

АНАЛИЗА ПРОТИЦАЈА НА РИЈЕЦИ САНИ**Слободан Гњато^{1*}**¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

Сажетак: У раду су анализирани средњи годишњи и мјесечни протицаји на ријеци Сани. На основу прикупљених података са хидролошке станице Приједор, анализирани су трендови протицаја у периоду 1961–2014. године. Осим трендова, анализирани су промјене између два вишегодишња периода 1961–1990. и 1991–2014. године. У циљу идентификовања влажних и сушних периода извршено је рангирање година по водности. Анализирана је повезаност трендова протицаја са климатским промјенама (промјенама температуре ваздуха и падавина). Такође, испитана је повезаност варијабилности протицаја са атмосферским циркулацијама великих размјера на сјеверној хемисфери.

Кључне ријечи: средњи протицаји, тренд, функције густине вјероватноће, рангирање година по водности, Сана (Приједор), атмосферске циркулације великих размјера на сјеверној хемисфери.

Original scientific paper

ANALYSIS OF THE WATER DISCHARGE AT THE SANA RIVER**Slobodan Gnjato^{1*}**¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: The paper analyzes the mean annual and monthly water discharge at the Sana River. Trends in the river discharge for the 1961–2014 periods were analyzed based on data collected from Prijedor hydrological station. Next to the trends, alterations between the two long-term periods (1961–1990 and 1991–2014) were analyzed as well. In order to identify humid and dry periods, the years were ranked based on wateriness. Further, it was analyzed how discharge changes are conditioned by climate change (changes in air temperature and precipitation). The relationships between the discharge variability and the large atmospheric circulation patterns over the northern hemisphere were examined.

Key words: mean water discharge, trend, probability density functions, ranking years based on wateriness, the Sana River (Prijedor), large atmospheric circulation patterns over the northern hemisphere.

УВОД

Током протеклих неколико деценија, бројне студије широм свијета анализирале су варијабилност ријечних протицаја у контексту рецентних климатских промјена (Bai et al., 2013; Castino et al., 2017; Szolgayova et al., 2014; Xu & Luo, 2015). Глобална истраживања промјене климе упућују на неоспорно загријавање климатског система (Intergovernmental Panel on Climate Change

INTRODUCTION

Over the past few decades, many studies have analyzed the variability of river discharge within the context of recent climate change (Bai et al., 2013; Castino et al., 2017; Szolgayova et al., 2014; Xu & Luo, 2015). Global studies on climate change indicate definite warming of the climate system (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Analyses of air and ocean temperatures all

* Аутор за кореспонденцију: Слободан Гњато, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org
Corresponding author: Slobodan Gnjato, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org

[IPCC], 2014). Анализе температура ваздуха и океана широм свијета показују конзистентан тренд загријавања који постаје израженији крајем 20. и почетком 21. вијека (Foster & Rahmstorf, 2011). Недавне климатске промјене већ су утицале на глобални хидролошки циклус, а ефекти промјена манифестују се у измјенама сезонских режима протицаја и повећаној учесталости појаве поплава и суша (European Environment Agency [EEA], 2017). Актуелни проблеми у управљању водним ресурсима у директној су вези са климатским промјенама, а односе се на њихову доступност, квантитет и квалитет, као и на ризике повезане са њима (Li et al., 2016). Дугорочно праћење ријечног протицаја има велики значај за изучавање варијабилности климе на субконтиненталном нивоу. У том случају, протицаји имају предност у односу на изоловано осматрање падавина на метеоролошким станицама, јер протицај представља рефлексију не само падавина већ и евапотранспирације, литолошке подлоге, морфологије рељефа и вегетационог покривача (Pasquini & Depetris, 2007). Дугорочна анализа протицаја на нивоу ријечних басена неопходна је за ефикасно планирање и управљање водним ресурсима (Croitoru & Minea, 2014). Претходне студије које су спроведене у региону југоисточне Европе утврдиле су да су се у неким подручјима догодиле значајне промјене ријечних протицаја. Значајан негативан тренд годишњих и сезонских протицаја забиљежен је на укупном простору Србије (у свим годишњим добима, осим у сезони јесен) (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014). Значајно смањење средњих протицаја утврђено је на већини ријека у Словенији (Ulaga et al., 2008). У Хрватској, тенденција повећања протицаја присутна је у сезонама јесен и зима, док је опадајући тренд карактеристичан за сезону љето (Čanjevac & Orešić, 2015). Резултати истраживања трендова протицаја у Македонији показали су значајне негативне сезонске трендове широм земље (Radevski et al., 2018).

Циљ рада је утврдити савремене промјене годишњих и сезонских средњих протицаја на ријечи Сани. Такође, циљ је анализирати

over the world showed a consistent warming trend, which has become even more prominent in the late 20th century and at the beginning of 21st century (Foster & Rahmstorf, 2011). Recent climate change has already affected the global hydrological cycle and effects of changes are manifested through changes in the seasonal discharge regime and the growing frequency of floods and droughts (European Environment Agency [EEA], 2017). Current issues in water resource management are directly related to climate change, or to be more specific to the availability, quantity, quality and risks regarding the resources (Li et al., 2016). Long-term monitoring of water discharge is highly pertinent for the studies of climate variability at the sub-continental level. In this regard, discharges are more useful than the isolated precipitation monitoring at meteorological stations because the discharge reflect not only the precipitation but also the evapotranspiration, basin geology, relief morphology and vegetation cover (Pasquini & Depetris, 2007). The long-term analysis of the river basin discharges is crucial for an efficient planning and management of water resources (Croitoru & Minea, 2014). Earlier studies conducted in South-East Europe confirmed that some areas had been affected by significant changes in river discharges. A significant negative trend in annual and seasonal discharges has been determined over the entire territory of Serbia (in all seasons except in autumn season) (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014). A major decrease of mean discharges was detected for most Slovenian rivers (Ulaga et al., 2008). In Croatia, there has been a tendency of increased discharge in autumn and winter, whereas the decreased discharge is typical of summer (Čanjevac & Orešić, 2015). Studies on discharge trends in Macedonia have determined large negative seasonal trends over the entire country (Radevski et al., 2018).

The aim of the paper is to investigate recent changes in mean annual and seasonal water discharges on the Sana River. In addition, the aim is to analyze how discharge changes are

њихову условљеност промјенама климе на наведеном подручју, као и повезаност с атмосферским циркулацијама великих размјера на сјеверној хемисфери.

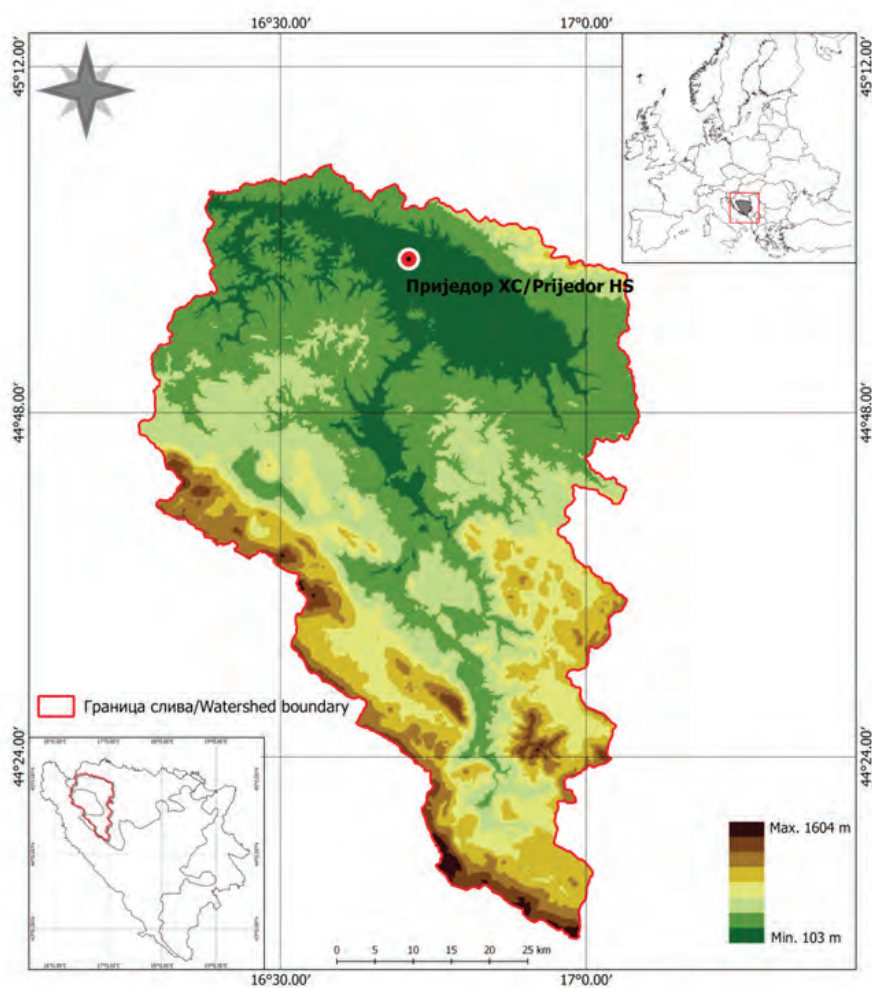
conditioned by climate change in the target area and to which extent are connected to large atmospheric circulation patterns over the northern hemisphere.

ПОДАЦИ И МЕТОДЕ

Ријека Сана извире у Доњој Пецкој и највећа је притока ријеке Уне, у коју се улива код Новог Града.

DATA AND METHODS

The Sana River originates in Donja Pecka and it is the largest tributary of Una River in which it flows near Novi Grad.



Сл. 1. Географски положај слива ријеке Сане
Fig. 1. The geographical location of the Sana River watershed

Површина слива износи 3782 km², док дужина ријеке износи 146 km. Средња надморска висина слива износи 505 m, а просјечни падови терена у сливу износе 10.9°. Развође слива ријеке Сане утврђено је помоћу

The watershed surface covers 3782 km², and the river is 146 km long. The mean altitude of the watershed is 505 m and the average terrain slope is 10.9°. The catchment of the Sana River basin was determined by using DEM (Digital

ДЕМ-а (Дигиталног модела терена) употребом ГИС технике. Према класификацији С. Илешича ријеку Сану карактерише посавска варијанта плувио-нивалног водног режима, којег одликују највиши водостаји у априлу, а најнижи у августу. Клима у сливу варира од планинске, у горњем дијелу слива, до континенталне и умјерено-континенталне у средњем и доњем току ријеке Сане. Хидролошка станица Приједор позиционирана је у доњем дијелу слива на 31 km од ушћа у ријеку Уну. Климу овог поднебља одликују хладне зиме и топла лjeta.

Анализа трендова протицаја у периоду 1961–2014. године извршена је на основу хидролошких података о средњим мјесечним протицајима са хидролошке станице Приједор. У раду су коришћени подаци Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске. С обзиром на то да на хидролошкој станици постоје прекиди у мјерењима у ратном и послијератном периоду, извршена је екстраполација недостајућих података на основу података са најближе хидролошке станице са доступним мјерењима у одговарајућем периоду – Делибашино Село (Врбас). Савремени трендови средњих годишњих и сезонских протицаја утврђени су непараметријским Ман-Кендаловим тестом који се користи за утврђивање постојања тренда у временским серијама и њиховог статистичког значаја и непараметријским Сеновим методом којим је извршено одређивање магнитуде тренда. Статистичка значајност трендова дефинисана је на нивоу 90 %, 95 %, 99 % и 99.9 %. Сви прорачуни извршени су употребом статистичког програма XLSTAT (version 2014.5.03).

Осим трендова, анализиране су промјене дистрибуција средњих годишњих и сезонских протицаја између два вишегодишња периода: референтног периода 1961–1990. године и периода 1991–2014. године. Функције густине вјероватноће израчунате су за два наведена периода и представљене на графиконима израђеним у статистичком програму RStudio (version 1.1.383). Двосмјерни непараметријски Колмогоров-Смирнов тест коришћен

elevation model) in GIS technique. According to classification of S. Ilešič, the Sana River has typical Posavina pluvio-nival water regime characterized by highest water levels in April and lowest in August. The climate of the Sana River basin varies from mountain climate in the upper part of river basin to continental and moderate continental in the mid and lower part of river basin. Prijedor hydrological station is located in the lower river basin, 31 km from its mouth into the Una River. The climate in the area is characterized by cold winters and warm summers.

The analysis of the discharge trends in the 1961–2014 periods was performed based on the hydrological data on mean monthly discharges collected from Prijedor hydrological station. Data were provided by the Republic Hydrometeorological Service of the Republic of Srpska. Given that there were interruptions in measurements at the hydrological station during the war and post-war periods, the missing data extrapolation was performed based on data from the nearest hydrological station with available measurements for target periods – Delibašino Selo (the Vrbas River). Recent trends in mean annual and seasonal river discharges were determined by using the nonparametric Mann-Kendall test, which is commonly used for the trend detection in time series and its statistical significance, and the non-parametric Sen's method, which was used in order to determine the trend magnitude. The statistical significance of the trends was defined at the 90 %, 95 %, 99 % and 99.9 % level. All calculations were performed in the XLSTAT program (version 2014.5.03).

In addition to trends, the changes in distribution of mean annual and seasonal river discharges between the two periods: the reference 1961–1990 periods and the 1991–2014 periods have been analyzed. Probability density functions were calculated for the two specified periods and shown on graphs created in RStudio program (version 1.1.383). The nonparametric Kolmogorov-Smirnov test for two-samples was used to assess the significance of differences in distributions between the two periods.

је за тестирање значајности разлика у дистрибуцијама између два периода.

У циљу утврђивања одступања годишње вриједности протицаја од просјечне, очекиване, вриједности (односно утврђивања да ли се чешће јављају мање водне или више водне године) извршено је рангирање година по водности. На овај начин могуће је пратити промјене у водном режиму ријека. Употреба овог метода у хидролошким и географским проучавањима указује на тренд у вишегодишњем режиму водности једног тока (Langović et al., 2017; Мустафић, 2012). На основу просјечне годишње вриједности протицаја у анализираном периоду и његове стандардне девијације, извршено је рангирање година по водности, по принципу (Оцокољић, 1994):

- < -3δ Катастрофално сушна година / Catastrophically dry year
- 3δ – -2δ Веома сушна година / Very dry year
- 2δ – -1δ Сушна година / Dry year
- 1δ – 1 δ Средње водна година / Average wateriness
- 1δ – 2 δ Водна година / Watery year
- 2δ – 3δ Веома водна година / Very watery year
- > 3δ Катастрофално водна година / Catastrophically watery year

У циљу утврђивања утицаја климатских промјена на протицај ријеке Сане, израчунати су трендови средњих годишњих и сезонских температура ваздуха и средњих висина падавина на метеоролошкој станици Приједор у периоду 1961–2014. године. Током посматраног периода, метеоролошка станица Приједор није мијењала локацију, а недостајући подаци израчунати су екстраполацијом података са метеоролошке станице Бања Лука. За детерминисање међузависности између наведених климатских елемената и протицаја, коришћен је Пирсонов коефицијент корелације.

Како би се уочене промјене протицаја што боље објасниле, анализирана је њихова повезаност са атмосферским циркулацијама великих размјера на сјеверној хемисфери. Анализирана су три примарна режима варијабилности атмосферске циркулације изнад сјеверног Атлантика (Сјеверно-атлантска осцилација (NAO), Источно-атлантска

In order to estimate the deviations of annual river discharge from the mean, expected value (i.e. to estimate which is more frequent – years with less or more water), years were ranked based on wateriness. In this manner, it is possible to monitor changes in the water regime of the rivers. The usage of this method in hydrological and geographical studies can indicate a trend in a long-term water regime of a single river basin (Langović et al., 2017; Мустафић, 2012). Based on the mean annual discharge values during target periods and the standard deviations, the years were ranked based on wateriness according to the following principle (Оцокољић, 1994):

In order to estimate to which extent the climate change affects the Sana River water discharge, trends of mean annual and seasonal air temperatures and mean precipitation at Prijedor meteorological station were calculated for the 1961–2014 periods. During the observed periods, there was no change in location of Prijedor meteorological station, and the missing data were extrapolated based on data from Banja Luka meteorological station. Pearson correlation coefficient was used to determine interdependency between these climate elements and the river discharges.

In order to evaluate the observed river discharge changes, their connections with the large atmospheric circulation patterns over the northern hemisphere were analyzed. Three primary modes of atmospheric circulation patterns were analyzed (the North Atlantic Oscillation (NAO), the East Atlantic pattern (EA), the East Atlantic/West Russian pattern (EAWR)), as well as the Arctic oscillation (AO). Data on

осцилација (ЕА) и Источно-атлантска/ Западно-руска осцилација (ЕАВР)), као и Арктичка осцилација (АО). Подаци о наведеним индексима образаца глобалне циркулације атмосфере прикупљени су од National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center (National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center [NOAA CPC], 2017). За квантификовање веза између трендова протицаја и глобалних образаца циркулације атмосфере коришћен је Пирсонов коефицијент корелације. Статистичка значајност утврђених корелација дефинисана је на нивоу 99.9 % ($p \leq 0.001$), 99 % ($0.001 < p \leq 0.01$), 95 % ($0.01 < p \leq 0.05$) и 90 % ($0.05 < p \leq 0.10$).

these global atmospheric circulation patterns indices were collected from the Climate Prediction Center of National Oceanic and Atmospheric Administration (National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center [NOAA CPC], 2017). Pearson correlation coefficient was used to quantify relationships between discharge trends and the global atmospheric circulation patterns. The statistical significance of the estimated correlations was defined at the 99.9 % ($p \leq 0.001$), 99 % ($0.001 < p \leq 0.01$), 95 % ($0.01 < p \leq 0.05$) and 90 % ($0.05 < p \leq 0.10$) level.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Просјечни годишњи и мјесечни декадни трендови као и средње вриједности протицаја на хидролошкој станици Приједор у периоду 1961–2014. године приказани су у Таб. 1. Највеће вриједности протицаја забиљежене су у сезони прољеће ($119.7 \text{ m}^3/\text{s}$), а најмање у сезони љето ($42.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Резултати показују да су у свим годишњим сезонама присутни негативни трендови протицаја. Ипак, статистички значајан ($p = 0.015$) негативан тренд протицаја утврђен је једино у сезони љето. Утврђено смањење протицаја у сезони љето износи $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ по деценији. Негативни инсигнификантни декадни трендови протицаја забиљежени су у свим осталим сезонама, као и на годишњем нивоу.

RESULTS AND DISCUSSION

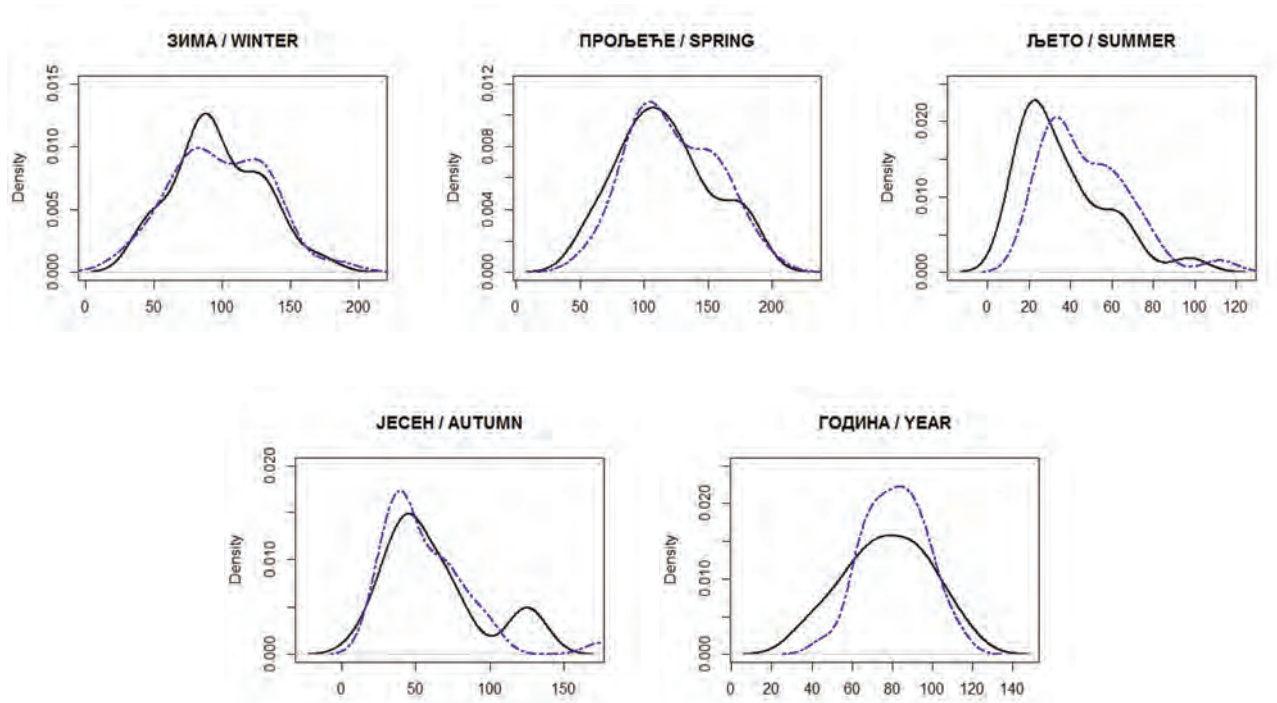
The mean annual and monthly decadal trends as well as mean values of river discharges at Prijedor hydrological station in the 1961–2014 periods are displayed in Tab. 1. The highest discharge values were registered in spring season ($119.7 \text{ m}^3/\text{s}$), and the lowest in summer season ($42.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Results indicate that in all seasons there are negative river discharge trends. Still, a statistically significant ($p = 0.015$) negative discharge trend was registered only in summer. Discharge decreased in summer by $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ per decade. Negative insignificant decadal discharge trends were registered in all other seasons and at annual level.

Таб. 1. Средњи годишњи и сезонски протицаји и њихови декадни трендови на хидролошкој станици Приједор (Сана) у периоду 1961–2014. године (m^3/s)
Tab. 1. Annual and seasonal mean river discharges at Prijedor hydrological station and their decadal trends in the 1961–2014 periods (m^3/s)

Сезона / Season	Просјек / Average	Нагиб тренда / Trend slope
Зима / Winter	97.7	-3.45
Прољеће / Spring	119.7	-1.16
Љето / Summer	42.6	-3.9 ^c
Јесен / Autumn	59.5	-0.7
Година / Year	79.7	-2.65

Графикони функција густине вјероватноће годишњих и сезонских протицаја на ријечи Сани у периоду 1961–1990. и 1991–2014. године приказани су на Сл. 2. Резултати двосмјерног непараметријског Колмогоров-Смирнов теста показују да на годишњем нивоу и у свим сезонама (осим у сезони љето) нису забиљежена значајна помјерање према нижим или вишим вриједностима у периоду 1991–2014. године у односу на референтни период (1961–1990). Утврђена помјерања дистрибуција просјечних протицаја према нижим вриједностима статистички су значајна једино у сезони љето ($p < 0.0034$).

Probability density functions of annual and seasonal discharges of the Sana River for the 1961–1990 and 1991–2014 periods are displayed in Fig. 2. Results of the nonparametric two-sample Kolmogorov-Smirnov test confirm that there were no registered shifts toward either lower or higher values in the 1991–2014 periods when compared to the reference 1961–1990 periods at either annual or seasonal levels (except in summer). The registered shifts in distribution of mean discharge towards lower values were only significant in summer season ($p < 0.0034$).



Сл. 2. Функције густине вјероватноће годишњих и сезонских протицаја на хидролошкој станици Приједор у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2016. (пуна линија) године

Fig. 2. Probability density functions of annual and seasonal discharges at Prijedor hydrological station in the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2016 (full line) periods

Рангирање година по водности на хидролошкој станици Приједор (Сана) у периоду 1961–2014. године приказано је у Таб. 2 и Таб. 3. У наведеном периоду није забиљежена ниједна катастрофално сушна ни катастрофално водна година. Највећи удио у укупној

Ranking years based on wateriness at Prijedor hydrological station (the Sana River) for 1961–2014 periods is displayed in Tab. 2 and Tab. 3. During the target periods, there were no catastrophically watery and catastrophically dry years. Mean watery years

расподјели имају средње водне године (70.4 %). Рангирањем година по водности утврђена су два најдужа континуирана периода средњих вода који су трајали по девет година (у периоду 1961–1969. и 1981–1989. године). Веома водна била је 2014. година када су широм Републике Српске и региона забиљежене катастрофалне поплаве, док су веома сушне године биле 1994. и 2011. година. Најекстремније вриједности протицаја забиљежене су након 1990. године када климатске промјене постају интензивније.

hold the largest ratio in the total distribution (70.4 %). Ranking years based on wateriness, the two longest continuous periods of average wateriness that lasted nine years each were estimated (in 1961–1969 and 1981–1989 periods). The year of 2014 was very watery and catastrophic floods were recorded across the Republic of Srpska and the region. On the other side, 1994 and 2011 were extremely dry. The most extreme discharge amounts were registered after 1990 as climate change became more and more intensive.

Таб. 2. Бројчани и процентуални удио година према категоријама водности за хидролошку станицу Приједор у периоду 1961–2014. године

Tab. 2. Number and percentage of years by water richness at Prijedor hydrological station in the 1961–2014 periods

Хидролошка станица Приједор (Сана) / Hydrological station Prijedor (Sana)		
Ранг / Rank	Број година / Number of years	%
Катастрофално сушна / Catastrophically dry	–	–
Веома сушна / Very dry	2	3.7
Сушна / Dry	6	11.1
Средње водна / Average wateriness	38	70.4
Водна / Watery	7	13
Веома водна / Very watery	1	1.9
Катастрофално водна / Catastrophically watery	–	–
Укупно / Total	54	100

Таб. 3. Рангирање година по водности на хидролошкој станици Приједор у периоду 1961–2014. године

Tab. 3. Classification of years by water richness at Prijedor hydrological station in the 1961–2014 periods

Ранг / Rank	Протицај / Discharge Qsr (m ³ /s)	Година / Year
Катастрофално сушна / Catastrophically dry	<24.9	–
Веома сушна / Very dry	25.0–43.2	1994, 2011
Сушна / Dry	43.3–61.5	1971,1990,2000,2003,2007,2012
Средње водна / Average wateriness	61.5–97.9	1961,1962,1963,1964,1965,1966,1967, 1968, 1969,1972,1973,1975,1977,1978, 1979,1981,1982, 1983,1984,1985,1986, 1987,1988,1989,1992,1993, 1996,1997, 1998,1999,2001,2002,2004,2005,2006, 2008,2009,2013
Водна / Watery	98.0–116.2	1970,1974, 1976,1980,1991,1995,2010
Веома водна / Very watery	116.3–134.5	2014
Катастрофално водна / Catastrophically watery	>134.6	–

Просјечне вриједности годишњих и сезонских температура и падавина, као и њихови декадни трендови на метеоролошкој станици Приједор дати су у Таб. 4. У посматраном периоду 1961–2014. године подручје Приједора одликују статистички значајни позитивни трендови годишњих и сезонских температура ваздуха. Најизраженији раст температуре забиљежен је у сезонама лјето и прољеће – 0.58°C и 0.44°C по деценији, респективно. С друге стране, забиљежени су инсигнификантни трендови смањења просјечних годишњих и сезонских висина падавина (осим у сезони јесен у којој су падавине порасле за 10.7 mm по деценији). Статистички значајан тренд смањења падавина забиљежен је једино у сезони лјето (13.6 mm по деценији).

Mean values of annual and seasonal air temperatures and precipitation as well as their decadal trends at Prijedor meteorological station are given in Tab. 4. During the target 1961–2014 periods, statistically significant positive trends in annual and seasonal air temperatures were registered in Prijedor area. Most evident temperature increases were registered in summer and spring – 0.58 °C and 0.44°C per decade, respectively. On the other hand, insignificant decreasing trends in mean annual and seasonal precipitation were found (except in autumn when precipitation increased 10.7 mm per decade). A statistically significant negative trend in precipitation was registered only in summer (13.6 mm per decade).

Таб. 4. Средње годишње и сезонске вриједности температуре (°C) и падавина (mm) и њихови декадни трендови на метеоролошкој станици Приједор у периоду 1961–2014. године
Tab. 4. Annual and seasonal mean temperatures (°C) and precipitation (mm) and their decadal trends at Prijedor meteorological station in the 1961–2014 periods

Сезона / Season	Температура / Temperature		Падавине / Precipitation	
	Просјек / Average value	Нагиб тренда / Trend slope	Просјек / Average value	Нагиб тренда / Trend slope
Зима / Winter	0.9	0.39 ^b	194.2	-2.9
Прољеће / Spring	11.3	0.44 ^a	230.6	-0.52
Љето / Summer	20.5	0.58 ^a	246.4	-13.6 ^d
Јесен / Autumn	11.2	0.22 ^c	260.7	10.7
Година / Year	11	0.46 ^a	931.3	-8.02

Напомена: Статистички значајно на нивоу 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) и 90 % (d)
Note: Statistical significance at the 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) and 90 % (d) level

С обзиром на то да су ријечни протицаји снажно условљени температуром ваздуха и висином падавина, изводи се закључак да климатске промјене знатно утичу на режиме ријека. Утврђена је статистички значајна позитивна корелација између годишњих вриједности протицаја и падавина (+0.769, $p < 0.0001$), као и статистички значајна негативна корелација између годишњих температура и протицаја (-0.387, $p = 0.004$). Статистички значајна позитивна корелација између протицаја и падавина утврђена је током цијеле године. Коефицијенти корелације кретали су се у интервалу од 0.626 до 0.763 (Таб. 5). Најснажнија корелација између падавина и протицаја забиљежена је у сезонама зима и љето. Пораст температуре ваздуха рефлектовао се у смањењу годишњих и сезонских протицаја на хидролошкој станици Приједор. Као што се и очекивало, температура је имала јачи утицај на протицај у топлијем дијелу године – највиши коефицијент корелације утврђен је у сезони љето (-0.491, $p < 0.0001$).

Given that the river discharge is highly conditioned by air temperature and precipitation, climate change has highly affected river regimes. A statistically significant positive correlation between annual discharge and precipitation was determined (+0.769, $p < 0.0001$) as well as a statistically significant negative correlation between annual air temperature and river discharge (-0.387, $p = 0.004$). The statistically significant positive correlation between discharge and precipitation was found throughout the year. Correlation coefficients were in the range of 0.626–0.763 (Tab. 5). The strongest links between precipitation and discharge were registered in winter and summer. The air temperature increase reflected in the decrease of annual and seasonal discharge at Prijedor hydrological station. Expectedly, temperature affected the discharge more in a warmer part of the year – the correlation coefficient was highest in summer season (-0.491, $p < 0.0001$).

Таб. 5. Пирсонов коефицијент корелације између годишњих и сезонских протицаја, температура и падавина у Приједору у периоду 1961–2014. године
 Tab. 5. Pearson correlation coefficients between annual and seasonal discharges, temperatures and precipitation in Prijedor in the 1961–2014 periods

Варијабла / Variable	Зима / Winter	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Година / Year
Температура / Temperature	-0.178	-0.424 ^b	-0.491 ^a	-0.172	-0.387 ^b
Падавине / Precipitation	0.763 ^a	0.626 ^a	0.718 ^a	0.717 ^a	0.769 ^a

Напомена: Статистички значајно на нивоу 99.9 % (^a), 99 % (^b), 95 % (^c) и 90 % (^d)
 Note: Statistical significance at the 99.9 % (^a), 99 % (^b), 95 % (^c) and 90 % (^d) level

Позитивне фазе Сјеверно-атлантске, Источно-атлантске/Западно-руске и Арктичке осцилације повезане су са сушним периодима у јужном и централном дијелу Европе (NOAA CPC, 2017). Стога, утврђене везе између ових образаца циркулације атмосфере и ријечних протицаја на истраживаном подручју су негативне (Таб. 6). Варијабилност климе у Европи доминантно је условљена Сјеверно-атлантском осцилацијом, нарочито током сезоне зима (Hurrell et al., 2003). У овом дијелу године, током позитивне NAO фазе, топле и влажне ваздушне масе адвективним струјањем преносе се ка Европи снажним западним вјетровима изнад средњих географских ширина што је повезано са аномалијама на подручју исландског ниског ваздушног притиска и високог притиска изнад суптропског Атлантика (Hurrell et al., 2003; Rust et al., 2015). Ово доводи до образовања топлих и влажнијих временских услова широм сјеверозападне Европе и суше у региону Медитерана (Ionita, 2014; Krichak & Alpert, 2005). Током сезоне зима, NAO и EAWR обрасци значајно утичу на протицај Сана на посматраном хидролошком профилу (утврђени коефицијенти корелације износили су -0.499 и -0.286, респективно). Снажна и значајна негативна корелација између ЕА обрасца и протицаја на Сани утврђена је у сезони љето. Арктичка осцилација (АО) има велики утицај на климу у Европи, посебно у негативној фази када се хладне и суве ваздушне

Positive phases of the North Atlantic Oscillation (NAO), the East Atlantic/West Russia (EAWR) pattern and the Arctic Oscillation (AO) are connected with dry periods in South and Central Europe (NOAA CPC, 2017). Hence, the relation between these atmospheric circulation patterns and river discharge in the observed area is negative (Tab. 6). Climate variability in Europe is dominantly conditioned by the North Atlantic Oscillation, particularly in winter (Hurrell et al., 2003). In this part of the year, during the positive NAO phase, warm and moist air masses circulate and transfer towards Europe through strong west winds above the mean altitudes, which is further connected with anomalies in Icelandic low air pressure area and sub-tropic Atlantic high pressure area (Hurrell et al., 2003; Rust et al., 2015). This causes the formation of warm and moist weather in north-west Europe and drought in the Mediterranean (Ionita, 2014; Krichak & Alpert, 2005). In winter, the NAO and the EAWR pattern largely affect the Sana River discharge at the observed hydrological profile (determined correlation coefficients are -0.499 and -0.286, respectively). A strong and significant negative correlation between the EA pattern and the Sana River discharge was registered in summer. The Arctic oscillation (AO) highly affects climate in Europe, particularly in the negative phase

маса из поларних и субполарних сјеверних области спуштају према јужној и југоисточној Европи, условљавајући снижење температуре и смањење ријечног протицаја (Mihăilă & Briciu, 2015). Значајна негативна корелација између АО и протицаја на Сани утврђена је током цијеле године, осим у сезони љето. Најснажнија корелација забиљежена је у сезони зима (-0.652).

as the cold and dry air masses from polar and sub-polar northern areas shift towards South and Southeast Europe, causing the decrease in air temperature and river discharge (Mihăilă & Briciu, 2015). A significant negative correlation was determined between the AO and discharge of the Sana River throughout the year, except in summer season. The strongest correlation was found in winter season (-0.652).

Таб. 6. Пирсонов коефицијент корелације између годишњих и сезонских индекса циркулација глобалних размјера и средњих протицаја на хидролошкој станици Приједор у периоду 1961–2014. године

Tab. 6. Pearson correlation coefficients between the dominant Northern Hemisphere teleconnection patterns indices and river discharges at Prijedor hydrological station in the 1961–2014 periods

Варијабла / Variable	Зима / Winter	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Година / Year
ЕА	-0.098	-0.013	-0.431 ^b	-0.262	-0.259
NAO	-0.499 ^a	-0.212	0.162	0.001	-0.279 ^c
EAWR	-0.286 ^c	-0.098	0.172	-0.073	-0.156
АО	-0.652 ^a	-0.471 ^a	0.140	-0.468 ^a	-0.499 ^a

Напомена: Статистички значајно на нивоу 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) и 90 % (d)
Note: Statistical significance at the 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) and 90 % (d) level

ЗАКЉУЧАК

Режим протицаја ријеке Сане снажно је условљен варијабилношћу климе. Резултати корелационе анализе показали су да су промјене климатских варијабли (првенствено температуре и падавина) имале снажан утицај на протицај. У анализираном периоду 1961–2014. године, изучавано подручје карактеришу значајни позитивни трендови годишњих и сезонских температура ваздуха, док су трендови падавина били негативни у свим сезонама, осим у сезони јесен. Ове промјене климе снажно су утицале на протицај ријеке Сане на хидролошком профилу Приједор. Изражен тренд повећања температуре и смањење љетњих падавина условили су значајно смањење протицаја на хидролошкој

CONCLUSION

The discharge regime of the Sana River is highly conditioned by climate variability. Results of the correlation analysis showed that changes in climate variables (air temperature and precipitation, first and most) strongly affected the discharge. During the analyzed 1961–2014 periods, the target area was characterized by significant positive trends in annual and seasonal air temperature, whereas precipitation trends were negative in all seasons except in autumn. Climate change highly affected the Sana River discharge at Prijedor hydrological profile. The prominent increasing trend in air temperature and decrease in precipitation resulted in a significant decrease of discharge at Prijedor hydrological station. Although the

станици Приједор. Иако је током цијеле године присутан опадајући тренд, најизраженији пад протицаја забиљежен у сезони лјето. Рангирањем година по водности установљено је да су се веома водне и веома сушне године јавиле након 1990. године што указује на повећање варијабилности протицаја повезано са климатским промјенама. Уочене промјене протицаја такође су повезане са обрасцима атмосферских циркулација великих размјера на сјеверној хемисфери. Значајна корелација између АО и ријечног протицаја установљена је у свим годишњим добима (осим у сезони лјето). Зимски протицаји показују значајну негативну корелацију и са NAO и EAWR обрасцима. Запажена тенденција смањења протицаја засигурно ће имати бројне негативне социо-економске импликације. С обзиром на то да истраживања промјена протицаја у Европи показују да ће у будућности доћи до смањења протицаја у јужној и југоисточној Европи (ЕЕА, 2017), даља истраживања треба усмјерити на проучавање пројекција ријечних протицаја за слив ријеке Сане до краја 21. вијека, као и на могућности прилагођавања и ублажавања негативног утицаја климатских промјена.

decreasing trend was evident throughout the year, the most pronounced decrease of discharge was registered in summer. Ranking years based on wateriness found that extremely watery and extremely dry years appeared after 1990, which indicates the increasing variability discharge connected with climate change. The observed changes in discharge are also related to large atmospheric circulation patterns over the northern hemisphere. The significant correlation between the AO and river discharge was registered in all seasons (except in summer). The winter discharge displayed a significant negative correlation with the NAO and the EAWR patterns. The determined decreasing discharge tendency will certainly have many negative social-economic implications. Given that studies on discharge shifts in Europe found that in future there would be a decrease of discharge in South and Southeast Europe (EEA, 2017), future studies should focus on projections of river discharge for the Sana River watershed by the end of 21st century. In addition, further research should focus on possibilities of mitigation and adaptation on negative effects of climate change.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bai, P., Liu, W. & Guo, M. (2014). Impacts of Climate Variability and Human Activities on Decrease in Streamflow in the Qinhe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1–2), 293–301.
- Castino, F., Bookhagen, B. & Strecker, M. R. (2017). Oscillations and Trends of River Discharge in the Southern Central Andes and Linkages with Climate Variability. *Journal of Hydrology*, 555, 108–124.
- Croitoru, A. E. & Minea, I. (2014). The Impact of Climate Changes on Rivers Discharge in Eastern Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3–4), 563–573.
- Čanjevac, I. & Orešić, D. (2015). Contemporary Changes of Mean Annual and Seasonal River Discharges in Croatia. *Hrvatski geografski glasnik*, 77(1), 7–27.
- European Environment Agency [EEA] (2017). *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016: An Indicator-Based Report*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Foster, G. & Rahmstorf, S. (2011). Global Temperature Evolution 1979–2010. *Environmental Research Letters*, 6044022.

- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G. & Visbeck, M. (2003). An Overview of the North Atlantic Oscillation. In J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen & M. Visbeck (eds.), *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact* (1–35). Washington, DC: American Geophysical Union.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2014). *Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. & White, L. L. (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Ionita, M. (2014) The Impact of the East Atlantic/Western Russia Pattern on the Hydroclimatology of Europe From Mid-winter to Late Spring. *Climate*, 2(4), 296–309.
- Krichak, S. O. & Alpert, P. (2005). Decadal Trends in the East Atlantic–West Russia Pattern and Mediterranean Precipitation. *International Journal of Climatology*, 25(2), 183–192.
- Langović, M., Manojlović, S. & Čvorović, Z. (2017). Trends of Mean Annual River Discharges in the Zapadna Morava River Basin. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 97(2), 19–45.
- Li, Z., Huang, G., Wang, X., Han, J. & Fan, Y. (2016). Impacts of Future Climate Change on River Discharge Based on Hydrological Inference: A Case Study of the Grand River Watershed in Ontario, Canada. *Science of the Total Environment*, 548–549, 198–210.
- Majkić, J. K. & Urošev, M. (2014). Trends of Mean Annual and Seasonal Discharges of Rivers in Serbia. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 64(2), 143–160.
- Mihăilă, D. & Briciu, A. E. (2015). Climatic Teleconnections with Influence on Some Rivers from South-Eastern Europe. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 69, 37–62.
- Мустафић, С. (2012). Географски фактори као детерминанте интезитета ерозије на примеру слива Нишаве. Необјављена докторска дисертација. Географски факултет Универзитета у Београду, Београд.
- National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center [NOAA CPC] (2017). Northern Hemisphere Teleconnection Patterns. Retrieved October 15, 2017 from <http://cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontentst.shtml>
- Оцокољић, М. (1994). *Цикличност сушних и водних периода у Србији. Посебна издања, Књига 41*. Београд: Географски институт „Јован Цвијић“, САНУ.
- Pasquini, A. I. & Depetris, P. J. (2007). Discharge Trends and Flow Dynamics of South American Rivers Draining the Southern Atlantic Seaboard: An Overview. *Journal of Hydrology*, 333(2–4), 385–399.
- Radevski, I., Gorin, S., Taleska, M. & Dimitrovska, O. (2018). Natural Regime of Streamflow Trends in Macedonia. *Česká geografická společnost*, 123(1), 1–20.
- Rust, H. W., Richling, A., Bissolli, P. & Ulbrich, U. (2015). Linking Teleconnection Patterns to European Temperature – A Multiple Linear Regression Model. *Meteorologische Zeitschrift*, 24(4), 411–423.
- Szolgayova, E., Parajka, J., Blöschl, G. & Bucher, C. (2014). Long Term Variability of the Danube River Flow and Its Relation to Precipitation and Air Temperature. *Journal of Hydrology*, 519(Part A), 871–880.
- Uлага, F., Kobold, M. & Frantar, P. (2008). Trends of River Discharges in Slovenia. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 4(1), 012030.
- Xu, H. & Luo, Y. (2015). Climate Change and Its Impacts on River Discharge in Two Climate Regions in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(11), 4609–4618.