



Савремене климатске промјене у Црној Гори

Драган Бурић, Владан Дуцић, Јелена Луковић

Сажетак: Живимо у ери климатских промјена (савремене климатске промјене) које су, по мишљењу многих, убрзаније и интензивније од оних из претходних епоха. С тим у вези, овај рад имао је за циљ да испита промјене температуре и падавина на простору Црне Горе у инструменталном периоду, односно у претходних 70 година (у периоду 1951–2020. године). Релативна хомогеност временских серија температуре и падавина са 10 метеоролошких станица и допуна занемарљивог процента недостајућих података урађена је коришћењем метода MASH, односно MISH. Резултати истраживања показали су да годишње суме падавина не показују значајне промјене у посматраном седмдесетогодишњем периоду. Од три климатска индекса (број сушних, влажних и врло влажних дана), једини падавински индекс који указује на извјесну аридизацију Црне Горе јесте број сушних дана, јер резултати прорачуна показали су да је током посматраног периода број сушних дана повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. Са друге стране, сви разматрани параметри температуре (средња вриједност, број љетних, тропских, мразних и ледених дана, те тропских ноћи) недвосмислено указују на тренд загријавања Црне Горе. У прилог поменутог је и чињеница да су, на годишњем нивоу, код падавина

Цитирање: Бурић Д, Дуцић В, Луковић Ј (2023) Савремене климатске промјене у Црној Гори. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:369–400

Cite as: Burić D, Ducić V, Luković J (2023) Contemporary Climate Change in Montenegro. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:369–400

нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне нормале (1961–1990). Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале „топлије“ у односу на претходне.

Да ли се промијенила клима Црне Горе? Најједноставније речено, клима Црне Горе постала је топлија, али не и ариднија или влажнија.

Кључне ријечи: Температура, падавине, тренд, климатски периоди, Црна Гора

7.1. Увод

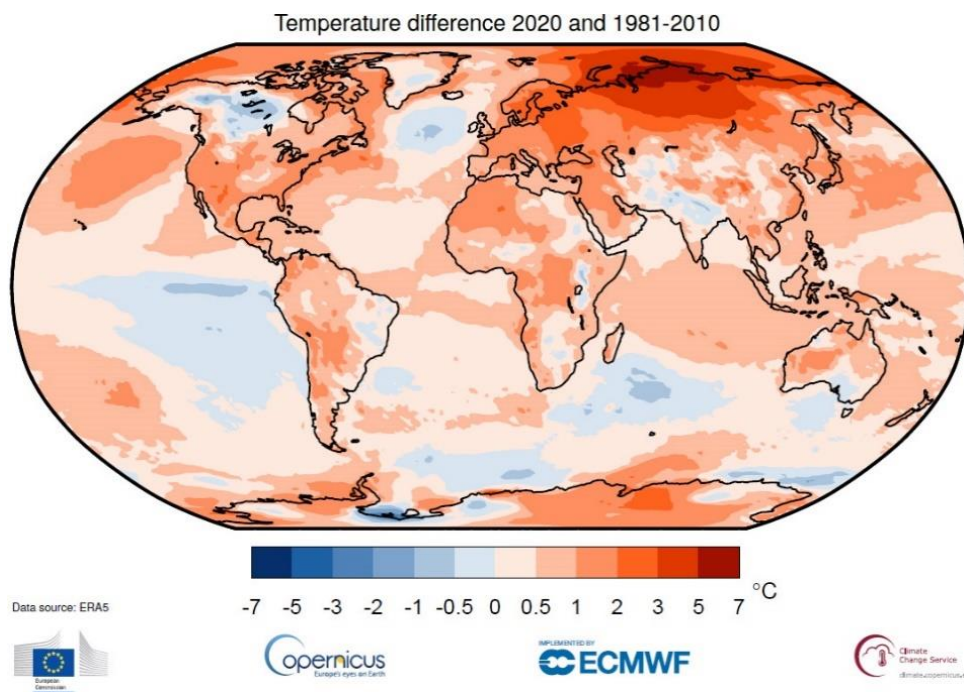
До појаве COVID-19 пандемије (крај 2019. године – почетак 2020. године), савремене климатске промјене и глобално загријавање биле су најактуелније теме у свијету, како у научној јавности тако и код јавног мњења. Бројни су радови у којима се истиче да од средине XX вијека на простору Европе, али и на другим континентима, генерално у свијету, температура расте и да је, у вези с тим, повећана честина и интензитет екстремних временских и климатских догађаја (IPCC 2014; Croitoru et al. 2016; Lukić et al. 2016; Ahmed et al. 2017; Santos et al. 2017; Caloiero 2017; Garreaud 2018; Pattison and Lane 2018; Blöschl et al. 2019). Сателитски подаци указују да у периоду 1979–2014. године постоји тренд пораста сезонских и годишњих температура изнад Аустралије, како у доњој, тако и у средњој тропосфери (Burić et al. 2015a), а на поменутом континенту 2019. била је најтоплија и најсушнија година у инструменталном периоду, те су као посљедица тога регистровани катастрофални пожари (AGBM 2020).

У Извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) истиче се да је људски утицај на климу јасан, као и то да глобални антропогени утицај постоји од средине XX вијека, а да се манифестује преко повећаних концентрација гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери, у првом реду CO₂ (IPCC 2014).

Дакле, чињеница је да се планета загријава, али постоје регионалне разлике у погледу пораста температуре. Регионалне промјене у режиму и количини падавина још су изразитије – поједине регије и државе постају аридније, а неке хумидније, док има и оних подручја у којима се смјењују сушни и екстремно кишни периоди са поплавама. Када су климатске промјене у питању, за подручје Европе су најактуелније информације Европске уније, које се у посљедње вријеме често користе и на глобалном нивоу, генерално. Наиме, званичне информације Европске уније базирају се на подацима Сервиса за

климатске промјене Коперникус (Copernicus Climate Change Service, C3S) (веб-сајт <https://climate.copernicus.eu/about-us>), који функционише у оквиру Европског центра за средњорочну прогнозу времена из Рединга (European Center for Medium-Range Weather Forecasting, ECMWF) (<https://www.ecmwf.int/>).

Најновији подаци које је објавила служба C3S показују да је на глобалном нивоу 2020. година била у рангу са 2016. годином, која је оцијењена као најтоплија икад забиљежена од 1851. године. Година 2020. била је екстремно топла над Арктиком и сјеверним Сибиrom – позитивна одступања и до 6 °C у односу на просјечну температуру за период 1981–2010. године (Сл. 7.1).



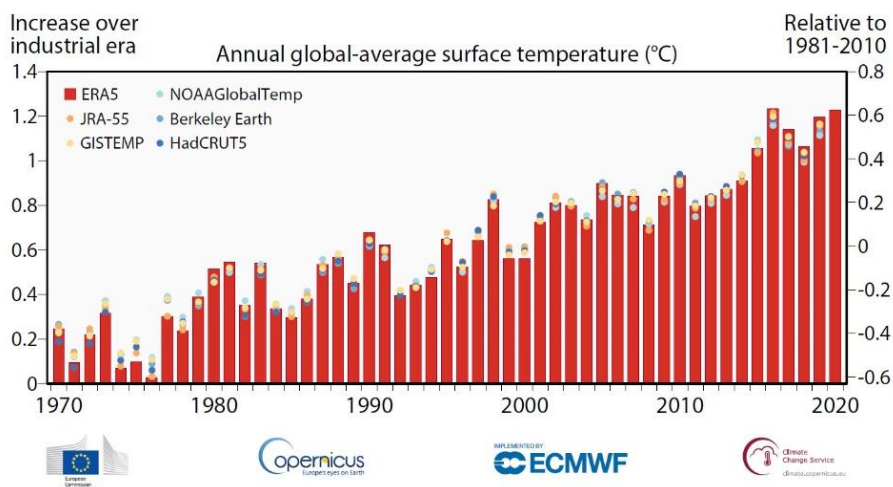
Сл. 7.1. Одступања температуре ваздуха на висини од два метра у 2020. години у односу на просјек периода 1981–2010. године. Извор података: ERA5. Заслуга: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.1. Anomalies of surface air temperature in 2020, shown relative to the 1981–2010 reference period. Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Нарочито су високе температуре регистроване у западном Сибиру током зиме и прољећа, а на сибирском Арктику и над већим дијелом Сјеверног леденог океана током љета и јесени. Иако доминирају позитивна одступања, треба истаћи да је било подручја у којима је 2020. година била хладнија од

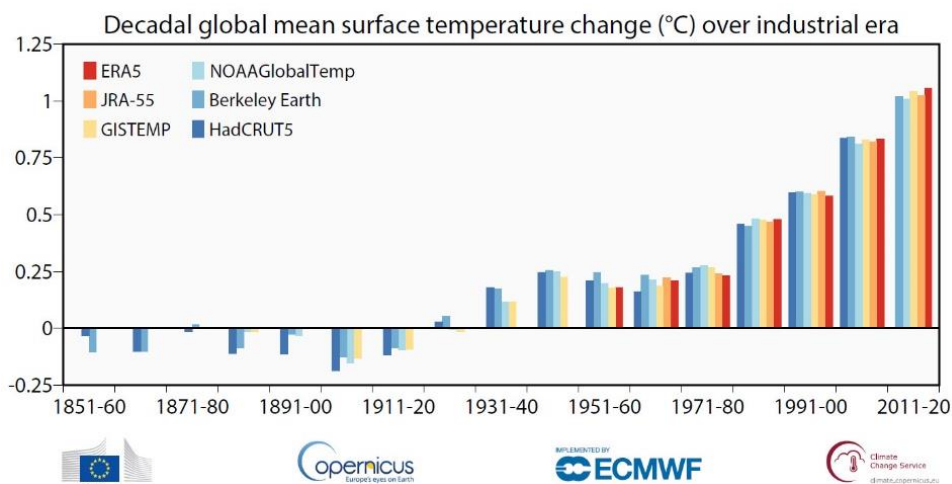
просјека: запад Канаде, дијелови Аљаске, Гренланда, Антарктика, Индије, сјевер Атлантика, источни дијелови тропског Пацифика итд.

C3S скуп података за глобалну површинску температуру ваздуха показује да је 2020. година била за 0,6 °C топлија од референтног периода 1981–2010. године, односно да је позитивно одступање износило приближно 1,25 °C изнад преиндустријског периода 1850–1900. године. У саопштењу C3S истиче се да су све године у претходном шестогодишњем периоду (2015–2020) биле изузетно топле, односно најтоплије у инструменталном периоду (Сл. 7.2). То је допринијело да је посљедња деценија (2011–2020) најтоплија деценија у инструменталном периоду (Сл. 7.3), а то потврђују сви скупови података глобалне температуре.



Сл. 7.2. Одступања годишњих просјека глобалне температуре ваздуха на висини од два метра у периоду 1970–2020. године у односу на преиндустријски период (лијева ордината) и у односу на период 1981–2010. године (десна ордината), према различитим скуповима података: црвено: ERA5 (ECMWF, C3S); тачке: GISTEMPv4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA) и Berkeley Earth; Заслуге: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.2. Annual averages of the estimated global surface temperature increase above the 1850–1900 reference level (left-hand axis) and relative to 1981–2010 (right-hand axis) according to different datasets: Red bars: ERA5 (C3S); Coloured dots: GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT5 (Met Office Hadley Centre); NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); and Berkeley Earth; Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)



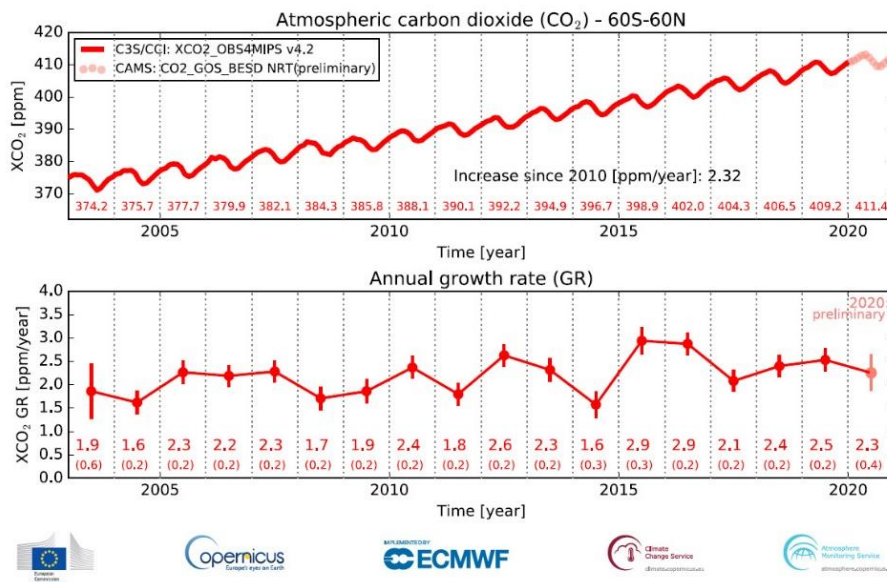
Сл. 7.3. Одступања декадних просјека глобалне температуре ваздуха на висини од два метра у односу на преиндустријски период према различитим скуповима података: ERA5 (ECMWF, C3S), GISTEMPV4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA) и Berkeley Earth; Заслуга: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.3. Deviations of decadal averages of global air temperature at a height of two meters compared to the pre-industrial period according to different data sets: ERA5 (ECMWF Copernicus C3S), GISTEMPV4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAAGlobalTempv5 (NOAA) JRA-55 (JMA) and Berkeley Earth; Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Генерално, већи дио сјеверне хемисфере су током 2020. године карактерисале натпросјечне температуре, а како је већ поменуто, највећа позитивна одступања температуре регистрована су унутар Арктичког круга – над Арктиком и над сјеверним Сибором. То је за посљедицу имало необично активну сезону пожара у овом региону. Штавише, унутар поларног круга пожари су први пут регистровани у мају мјесецу, а било их је током цијелог љета и све до јесени. Подаци указују да су пожари у Арктичком кругу током 2020. године ослободили 244 мегатона CO₂, што је за 1/3 више од рекорда из 2019. године. Даље се истиче да су у јулу и октобру регистроване најниже површине Арктичког морског леда за те мјесеце.

Заједно са Службом за праћење атмосфере Коперникус (Copernicus Atmosphere Monitoring Service, CAMS), C3S извјештава да су концентрације CO₂ у атмосфери у 2020. години наставиле расти по стопи од 2,2±0,4 ppm годишње, односно нешто мање од раста у претходној години (2,5±0,2 ppm годишње). Ипак,

сателитски подаци глобалних атмосферских концентрација CO₂ показују да је просјечни максимум од 413 ppm регистрован током маја 2020. године (Сл. 7.4). Треба поменути да и CAMS, као и C3S, спроводи ECMWF у име Европске уније (тачније Европске комисије).



Сл. 7.4. Мјесечне глобалне концентрације CO₂ са сателита (горња слика) и годишње средње стопе раста (доња слика) за период 2003–2020. Горња слика: црвени бројеви означавају годишње просјеке XCO₂. Доња слика: средње годишње стопе раста XCO₂ изведене из података приказаних на горњој табли; бројеви одговарају стопи раста у ppm по години, укључујући процјену несигурности у загадама. Извор података: C3S/Obs4MIPs(v4.2) консолидовани (2003–2019) и CAMS прелиминарни подаци из готово реалног времена (2020). Зaslуге: C3S/CAMS/ECMWF/Универзитет у Бремену/ SRON (ECMWF 2021a)

Fig. 7.4. Monthly global CO₂ concentrations from satellites (top panel) and annual mean growth rates (bottom panel) for 2003–2020. Top: The numbers in red indicate annual XCO₂ averages. Bottom: Annual mean XCO₂ growth rates derived from data shown in the top panel. The numbers correspond to the growth rate in ppm/year, including an uncertainty estimate in brackets. Data source: C3S/Obs4MIPs(v4.2) consolidated (2003–2019) and CAMS preliminary near real-time data (2020) records. Credit: C3S/CAMS/ECMWF/University of Bremen/SRON (ECMWF 2021a)

У контексту пандемије COVID-19, односно принудног ограничења или смањења многих економских активности, процјене указују да је током 2020. године дошло до привременог смањења дневних глобалних фосилних емисија CO₂ за око 7% (Le Quéré et al. 2020). Треба истаћи да је рекордно топла 2016. година била у вези и са изразитом топлим фазом ЕНСО феномена (Ел Нињо догађај). Међутим, током већег дијела 2020. године била је развијена Ла Ниња, односно негативна фаза ЕНСО феномена, а ипак се та година сврстава у ред глобално најтоплијих година у инструменталном периоду.

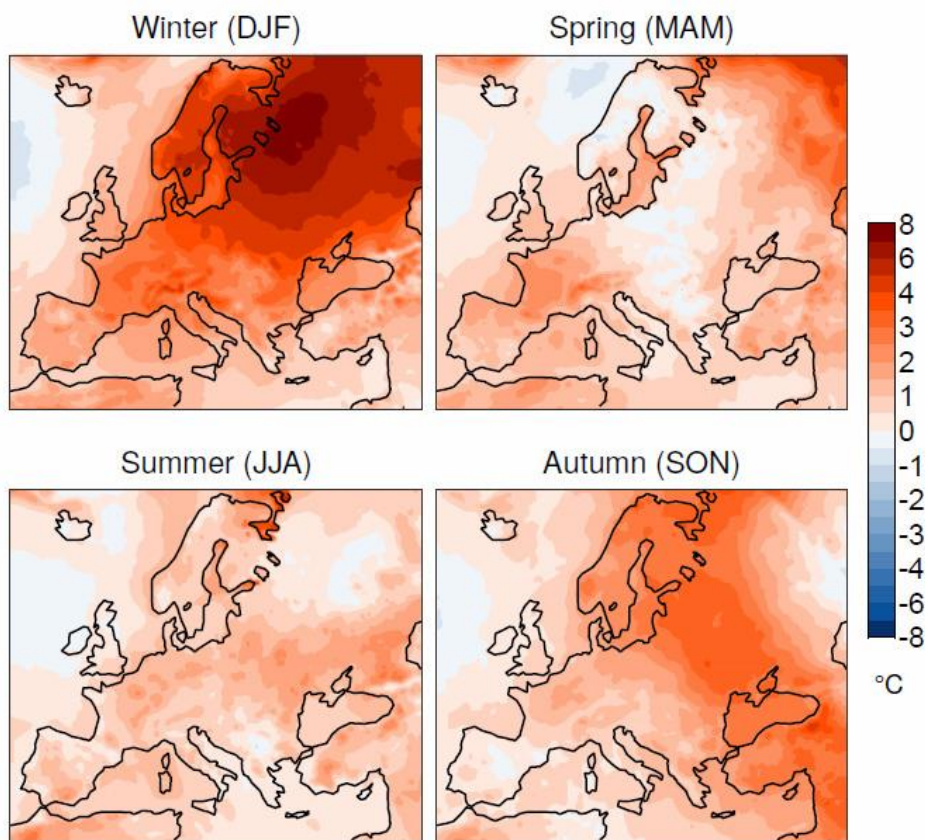
Када је Европа у питању, 2020. година је најтоплија година у инструменталном периоду (од 1851. године), са одступањем температуре од 1,6 °C у односу на просјек референтног периода 1981–2010. године, што је 0,4 °C изнад претходне најтоплије, 2019. године. На изразито загријавање Европе упућује чињеница да је 5 најтоплијих година регистровано у посљедњој деценији (2011–2020).

Када се посматра Европа у цјелини, сва годишња доба била су топлија од просјека за период 1981–2010. године, нарочито сезоне зима и јесен (Сл. 7.5). Зима 2020. године (децембар 2019. – фебруар 2020. године) била је топлија од просјека за 3,4 °C, односно премашила је претходну најтоплију, 2016. годину за готово 1,4 °C. И јесен 2020. године (септембар–новембар) била је најтоплија у инструменталном периоду – топлија за близу 2 °C у односу на просјек периода 1981–2010. године и за 0,4 °C топлија у односу на стари рекорд – јесен 2006. године. Западну Европу је крајем јула и почетком августа 2020. године захватио јак топлотни талас.

СЗС истиче да у периоду 1950–2020. године постоји изразит тренд пораста температуре на простору Европе, како на годишњем, тако и на сезонском нивоу (Сл. 7.6). Али, временски посматрано, трендови су неуједначени, јер је од 1950-их до 1980-их присутна тенденција захлађења, а након тога региструје се загријавање Европе (ECMWF 2021б).

Промјене температуре ваздуха и падавина, као и чешћи и интензивнији временски екстрими, региструју се и на подручју Медитерана. Примјера ради, већи дио Шпаније у периоду 1961–2006. године забиљежио је тренд пораста максималних и минималних температура (Del Rio et al. 2012). Подручје Пиринеја постаје сушније и топлије, а пројекције указују да ће се такав тренд наставити и у будућности (Lemus-Canovas and Lopez-Bustins 2021). Према Kostoroulou et al. (2017), Грчка биљежи негативну тенденцију падавина. Не само у Грчкој већ и на цијелом Медитерану дошло је до повећања учесталости суша и смањења падавина у другој половини XX вијека (Hoerling et al. 2012). Тренд промјена температуре ваздуха (раст) и падавина дешава се у Словенији (Milošević et al. 2016, 2017).

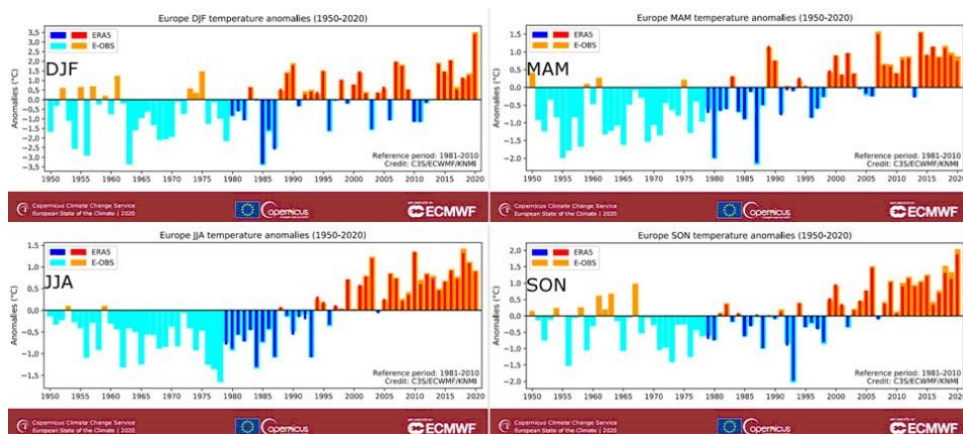
2020 seasonal mean temperature anomaly - ERA5



Reference period: 1981-2010, Credit: C3S/ECMWF

Сл. 7.5. Аномалије површинске температуре ваздуха за зиму, прољеће, љето и јесен 2020. године у односу на одговарајући сезонски просјек за референтни период 1981–2010. године. Извор података: ERA5 за: C3S/ECMWF (ECMWF 20216)

Fig. 7.5. Surface air temperature anomalies for winter, spring, summer and autumn 2020, relative to the respective seasonal averages for the 1981–2010 reference period; Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 20216)



Сл. 7.6. Сезонске аномалије површинске просјечне температуре у Европи за период 1950–2020. године у односу на референтне вриједности у периоду 1981–2010. године. Извор података: ERA5 и E-OBS. Зaslуге: C3S/ECMWF/KNMI (ECMWF 2021б)

Fig. 7.6. Seasonal anomalies of surface average temperature in Europe for the period 1950–2020 in relation to the reference values 1981–2010. Data source: ERA5, E-OBS. Credit: C3S/ECMWF/KNMI (ECMWF 2021б)

Иначе, истраживања показују да је Медитеран (укључујући и Балканско полуострво) једна од климатски најосјетљивијих регија у свијету. Пројекције за XXI вијек указују да ће Медитеран постати топлији и сушнији (Giorgi 2006; Norrant and Douguédroit 2006; Lopez-Bustins et al. 2013; IPCC 2014; Adloff et al. 2015; Lelieveld et al. 2016; Bucchignani et al. 2018; Hochman et al. 2018; Mostafa et al. 2019). Савременим климатским промјенама погођена је и Карпатска регија (Szabó et al. 2019).

Истраживања показују да Западни Балкан постаје топлији и са чешћим екстремним временским догађајима, као што су екстремне температуре, топлотни таласи, суше, екстремне падавине, али да су промјене годишњих сума падавина безначајне (Stagge et al. 2017). На подручју Србије, током друге половине XX и почетком XXI вијека забиљежен је негативан тренд падавина и чешће суше (Тошић and Unkašević 2014; Arsenović et al. 2015). О трендовима климатских индекса у Србији писано је у радовима: Vajat et al. (2013, 2015), Luković et al. (2014, 2015), Stanojević et al. (2014), Malinović-Miličević et al. (2016), Pecelj et al. (2020). Детаљнију анализу промјене падавина за простор Србије и Црне Горе дали су Kutiel et al. (2015). У раду Mihajlović et al. (2016) дат је исцрпан опис једне екстремне временске ситуације (водена пијавица у Сплиту). Тренд загријавања присутан је и у Босни и Херцеговини (Трбић и сар. 2009; Trbić et al. 2017; Popov et al. 2017, 2018а, 2018б, 2018в, 2019; Trbic et al.

2018). Генерално, Западни Балкан је регија која се и у будућности (према климатским пројекцијама) може суочити са значајним порастом температуре и екстремним временским појавама (Giorgi 2006; Kržič et al. 2011; Lung and Hilden 2017).

Савремене климатске промјене и екстремне временске појаве нису заобишле ни Црну Гору. Током претходних 20 година регистровани су рекорди температуре, падавина и вјетра на простору Црне Горе (Burić et al. 2011, 2015а, 2015б; Ducić et al. 2012; Бурић 2014; Мihaјlović et al. 2021). Потенцијалне узроке екстрема температуре и падавина у Црној Гори проучавали су Doderovic and Buric (2015), Burić et al. (2018, 2019), Burić and Stanojević (2020) доводе у везу промјене количине облачности у Црној Гори са варијацијама атмосферских и океанских телеконекција. Климатске пројекције за југ (Подгорица) и сјевер (Колашин) Црне Горе указују да до краја XXI вијека треба рачунати на даљи тренд пораста температуре и чешће временске екстреме (Burić and Doderović 2020, 2021; Doderović et al. 2020). Што се тиче количине падавина, пројекције климатских модела за Црну Гору се разликују, али не указују на значајне промјене. Резултати до којих су дошли Burić and Doderović (2021) потврђују тезу да је моделовање падавина далеко сложеније у односу на температуру и да треба очекивати значајне регионалне разлике (Nkiaka et al. 2018; Trambly and Somot 2018; Seager et al. 2019).

У сваком случају, IPCC (2014) истиче да се регија Медитерана, укључујући подручје југоисточне Европе и Блиског истока, сматра потенцијалним жариштем на пројектоване климатске промјене. То се потврђује чињеницом да је регија Медитерана од средине XX вијека једна од најрањивијих у свијету на климатске промјене, односно да је већ постала топлија, ариднија и са чешћим екстремним временским појавама (високе температуре, суше, јаке краткотрајне кише, поплаве итд.) у односу на просјечно глобално стање. Висока осјетљивост региона Медитерана на климатске промјене, али и уочена просторна и временска варијабилност атмосферских и хидролошких услова у овој регији, највјероватније је у вези са његовим положајем (површ барометарског дисконтинуитета) и топографијом обода његовог басена. Из тог разлога, од значаја је истраживање мањих просторних цјелина – подрегија и појединих локација Медитерана.

Није згорег подсјетити да је Свјетска метеоролошка организација установила континуирана осматрања од по тридесет година као стандардне климатске периоде, почев од 1901. године (1901–1930, 1931–1960, 1961–1990...). Климатолози и националне метеоролошке службе су посљедњих деценија анализирали одступања температуре, падавина и других климатских елемената у односу на климатску нормалу углавном посљедњег климатског

периода, а то је период 1961–1990. године. Са завршетком 2020. године, Свјетска метеоролошка организација препоручује да се користе нове климатске нормале, тј. из периода 1991–2020. године (WMO 2017). То значи да ће се почев од јануара 2021. године климатске анализе (одступања) радити у односу на нови референтни период (1991–2020). Узимајући у обзир двије поменуте чињенице (значај истраживања мањих просторних цјелина региона Медитерана и уважавајући препоруку Свјетске метеоролошке организације у вези коришћења новог референтног климатског периода 1991–2020. године), овај рад има за циљ да на простору Црне Горе испита тренд температуре и падавина у периоду 1951–2020. године и да упореди нове (1991–2020) и претходне (1961–1990) климатске нормале, односно квантитативно утврди величине промјена два најважнија климатска елемента.

7.2. Подручје истраживања

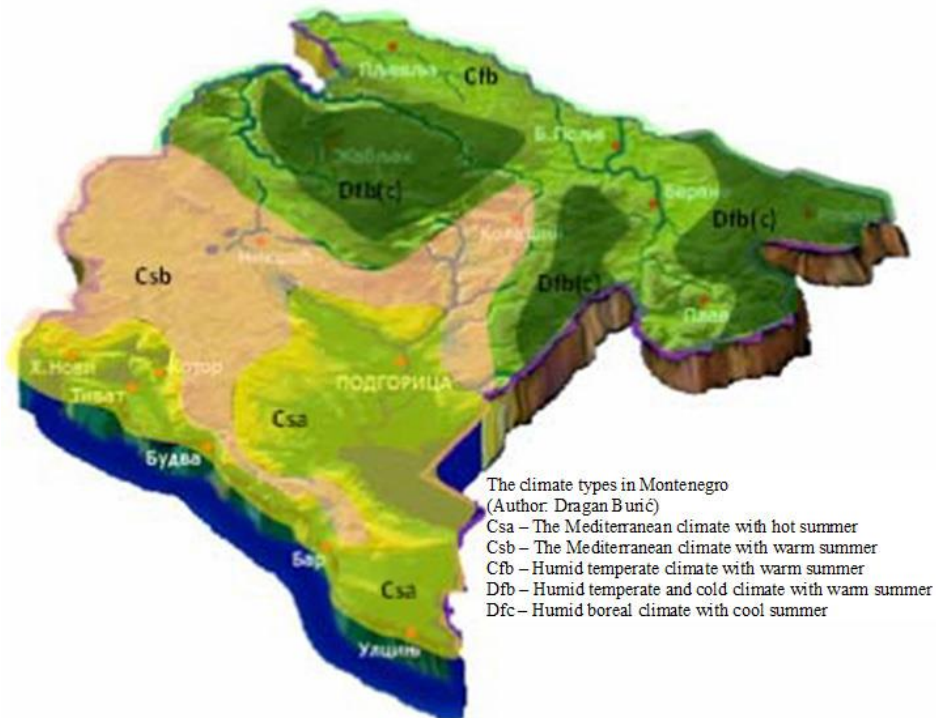
Подручје истраживања је Црна Гора, држава која захвата површину од 13.812 км² и има око 620.000 становника. Три су примарна фактора која утичу на климу Црне Горе: математичко-географски положај, близина мора и рељефне карактеристике (Burić et al. 2013). На основу климатског периода 1961–1990. године, а користећи критеријуме Кепенове класификације (*Köppen criteria*), Burić et al. (2014) у Црној Гори издвајају два климата (C и D), три типа (Cs, Cf и Df) и пет подтипова климе (Csa, Csb, Cfb, Dfb и Dfc) (Сл. 7.7).

7.3. База података и методологија

За потребе студије коришћени су подаци са 10 метеоролошких станица у Црној Гори, водећи рачуна о равномјерној расподјели (приморска, централна и сјеверна регија): Улцињ, Херцег Нови, Подгорица, Цетиње, Никшић, Колашин, Жабљак, Пљевља, Бијело Поље и Рожаје (Сл. 7.8). Разматран је период 1951–2020. године, односно обухваћен је готово читав период континуираних инструменталних мјерења температуре и падавина у Црној Гори. Једино су низови краћи од 70 година за двије станице, јер су касније почеле са радом: Жабљак 63 године (1958–2020) и Рожаје 51 година (1970–2020). Сви скупови података били су подвргнути испитивању релативне хомогености помоћу MASH v3.02 и MISH v1.02 метода (Szentimrey 1999, 2004, 2007). Важно је нагласити да су временске серије биле углавном цјеловите – само у неколико случајева недостајали су подаци од 0,01% до 3% од укупног броја података.

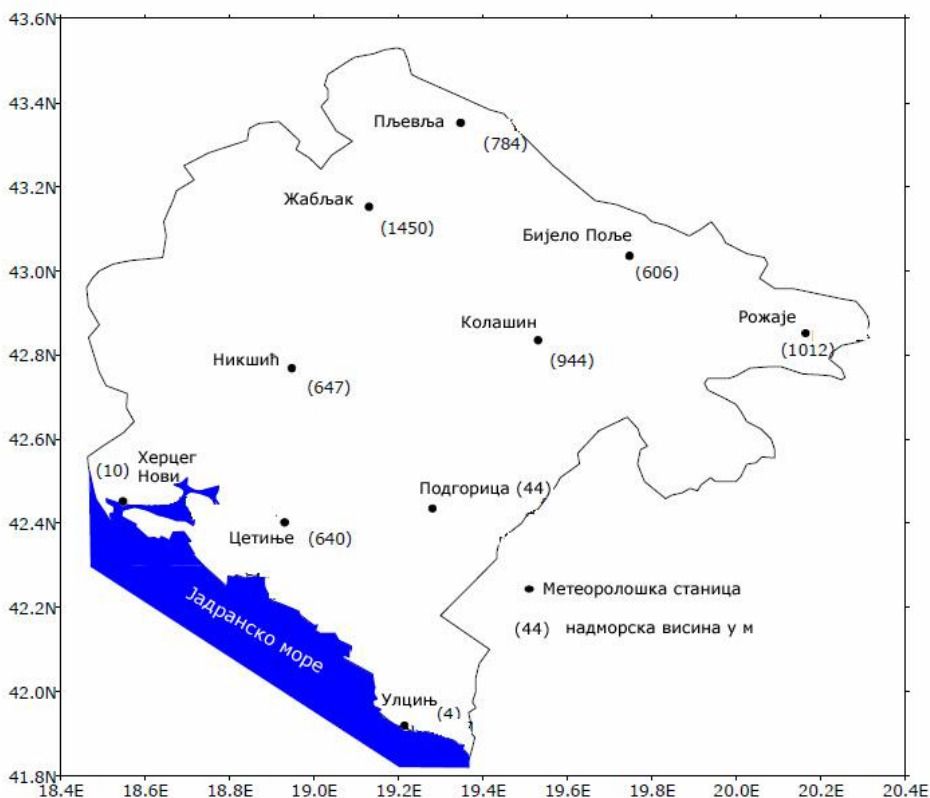
У раду су коришћене уобичајене математичке и статистичке методе: тренд, стандардизована одступања, перцентили, клизни средњаџи итд. Тренд је израчунат Сеновом методом (*Sen's slope*), а његова значајност испитана је Ман-Кендаловим тестом (*Mann-Kendall test*). Значајност тренда испитана је на нивоу ризика од: $p < 0,001$, $p < 0,01$, $p < 0,05$ и $p < 0,1$ (степен исправности хипотезе од 99,9%, 99%, 95% и 90%).

Подаци за температуру ваздуха и падавине добијени су од државног Завода за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе.



Сл. 7.7. Општа климатска рејонизација Црне Горе по критеријумима В. Кепена на основу стандардног климатског периода 1961–1990. године: Cs/s''/ – средоземна клима / прелазна варијанта етезијске климе;/ Cf – умјерено топла и влажна клима; Df – умјерено хладна и влажна клима (Burić et al. 2014)

Fig. 7.7. General climatic regionalization of Montenegro according to the criteria of W. Köppen based on the standard climatic period 1961–1990: Cs/s''/ – Mediterranean climate / transitional variant of ethesian climate;/ Cf – moderately warm and humid climate; Df – moderately cold and humid climate (Burić et al. 2014)



Сл. 7.8. Локације метеоролошких станица чији су подаци коришћени у анализи

Fig. 7.8. Locations of meteorological stations whose data were used for the analysis

7.4. Резултати

7.4.1. Количина падавина

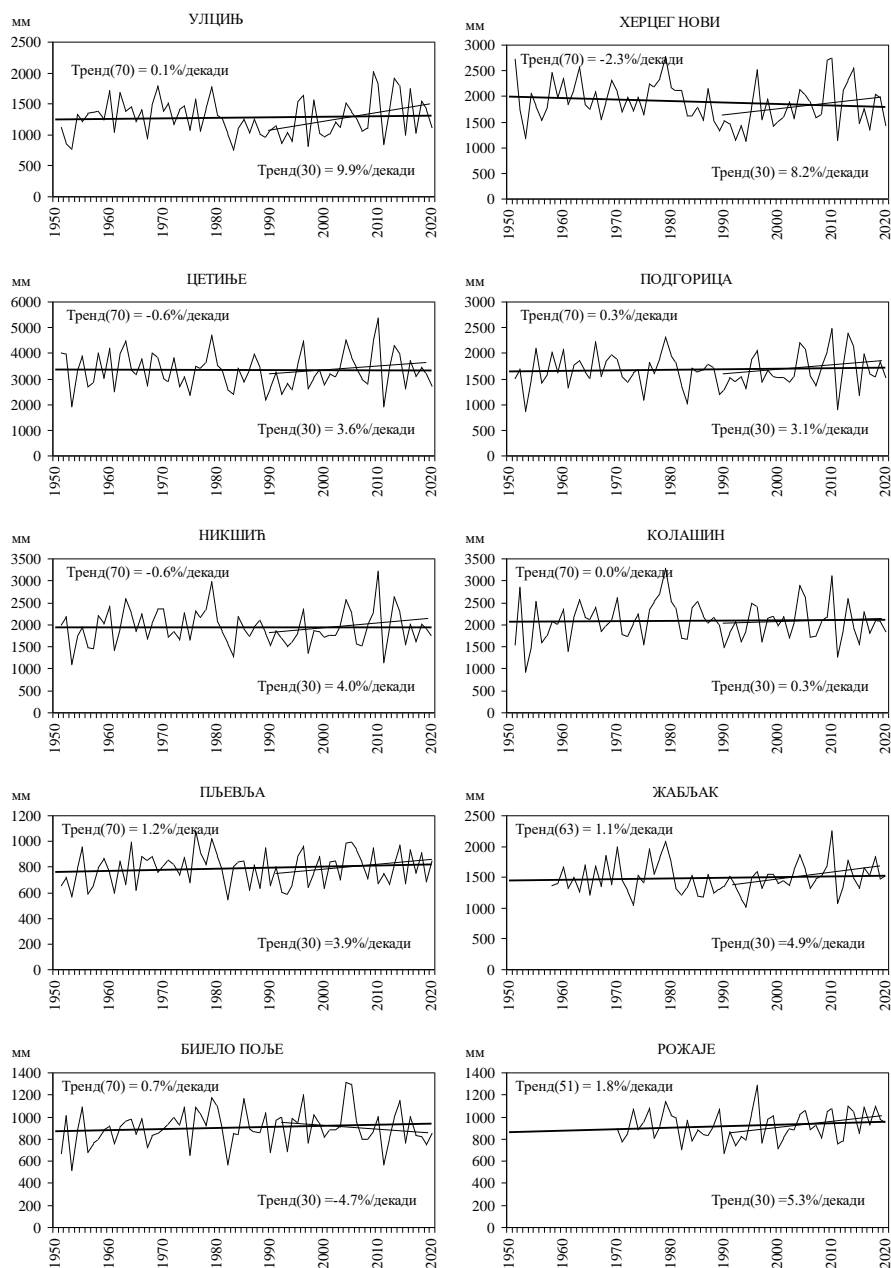
Током разматраног седамдесетогодишњег периода (1951–2020), тренд годишњих сума падавина је безначајан на свим станицама, а износи од -41,8 мм по декади (Херцег Нови) до 16,7 мм по декади (Рожаје). Изражено у процентима (ради упоредивости, тренд падавина је исправније изражавати у % него у мм), промјене количине падавина крећу се у интервалу од -2,3% по декади у Херцег Новом до 1,8% у Рожајама. Осим у Херцег Новом, тренд је

негативан и у Никшићу и на Цетињу, док је на осталих 7 разматраних станица тенденција позитивна. Код знака тренда уочава се извјесна регионализација, а то је да југозападни и западни дио Црне Горе региструје смањење падавина (Херцег Нови, Цетиње и Никшић), а остали већи дио државе благо повећање. У сваком случају, промјене годишњих количина падавина у периоду 1951–2020. године не указују на аридизацију Црне Горе, а требало би је очекивати у условима доминације антропогеног ефекта стаклене баште.

Интересантно је видјети шта се дешава са годишњим падавинама у претходном тридесетогодишњем периоду (1991–2020), када по мишљењу многих постоји доминација утицаја антропогеног ефекта стаклене баште, генерално. Међутим, прорачуни тренда су показали да једино станица Бијело Поље региструје негативан тренд (-4,7% по декади), док је на свим осталим станицама дошло до повећања годишњих падавина у периоду 1991–2020. године, а највише у Улцињу, 9,9% по декади (Сл. 7.9). Дакле, о очекиваној аридизацији Црне Горе, посматрано на годишњем нивоу, нема ни говора.

Да би се детаљније утврдиле промјене падавина у Црној Гори, урађени су прорачуни за поједине дневне екстремне вриједности, односно за број дана са падавинама < 1 мм (сушни дани) и ≥ 20 мм (врло кишни дани). По дефиницији, кишни (падавински) дан је дан са количином падавина од минимално 0,1 мм, али то је занемарљива количина, те се у пракси најчешће узима број дана са количином < 1 мм као један од показатеља потенцијалне аридизације датог подручја. Са друге стране, дани са количином падавина ≥ 20 мм добар су показатељ промјена екстремних временских догађаја у супротном смјеру (у конкретном случају врло кишни дани). Резултати прорачуна су показали да је током посматраног периода број сушних дана ($R_d < 1$ мм) повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. У већини случајева дошло је до значајног повећања броја сушних дана (тренд износи 2,0–2,9 дана по декади).

И у овом случају уочава се одређена регионализација повећања броја сушних дана – безначајан тренд на крајњем сјеверу и сјевероистоку (Пљевља, Бијело Поље и Рожаје) и значајан у осталом већем дијелу државе (Таб. 7.1). Међутим, годишњи број влажних ($R_d \geq 10$ мм) и врло влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) не показује значајне промјене. Изузетак су једино Цетиње и Рожаје, гдје се број дана са $R_d \geq 10$ мм смањило (-2,1 дан по декади), односно $R_d \geq 20$ мм повећао (0,7 дана по декади), а у оба мјеста те промјене су значајне на нивоу исправности хипотезе од 95% (степен ризика $p < 0,05$).



Сл. 7.9. Тренд годишњих сума падавина у Црној Гори у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Fig. 7.9. Trend of annual precipitation in Montenegro in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Таб. 7.1. Вриједност и значајност тренда броја сушних ($R_d < 1$ мм), влажних ($R_d \geq 10$ мм) и екстремно влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Table 7.1. Value and significance of the trend of the number of dry ($R_d < 1$ mm), wet ($R_d \geq 10$ mm) and extremely wet days ($R_d \geq 20$ mm) in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

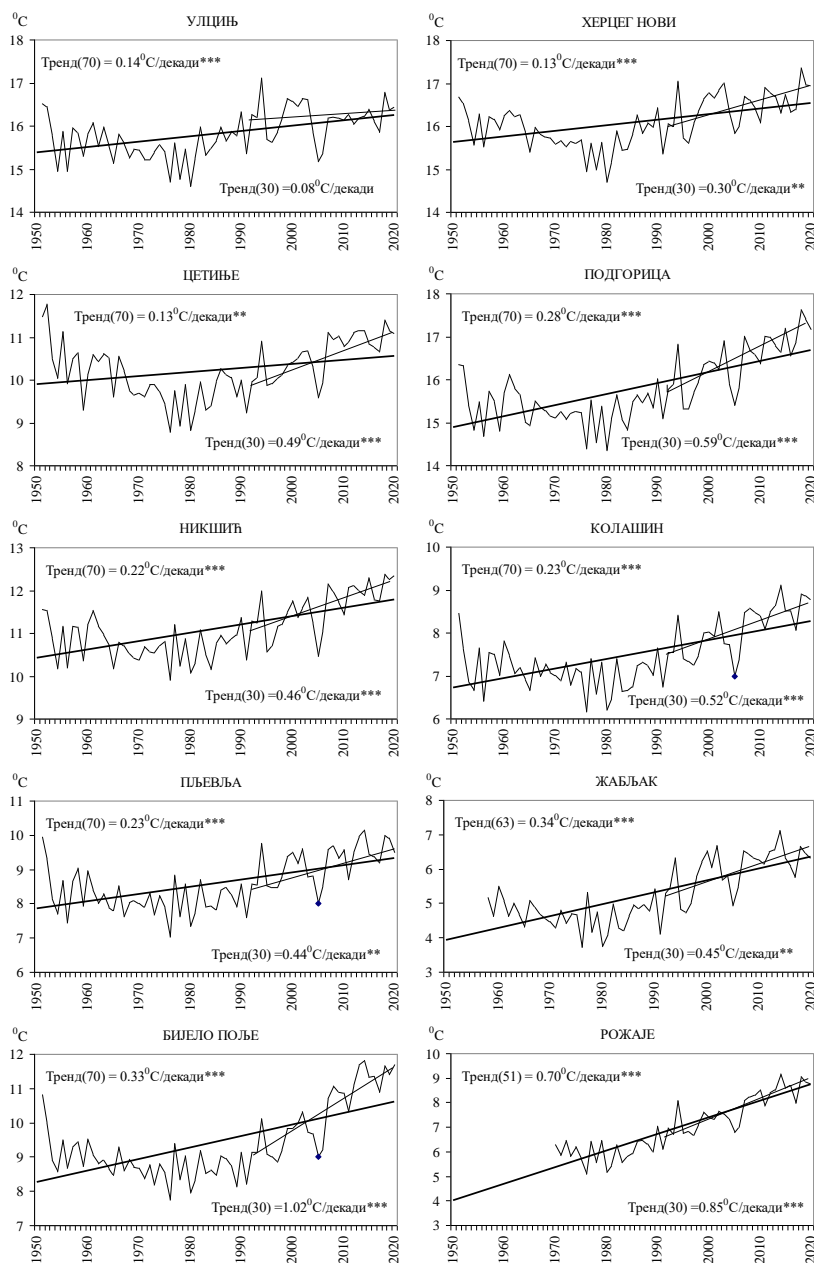
Метеор. станица	Сушни дани	Влажни дани	Врло влажни дани
	Тренд (дана по декади)	Тренд (дана по декади)	Тренд (дана по декади)
Улцињ	2,0**	0,3	0,4
Херцег Нови	2,9**	-0,9	-0,7
Цетиње	2,1 ⁺	-2,1*	-0,8
Подгорица	2,3*	-0,5	0,0
Никшић	2,5*	-1,0	-0,4
Колашин	2,5*	-1,0	-0,4
Пљевља	0,6	0,5	0,1
Жабљак	2,4*	-0,1	0,4
Бијело Поље	0,7	-0,1	0,2
Рожаје	1,1	0,1	0,7*

Напомена: Ризик значајности хипотезе: ⁺ $p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ и *** $p < 0,001$

7.4.2. Температура ваздуха

Тренд средње годишње температуре указује да је на простору Црне Горе присутно значајно загријавање, које се креће у интервалу од 0,13 °С по декади у Херцег Новом и на Цетињу до чак 0,70 °С по декади у Рожајама. Треба истаћи да су временске серије дужине 70 година (1951–2020), осим у Рожајама (51 година) и на Жабљаку (63 године), те вриједност тренда на двије поменуте станице треба у том контексту и посматрати.

У посљедњем тридесетогодишњем периоду (1991–2020), добијени резултати указују на интензивније загријавање у односу на цијели посматрани период. Током претходних 30 година, најинтензивнији тренд пораста средње годишње температуре региструју мјеста на сјевероистоку Црне Горе: Бијело Поље 1,02 °С по декади и Рожаје 0,85 °С по декади (Сл. 7.10). Изузетак је једино станица Улцињ, која показује бржи раст температуре у цијелом седамдесетогодишњем периоду (0,14 °С по декади) у односу на посљедњих тридесет година (0,08 °С по декади).



Сл. 7.10. Тренд средње годишње температуре у Црној Гори у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Fig. 7.10. Trend of average annual temperature in Montenegro in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Међутим, важно је напоменути да је, у односу на остале станице, временска серија температуре за Улцињ задовољила услове релативне хомогености (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*, MASH метод) готово на граници прихватања. Низак праг задовољења услова релативне хомогености за Улцињ највјероватније је последица промјене микролокације станице 2005. године, али то захтијева детаљнију провјеру.

Као и за падавине, анализирано је неколико климатских индекса, како би се видјело шта се дешава са екстремним дневним температурама у Црној Гори. У том контексту, издвојени су: љетни (дневна $T_{\max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$), тропски (дневна $T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$), мразни (дневна $T_{\min} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$) и ледени (дневна $T_{\max} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$) дани, као и тропске ноћи (дневна $T_{\min} > 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Годишњи број љетних дана повећава се по стопи тренда од 2,8 дана по декади на Жабљаку до 9,1 дан по декади у Рожајама (Таб. 7.2). Повећање броја љетних дана значајно је у свим посматраним мјестима, и то углавном на највишем нивоу ($p < 0,001$) прихватања хипотези (99,9% ниво значајности).

Такође, значајно се повећава и број тропских дана – од 2,0 дана по декади у Пљевљима до 5,1 дан по декади у Подгорици и на Цетињу. С обзиром на то да се на Жабљаку тропски дани ријетко региструју, њихов тренд није рачунат. Наиме, током анализираног 63-годишњег периода (1958–2020. године) у 75% случајева Жабљак није забиљежио ниједан тропски дан, односно ови дани су регистровани само током 16 година, и то од 1 до 6 дана годишње. У тих 16 година укупно је забиљежено 38 тропских дана, а од тог броја 29 тропских дана било је у периоду 2000–2020. Дакле, подаци за Жабљак и статистички значајан позитиван тренд на свим осталим метеоролошким станицама, недвосмислено указују на више дневне максималне температуре и тенденцију загријавања Црне Горе.

Тропске ноћи су љети уобичајене у Подгорици и на Црногорском приморју, док у осталим мјестима нису регистроване или је њихов број занемарљив. Примјера ради, тропске ноћи до сада нису забиљежене у Колашину и Рожајама, а у Пљевљима и Бијелом Пољу, као и на Цетињу и Жабљаку, ових ноћи је за 70 година регистровано укупно по 3–4. Тропске ноћи се ријетко јављају и у Никшићу – за 70 година (1951–2020) било је укупно 48 тропских ноћи, а од тог броја њих 35 у периоду 2000–2020. године. У Подгорици и Херцег Новом годишњи број тропских ноћи је значајно повећан по линији тренда (у оба мјеста за 4,6 тропских ноћи по декади).

Таб. 7.2. Тренд (број дана по декади) годишњег броја дана са дневном максималном и минималном температуром изнад или испод фиксних прагова у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Table 7.2. Trend (number of days per decade) of the annual number of days with daily maximum and minimum temperature above or below fixed thresholds in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Метеор. станица	Љетни дани	Тропски дани	Тропске ноћи	Мразни дани	Ледени дани
Улцињ	3,5***	5,0***	0,8	-0,1	/
Херцег Нови	3,0***	5,0***	4,6***	-0,2	/
Цетиње	5,1***	5,1***	/	-0,2	-0,5
Подгорица	4,3***	5,1***	4,6***	-0,5	/
Никшић	3,3**	3,6***	/	-0,5	-0,7
Колашин	4,2***	1,1**	/	-2,0*	-0,5
Пљевља	4,3***	2,0**	/	-1,3	-2,6***
Жабљак	2,8***	/	/	-3,4***	-3,2***
Бијело Поље	5,0***	4,3***	/	-3,9***	-2,5***
Рожаје	9,1***	3,9***	/	-13,8***	-1,7 ⁺

Напомена: Ризик значајности хипотезе: ⁺ p < 0,1; * p < 0,05; ** p < 0,01 и *** p < 0,001

Са друге стране, годишњи број мразних и ледених дана показује тенденцију смањења у свим посматраним мјестима (Таб. 7.2), што иде у прилог тренду загријавања Црне Горе. У просјечној години, Подгорица региструје 24 мразна дана, а Улцињ и и Херцег Нови свега 9, односно 4 овакве појаве. Ипак, на приморју се број мразних дана смањује по стопи тренда од 0,1–0,2 дана по декади, а у Подгорици је вриједност негативног тренда 0,5 дана по декади. У планинским мјестима на сјеверу Црне Горе мразни дани се чешће региструју, па је тако њихов просјечан број у Бијелом Пољу око 100, у Рожајама 145, док Жабљак има око 160 мразних дана годишње. У три поменута мјеста присутан је значајан тренд смањења броја мразних дана, а најинтензивнији је у Рожајама (-13,8 мразних дана по декади). Ледени дани су врло ријетка појава на приморју и у Подгорици, па се тада не практикују прорачуни тренда. У осталим мјестима годишњи број ледених дана показује тренд смањења, који је значајан на сјеверу државе, гдје се ови дани најчешће региструју у јануару, док их мање има у децембру и фебруару. Жабљак има највећи број ледених дана – годишњи просјек је 39 дана, и у овом мјесту је и најинтензивније смањење броја ових дана (-3,2 ледена дана по декади).

Повећање броја љетних и тропских дана, као и тропских ноћи, а смањење броја мразних и ледених дана јасно указује да је у Црној Гори присутна тенденција загријавања у претходних 70 година (1951–2020). Дакле, сви разматрани температурни индекси указују на топлију климу. У вези с тим, у наставку се простом диференцијом настоји утврдити квантитативна величина промјена температуре и падавина између два посљедња климатска периода: 1991–2020. и 1961–1990. године.

7.4.3. Диференције климатских нормала температуре и падавина два климатска периода: 1991–2020. и 1961–1990. године

Анализирајући просјечне годишње суме падавина два климатска периода, као просту диференцију, може се закључити да су промјене занемарљиве. Наиме, у Херцег Новом је посљедњи климатски период (1991–2020) био сушнији у просјеку за 141,5 мм на годишњем нивоу у односу на климатску нормалу периода 1961–1990. године. У свим осталим мјестима разлика у падавинама два климатска периода мања је од 100 мм у апсолутном износу (Таб. 7.3).

Таб. 7.3. Разлика између просјечних годишњих вриједности падавина и броја сушних, влажних и врло влажних дана периода 1991–2020. (Р1, СД1, ВД1 и ВВД1) и 1961–1990. (Р2, СД2, ВД2 и ВВД2) године
Table 7.3. The difference between the average annual precipitation and the number of dry, wet and very wet days for the period 1991–2020 (R1, SD1, VD1 and VVD1) and 1961–1990 (R2, SD2, VD2 and VVD2)

Метеор. станица	Р1-Р2	СД1-СД2	ВД1-ВД2	ВВД1-ВВД2
Улцињ	14,4	5,9	1,1	0,0
Херцег Нови	-141,5	6,5	-2,1	-2,0
Цетиње	57,2	2,4	-3,6	0,7
Подгорица	31,6	2,2	0,6	0,5
Никшић	-76,4	6,5	-2,0	0,1
Колашин	-97,0	6,5	-2,0	0,1
Пљевља	-5,3	2,3	-0,2	-0,7
Жабљак	26,7	8,4	0,4	0,6
Бијело Поље	10,5	1,6	-0,9	0,6
Рожаје	25,9	0,8	0,1	1,1

Осим у Херцег Новом, негативну разлику имају и Никшић, Колашин и Пљевља, док је на осталих 6 станица диференција позитивна, што значи да је последњи климатски период (1991–2020) био нешто богатији падавинама него претходни (1961–1990). Када су у питању падавински индекси, такође се не уочавају изражене промјене, нарочито код просјечног годишњег броја влажних и врло влажних дана (ВД и ВВД). Разлика у броју ВД између два тридесетогодишња периода креће се од -3,6 дана (Цетиње) до 1,1 дан (Улцињ). Још је мања разлика броја ВВД – од -2,0 дана (Херцег Нови) до 1,1 дан (Рожаје). Са друге стране, просјечан годишњи број сушних дана (СД) повећан је у свим мјестима у периоду 1991–2020. године у односу на претходни период (1961–1990), а највише на Жабљаку (8,4 дана). Без обзира на то што промјене нису велике, чињеница је да се чешће јављају СД, и ово је једини разматрани параметар падавина који указује на незнатну аридизацију Црне Горе.

Просјечне годишње вриједности температуре и климатских температурних индекса јасно указују да је климатски период 1991–2020. године топлији у односу на период 1961–1990. године (Таб. 7.4).

Таб. 7.4. Разлика између просјечних годишњих вриједности температуре и броја љетних, тропских, мразних и ледених дана, као и тропских ноћи у периоду 1991–2020. (Т1, ЉД1, ТД1, МД1, ЛД1 и ТН1) и 1961–1990. (Т2, ЉД2, ТД2, МД2, ЛД2 и ТН2) године

Table 7.4. The difference between the average annual temperatures and the number of summer, tropical, frost and ice days, and tropical nights, in the period 1991–2020 (T1, LjD1, TD1, MD1, LD1 and TN1) and 1961–1990 (T2, LjD2, TD2, MD2, LD2 and TN2)

Метеор. станица	Т1 - Т2	ЉД1 - ЉД2	ТД1 - ТД2	МД1 - МД2	ЛД1 - ЛД2	ТН1 - ТН2
Улцињ	0,7	14,3	18,5	-0,6	-0,1	12,0
Херцег Нови	0,7	11,5	19,5	-1,7	-0,1	24,2
Цетиње	0,7	22,1	21,0	-7,3	-1,4	0,0
Подгорица	1,1	18,3	24,2	-4,2	-0,4	21,1
Никшић	0,9	16,5	15,6	-1,0	-1,9	1,1
Колашин	1,1	18,8	7,8	-10,2	-0,9	0,0
Пљевља	1,1	21,3	12,7	-8,0	-10,2	0,0
Жабљак	1,3	11,5	0,9	-16,0	-11,7	0,0
Бијело Поље	1,6	22,6	19,8	-12,1	-9,7	0,1
Рожаје	1,8	27,2	11,6	-37,7	-4,2	0,0

Упоређујући климатске нормале два тридесетогодишња периода, просјечна годишња температура је на Жабљаку порасла за 1,3 °С. И остала мјеста на сјеверу Црне Горе региструју виши пораст температуре него јужни дио државе. У односу на претходну климатску нормалу (1961–1990), у Улцињу, Херцег Новом и на Цетињу је нова климатска нормала (1991–2020) за просјечну температуру виша за 0,7 °С.

Просјечан годишњи број љетних дана (ЉД) најбрже се повећава у Рожајама (27,2 дана). Подгорица биљежи највеће повећање броја тропских дана (ТД) (24,2 дана), али код овог, највећег града Црне Горе врло је вјероватан утицај урбаног острва топлоте на температурне индексе.

Да је присутно загријавање, показује и негативна диференција просјечног годишњег броја мразних (МД) и ледених (ЛД) дана (Таб. 7.4). Поменути дани се ријетко јављају у нижим теренима на југу Црне Горе, па је логично њихово веће смањење у сјеверној регији. Примјера ради, за период 1991–2020. године просјечан годишњи број МД мањи је за 37,7 дана у Рожајама, а на Жабљаку за 16,0 дана у односу на климатску нормалу периода 1961–1990. године. На Жабљаку се годишњи број ЛД смањило за 11,7 дана у односу на њихов просјечан број за период 1961–1990. године.

Тропске ноћи (ТН) ријетка су појава на сјеверу државе, али тамо гдје се љети региструју (Подгорица и приморје), уочљиво је њихово чешће јављање. Тако је у Подгорици нова климатска нормала за ТН већа за 21,1 дан, а у Херцег Новом за 24,2 дана (Таб. 7.4).

На годишњем нивоу, претходни резултати су показали да су код падавина нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне (1961–1990). Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале „топлије“ у односу на претходне. Ипак, током претходних готово 120 година (1901–2019), резултати истраживања указују да централна Европа и медитерански регион постају сушнији, док сјеверна Европа постаје влажнија (Ionita and Nagavciuc 2021), али се та сушност не уочава на простору Црне Горе.

7.5. Закључак

У овом раду предочени су резултати истраживања промјене температуре и падавина на простору Црне Горе у периоду 1951–2020. године. Коришћени су подаци са 10 метеоролошких станица, равномерно распоређених на територији државе, а анализа је обухватила годишње и дневне вриједности два поменути климатска елемента.

Када су у питању падавине, годишње суме не показују значајне промјене у посматраном седамдесетогодишњем периоду (1951–2020). Промјене количине падавина крећу се у интервалу од -2,3% по декади у Херцег Новом до 1,8% по декади у Рожајама. Код тренда годишњих падавина уочава се извјесна регионализација, а то је да југозападни и западни дио Црне Горе региструје смањење падавина (Херцег Нови, Цетиње и Никшић), а остали већи дио државе благо повећање. Ако се посматра само посљедњи тридесетогодишњи период (1991–2020), прорачуни тренда су показали да једино станица Бијело Поље региструје негативан тренд (-4,7% по декади), док је на свим осталим станицама дошло до повећања годишњих падавина, а највише у Улцињу, 9,9% по декади. У већем дијелу Црне Горе ни годишњи број влажних ($R_d \geq 10$ мм) и врло влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) не показује значајне промјене. Изузетак су једино Цетиње и Рожаје, гдје се број дана са $R_d \geq 10$ мм смањило (-2,1 дан по декади), односно $R_d \geq 20$ мм повећао (0,7 дана по декади), а у оба мјеста те промјене су значајне на нивоу исправности хипотезе од 95% (степен ризика $p < 0,05$). Једини падавински индекс који указује на извјесну аридизацију Црне Горе јесте број сушних дана (СД), јер резултати прорачуна су показали да је током посматраног периода број СД ($R_d < 1$ мм) повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. У већем дијелу државе дошло је до значајног повећања броја СД (тренд износи 2,0–2,9 дана по декади).

Што се тиче промјена топлотног стања, тренд средње годишње температуре указује да је на простору Црне Горе присутно значајно загријавање, које се креће у интервалу од 0,13 °C по декади у Херцег Новом и на Цетињу до чак 0,70 °C по декади у Рожајама. За посљедњи тридесетогодишњи период (1991–2020), добијени резултати указују на интензивније загријавање у односу на цијели посматрани период, генерално. Током претходних 30 година најинтензивнији тренд пораста средње годишње температуре региструју мјеста на сјевероистоку Црне Горе: Бијело Поље 1,02 °C по декади и Рожаје 0,85 °C по декади. И сви разматрани температурни индекси указују на топлију климу. Повећање броја љетних и тропских дана, као и тропских ноћи, а смањење броја мразних и ледених дана, јасно указује да је у Црној Гори присутна тенденција загријавања у претходних 70 година (1951–2020).

И на крају, простом диференцијом настојала се утврдити квантитативна величина промјена температуре ваздуха и падавина између два посљедња стандардна климатска периода: 1991–2020. (нова климатска нормала) и 1961–1990. (стара климатска нормала) године. На годишњем нивоу, претходни резултати су показали да су код падавина нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне. Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале (1991–2020) „топлије“ у односу на претходне. Примјера ради, у односу на стару

климатску нормалу (1961–1990), просјечна годишња температура за период 1991–2020. виша је у Подгорица за 1,1 °C, а на Жабљаку за 1,3 °C.

Да ли се промијенила клима Црне Горе? Најједноставније речено, клима Црне Горе постала је топлија, али не и ариднија или влажнија, односно са количином падавина и бројем разматраних падавинских дана не дешава се ништа забрињавајуће.

Литература

- Adloff F, Somot S, Sevault F, Jordà G, Aznar R, Déqué M, Herrmann M, Marcos M, Dubois C, Padorno E, Alvarez-Fanjul E, Gomis D (2015) Mediterranean Sea Response to Climate Change in an Ensemble of Twenty First Century Scenarios. *Climate Dynamics* 45(9–10):2775–2802. doi.10.1007/s00382-015-2507-3
- AGBM (Australian Government Bureau of Meteorology) (2020) Annual Climate Statement 2019. Доступно на: <http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/>, Приступљено: 11. мај 2020
- Arsenović P, Tošić I, Unkašević M (2015) Trends in Combined Climate Indices in Serbia from 1961 to 2010. *Meteorology and Atmospheric Physics* 127(4):489–498. doi.10.1007/s00703-015-0380-6
- Ahmed K, Shahid S, Chung E-S, Ismail T, Wang X-J (2017) Spatial Distribution of Secular Trends in Annual and Seasonal Precipitation over Pakistan. *Climate Research* 74(2):95–107. doi.10.3354/cr01489
- Bajat B, Blagojević D, Kilibarda M, Luković J, Tošić I (2015) Spatial Analysis of the Temperature Trends in Serbia During the Period 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology* 121:289–301. doi.10.1007/s00704-014-1243-7
- Bajat B, Pejović M, Luković J, Manojlović P, Ducić V, Mustafić S (2013) Mapping Average Annual Precipitation in Serbia (1961–1990) by Using Regression Kriging. *Theoretical and Applied Climatology* 112:1–13. doi.10.1007/s00704-012-0702-2
- Blöschl G, Hall J, Viglione A, Perdigão RAP, Parajka J, Merz B, Lun D, Arheimer B, Aronica GT, Bilibashi A, Boháč M, Bonacci O, Borga M, Čanjevac I, Castellarin A, Chirico GB, Claps P, Frolova N, Ganora D, Gorbachova L, Gül A, Hannaford J, Harrigan S, Kireeva M, Kiss A, Kjeldsen TR, Kohnová S, Koskela JJ, Ledvinka O, Macdonald N, Mavrova-Guirguinova M, Mediero L, Merz R, Molnar P, Montanari A, Murphy C, Osuch M, Ovcharuk V, Radevski I, Salinas JL, Sauquet E, Šraj M, Szolgay J, Volpi E, Wilson D, Zaimi K, Živković N (2019) Changing Climate Both Increases and Decreases European River Floods. *Nature* 573(7772):108–111. doi.10.1038/s41586-019-1495-6

- Burić D, Ducić V, Luković J (2011) Kolebanje klime u Crnoj Gori u drugoj polovini XX i početkom XXI vijeka. Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, str 270
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J (2013) The Climate of Montenegro: Modifiers and Types – Part Two. Bulletin of the Serbian Geographical Society 93(4):83–102. doi.10.2298/GSGD1304083B
- Бурић Д (2014) Динамика и могући узроци температурних и падавинских екстрема на територији Црне Горе у периоду 1951–2010. Докторска дисертација, Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J (2014) The Climate of Montenegro: Modifiers and Types – Part Two. Bulletin of the Serbian Geographical Society 94(1):73–90. doi.10.2298/GSGD1401073B
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Popović Lj (2015a) Temperature Altitude Amplification as a Footprint of a Possible Anthropogenic Impact on the Climate of Australia. Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA 65(3):297–307. doi.10.2298/IJGI1503297B
- Burić D, Luković J, Bajat B, Kilibarda M, Živković N (2015b) Recent Trends in Daily Rainfall Extremes over Montenegro (1951–2010). Natural Hazards and Earth System Sciences 15(9):2069–2077. doi.10.5194/nhess-15-2069-2015
- Burić DB, Dragojlović JM, Milenković MĐ, Popović LjZ, Doderović MM (2018) Influence of Variability of the East Atlantic Oscillation on the Air Temperature in Montenegro. Thermal Science 22(1 Part B):759–766. doi.10.2298/TSCI170710211B
- Burić D, Dragojlović J, Penjišević-Sočanac I, Luković J, Doderović M (2019) Relationship Between Atmospheric Circulation and Temperature Extremes in Montenegro in the Period 1951–2010. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change, pp 29–42. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_3
- Burić D, Doderović M (2020) Projected Temperature Changes in Kolašin (Montenegro) up to 2100 According to EBU-POM and ALADIN Regional Climate Models. Időjárás 124(4):427–445. doi.10.28974/idojaras.2020.4.1
- Burić D, Stanojević G (2020) Trends and Possible Causes of Cloudiness Variability in Montenegro in the Period 1961–2017. Climate Research 81:187–205. doi.10.3354/cr01615
- Burić D, Doderović M (2021) Changes in Temperature and Precipitation in the Instrumental Period (1951–2018) and Projections up to 2100 in Podgorica (Montenegro). International Journal of Climatology 41(S1):E133–E149. doi.10.1002/joc.6671
- Bucchignani E, Mercogliano P, Panitz HJ, Montesarchio M (2018) Climate Change Projections for the Middle East-North Africa Domain with COSMO-CLM at Different Spatial Resolutions. Advances in Climate Change Research 9(1):66–80. doi.10.1016/j.accre.2018.01.004

- Garreaud RD (2018) Record-Breaking Climate Anomalies Lead to Severe Drought and Environmental Disruption in Western Patagonia in 2016. *Climate Research* 74(3):217–229. doi.10.3354/cr01505
- Giorgi F (2006) Climate Change Hot-Spots. *Geophysical Research Letters* 33(8): L08707. doi.10.1029/2006GL025734
- Del Rio S, Cano-Ortiz A, Herrero L, Penas AP (2012) Recent Trends in Mean Maximum and Minimum Air Temperatures over Spain (1961–2006). *Theoretical and Applied Climatology* 109:605–626. doi.10.1007/s00704-012-0593-2
- Doderovic MM, Buric BD (2015) Atlantic Multi-Decadal Oscillation and Changes of Summer Air Temperature in Montenegro. *Thermal Science* 19(2):405–414. doi.10.2298/TSCI150430115D
- Doderović M, Burić D, Ducić V, Mijanović I (2020) Recent and Future Air Temperature and Precipitation Changes in the Mountainous North of Montenegro. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 70(3):189-201. doi.10.2298/IJGI2003189D
- Ducić V, Luković J, Burić D, Stanojević G, Mustafić S (2012) Precipitation Extremes in the Wettest Mediterranean Region (Krivošije) and Associated Atmospheric Circulation Types. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12(3):687–697. doi.10.5194/nhess-12-687-2012
- ECMWF (2021a) Copernicus: 2020 Warmest Year on Record for Europe; Globally, 2020 Ties With 2016 for Warmest Year Recorded. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>, Приступљено: 11. фебруар 2022
- ECMWF (2021b) ESOTC 2020, Europe, Temperature. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020/temperature>, Приступљено: 11. фебруар 2022
- Ionita M, Nagavciuc V (2021) Changes in Drought Features at the European Level over the Last 120 Years. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21(5):1685–1701. doi.10.5194/nhess-21-1685-2021
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 151
- Kostopoulou E, Giannakopoulos C, Krapsiti D, Karali A (2017) Temporal and Spatial Trends of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece Using Observations and Output from Regional Climate Models. In: Karacostas T, Bais A, Nastos P (eds) *Perspectives on Atmospheric Sciences*, pp 475–481. Springer. doi.10.1007/978-3-319-35095-0_68
- Kržić A, Tošić I, Djurdjević V, Veljović K, Rajković B (2011) Changes in Climate Indices for Serbia According to the SRES-A1B and SRES-A2 Scenarios. *Climate Research* 49(1):73–86. doi.10.3354/cr01008

- Kutiel H, Luković J, Burić D (2015) Spatial and Temporal Variability of Rain-Spells Characteristics in Serbia and Montenegro. *International Journal of Climatology* 35(7):1611–1624. doi.10.1002/joc.4080
- Le Quéré C, Jackson R, Jones M, Smith A, Abernethy S, Andrew R, De-Gol A, Willis D, Shan Y, Canadell J, Friedlingstein P, Creutzig F, Peters G (2020) Temporary Reduction in Daily Global CO₂ Emissions During the COVID-19 Forced Confinement. *Nature Climate Change* 10:647–653. doi.10.1038/s41558-020-0797-x
- Lelieveld J, Proestos Y, Hadjinicolaou P, Tanarhte M, Tyrllis E, Zittis G (2016) Strongly Increasing Heat Extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st Century. *Climatic Change* 137(1–2):245–260. doi.10.1007/s10584-016-1665-6
- Lemus-Canovas M, Lopez-Bustins JA (2021) Assessing Internal Changes in the Future Structure of Dry–Hot Compound Events: The Case of the Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21(6):1721–1738. doi.10.5194/nhess-21-1721-2021
- Lopez-Bustins JA, Pascual D, Pla E, Retana J (2013) Future Variability of Droughts in Three Mediterranean Catchments. *Natural Hazards* 69(3):1405–1421. doi.10.1007/s11069-013-0754-3
- Lukić T, Leščešen I, Sakulski D, Basarin B, Jordaan A (2016) Rainfall Erosivity as an Indicator of Sliding Occurrence Along the Southern Slopes of the Bačka Loess Plateau: A Case Study of the Kula Settlement, Vojvodina (North Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11(2):303–318
- Luković J, Bajat B, Blagojević D, Kilibarda M (2014) Spatial Pattern of Recent Rainfall Trends in Serbia (1961–2009). *Regional Environmental Change* 14(5):1789–1799. doi.10.1007/s10113-013-0459-x
- Luković J, Blagojević D, Kilibarda M, Bajat B (2015) Spatial Pattern of North Atlantic Oscillation Impact on Rainfall in Serbia. *Spatial Statistics* 14:39–52. doi.10.1016/j.spasta.2015.04.007
- Lung T, Hilden M (2017) Multi-Sectoral Vulnerability and Risks, Section 6.2: Multi-Sectoral Impacts and Vulnerabilities Across Europe. In: *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016, An Indicator-Based Report*, EEA Report, No 1/2017, pp 273–281. European Environment Agency
- Malinović-Miličević S, Radovanović MM, Stanojević G, Milovanović B (2016) Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124:1089–1098. doi.10.1007/s00704-015-1491-1
- Milošević DD, Savić SM, Pantelić M, Stankov U, Žiberna I, Dolinaj D, Leščešen I (2016) Variability of Seasonal and Annual Precipitation in Slovenia and Its Correlation with Large-Scale Atmospheric Circulation. *Open Geosciences* 8(1):593–605. doi.10.1515/geo-2016-0041
- Milošević D, Savić M, Stankov U, Žiberna I, Pantelić M, Dolinaj D, Leščešen I (2017) Maximum Temperatures over Slovenia and Their Relationship with

- Atmospheric Circulation Patterns. *Geografie* 122(1):1–20. doi.10.37040/geografie2017122010001
- Mihajlović J, Ducić V, Burić D (2016) Tornadic Waterspout Event in Split (Croatia) – Analysis of Meteorological Environment. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic“ SASA* 66(2):185–202. doi.10.2298/IJGI1602185M
- Mihajlović J, Burić D, Ducić V, Milenković M (2021) Synoptic Characteristics of an Extreme Weather Event: The Tornadic Waterspout in Tivat (Montenegro), on June 9, 2018. *Geographia Polonica* 94(1):69–90. doi.10.7163/GPol.0194
- Mostafa AN, Wheida A, El Nazer M, Adel M, El Leithy L, Siour G, Coman A, Borbon A, Magdy AW, Omar M, Saad-Hussein A, Alfaro SC (2019) Past (1950–2017) and future (–2100) Temperature and Precipitation Trends in Egypt. *Weather and Climate Extremes* 26:100225. doi.10.1016/j.wace.2019.100225
- Nkiaka E, Nawaz R, Lovett JC (2018) Assessing the Reliability and Uncertainties of Projected Changes in Precipitation and Temperature in Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 Models over the Lake Chad Basin. *International Journal of Climatology* 38(14):5136–5152. doi.10.1002/joc.5717
- Narrant C, Douguédroit A (2006) Monthly and Daily Precipitation Trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology* 83(1–4): 89–106. doi.10.1007/s00704-005-0163-y
- Pattison I, Lane SN (2018) The Relationship Between Lamb Weather Types and Long-Term Changes in Flood Frequency, River Eden, UK. *International Journal of Climatology* 32(13):1971–1989. doi.10.1002/joc.2415
- Pecelj MM, Lukić ZM, Filipović JD, Protić MB, Bogdanović MU (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2017) Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in Bosnia and Herzegovina. *Zbornik radova–Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu* 65(1):5–24. doi.10.5937/zrgfub1765005P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018b) Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia Hercegovina. *Időjárás* 122(4):433–452. doi.10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018b) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019) Changes in Precipitation over the East Herzegovina Region. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):29–44. doi.10.2298/GSGD1901029P

- Santos M, Santos JA, Fragoso M (2017) Atmospheric Driving Mechanisms of Flash Floods in Portugal. *International Journal of Climatology* 37(S1):671–680. doi.10.1002/joc.5030
- Seager R, Osborn TJ, Kushnir Y, Simpson IR, Nakamura J, Liu H (2019) Climate Variability and Change of Mediterranean-Type Climates. *Journal of Climate* 32(10):2887–2915. doi.10.1175/JCLI-D-18-0472.1
- Szabó S, Szopos NM, Bertalan-Balázs B, László E, Milošević DD, Conoscenti C, Lázár I (2019) Geospatial Analysis of Drought Tendencies in the Carpathians as Reflected in a 50-Year Time Series. *Hungarian Geographical Bulletin* 68(3):269–282. doi.10.15201/hungeobull.68.3.5
- Szentimrey T (1999) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data 2nd Session, November 09 – 13, 1998, Budapest, WMO, Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, pp 27–46
- Szentimrey T (2004) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH); Verification Procedure for Homogenized Time Series. Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases (4th Session), October 06 – 10, 2003, Budapest, WMO, Proceedings of the Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, pp 193–201
- Szentimrey T (2007) Manual of Homogenization Software MASHv3.02. Hungarian Meteorological Service, Budapest, pp 61
- Stagge JH, Kingston DG, Tallaksen LM, Hannah DM (2017) Observed Drought Indices Show Increasing Divergence Across Europe. *Scientific Reports* 7:14045. doi.10.1038/s41598-017-14283-2
- Stanojević G, Stojilković J, Spalević A, Kokotović V (2014) The Impact of Heat Waves on Daily Mortality in Belgrade (Serbia) During Summer. *Environmental Hazards* 13(4):329–342. doi.10.1080/17477891.2014.932268
- Tošić I, Unkašević M (2014) Analysis of Wet and Dry Periods in Serbia. *International Journal of Climatology* 34(5):1357–1368. doi.10.1002/joc.3757
- Tramblay Y, Somot S (2018) Future Evolution of Extreme Precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change* 151(2):289–302. doi.10.1007/s10584-018-2300-5
- Trbić G, Bajić D, Djurdjević V, Ducić V, Cupac R, Markež Đ, Vukmir G, Dekić R, Popov T (2018) Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In: Leal Filho W, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259. Springer. doi.10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Трбић Г, Дуцић В, Рудан Н (2009) Регионалне промјене количина падавина у Републици Српској. *Гласник/Herald* 13:71–78. doi.10.7251/HER0913071T
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01

- Hoerling M, Eischeid J, Perlwitz J, Quan X, Zhang T, Pegion P (2012) On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate* 25(6):2146–2161. doi.10.1175/JCLI-D-11-00296.1
- Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, Alpert P (2018) Synoptic Classification in 21st Century CMIP5 Predictions over the Eastern Mediterranean with Focus on Cyclones. *International Journal of Climatology* 38(3):1476–1483. doi.10.1002/joc.5260
- Caloiero T (2017) Trend of Monthly and Daily Data Extreme Temperature During 1951–2012 in New Zealand. *Theoretical and Applied Climatology* 129:111–127. doi.10.1007/s00704-016-1764-3
- Croitoru AE, Piticar A, Ciupertea FA, Rosca CF (2016) Changes in Heat Wave Indices in Romania over the Period 1961–2015. *Global and Planetary Change* 146:109–121. doi.10.1016/j.gloplacha.2016.08.016
- WMO (2017) WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203). Geneva, pp 29

Contemporary Climate Change in Montenegro

Dragan Burić, Vladan Ducić, Jelena Luković

Summary

The Mediterranean area, including the Western Balkans, is one of the world's most vulnerable to climate change. Many papers point out that the Mediterranean region has become warmer, more arid and with more frequent extreme weather events (high temperatures, droughts, heavy short-term rains, floods, etc.) since the middle of the 20th century, compared to the average global situation, in general. The results of the projections for the Mediterranean indicate that this trend will continue throughout the 21st century. This is a general picture of events and projections of climate change for the entire Mediterranean area, but in recent times the importance of researching smaller spatial units, subregions and individual locations of the Mediterranean has been emphasized. Second, given that the 1991–2020 climate period has recently ended, the World Meteorological Organization (WMO) has recommended the use of that reference period, that is, new climatic normals in the analysis of climate element deviations.

Taking into account the two mentioned facts (importance of research of smaller spatial units of the Mediterranean region and taking into account the WMO recommendation regarding the use of the new reference climate period 1991–2020), this paper aimed to present the results of temperature and precipitation changes in Montenegro. Data from 10 meteorological stations, evenly distributed over the territory of the country, were used in the period 1951–2020, as part of the Western Balkans and the Mediterranean, and the analysis included annual and daily values of the two mentioned climatic elements.

When it comes to precipitation, the annual sums do not show significant changes in the observed 70-year period (1951–2020). Changes in precipitation range from -2,3% per decade in Herceg Novi to 1,8% per decade in Rožaje. Year-on-year fluctuations are noticeable, which are common for precipitation, but we cannot talk about the aridization of Montenegro, and it should be expected in the conditions of domination of the anthropogenic greenhouse effect. The trend of annual precipitation shows a certain regionalization, namely that the southwestern and western part of Montenegro registers a decrease in precipitation (Herceg Novi, Cetinje and Nikšić), and the rest of most of the country slightly increases. If we look only at the last 30-year period (1991–2020), the trend calculations showed that only the station Bijelo Polje registers a negative trend (-4,7% per decade), while at all other stations there was

an increase in annual precipitation, the positive trend is up to 9,9% per decade (Ulcinj).

In most parts of Montenegro, the annual number of wet ($R_d \geq 10$ mm) and very wet days ($R_d \geq 20$ mm) does not show significant changes. The only exceptions are Cetinje and Rožaje, where the number of days with $R_d \geq 10$ mm decreased (-2,1 days per decade) and $R_d \geq 20$ mm increased (0,7 days per decade), and in both places these changes are significant at the level of hypothesis correctness of 95% (risk level $p < 0,05$). The only precipitation index that indicates the aridization of Montenegro is the number of dry days (SD), because the calculation results showed that during the observed period the number of SD ($R_d < 1$ mm) increased along the trend line in all observed places. In most parts of the country there was a significant increase in the number of SD (trend is in a range of 2,0–2,9 days per decade).

Regarding changes in thermal conditions, the trend of average annual temperature indicates that there is significant warming in Montenegro, ranging from 0,13 °C per decade in Herceg Novi and Cetinje to as much as 0,70 °C per decade in Rožaje. For the last 30-year period (1991–2020), the obtained results indicate a more intense warming in relation to the entire observed period, in general. During the previous 30 years, the most intensive trend of increasing average annual temperature was registered in places in the northeast of Montenegro: Bijelo Polje 1,02 °C per decade and Rožaje 0,85 °C per decade. Temperature indices also indicate an increase in temperature. The increase in the number of summer and tropical days, as well as tropical nights, and the decrease in the number of frost and ice days, clearly indicates that there is a tendency of warming in Montenegro in the previous 70 years (1951–2020). Thus, all considered temperature indices indicate a warmer climate.

Finally, a simple difference was used to determine the quantitative magnitude of temperature and precipitation changes between the last two climate periods: 1991–2020 (new climate normal) and 1961–1990 (old climate normal). On an annual basis, previous results have shown that the new climatic normals (1991–2020) have almost the same values as the previous ones (1961–1990). However, the analysis of all temperature parameters indicates that the new climate normals are „warmer“ compared to the previous ones. For example, in relation to the old climatic norm (1961–1990), the average annual temperature for the period 1991–2020 it is higher in Podgorica by 1,1 °C, and in Žabljak by 1,3 °C. Has the climate of Montenegro changed? Simply put, the climate of Montenegro has become warmer, but not more arid or humid, that is, nothing worrying is happening with the amount of precipitation and the number of considered precipitation days.

Keywords: Temperature, precipitation, trend, climatic periods, Montenegro