

**КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ И ВОДНОСТ РЕКА  
- ПРИМЕР КОЛУБАРЕ, БЕЛИ БРОД**

ДРАГАН БУРИЋ<sup>1\*</sup>, ГОРИЦА СТАНОЈЕВИЋ<sup>2</sup>, ЈЕЛЕНА ЛУКОВИЋ<sup>3</sup>,  
ЉИЉАНА ГАВРИЛОВИЋ<sup>3</sup>, НЕНАД ЖИВКОВИЋ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Хидрометеоролошки завод Црне Горе, IV пролетерске 19, Подгорица, Црна Гора

<sup>2</sup>Географски институт "Јован Цвијић" САНУ, Ђуре Јакишића 9, Београд, Србија

<sup>3</sup>Универзитет у Београду - Географски факултет, Студентски трг 3/III, Београд, Србија

**Сажетак:** У раду се анализирају климатске промене и њихов утицај на водност река. Ова проблематика је веома актуелна у свету, мада се у Србији њој није довољно поклањала пажња. У првом делу рада се износе ставови две непомирљиве позиције, оних који протежирају став о утицају људи на појачавање ефекта стаклене баште, и оних који истичу да је то последица природних фактора. Највише пажње се поклања променама температуре и падавина. Сврставање аутора у групу оних који су склонији истицању природних феномена је показано кроз анализу колебања протицаја реке Колубаре на хидролошкој станици Бели Брод.

**Кључне речи:** колебање климе, температура ваздуха, падавине, протицај, Колубара.

### Увод

Међувладин панел за климатске промене (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2001, 2007), заступа становиште да је доминантан узрок пораста температуре ваздуха у другој половини XX и почетком XXI века антропогени фактор, односно пораст атмосферске концентрације CO<sub>2</sub> и других гасова. Према њима пораст температуре ваздуха на планети, могао би интензивира глобални хидролошки циклус, односно повећа количину падавина и протицај река на глобалном нивоу. Са друге стране, поједини аутори износе аргументе у корист доминације природних фактора у колебању температуре ваздуха, количине падавина и протицаја река.

У извештају IPCC посвећеном регионалном аспекту климатских колебања<sup>1</sup> се каже да „И поред тога што постоје извесне регионалне разлике, у целини гледано, низови годишњих количина падавина у Европи не показују никакав значајан тренд, посебно након 1950. године”. Дакле, по IPCC у Европи није било статистички значајног тренда падавина. У истом документу се даље каже да ће у неким регионима Европе доћи до смањења протицаја (Мађарска, Грчка), а у другим до повећања (Британија, Финска, Украјина), услед антропогеног ефекта стаклене баште.

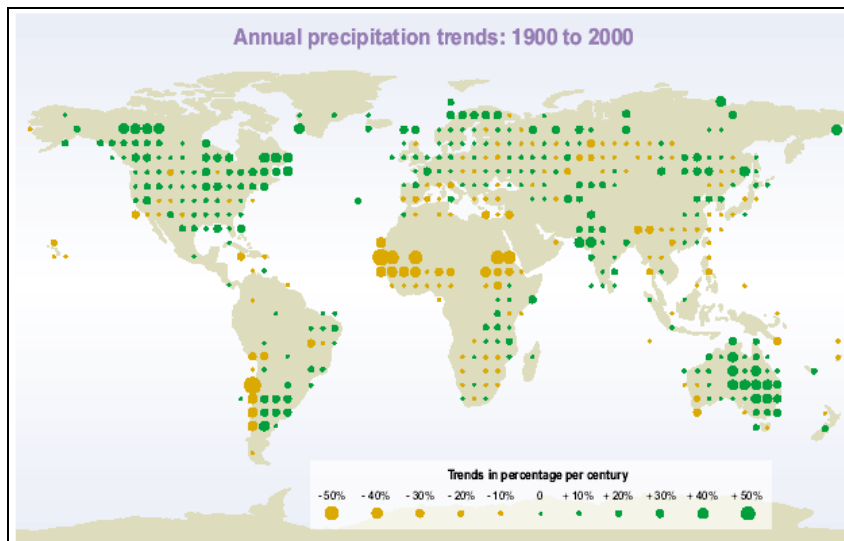
---

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

Рад представља

<sup>1</sup><http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/097.htm>

Слика 1 показује да у региону Јужне Европе годишње суме падавина током XX века имају трендове оба знака. Ипак, у већем делу Медитерана годишње суме падавина су на крају века мање него почетком 1900-их година. У истом периоду, годишње суме падавина на простору Балканског полуострва показују благи тренд раста, генерално.



Слика 1. Тренд годишњих сума падавина у 20. веку у процентима нормале за 100 година (%Н/100г) (IPCC, 2001)

За Србије у, предвиђа се смањење падавина за 1% по декади, док се најизразитији пад очекује у топлијој половини године - око 22% крајем овог века.

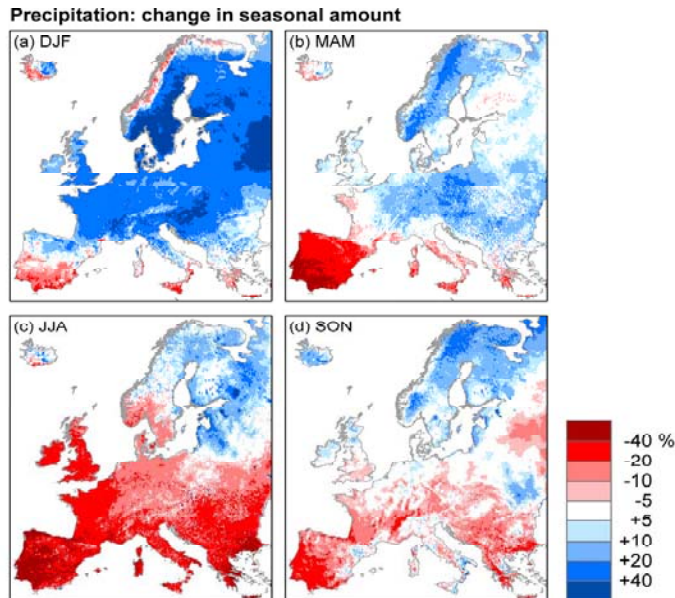
Дакле, уколико се обистине пројекције повећања гасова у атмосфери, модели IPCC предвиђају знатно топлију климу, нарочито током летњих месеци, као и мању количину падавина у Јужној Европи. Општа оцена је да ће регион Јужне Европе бити погођен високим температурама и сушама, те ће нето ефекти бити углавном негативнији са растом интензитета климатских промена.

Моделирање промене количине падавина је знатно комплексније у односу на температуру. Ипак, модели IPCC предвиђају пораст зимских сума падавина на простору Европе у целини, у просеку за око 21%. Међутим, у појединим деловима Јужне Европе се и зими може очекивати смањење падавина. Лети се очекује смањење количине падавина у већем делу Европе, за цео континент око 11%, а у области Јужне Европе око 22% до краја века, слика 2.

Многи научници се не слажу са оваквим ставовима IPCC-а. Полазећи од ставова да су поплаве данас без преседана услед глобалног загревања, Pielke (1999) каже да су медији склони да сваки екстремни временски догађај повежу са растом глобалне температуре. У истом раду аутор истиче да је ”заправо немогуће приписати многе временске догађаје глобалном загревању”. У прилог таквој тврдњи, наводи бројне неклиматске факторе који могу утицати на поплаве у будућности.

Labat и др. (Labat et al., 2004) доводе у везу хидролошки циклус и глобално отопљавање. Они уочавају да је опадање температуре у периоду 1875-1925. повезано са смањењем глобалног протицаја (протицај главних светских река). Ова тенденција је

супротна у периоду 1925-1994. година. Аутори закључују да глобални протицај расте око 4% при расту глобалне температуре од 1<sup>0</sup>С. Дакле, њихова истраживања указују на глобално повећање падавина, тврдећи да њихов рад „доказује везу између глобалног загревања и интензификације глобалног хидролошког циклуса”.



Слика 2. Сезонске промене количине падавина у Европи до краја века (у % нормале 1961-1990): (a) зима; (b) пролеће; (c) лето; (d) јесен ([http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eussoils\\_docs/other/EUR\\_23291.pdf](http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eussoils_docs/other/EUR_23291.pdf))

Са друге стране, Legates и др. (Legates et al., 2005) критикују рад Лабата и сарадника, тврдећи да се њихови закључци базирају на подацима који садрже бројне грешке, неоправдане редукције, односно интерполације и екстраполације, некоректне прорачуне и друге грешке у квалитету података. Аутори такође сматрају да чак и да се претпостави да су подаци тачни и прорачуни коректни, закључци Лабата и сардника не могу објаснити везу за период пре 1925. године, односно да нису обезбедили довољно доказа за изнете тврдње.

Huntington (Huntington, 2006) полази од констатације да постоји „теоријско очекивање да ће отопљење резултирати повећањем евапорације и падавина, што ће довести до хипотезе да ће једна од главних последица бити интензификација (убрзање-појачање) воденог циклуса”. Његова истраживања показују да су падавине изнад копна порасле у периоду 1900-1998. за око 2%, да је протицај „главних светских река” порастао за око 3% у периоду 1910-1975. година и да су поновне анализе трендова „потврдиле повећање у светском континенталном протицају током XX века”. Аутор даље истиче да претходно изнето сугерише да глобално загревање заиста може појачати хидролошки циклус. Међутим, он наводи да нема емпиријских доказа повећања у учесталости или интензитету тропских олуја и поплава. Што се тиче суша, он каже „истраживања указују да је влажност земљишта лети повећана током последњих неколико декада у скоро свим пределима”. На крају закључује да је интензификација хидролошког циклуса током XX века била слаба и да може, али и не

мора бити узрокована глобалним загревањем, додајући и то да „овде (тропске ширине) изгледа нема интензификације опасних временских догађаја”.

По нашем мишљењу, у погледу тумачења трендова промена количине падавина и протицаја река треба бити крајње опрезан. Тим пре што постоје велика мимоилажења модела у погледу процене да ли се у променама ова два параметра може регистровати антропогени утицај. То и IPCC признаје. Говорећи о могућим будућим променама количине падавина, у документу IPCC се каже да, за разлику од температуре ваздуха чији се раст очекује у целој Европи, промене падавина су сложеније. Да треба бити опрезан у погледу тумачења трендова промена количине падавина и протицаја, и то баш за наше области и окружење, говори и чињеница да се по проценама IPCC и Европске агенције за заштиту животне средине, подручје Панонског басена означава као прелазна зона између виших ширина, где се очекује повећање падавина и нижих (Јужна Европа), гдје се очекује редукција падавина, нарочито у топлијем делу године.

### Могући узроци колебања протицаја Колубаре

На међугодишње промене протицаја највећи утицај имају падавине, али и температура ваздуха, преко испаравања. На основу претходно изнетог, покушали смо да утврдимо да ли између колебања падавина, температуре ваздуха и протицаја на делу слива Колубаре и показатеља промена појединих природних и антропогених фактора, на годишњем нивоу, постоје неке везе. Квантификовање повезаности између ова три параметра и показатеља антропогених и природних фактора, урађено је помоћу корелационе анализе (перфектна позитивна корелација има вредност +1, негативна -1, а вредности између означавају корелацију која није савршена). Значајност везе је испитана помоћу Пирсоновог теста. При томе, треба истаћи да је мерена корелација између две променљиве (x и y), којом се формално не потврђује узрочно-последични однос.

За испитивање везе коришћени су показатељи антропогеног ефекта стаклене баште, као и могући утицаји спољашњих (промене Сунчеве активности) и унутрашњих (ENSO, NAO, AVO) природних фактора, који су непрекидно присутни (табела 1). О поменутих факторима и њиховом утицају на климу је писано у радовима неколико аутора: Ђурић М. (1998), Дуцић В., Радовоновић М. (2005), Тодоровић Н. и др. (2006), Луковић Ј. (2008), Дуцић В., Станојевић Г. (2010), Бурић Д. и др. (2011). Овом приликом ћемо изнети само резултате испитивања везе, без детаљније анализе поменутих фактора<sup>2</sup>.

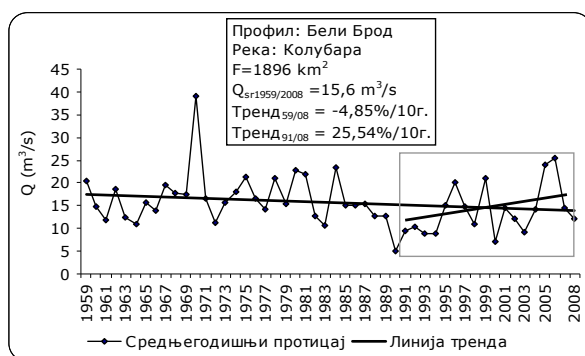
Табела 1. Списак коришћених варијабли

Назив варијабле	Извор	Број елем.
Сунчеве пеге (Sunspot Number)	<a href="ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/YEARLY">ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/YEARLY</a>	n=50
Ел Нињо јужна осцилација (SST-ENSO)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino4/">http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino4/</a>	n=50
Северноатлантска осцилација (NAO)	<a href="http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm">http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm</a>	n=50
Атлантска вишедеценијаска осцилација (AMO)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/AMO/">http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/AMO/</a>	n=50
Угљен-диоксид (CO <sub>2</sub> )	<a href="http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html">http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html</a>	n=50

<sup>2</sup> Подаци о температури ваздуха и количини падавина су са метеоролошке станице у Ваљевоу, па добијене резултате за та два елемента треба прихватити са резервом, јер не представљају просек за цео проучавани део слива.

Вредности коефицијента корелације показују јачу везу средњегодишњег протицаја са средњеднегодишњом температуром ваздуха ( $R = -0,50$ ), него са годишњим сумама падавина ( $+0,45$ ), за период 1959-2008. година. Без обзира на већу вредност коефицијента корелације између протицаја и температуре, треба подсетити да су падавине најважнији климатски елемент, чије се деловање на режим река испољава преко годишње количине, плувиометријског режима, интензитета и њиховог облика. Уосталом, да нема довољне количине падавина у сливу, која премашује висину испаравања, не би било ни воде у кориту Колубаре. Веза протицаја са ова два климатска елемента је статистички значајна на свим нивоима вероватноће ризика прихватања хипотезе, што потврђује тезу Војејкова да су „реке производ климата” (Дукић Д., Гавриловић Љ., 2006). Корелација између температуре и протицаја је инверзна, што је и логично – са растом температуре повећава се испаравање па мања количина отиче у корито реке. Са друге стране, веза протицаја и падавина је директна, и то је, такође, логично.

У периоду 1959-2008. година, у Ваљеву је средња годишња температура ваздуха имала статистички значајну тенденцију пораста, од  $0,23^{\circ}\text{C}/\text{декади}$ , док су се годишње суме падавина безначајно смањиле по линији тренда,  $-2,77 \text{ mm}/\text{декади}$ . Раст температуре и смањење падавина је, строго математички посматрано, у посматраном 50-годишњем периоду узроковало смањење средњегодишњег протицаја Колубаре поред Белог Брода ( $-0,76 \text{ m}^3/\text{s}$ ), под условом да није било промена у сливу (регулација реке, изградња насипа и акумулација, уређења бујичних притока, неконтролисана сече шума и сл.). Статистички значајна вредност тренда температуре и већа корелација са протицајем, имплицира да је на тренд смањења годишњег протицаја више утицала температура ваздуха него падавине. Ако је то тачно, поставља се питање зашто се не уочава значајност у промени протицаја? Зато претходно изнетог упућује на закључак да су ипак падавине имале кључни утицај на протицај Колубаре поред Белог Брода – незнатан пад годишњих сума падавина, незнатан пад средњегодишњих протицаја. Потврда томе је последњи 18-годишњи период. У периоду 1991-2008. година, тренд пораста средњегодишње температуре је скоро три пута већи него у целом периоду ( $0,64^{\circ}\text{C}/\text{декади}$ ). Отопљавање би требало да повећа евапотраспирацију, а она да смањи протицај. Међутим, то се не дешава, напротив (слика 3). У овом периоду средњегодишњи протицај расте по линији тренда ( $4,0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{декади}$ ), а то је последица раста годишњих сума падавина ( $18,5 \text{ mm}/\text{декади}$ ). Дакле, ове чињенице не указују на последице отопљавања и потврђују да је протицај првасходно под утицајем падавина, односно природних фактора.



Слика 3. Тренд средњегодишњег протицаја реке Колубаре код Белог Брода у периоду 1959-2008. и 1991-2008 година

Анализа утицаја разматраних природних и антропогених фактора на три поменута параметра у проучаваном делу слива Колубаре (протицај, падавине, температура), показала је да, иако се ради о просторно удаљеним појавама, постоје јаче или слабије везе, посебно када су у питању међугодишња колебања. При томе, од анализираних фактора најбоље везе су добијене између колебања температуре, са једне и Атланске вишедеценијске осцилације (AVO) и концентрације угљен-диоксида, са друге стране. Корелација између температуре и AVO индекса (показатељ Атлантске вишедеценијске осцилације) је статистички значајна на 95%, а између температуре и CO<sub>2</sub> на 99% нивоу поверења. Од осталих фактора, нешто бољу везу показује NAO и SST-ENSO индекс (показатељи Северноатлантске осцилације и Ел Нињо јужне осцилације), и то са сва три параметра, док је веза са бројем Сучевих пега (Sunspot Number) слабија. У години најмањег средњегодишњег протицаја Колубаре поред Белог Брода (1990, 4,9 m<sup>3</sup>/s), NAO индекс је највећу вредност у последњих 60 година, што несумљиво указује да постоји одређена веза.

Често се, ради пречишћавања веза између варијабли од различитих небитних утицаја, у оваквим истраживањима прибегава сједињавању података (просторном и временском). У конкретном случају, рачунате су 10-годишње покретне вредности и резултати прорачуна корелације презентовани у табели 2. Рачунајући корелацију на овај начин, са SST-ENSO и AVO индексом добијена је значајна веза и то за сва три параметра. За падавине и протицај добијен је значајан сигнал и са NAO индексом. Висока вредност коефицијента корелације добијена је и између CO<sub>2</sub> са једне и температуре и протицаја са друге стране.

**Табела 2. Матрица корелација између протицаја (Q), падавина (X<sub>o</sub>) и температуре ваздуха (T) са показатељима природних и антропогених фактора на годишњем и покретном 10-годишњем нивоу, слив Колубаре до профила Бели Брод (1959-2008)**

Годишње вредности					
Параметар	Sunspot Number	SST-ENSO индекс	NAO индекс	AVO индекс	CO <sub>2</sub> (ppm)
Q	0.00	-0.19	-0.20	-0.01	-0.19
T	0.14	-0.03	0.24	0.34	0.50
X <sub>o</sub>	-0.06	0.01	-0.25	-0.08	-0.05
Покретне 10-годишње вредности					
Параметар	Sunspot Number	SST-ENSO индекс	NAO индекс	AVO индекс	CO <sub>2</sub> (ppm)
Q	-0.21	-0.83	-0.48	-0.51	-0.70
T	-0.11	0.69	0.10	0.77	0.84
X <sub>o</sub>	-0.06	-0.69	-0.33	-0.45	-0.28
	Статистичка значајност на нивоу ризика прихватања хипотезе $\alpha = 0,05$ .				
	Статистичка значајност на нивоу ризика прихватања хипотезе $\alpha = 0,01$ .				

Dery and Wood (Dery and Wood, 2005) су прочавали варијабилност протицаја 64 реке у Северној Канади у периоду 1964-2003. година. Аутори су утврдили да постоји смањење протицаја, у просеку око 10%. За исти период су добили да се и количина падавина смањила готово идентично. Дакле, аутори сматрају да су промене протицаја река, на посматраном простору, превасходно у вези са падавинама, а не са евапотранспирацијом. Испитујући могуће узроке смањења падавина и протицаја, аутори су статистички значајну везу добили са Арктичком осцилацијом (AO), ENSO и Пацифичком декадном осцилацијом (PDO). На крају закључују да ништа не указује на последице глобалног загревања и да су трендови узроковани варијацијама природних фактора.

Испитивањем могућег утицаја Ел Ниња на промене температуре ваздуха и падавина у Србији, бавили су се Ђурић М. (1988), Дуцић В. и Луковић Ј. (2005), Луковић Ј. (2008) и други. Дуцић В. и Луковић Ј. (2005) користе декадне податке за глобални SST-ENSO индекс и годишње суме падавина за период 1951-2000. година. Аутори истичу да јасна антифазна синхроност између ових појава, подударање периодичности, сигнификантни коефицијент корелације и вредност коефицијента детерминације (81%), несумљиво указују да постоји веза између ENSO и промене количине падавина у Србији. Даље истичу да „механизам те везе би вероватно требало тражити у општој атмосферској циркулацији”, и закључују да се „промене количине падавина у другој половини XX века у нашим крајевима могу у великој мери објаснити посредним утицајем ENSO”.

Дуцић В. и др. (Ducic et al., 2007) су испитивали могућу везу и између NAO и падавина у Србији. Применом кластер анализе, аутори су добили статистички значајне вредности корелације за поједине станице, као и за Србију у целини између падавина и ENSO, односно NAO. У истом раду се даље каже да би се висока вредност R могла објаснити могућим индиректним механизмом утицаја ENSO на NAO индекс. На крају закључују да се „утицаји NAO могу приметити на станицама са континенталним плувиометријским режимом, док се утицај ENSO може приметити на станицама са медитеранским, односно прелазним медитеранским режимом, што је делом и показано током истраживања”.

Cluis and Laberge (Cluis and Laberge, 2001) су истраживали да ли је било интензификације глобалног хидролошког циклуса услед глобалног загревања. Анализирали су протицај 78 река широм Азијско-пацифичког региона у периоду 1935±5. до 1998±1 година. Аутори истичу да је средњегодишњи протицај река био непромењен у 67% случајева. Такође су утврдили да је у највећем броју случајева максимални и минимални протицај непромењен у посматраном периоду. На крају закључују да су промене протицаја у супротности са резултатима IPCC-а. Резултати истраживања и других аутора указују да се последњих деценија не дешава ништа драматично, односно да су у питању цикличне промене.

На основу претходно изнетог, може се закључити да се ни један елемент природе не може посматрати изоловано од других, нити је исправно његове потенцијалне промене и колебања разматрати на основу утицаја само једног фактора. У сваком случају, досадашњи резултати јасно показују да су потребна даља истраживања у вези евентуалних промена данашње климе и протицаја река и детаљнија анализа већег броја параметара. Основни циљ овог рада је да се, пре свега, укаже на сложеност природног система, односно да на промене и колебања протицаја, падавина, температуре ваздуха и друге хидрометеоролошке елементе утичу бројни фактори. Другим речима, погрешно је стављати акценат на искључиву и постојану доминацију једног фактора, јер је очигледно да се ради о интеракцијском деловању више утицаја, што је у овом раду делимично и показано.

## **Закључак**

Треба истаћи да се резултати овог рада, као и истраживања других аутора, не уклапају у концепт IPCC који се базира на доминацији антропогеног ефекта стакле баште и аридизације наших предела, генерално. Тим пре што у последњем 18-годишњем анализираном периоду (1991-2008) годишње суме падавина на посматраном делу слива Колубаре, као и вредности протицаја ове реке, расту по линији тренда. Шта ће се дешавати са временом и протицајем река у будућности, да ли ће сушни или влажни временски услови бити учесталији и интензивнији, по нашем мишљењу то нико поуздано не може рећи. Сматрамо, такође, да су нека тумачења

глобалног отопљавања и његових последица од стране IPCC предимензионирана, односно да је утицај људских активности на хидрометеоролошке елементе прецењен. У разматрању узрока евентуалних промена данашње климе и протицаја река, неопходно је разумевање и разматрање природних процеса, пре свега појава у систему океан-атмосфера, односно промена атмосферске циркулације и Сунчеве активности.

## Литература

- Бурић, Д., Дуцић, В., Луковић, Ј. (2011). *Колебање климе у Црној Гори у другој половини XX и почетком XXI вијека*. Подгорица: Црногорска академија наука и умјетности.
- Budiko, M.I., Borzenkova, I.I., Menzulin, G.V. (1992). *Предстоящие изменения регионального климата*. Москва: Известия АН, серия географическая, 4, Наука.
- Вукадиновић, С. (1981). *Елементи теорије вероватноће и математичка статистика*. Београд: Привредни преглед.
- Dery, S. J., and E. F. Wood (2005). *Decreasing river discharge in northern Canada*. Geophysical Research Letters, 32, L10401, doi:10.1029/2005GL022845.
- Дукић, Д., Гавриловић, Јб. (2006). *Хидрологија*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Дукић, Д., Гавриловић, Јб. (1994). Водни биланс СР Југославије. *Гласник Српског географског друштва*, 74 (1), стр. 47-64.
- Ducic, V., Milovanovic, B., Lukovic, J. (2006). Connection between ENSO Index, NAO Index and decadal-scale variability of precipitation in Serbia, *Collection of the papers from International Scientific Conference*, Faculty of Geology and Geography, St Kliment Ohridski, University of Sophia, p. 137-143.
- Дуцић, В., Николић, Ј., Драгићевић, С. (2006). Промене параметара протицаја Дунава код хидролошке станице Оршава у периоду 1841-2000. *Гласник Српског географског друштва*, 85 (1), стр. 35-46.
- Дуцић, В., Луковић, Ј. (2009). Колебање протицаја Нишаве у склопу глобалних климатских промена. *Гласник Српског географског друштва*, 89 (4), стр. 255-266.
- Дуцић, В., Луковић, Ј., 2005: Могуће везе између Ел Нињо јужне осцилације и промене количине падавина у Србији. Београд: *Зборник радова Географског факултета*, свеска LIII.
- Дуцић, В., Радовановић, М. (2005). *Клима Србије*: Београд: Завод за уџбенике.
- Дуцић, В., Станојевић, Г. (2010). Утицај Сунчевог ветра на атмосферску циркулацију на примеру Хес-Брезовски класификацију. Београдска школа метеорологије. Београд: Библиотека – Научна истраживања, стр. 301-315.
- Zubakov, A. (1986). *Глобалные климатические события плейстоцена*. Ленинград: Гидрометеиздат.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *The Science of Climate Change: Summary for Policymakers*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Labat, D., Godderis, Y., Probst, J., Guyot, J (2004). Evidence for global runoff related to climate warming; *Advances in Water Resources*, vol. 27.
- Legates, D., Lins, H., McCabe, G. (2005). Comments on "Evidence for global runoff increase related to climate warming" by Labat et al.; *Advances in Water Resources*, vol. 28.
- Луковић, Ј., 2008: Промене температуре ваздуха у Србији у периоду сателитских осматрања у склопу глобалних климатских промена. Магистарски рад, Београд. Географски факултет.
- Поповић, Т. и Јовановић, О. (1994). Процена климатских промена на подручју СР Југославије до 2020. године. *II. саветовање хидрауличара и хидролога, ЈДХИ и ЈДХ*. Београд: Савезни хидрометеоролошки завод.
- Тодоровић Н., Вујовић Д., Радовановић М. (2006). Сунчева активност – време и клима на Земљи, *Зборник радова Географског факултета*, свеска LIV, Београд, стр. 25-36.
- Ђурић М. (1998). Анализа трендова низова падавина и температуре у нашој земљи у односу на Ел Нињо периоде. Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије.
- Huntington, T. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle, Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, vol. 319.
- Cluis, D., Laberge, C. (2001). Climate change and trend detection in selected rivers within the Asia-Pacific region; *Water International* 26.



## CLIMATE CHANGE AND RIVER DISCHARGE: CASE STUDY KOLUBARA RIVER, BELI BROD HYDROLOGICAL GAUGE

DRAGAN BURIĆ<sup>1</sup>, GORICA STANOJEVIĆ<sup>2</sup>, JELENA LUKOVIĆ<sup>3</sup>  
LJILJANA GAVRILOVIĆ<sup>3</sup>, NENAD ŽIVKOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Hydrometeorological Service of Montenegro, IV proleterske 19, Podgorica, Montenegro*

<sup>2</sup>*Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA, Djure Jaksica 9, Belgrade, Serbia*

<sup>3</sup>*University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** This paper analyzes climate change and its impact on river discharge. This issue is very well studied worldwide, but in Serbia so far has been poorly studied. The first part of the paper presents the views of two different opinions, those who favored anthropogenic impact on the increasing greenhouse effect, and those who say that this is due to natural factors. Most attention is paid to changes in temperature and precipitation patterns. Classification by the group of those who favor the promotion of natural phenomena is demonstrated through the analysis of river flow fluctuations in the hydrological gauge Beli brod located on Kolubara River.

**Key words:** climate change, temperature, precipitation, discharge, Kolubara River

### Introduction

Two contrasting opinions prevail in scientific community regarding the cause of enhanced greenhouse effect. According to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001, 2007) temperature increased in second half of the XX and the beginning of XXI century due to human factors, mostly. At the other side, there are scientists who prefer natural factors to be responsible for change in temperature and precipitation patterns.

Regarding European regional differences in IPCC (2007) reports is stated that regions at high latitudes (over 50°N) have experienced upward trend in snowfall which may cause annual discharge to increase. There is also noted tendency for inverse variations between northern Europe and the Mediterranean. Southern Europe and parts of central Europe are characterized by drier conditions, while the reverse is over British Isles and Fennoscandia.

Figure 1 shows both positive and negative trends in annual amount of rainfall during the twentieth century in southern Europe. However, in most parts of the Mediterranean basin the annual precipitation sum at the end of the XX century is less than in the early 1900's. In the same period, the annual precipitation in the area of the Balkan Peninsula shows a slight upward trend in general.

**Figure 1** Trend of the annual sum of precipitation throughout the XX century as a percentage normal in 100 years (%N/100g) (IPCC, 2001)

According to IPCC projections for the region of Serbia is predicted a decrease of rainfall of 1% per decade. In general in Mediterranean area decrease in winter and spring rainfall is expected as well as increase in autumn sums (Fig. 2). However, there are spatial differences between western and eastern Mediterranean parts as well as sub regional differences.

Therefore, described projections imply drier conditions, especially during the summer months, and a small amount of rainfall in Southern Europe in general. This may further lead to increased risk of droughts and serious implications upon the environmental and social processes.

**Figure 2.** Seasonal changes in rainfall in Europe until the end of the XX century (% of normal 1961-1990): (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn ([http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eusoiils\\_docs/other/EUR\\_23291.pdf](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoiils_docs/other/EUR_23291.pdf))

Many scientists disagree with these views the IPCC. Starting from the premise that floods may be caused by global warming, Pielke (1999) says that the media are prone to extreme weather every event connect with the rise in global temperatures. In the same article the author points out that "in fact impossible to be attributed to many weather events to global warming". In support of such a statement, he cites a number of non-climate factors that may affect flooding in the future.

Labat et al. (2004) linked the hydrologic cycle and global warming. Their analysis covered the period 1875-1994. The authors observed that the decrease of temperature in the period 1875-1925 is associated with the reduction of global river flow (discharge of major rivers of the world). This trend is opposite for the period 1925-1994. The authors conclude that the global flow is growing about 4% rise in global temperature of 10°C. Thus, their research suggests a global increase in precipitation, claiming their work proves a link between global warming and the intensification of the global hydrological cycle".

However, Legates et al. (2005) criticize the work Labat et al. (2004) claiming that their conclusions are based on data that contain numerical errors, incorrect calculations, and other errors in the data quality. The authors also argue that even if data quality is proved Labat et al. (2004) did not support enough evidences for their conclusions on relationship between hydrological and meteorological.

Huntington (2006) based on the fact that there is the theoretical expectation that warming will result in increased evaporation and precipitation, leads to the hypothesis that one of the main result will be the intensification of the water cycle. His research shows that the precipitation over land increased during the period 1900-1998 about 2%, the flow the world's major rivers increased by about 3% in the period 1910-1975 and that the re-analysis of trends, confirmed the increase in world continental discharge during the XX century. The author further points out that the previously outlined suggests that global warming could actually boost the hydrological cycle. However, he cites no empirical evidence on increases in frequency or intensity of tropical storms and floods. As for the drought, his research shows that soil moisture in summer increased over the last few decades in almost all areas. At the end concluded that the intensification of the hydrologic cycle during the XX was weak and that may or may not be caused by global warming, and adding that in tropical latitude it seems there is no intensification of dangerous weather events.

In our opinion, the interpretation of precipitation trends and river discharge should be extremely cautious. Speaking about possible future changes in rainfall, the IPCC (2007) document states that, unlike the air temperature which is expected to grow throughout Europe, precipitation changes show higher variability. We should be cautious in the interpretation of trends and changes in rainfall discharge, especially for the area of Serbia which is frontier between Mediterranean influences and inland.

### **Possible causes in discharge fluctuation of river Kolubara**

The biggest impact on interannual discharge fluctuation has precipitation, but also temperature, over evaporation. Based on the foregoing, we tried to determine whether there are connections between the fluctuations in precipitation, temperature and discharge in the studied part of Kolubara basin, and the changes in some parameters of natural and anthropogenic factors, using annual values. Quantifying the relation between these three parameters and indicators of anthropogenic and natural factors, was done using correlation analysis (perfect positive correlation has a value of +1, perfect negative is -1, and the values between these numbers indicate that correlation is not perfect). Statistical significance of correlation coefficient tested using Student's t-test. It should be noted that measured correlation between two variables (x and y), not cause-effect relationship.

To test the connection used indicators of anthropogenic greenhouse gases, as well as possible external influences (changes in solar activity) and internal natural factors (ENSO, NAO, AMO) which are continuously present (Table 1). Several authors have investigated the above mentioned factors and their impact on climate (Ćurčić, M., 1998; Radovonović, M., 2005; Todorović, N. et al. 2006; Luković, J., 2008; Ducić, V., Stanojević, G., 2010; Burić, D. et al., 2011). In this research we present only the results from the test without detailed analysis of these factors<sup>3</sup>.

#### **Table 1. List variables used in research.**

The values of correlation coefficients show a stronger relationship of mean annual discharge with mean annual temperature ( $R = -0.50$ ) than with annual precipitation sum ( $R = +0.45$ ), for the period 1959-2008. Regardless the higher coefficient between the discharge and temperature, it should

---

<sup>3</sup> Air temperature and precipitation data are from the meteorological station Valjevo, and the results of analysis with these two elements should be taken with reserve because they do not represent the average for the whole studied area.

be recall that annual precipitation amount and pluviometric regime are the most important factors for river regime. Besides, if no sufficient rainfall in the basin, which exceeds the amount of evaporation, there would be no water in the bed of Kolubara. The connection of the discharge with these two climatic elements is statistically significant at all risk levels of accepting hypothesis, which confirms Vojejkov's thesis: "rivers are the product of climates" (Dukić, D., Gavrilović, Lj., 2006). There is inverse correlation between temperature and discharge, what is logical – if temperature increases, evaporation also increases and small amount of water runoff into the river bed. On the other hand, between discharge and precipitation is direct relation, and it is also logical.

In the period 1959-2008, the mean annual air temperature in station Valjevo had a statistically significant positive trend in rate of 0.230°C/decade, and annual precipitation sum decreased by an insignificant trend, -2.77 mm/decade. From strictly mathematical point of view, the rise of temperature and reducing in precipitation for observed 50-years period caused a reduction in mean annual discharge of Kolubara according to the data from station Beli Brod (-0.76 m<sup>3</sup>/s), provided that no changes in the watershed (river regulation, construction of embankments and reservoirs, regulation of torrents, uncontrolled deforestation etc.).

Statistically significant temperature trend and higher correlation with discharge, implying that the trend of annual discharge is more under temperature influence than precipitation. If this is true, the question is why no significant changes in the discharge? If remember previous conclusions this means that precipitation (not temperature) had a major impact- a slight decrease in annual precipitation sum, a slight decrease mean annual discharge.

This is confirmed by the latest 18-years period. In the period 1991-2008, increasing annual temperature trend is almost three times higher than in the whole period (0.64°C/decade). Warming should increase evaporation, and reduce discharge. However, this did not happen, on the contrary (Figure 3). During this period mean annual discharge increased at a trend line (4.0 m<sup>3</sup>/s/decade), and this is due increased precipitation (18.5 mm/decade). Therefore, these facts do not indicate the warming consequences and confirm that the discharge is under influence of precipitation or natural factors.

**Figure 3. Trend of mean annual discharge of river Kolubara, station Beli Brod, periods 1949-2008 and 1991-2008**

The impact analysis of considered natural and anthropogenic factors on the three parameters in the studied area of Kolubara basin (discharge, precipitation, temperature), showed that, although they are spatially distant phenomena, they are stronger or weaker related, especially in relation to interannual fluctuations. In addition, the best correlations were obtained between the temperature fluctuations and Atlantic Multidecadal Oscillation, and between temperature and concentration of carbon dioxide. Correlation between temperature and AMO index is statistically significant at 95% confidence level, and between temperature and CO<sub>2</sub> at 99% confidence level. From other factors, a slightly better correlation is for NAO and SST-ENSO index (indicators of the North Atlantic oscillation and El Niño Southern Oscillation) with all three parameters, while the relationship with the number Sunspot number is weaker. In the year of lowest annual discharge of river Kolubara, station Beli Brod (1990, 4.9 m<sup>3</sup>/s), the NAO index had the highest value in the last 60 years, which undoubtedly indicates that there is connection.

In order to refine data from different influences, we calculated 10-years moving averages. The results of correlation analysis with these data are shown in table 2. Calculating the correlation in this way, for the SST-ENSO index and the AMO were obtained statistically significant coefficients for all three parameters. In the case of precipitation and discharge, significant signals were obtained with the NAO index. The high values of the correlation coefficients were obtained between CO<sub>2</sub> and temperature and discharge.

**Table 2. Correlation coefficient matrix between discharge (Q), precipitation (X<sub>o</sub>) and air temperature (T) with indicators of natural and anthropogenic factors for annual values and 10-year moving averages, basin Kolubara, profile Beli Brod (1959-2008)**

Dery, S. J., Wood, E. F. (2005) studied the discharge variability for 64 rivers in northern part of Canada in the period 1964-2003. Authors found that there is decrease in discharge, 10% in average. For the same period precipitation are reduced almost identical. Therefore, the authors believe that the changes in discharge on the monitored area are primarily connected with precipitation, and not

evaporation. Examining the possible causes of reduced precipitation and river discharge, authors found statistically significant correlation with the Arctic oscillation (AO), ENSO and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). They concluded that nothing indicates to the consequences of global warming and trends are caused by variations in natural factors.

The possible impact of El Nino on temperature and precipitation variability in Serbia is an object many studies (Ćurčić, M., 1988; Ducić, V., Luković, J., 2005; Luković, J. et al., 2008). Ducić, V., Luković, J. (2005) used decadal data for global SST-ENSO index and the annual precipitation sum in period 1951-2000. The authors point out that is clear antiphase synchronicity between these phenomena, matching periodicities, significant correlation coefficient and coefficient of determination (81%), undoubtedly show that there is a connection between ENSO and precipitation changes in Serbia. Also, they emphasized that "the link mechanism should probably looking in the general atmospheric circulation", and concluded that „precipitation changes in the second half of the twentieth century in our region can be largely explained by indirect influence of ENSO".

Ducić, V. et al. (2007) researched the possible link between the NAO and precipitation in Serbia. Using cluster analysis, the authors obtained statistically significant correlation values for precipitation on individual stations, as well as for Serbia as a whole and ENSO and NAO indices. In the same paper they said that the high value of R could be explained by possible indirect mechanism of ENSO impact on the NAO index. Finally, they concluded "the NAO influences could be observed at stations with continental pluviometric regime, while the ENSO influences could be observed at stations with mediterranean and transitional-mediterranean regime, what is especially shown in the study".

Cluis, D., Laberge, C. (2001) investigated whether there was intensification of the global hydrological cycle due to global warming. They analyzed discharge for 78 rivers across the Asia-Pacific region in the period 1935±5 to 1998±1 year. They suggest that the mean annual discharge was unchanged in 67% of cases. They also found that in most cases the maximum and minimum discharge remained unchanged in analyzed period. At the end, they concluded that the discharges changes are different from the IPCC reports. The results from other studies also suggest that in recent decades nothing dramatic happened, and there are the cyclic changes.

Based on the foregoing, it can be concluded that no element in the nature could be analyzed in isolation from others, and its potential changes and fluctuations are not under effect of a single factor. In any case, the previous results clearly indicate that is necessary the further researches with more parameters about possible changes of today's climate and river discharge. The main objective of this paper is to primarily highlight the complexity of natural systems, and that the changes and fluctuations in discharge, precipitation, temperature and other hydro-meteorological elements are influenced by numerous factors. In other words, it is wrong to place the emphasis on exclusive and sustained dominance of one factor, and there are interaction activities of several effects, as in this paper partially shown.

### **Conclusion**

It should be noted that the results of this study, as well as results of other authors, are not in agreement with IPCC concept which is based on the dominance of the anthropogenic greenhouse effect, and drier conditions in our area generally. In addition, for the last 18-years of analyzed period (1991-2008), annual precipitation for the studied part of Kolubara basin and the values of discharge, have increasing trend. What will happen with climate and river discharge in the future, whether dry or wet weather conditions become more common and more intense, in our opinion no one can say with absolute certainty. We also consider that some interpretations of global warming and its consequences are overestimated in IPCC reports, as the impact of human activities on hydro-meteorological elements. In researching possible causes of climate change, and river discharge, it is necessary to understand and consider natural processes, first of all processes in the ocean-atmosphere system, as changes in atmospheric circulation and solar activity.

### **Reference**

See references on page 130