* | 1,2* |
| Crkvice | -0,11 | 0,09 | -0,09 | 0,8 ⁺ | 0,0 | 0,6 ⁺ | -0,2 | 0,5 | -0,3 |
| Grahovo | -0,1 | 0,07 | -0,03 | 0,6 | -0,3 | 0,8* | -0,4 | 0,4 | 0,7 |
| Velimlje | -0,02 | 0,08 | -0,01 | 0,3 | 0,0 | 0,5 | -0,5 | 0,4 | 0,0 |
| Nikšić | -0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | -0,6 | 0,6 | 0,0 |
| Krstac | -0,1 | 0,11 | -0,06 | 0,3 | 0,0 | 0,6 | -0,2 | 1,2* | 0,0 |
| Kolašin | 0,05 | 0,00 | 0,13 | -0,4 | 0,0 | -0,4 | -0,3 | 0,8 ⁺ | 1,1* |
| Plav | 0,14 ⁺ | -0,09** | 0,28** | -2,0* | 0,0 | -1,3*** | -0,5 | -0,4 | 1,0* |
| Rožaje | 0,05 | -0,04*** | 0,46*** | -2,5** | 0,3 | -1,3*** | -0,4 | 0,0 | 3,0*** |
| Berane | 0,07 | 0,08* | 0,22* | -0,4 | 0,0 | -0,8* | 0,0 | 0,8 | 1,5*** |
| Bijelo Polje | 0,02 | -0,05** | 0,26** | -0,5 | 0,2 | -1,1* | -0,5 | 0,0 | 1,9*** |
| Žabljak | 0,07 | 0,15 ⁺ | 0,15 ⁺ | -0,6 | 0,0 | 0,0 | / | 1,3* | 0,8 ⁺ |
| Pljevlja | 0,01 | 0,02* | 0,19* | -0,6 | 0,0 | -0,8* | -0,5 | 0,7 | 0,5 |

Significance of the trend on the level: *** - $\alpha = 0,001$; ** $\alpha = 0,01$; * $\alpha = 0,05$ u + $\alpha = 0,1$.

Unkašević and Tošić (2013) have discussed the trends of six climate indices on the basis of maximum and minimum daily temperatures for the 1949-2009 period. The analysis of extreme temperature indices has shown that the climate in Serbia has a tendency of becoming warmer during the last 61 years.

Conclusion

Frich et al. (2002) suggested a significant increase in the number of warm nights (Tn90p) for the 1946-1999 period on global level, particularly in summer, while there is a decrease in the number of frost days (FD), as well as in the amplitude between temperature extremes. Alexander et al. (2006) also emphasize significant changes of warm temperature extremes in the world. Their results show a significant increasing trend of Tn90p on over 70% of observed world landmass for the 1951-2003 period.

Detailed analysis of extreme temperature indices (SU, TR, TD, Tn90p, Tx90p, FD, ID, Tx10p and Tn10p) over Montenegro for the 1951-2010 period shows increase in summer mean temperature and that it is statistically significant in almost all places. The increase of spring mean temperature is smaller, but it is also significant on a majority of stations. However, temperature changes are insignificant in winter and autumn seasons. Moreover, the trend of winter mean temperature is negative on 7 out of 23 stations, and it is also negative on 11 stations in autumn.

Similar results have been obtained for mean maximum and mean minimum temperature. Comparing the trend values of mean maximum and mean minimum temperature for a 60-year observed period, the increase in maximum temperature is more intensive than the increase in minimum temperature on seasonal level in most parts of Montenegro.

Bringing the analysis down to daily extremes, higher values of both maximum and minimum daily temperatures are becoming more common on the territory of Montenegro. This means that there is an increase in frequency of daily temperature extremes in a positive sense (toward warmer conditions).

In most cases the trend of temperature extremes is significant, particularly during summer and spring. Positive trends are more pronounced than negative ones, which corresponds with previous researches for Montenegro coast (Burić et al., 2014).

The changing trend of extreme temperature indices points to coincidence with models of dominating anthropogenic greenhouse effects. However, some inconsistencies have been noticed during this research. According to paleoclimate records and the theory of dominating anthropogenic greenhouse effects in warming conditions we should expect higher temperature changes during the night and in winter than during the day and in summer. According to Alexander et al. (2006), if the global warming were caused by the Sun, the trend of increase in daily temperature would be more intensive. "Instead, we notice that the number of warm nights increases faster than the number of warm days". The same conclusion was made by Braganza et al. (2003; 2004) considering both winter and summer: "Considering the strengthening of the greenhouse effect, winters are expected to get warmer faster than summers". The reason for that, according to the authors, is that greenhouse effects are more pronounced in winter, which is proved by measurements in the instrumental period. However, something opposite is happening in Montenegro, since the changes of examined temperature indices are greater in summer than in winter season. For example, the number of winter warm nights (Tn90p) increases insignificantly, while there is a stronger positive tendency in summer. There is a similar changing trend of warm days (Tx90p) and cold nights (Tn10p) – the increase is more intensive in summer than in winter and, in general, during the warmer part of the year than the cold one.

References

- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein-Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-

- Aguirre, J.L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109. doi:10.1029/2005JD006290.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26(3): 345–381.
- Burić, D., Luković, J., Ducić, V., Dragojlović, J., Doderović, M. (2014). Recent trends in daily temperature extremes over southern Montenegro (1951–2010) *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14: 67-72. doi:10.5194/nhess-14-67-2014.
- World Meteorological Organization (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Geneva 2, Switzerland, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72.
- Gajić-Čapka, M. (2009). Trendovi oborinskih ekstrema u Crikvenici, 1901-2007. *Zbornik radova-Konferencija "Suvremene metode odvodnje oborinskih voda urbanih sredina na obalnim područjima"*, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb; Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, str.166-175.
- Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Luterbacher, J. and Wanner, H. (2007). Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research*, 112(D15103): 1-11. doi:10.1029/2007JD008510.
- Del Río, S., Penas, A. and Fraile, R. (2005). Recent climatic variations in Castile and Leon (Spain). *Atmospheric Research*, 73: 69–85.
- Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C. and Penas, A. (2011). Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961–2006. *Global and Planetary Change*, 78: 65–75.
- Ducić, V., Luković, J., Burić, D., Stanojević, G., and Mustafić, S. (2012). Precipitation extremes in the wettest Mediterranean region (Krivošije) and associated atmospheric circulation types, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12: 687-697. doi:10.5194/nhess-12-687-2012.
- Durao, R., Pereira, M., Costa, M.J., Delgado, A.C., del Barriod, J., Soares, A. (2010). Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. *Int. J. Climatol.*, 30: 1526–1537.
- El Kenawy, A.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M. (2011). Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain (1960–2006). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 2583–2603.
- Efthymiadis, D., Goodess, C.M., Jones, P.D. (2011). Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 2199-2214.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Klein-Tank, A.M.G. and Können, G.P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 16(22): 3665–3680. doi: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIODT>2.0.CO;2
- Кнежевић, С., Тошић, И., Ункашевић, М. (2011). Анализа минималних дневних температура за Београд и Ниш. *Гласник Српског географ. друштва*, 2: 71-82.
- Kostopoulou, E. and Jones, P.D. (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 89: 69–85.
- Mondal, A, Kundu, S, Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: A case study of north-eastern part of cuttack district, Orissa. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2 (1): 70-78.
- Rahmstorf, S. and Coumou, D. (2011). Increase of extreme events in a warming world. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 108: 17905–17909. doi: 10.1073/pnas.1101766108.
- Olofintoye, O.O., Sule, B.F. (2010). Impact of Global Warming on the Rainfall and Temperature in the Niger Delta of Nigeria. *J. Research Information in Civil Engineering*, 7(2): 33-48.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates—the Excel template application MAKESENS. Helsinki: Finnish Meteorological Institute Publications on Air Quality No. 31.
- Szentimrey, T. (2003). Multiple analysis of series for homogenization (MASH); Verification procedure for homogenized time series, in: Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases. Budapest, Hungary, *WMO-TD No. 1236, WCDMP No. 56*: 193–201.
- Trigo, R, Xoplaki, E, Zorita, E, Luterbacher, J, Krichak, SO, Alpert, P, Jacobeit, J, Saenz, J, Fernandez, J, Gonzalez-Rouco, F, Garcia-Herrera, R, Rodo, X, Brunetti, M, Nanni, T, Maugeri, M, Turkes, M, Gimeno, L, Ribera, P, Brunet, M, Trigo, IF, Crepon, M, Mariotti, A. (2006). Chapter 3: *Relations between Variability in the Mediterranean Region and Mid-latitude Variability*, pp. 179-226. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P, Boscolo, R. (eds): *Mediterranean Climate Variability*, Elsevier, Amsterdam. (http://194.117.7.100/Ricardo/N52170-Ch03.pdf)
- Türkeş, M., Sumer, U.M., Demir Y. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey, for the period 1929–1999. *International Journal of Climatology* 22(8): 947–977. DOI: 10.1002/joc.777.

- Unkašević, M. and Tošić, I. (2009). An analysis of heat waves in Serbia. *Global and Planetary Change*, 65: 17–26. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.10.009.
- Unkašević, M. and Tošić, I. (2011). The maximum temperatures and heat waves in Serbia during the summer of 2007. *Climatic Change*, 108: 207–223. DOI: 10.1007/s10584-010-0006-4.
- Unkašević, M. and Tošić, I. (2013). Trends in temperature indices over Serbia: relationships to large-scale circulation patterns. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.3652.
- Feidas, H., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E. (2004). Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. *Theoretical and Applied Climatology* 79(3-4): 185-208.
- Frich, P., , L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein-Tank, A.M.G., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3): 193–212. doi:10.3354/cr019193.
- Hansen, J., Sato, M. and Ruedy, R. (2012). Perception of climate change, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 109(37): E2415-E2423. doi:10.1073/pnas.1205276109.
- Hertig, E., Seubert, S. and Jacobeit, J. (2010). Temperature extremes in the Mediterranean area: trends in the past and assessments for the future. *Nat. Haz. Ear.Syst. Sci.*, 10: 2039-2050.
- Cook, B.I., Miller, R.L., Seager, R. (2009). Amplification of the North American “Dust Bowl” drought through human-induced land degradation. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 106: 4997–5001. doi:10.1073/pnas.0810200106.
- Šumenjak, K, Šuster, V. (2011). Parametrični in neparametrični pristopi za odkrivanje trenda v časovnih vrstah. *Acta agriculturae Slovenica*, 97(3): 305-312.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, F., Hantosh, T. H., Albert, P., Semawi, M., Ali, M. K., Al-Shabibi, M. H. S., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Khelet, I. A. D., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., , L., Peterson, T. C., and Wallis, T. (2005) : Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D22104,doi:10.1029/2005JD006181, 2005.

САВРЕМЕНЕ ПРОМЕНЕ ЕКСТРЕМНИХ ТЕМПЕРАТУРА ВАЗДУХА У ЦРНОЈ ГОРИ

ДРАГАН БУРИЋ¹, ВЛАДАН ДУЦИЋ², ЈОВАН МИХАЈЛОВИЋ²,
ЈЕЛЕНА ЛУКОВИЋ², ЈОВАН ДРАГОЈЛОВИЋ³

¹Завод за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе, Подгорица, Црна Гора

²Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

³Природно-математички факултет, Косовска Митровица, Србија

Сажетак: Истраживања показују да су у многим регионима света регистроване промене у интензитету и учесталости екстремних временских догађаја. У овом раду је дата анализа промена 12 параметара температуре ваздуха, а од тога је 9 климатских индекса. За истраживање промена температурних екстрема коришћени су индекси предложени од стране WMO-CCL/CLIVAR. Истраживање у оквиру наведене теме реализовано је коришћењем података са 23 метеоролошке станице, за период 1951-2010. године, а прорачуни су урађени на сезонском нивоу. Резултати показују да се на територији Црне Горе све чешће јављају максималне и минималне дневне температуре које имају „топлије“ вредности, што је у складу са општом представом о глобалном отопљавању.

Кључне речи: температурни индекси, екстреми, тренд, Црна Гора.

Увод

У многим регионима света регистроване су промене у интензитету и учесталости екстремних временских догађаја, као што су: високе и ниске температуре, суше, поплаве, олујне непогоде, топли таласи, јаке краткотрајне кише, пожари итд., узрокујући значајну штету (IPCC, 2007). С обзиром на то да температурни и падавински екстреми могу узроковати велике штете у природној средини и човековом животу и раду, предмет су истраживања многих студија (Klein-Tank and Können, 2003; Gajić-Čarka, 2009; Dugao et al., 2010; El Kenawy et al., 2011; Ducić et al., 2012).

На простору Европе је тренд загревања изразитији од 1979. године, како на сезонском, тако и годишњем нивоу. Изузетак је јесења сезона, која бележи благи тренд пада (Klein-Tank and Können, 2003; IPCC, 2007; Della-Marta et al., 2007). Посматрајући регионално, најинтензивније се загрева Јужна Европа, а најмање атлантска фасада континента (Del Rio et al., 2005).

Trigo et al. (2006) истичу да су на простору Медитерана 20. век обележили позитивни трендови температуре у свим сезонама, посебно зими и лети. Опште је мишљење да ће у региону Медитерана топлији услови негативно утицати на животну средину и додатно погоршати економску ситуацију (Kostopoulou and Jones, 2005; Della-Marta et al., 2007; Efthymiadis et al., 2011). Del Rio et al. (2011) су добили да је на простору Шпаније, за период 1961-2006., најизразитији тренд пораста летње и пролећне температуре. Међутим, на супротној страни Медитерана, у Турској, за период 1929-1999., Türkerş et al. (2002) уочавају значајан тренд пораста годишње, зимске и пролећне температуре на југу земље, док је у северним и централним деловима присутна тенденција пада у летњој и јесењој сезони. За Грчку, Feidas et al. (2004) су добили негативан тренд зимске температуре за период 1955-2001. Резултати за Италију (Brunetti et al., 2006) указују да је у инструменталном периоду присутан тренд загревања на територији целе земље, али је у другој половини 20. века изразитији пораста максималне, него минималне температуре.

Користећи податке о максималној температури са три метеоролошке станице у Србији, Unkašević и Тошић (2009) су утврдили да су најтоплија лета у погледу интензитета и трајања топлих таласа регистрована 1951-1952., 1987-1998. (посебно 1994) и 2000-2007. Unkašević и Тошић (2011) истичу да је узрок топлоталаса током

јула 2007. године постојећа синоптичка ситуација, односно прилив топлог и сувог ваздуха са севера Африке ка Југоисточној Европи и адијабатско загревање.

Светска метеоролошка организација (WMO, 2009), Међувладин панел за климатске промене (IPCC, 2007) и многи научници (нпр. Cook et al., 2009; Rahmstorf and Coumou, 2011; Hansen et al., 2012) истичу да би у условима отопљавања требало очекивати повећање интензитета и учесталости температурних, падавинских и других екстремних временских догађаја. Зато је основни циљ овог рада да се истраже промене температуре на територији Црне Горе.

Подаци и методологија

За потребе овог рада коришћени су подаци о температури ваздуха са 23 метеоролошке станице (Слика 1.), за период 1951-2010. године. Испитивање хомогености низова и попуњавање недостајућих података урађено је помоћу метода MASH v3.02. Овај метод је развила метеоролошка служба Мађарске (Szentimrey, 2003).

Слика 1. Локације и надморска висина метеоролошких станица укључених у анализу

У овом раду су температурни екстремни анализирани на основу девет индекса, од којих су пет топли (SU, TR, TD, Tn90p и Tх90p), а четири хладна (FD, ID, Tх10p и Tn10p). Сви индекси су дефинисани у смислу броја дана са максималном (Tх) и минималном (Tn) температуром изнад/испод апсолутног или перцентилног прага. Осим климатских индекса, који су преузети са листе од 27 индекса³, анализирана је средња (Tsr), средња максимална (Tхsr) и средња минимална (Tnsr) температура.

Перцентилни прагови су рачунати за сваки календарски дан у периоду 1961-1990. из 5-дневног прозора чији је централни члан дати дан. На тај начин се добија 150 података за сваки календарски дан (WMO, 2009). Дакле, за сваку станицу је израчунато 365 (366) прагова.

Табела 1. Дефиниције и скраћенице ETCCDI индекса температурних екстрема коришћених у раду

Тренд је прорачунат Сеновим методом (*Sen's slope estimates*), а његова значајност испитана помоћу Мен-Кендаловог теста (*Mann-Kendall*). Анализа трендова у ETCCDI радионици (Expert team on Climate Change Detection and Indices) се заснива управо на коришћењу ових непараметарских метода (Zhang et al., 2005), а њихова основна предност је у томе што не захтевају нормалну расподелу (Salmi et al., 2002; Olofintoye, Sule. 2010; Šumenjak, Šuster, 2011; Mondal et al., 2012). Прорачуни тренда разматраних показатеља температуре урађени су на сезонском нивоу и за сваку станицу посебно.

Резултати и дискусија

Зима. У периоду од 1951. до 2010. године, тренд средње зимске температуре (Tsr) је на 16 станица позитивног знака, а на 7 негативног, али су у свим местима промене безначајне. Слични квалитативни резултати добијени су и за средњу зимску минималну температуру (Tnsr), али 5 станица у северном делу земљу бележи значајан тренд пораста. Средња максимална температура (Tхsr) расте на свим станицама, а промене су значајне на 6. Резултати дати у Табели 2. даље показују да је у у већем делу Црне Горе присутан тренд смањења броја мразних дана (FD).

³ http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

Промене броја мразних дана значајне су само на 6 станица – тренд смањења на 5 станица и повећања на једној. И промене хладних дана (T_{x10p}) и хладних ноћи (T_{n10p}) безначајне су у већем делу Црне Горе. Летњи и тропски дани (SU и TD), као и тропске ноћи (TR), јављају се у топлијем делу године, зато ови индекси нису рачунати за зимску сезону. Исто важи и за остале сезоне, за оне индексе који се веома ретко јављају, па добијени резултати могу дати погрешну слику, односно нису приказани.

Ледени дани (ID) су зими изузетно ретка појава на приморју и у јужним крајевима Црне Горе, па тренд на тим станицама није ни разматран (укупно 10 станица). Од посматраних 13 станица, само је на једној присутан тренд пораста броја ледених дана (Колашин). На осталих 12 од 13 станица број ових дана се смањује, а на 9 је интензитет тренда значајан. Зимски број топлих дана (T_{x90p}) се повећава у већем делу Црне Горе, а значајно на 16 станица. Углавном се и број топлих ноћи (T_{n90p}) повећава, али је позитивна тенденција значајна само на једној станици (Рожаје).

Пролеће. У пролећној сезони, сви разматрани параметри температуре ваздуха указују да постоји тенденција загревања на територији Црне Горе (Табела 3.). Тренд средње, средње максималне и средње минималне пролећне температуре позитиван је на свим посматраним станицама и значајан је у већем делу Црне Горе. Изузетак је једино станица Грахово, која бележи безначајан пад средње минималне температуре.

Пролећни број хладних дана (T_{x10p}) се смањује у свим посматраним местима, а услови значајности испуњени су на 19 од 23 станице. Слично је и са бројем хладних ноћи (T_{n10p}). Са друге стране, број летњих дана (SU) и топлих дана (T_{x90p}) повећава се на целој територији Црне Горе и у већини случајева позитивна тенденција је значајна. Такође је углавном значајно повећање и броја топлих ноћи (T_{n90p}).

Лето. Статистички значајан тренд пораста средње летње температуре (T_{sr}) регистрован је на 18 од 23 станице. И у овом случају су најмање и безначајне промене средње летње температуре у југозападном делу Црне Горе, као и за зимску и пролећну сезону. Такође је и пораст средње максималне (T_{xsr}) и средње минималне (T_{nsr}) температуре значајан у већем делу Црне Горе. Број хладних дана (T_{x10p}) и хладних ноћи (T_{n10p}) се смањује и у овом годишњем добу, а значајно је у јужним крајевима земље, односно на 16 станица (Табела 4.). Све анализирани станице бележе тренд пораста броја дана са $T_x > 25^{\circ}\text{C}$ (SU), а позитивна тенденција је значајна готово на целој територији Црне Горе. Прорачуни тренда за период 1951-2010., показали су да је на свим станицама присутна тенденција повећања и броја тропских дана (TD) и топлих ноћи (T_{n90p}), а безначајна је само на по две станице. Током три летња месеца је на целој територији Црне Горе присутно значајно повећање броја топлих дана (T_{x90p}). Тренд броја тропских ноћи (TR) рачунат је само на станицама које су лоциране у јужном делу Црне Горе јер се у северним крајевима врло ретко јављају. И овај показатељ указује да је присутан тренд загревања. Дакле, сви разматрани индекси говоре у прилог томе да су лета на територији Црне Горе све топлија.

Јесен. Добијени резултати за јесењу сезону дати су у Табели 5. Прорачуни тренда показују да се са средњом јесењом температуром (T_{sr}) ништа значајно не дешава јер су промене безначајне на 19 од 23 станице. Штавише, могло би се рећи да се у овом годишњем добу не примећује загревање јер је скоро на половини посматраних станица тенденција негативна. Углавном су и промене средње максималне и средње минималне температуре (T_{nsr} и T_{xsr}), као и броја мразних дана (FD) безначајне.

Упоређујући вредности трендова сезонског броја хладних дана (T_{x10p}) за период 1951-2010., најмање промене десиле су се током јесени. Број хладних ноћи (T_{n10p}) се значајно смањило на 7 станица, а повећао на две, док су у осталим местима промене безначајне. Током три јесења месеца, готово све станице на северу земље бележе смањење броја летњих дана (SU), укључујући и Црквице, док је на југу Црне

Горе тренд позитиван. Ипак, промене јесењег броја летњих дана су углавном безначајне. Јесењи број топлих дана (Tx90p) и топлих ноћи (Tn90p) се повећава у већем делу Црне Горе, а значајност позитивне тенденције бележи 13, односно 10 станица.

Резултати за Црну Гору су углавном у складу са истраживањима за регион Медитерана и из окружења (Klein-Tank and Können, 2003; Kostopoulou and Jones, 2005; Кнежевић и др., 2011; Hertig et al., 2010; El Kenawy et al., 2011; Efthymiadis et al., 2011), посебно када је у питању тренд повећања топлих температурних индекса.

Frich et al. (2002) су утврдили да се на глобалном нивоу, у периоду 1946-1999., значајно повећава број топлих ноћи (Tn90p), нарочито лети, а смањује број мразних дана (FD), као и амплитуда између екстремних температура. И Alexander et al. (2006) истичу да су се у свету догодиле значајне промене топлих температурних екстрема. Њихови резултати показују да је, у периоду 1951-2003., на преко 70% посматраног светског копна значајан тренд пораста Tn90p.

Табела 2. Тренд параметара температуре ваздуха за зимску сезону у периоду 1951-2010.

Табела 3. Тренд параметара температуре ваздуха за пролећну сезону у периоду 1951-2010.

Табела 4. Тренд параметара температуре ваздуха за летњу сезону у периоду 1951-2010.

Табела 5. Тренд параметара температуре ваздуха за јесењу сезону у периоду 1951-2010.

Unkašević и Тошић (2013) су разматрали трендове шест климатских индекса на основу максималних и минималних дневних температура у периоду 1949-2009. Анализа екстремних температурних индекса је показала да клима Србије има тенденцију да постане топлија у последњих 61 годину.

Закључак

Детаљна анализа индекса температурних екстрема (SU, TR, TD, Tn90p, Tx90p, FD, ID, Tx10p и Tn10p) у Црној Гори, за период 1951-2010., показује да је најизразитији тренд пораста средње летње температуре и готово у свим местима је статистички значајан. Нешто је мањи пораст средње пролећне температуре, али је, такође, на већем броју станица значајан. Међутим, у зимској и јесењој сезони су промене температуре безначајне. Штавише, тренд средње зимске температуре је негативан на 7 од 23 станице, а јесење чак на 11.

Слични резултати су добијени за средњу максималну и средњу минималну температуру. Упоредјујући вредности тренда средње максималне и средње минималне температуре за посматрани 60-годишњи период, на сезонском нивоу, у већем делу Црне Горе је интензивнији пораст максималне него минималне температуре.

Спуштајући анализу на дневне екстреме, на територији Црне Горе се све чешће јављају више вредности и максималне и минималне дневне температуре. То значи да постоји повећање учесталости дневних температурних екстрема у позитивном смислу (ка топлијим условима).

У већини случајева је тренд температурних екстрема значајан, посебно током лета и пролећа. Позитивни трендови су израженији од негативних, што је у складу са ранијим истраживањима за Црногорско приморје (Burić et al., 2014).

Тренд промена температурних индекса упућује на сагласност са моделима доминације антропогеног ефекта стаклене баште. Међутим, током истраживања су уочене и неке нелогичности. Према палеоклиматским записима, али и теорији доминације антропогеног ефекта стаклене баште, у условима отопљавања требало би очекивати веће температурне промене ноћу и зими него дању и лети. Према Alexander

et al. (2006), када би глобално загревање било узроковано Сунцем, онда би интензивнији био тренд пораста дневне температуре. „Уместо тога, опажамо како се број топлих ноћи повећава брже него број топлих дана“. Исту констатацију износе и Braganza et al. (2003; 2004) за зиму и лето: „Јачањем ефекта стаклене баште требало би очекивати да се зиме брже загревају од лета“. Разлог томе је, како истичу аутори, што ефекат стаклене баште има већи утицај зими, а то потврђују и мерења у инструменталном периоду. Међутим, на територији Црне Горе се дешава супротно јер су промене разматраних температурних индекса веће у летњој него у зимској сезони. Примера ради, зимски број топлих ноћи (Tn90p) се занемарљиво повећава, док је позитивна тенденција лети значајно већа. Слично је и са трендом промена топлих дана (Tx90p) и хладних ноћи (Tn10p) – интензивније је повећање лети него зими, и генерално у топлијем него у хладнијем делу године.

Литературу видети на страни 59.