

Оригинални научни рад

УДК: 911.2:551.58(497.16)

ИНДЕКСИ ТЕМПЕРАТУРНИХ И ПАДАВИНСКИХ ЕКСТРЕМА У ПОДГОРИЦИ У ПЕРИОДУ 1951-2008.

Драган Бурић¹

*Хидрометеоролошки завод Црне Горе, Подгорица.

Примљено 7 марта 2011; рецензирано 27 марта 2011; прихваћено 20 априла 2011

Абстракт: Светска метеоролошка организација је дефинисала низ индекса и предложила својим чланицама да их користе у истраживању климатских промена, односно у истраживању промена екстрема температуре ваздуха, количине падавина и других метеоролошких параметара. На већем делу територије Црне Горе годишње вредности температуре ваздуха и количине падавина показују статистички значајан тренд пораста, односно незнатну аридизацију у другој половини XX и почетком XXI века. У Подгорици, у периоду од 1951. до 2008. године тренд средње годишње температуре и годишњих сума падавина износи $0,155^{\circ}\text{C}$ (1,0%), односно $-4,2\text{ mm}$ (-0,3%) по декади. Циљ истраживања овог рада је био да се, на основу комплексне анализе индекса дневних екстрема, утврди шта условљава, у математичком смислу, пораст средње годишње температуре и смањење годишњих количина падавина на примеру података за Подгорицу, у периоду 1951-2008. година. Добијени резултати указују да је уочена тенденција отопљавања у Подгорици последица, пре свега, чешћег јављања максималних и минималних дневних температура које имају ”топлије” вредности. Са друге стране, допринос смањењу, статистички безначајном, годишњих сума падавина у 58-годишњем периоду дају, математички посматрано, статистички значајно повећање учесталости сушних дана и незнатно смањење влажних дана.

Кључне речи: температура ваздуха, падавине, индекси, тренд, Подгорица.

Увод

У извештајима Светске метеоролошке организације, Међувладиног панела за климатске промене (WMO, IPCC) и појединим стручним радовима се истиче да би, у условима антропогеног отопљавања, у будућности требало очекивати повећање интензитета и учесталости температурних, падавинских и других екстремних временских догађаја. Из тог разлога је Експертски тим за детекцију и праћење климатских промена Светске метеоролошке организације (Комисија за климатологију – WMO-CCL) и

¹ dragan.buric@meteo.co.me

Светског климатског истраживачког програма (CLIVAR), предложио низ индекса метеоролошких параметара (Peterson et al., 2001; WMO, 2004; Groisman et al, 2005; Гајић-Чапка, 2009). Предложени индекси климатских промена односе се на дане у којима температура или количина падавина прелазе одређене прагове дефинисане по нормама WMO-CCL i CLIVAR.

Истраживања показују да у периоду 1951-2008. година, већи број метеоролошких станица у Црној Гори региструје тренд пораста средње годишње температуре ваздуха и пад годишњих сума падавина (Бурић и сар., у штампи). Циљ овог рада је да се на примеру података за Подгорицу, утврди шта условљава, у математичком смислу, пораст средње годишње температуре и смањење годишњих количина падавина у периоду 1951-2008. година. Подгорица је главни и популационо највећи град у Црној Гори, привредни и културни центар (скица 1).



Скица 1. Карта географског положаја Подгорице

Радна претпоставка је да је у Подгорици, у периоду 1951-2008., до статистички значајног отопљавања и безначајне аридизације дошло услед промена у учесталости карактеристичних дана са температуром ваздуха и количином падавина изнад, односно испод дефинисаних прагова. Дакле, одговор на постављено питање дат је комплексном анализом индекса дневних екстрема ова два најважнија климатска елемента.

База података и методологија истраживања

За анализу промена температурних и падавинских екстрема коришћени су подаци метеоролошке станице Подгорица, јер је у питању главна метеоролошка станица, низ је комплетан, а тестирањем и провером података је утврђено да су мерења поуздана (коришћена CLIDATA база података Хидрометеоролошког завода). Индекси екстремних вредности температуре ваздуха и количине падавина рачунати су на основу дневних података за период 1951-2008. година.

Температурни екстремуми су анализирани на основу шест индекса - три топла и три хладна температурна индекса. Четири индекса су дефинисана помоћу перцентила (10-ог и 90-ог перцентила максималних (T_x) односно минималних (T_n) вредности дневне температуре ваздуха стандардног климатског периода 1961-1990), а два се односе на број мразних и летњих дана (индекси дефинисани помоћу фиксних прагова - дневна $T_n < 0^{\circ}\text{C}$ и $T_x > 25^{\circ}\text{C}$). За анализу падавинских екстрема коришћено је пет индекса, четири влажна и један сушни. Три падавинска индекса (DD , $R75\%$ и $R95\%$) се односе на учесталост и дефинисани су као број дана у којима дневна количина падавина (R_d) не прелази фиксни праг од 1 mm (сушни дани), односно прелази променљиве прагове од $R_d > 75$ -ог перцентила (влажни дани) и $R_d > 95$ -ог перцентила (врло влажни дани). Перцентилни прагови су одређени из узорка свих падавинских дана у којима је висина воденог талоба бар 1 mm ($R_d \geq 1,0\text{mm}$) у климатском периоду 1961-1990. година. Следећа два индекса (DI и $R95\%T$) односе се на интензитет падавина. Средњу висину падавина по падавинском дану када падне барем 1 mm, показује DI индекс и први је показатељ о просечном интензитету падавина. Индекс $R95\%T$ показује просечни интензитет падавина по врло кишном (влажном) дану. Овај индекс је одабран да би се испитало да ли постоји пораст или пак смањење великих дневних количина падавина које могу изазвати поплаве, ерозије земљишта и друге немиле догађаје каквих је било у 2010. години (поплаве у јануару и децембру у приобаљу Скадарског језера, Бојане, Зете и других река). Скраћенице и дефиниције коришћених индекса дате су у табели 1.

У суштини, температурни и падавински индекси су карактеристични дани, дефинисани од стране WMO-CCL/CLIVAR, који се од недавно користе у истраживању климатских промена, односно у истраживању промена екстрема насталих услед климатских промена. Прорачунавање тенденције апсолутних екстрема температуре и падавина се не практикује при анализи климатских варијација, посебно не на годишњем нивоу, јер се ради о ретким догађајима. Значај климатских индекса који су одређени помоћу перцентилних прагова је у томе што они омогућују просторну компарацију, јер су дефинисани према истој емпиријској расподели екстрема и што узимају у обзир нешто умереније екстреме (10-ти и 90-ти перцентил за температуру, односно 75-ти и 95-ти за падавине), али са јасним последицама (Lucie et al., 2005; Гајић-Чапка, 2009). Дакле, ради поређења добијених резултата са различитих локација, Светска метеоролошка организација предлаже коришћење перцентилних прагова (World Meteorological Organization, 2004). Из истог разлога су и индекси

који се односе на интензитет падавина дати у процентима одступања од климатске нормале 1961-1990.

Табела 1. Индекси температурних и падавинских екстрема - скраћенице и дефиниције дате по стандардизацији WMO-CCL/CLIVAR Радне групе за утврђивање климатских промена

Бр.	Индекс	Јединица	Дефиниција
<u>Хладни температурни индекси</u>			
1.	FD	бр. дана	Број мразних дана у јединици времена (дневна $T_n < 0^{\circ}\text{C}$).
2.	$T_x 10\%$	бр. дана	Број хладних дана (дневна $T_x < 10$ -ог перцентила референтног периода 1961-1990).
3.	$T_n 10\%$	бр. дана	Број хладних ноћи (дневна $T_n < 10$ -ог перцентила референтног периода 1961-1990).
<u>Топли температурни индекси</u>			
1.	SU	бр. дана	Број летњих дана у јединици времена (дневна $T_x > 25^{\circ}\text{C}$).
2.	$T_x 90\%$	бр. дана	Број топлих дана (дневна $T_x > 90$ -ог перцентила референтног периода 1961-1990).
3.	$T_n 90\%$	бр. дана	Број топлих ноћи (дневна $T_n > 90$ -ог перцентила референтног периода 1961-1990).
<u>Индекси падавинских екстрема</u>			
1.	DD	бр. дана	Број сушних дана у јединици времена (дневна количина падавина $R_d < 1\text{mm}$).
2.	DI	%	Просечни дневни интензитет падавина по падавинском дану (однос укупне суме падавина и укупног броја падавинских дана за $R_d \geq 1\text{mm}$).
3.	$R_{75\%}$	бр. дана	Број умерено влажних дана ($R_d > 75$ -ог перцентила дневне расподеле за дане $R_d \geq 1\text{mm}$ периода 1961-1990).
4.	$R_{95\%}$	бр. дана	Број врло влажних дана ($R_d > 95$ -ог перцентила дневне расподеле за дане $R_d \geq 1\text{mm}$ периода 1961-1990).
5.	$R_{95\%T}$	%	Просечни дневни интензитет падавина по врло влажном дану (однос укупне суме падавина и укупног броја падавинских дана за $R_d > 95$ -ог перцентила).

Извор: Klein Tank, Konnen, 2003.

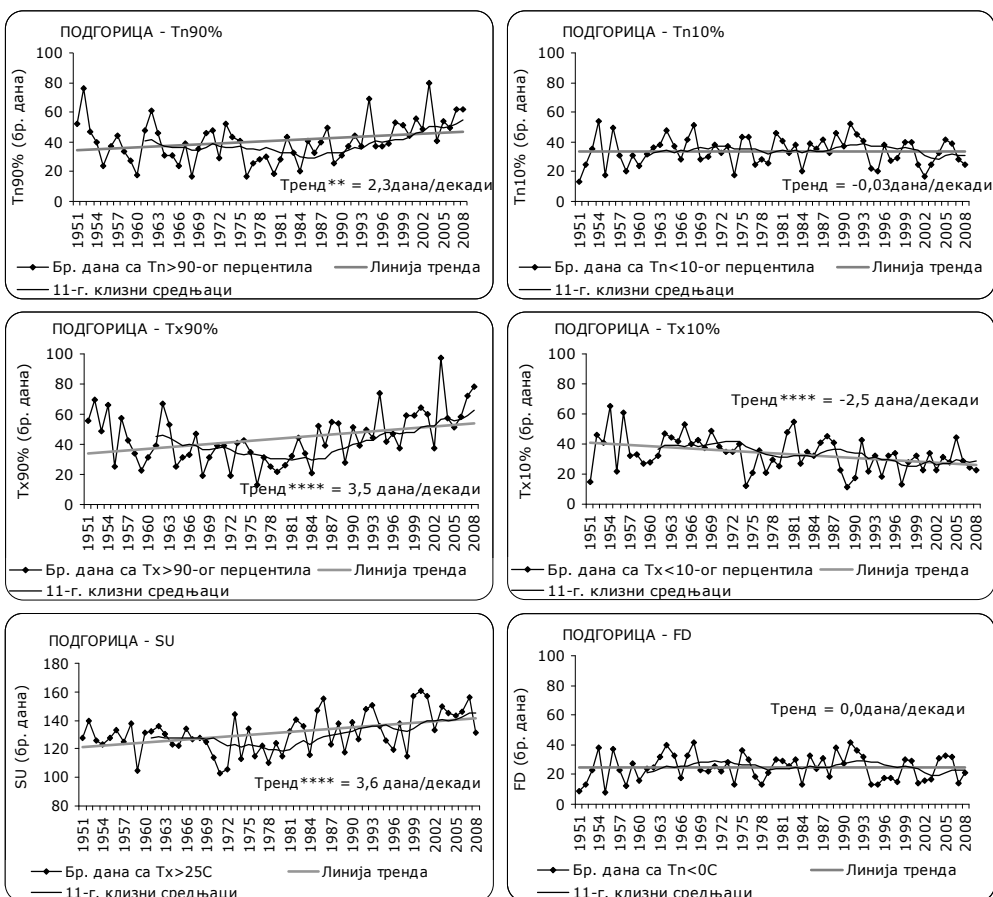
У раду су коришћени уобичајени математичко-статистички методи – линијски тренд, метод перцентила, клизни средњаци, стандардизована одступања итд. Тренд је прорачунат методом најмањих квадрата, а статистичка значајност одређена на основу укупног броја елемената низа умањеног за 2 ($n-2$ степени слободе) и коефицијента детерминације (R^2), односно помоћу Студентовог теста.

Резултати и дискусија

У периоду 1951-2008. година, топли температурни индекси показују тенденцију раста у Подгорици. Најизразитији позитиван тренд уочен је код летњих дана (SU), чији се број повећавао по стопи од 3,6 дана по деценији.

Индекси температурних и падавинских екстрема у Подгорици у периоду 1951-2008.

Нешто мањи раст по линији тренда показују топли дани (Tx90%), 3,5 дана/деценији. У посматраном периоду се и број топлих ноћи (Tn90%) повећавао, 2,5 дана/деценији. Важно је истаћи да су уочене промене (раст) по линији тренда статистички значајне за све категорије броја топлих дана (скица 2, лево). Од хладних индекса статистички значајан негативан тренд показују хладни дани (Tx10%), чији се број смањивао просечним интензитетом од 2,5 дана по деценији. Код годишњег броја мразних дана и хладних ноћи (FD и Tn10%) се не уочава практично никакав тренд (0,0 дана/10г) у периоду 1951-2008. година (скица 2, десно).



Скица 2. Тренд топлих (лево) и хладних (десно) температурних индекса у Подгорици за период 1951-2008. – броја дана и одговарајући 11-годишњи клизни средњаџи; (**** (**)) – значајно на нивоу $\alpha=0.01$ (0.05);

Дакле, спуштајући анализу на дневне екстремне температуре, по веома строгом критеријуму, у периоду 1951-2008. година у Подгорици се све чешће јављају максималне и минималне дневне температуре које имају ”топлије” вредности. Другим речима, анализа је потврдила радну претпоставку да је отопљење уочено у средњим температурама на годишњем нивоу, последица повећања учесталости дневних температурних екстрема у позитивном смислу. Промене у тренду топлих температурних индекса су веће од промена хладних индекса, што је у складу са чињеницом већег повећања топлих од смањења хладних дана, генерално.

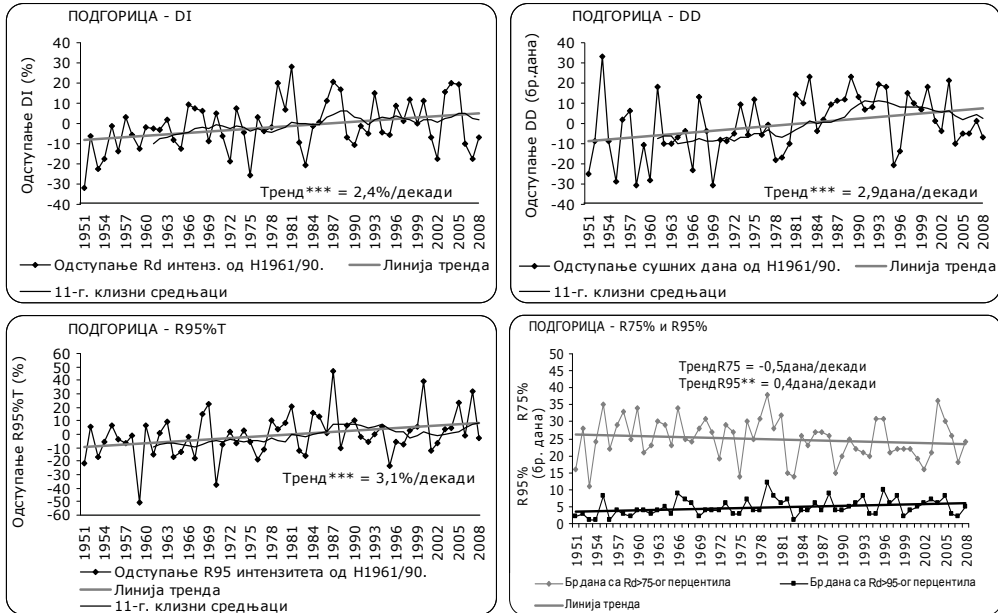
У извештајима Међувладиног панела за климатске промене (IPCC) се истиче да се, услед антропогеног загревања планете Земље, повећала честина и интензитет појединих типова временских екстрема и да у будућности треба очекивати даљу амплификацију (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, 2007; IPCC, 2001, 2007). Када је температура у питању то би значило да треба очекивати да максималне вредности буду све веће, а минималне све мање. Анализа дневних максимума температуре је у складу са претходним, док се то не може рећи за минималне вредности. Ипак, апсолутну доминацију имају дани са максималном и минималном температуром између 10-ог и 90-ог перцентила нормалне расподеле у години (опсег уобичајених вредности – просечни дани). Број просечних дана са максималном температуром у поменутом опсегу (10-90-ог перцентила) показује статистички безначајну тенденцију смањења у периоду 1951-2008., док је негативан тренд броја дана са уобичајеном минималном температуром нешто већи, што је у складу са претходним закључцима. На крају разматрања температурних индекса потребно је нагласити да се уочено отопљавање у Подгорици, у посматраном 58-годишњем периоду, делом приписује утицају урбаног острва топлоте (Бурић и сар., у штампи).

Тенденција учесталости и интензитета падавинских екстрема је такође добар показатељ промене падавинских прилика. Очигледност добијених резултата потврђују графички прилози (скица 3).

На подручју Подгорице је присутан статистички значајан пораст годишњег броја сушних дана (DD). Број ових дана се, у посматраном 58-годишњем периоду, повећавао у просеку за 2,9 дана по деценији. То другим речима значи да је у другој половини 20. и почетком 21. века била присутна тенденција смањења падавинских дана, такође по стопи од 2,9 дана/10 година. Иначе, кишовитост изражена бројем падавинских дана у којима падне барем 1 mm падавина, показује да Подгорица има у просеку

Индекси температурних и падавинских екстрема у Подгорици у периоду 1951-2008.

годишње 101 падавински дан, односно око 28% дана у години. Ово је први показатељ, строго математички посматрано, објашњења незнатне тенденције смањења годишњих сума падавина у посматраном 58-годишњем периоду, али не и довољан. Дакле, падавински дани су ређи и поставља се питање: у ком правцу се мењају дневне суме падавина, односно шта се дешава са тенденцијом дневног интензитета падавина?



Скица 3. Временске серије индекса падавинских екстрема, 11-годишњи клизни средњаџи и трендови у Подгорици (значајно на нивоу: ** - 95%; *** - 98%), период 1951-2008.

Нешто детаљнију слику о дневним падавинским приликама на подручју Подгорице пружа просечни дневни интензитет падавина по падавинском дану (DI). Овај индекс има позитиван тренд, такође статистички значајан. Анализа тренда показује да су се дневне количине падавина у падавинским данима повећавале по стопи од 2,4% по деценији у посматраном 58-годишњем периоду. Количина падавина по падавинском дану има, дакле, тенденцију раста и следеће питање је: да ли постоји пораст великих количина које могу имати нежељене ефекте? Другим речима, треба видети у којој се мери утврђено смањење годишњих количина, смањење броја падавинских дана и повећање дневног интензитета може приписати промени броја влажних и врло влажних дана. Из тог разлога су анализирале дневне суме падавина веће од 75-ог и 95-ог перцентила.

Резултати тренда индекса температурних и падавинских екстрема дати су у табели 2.

Табела 2. Тренд температурних и падавинских екстрема и значајност промена у Подгорици, за период од 1951. до 2008. године

Индекс	Праг	Тренд	Значајност
<u>Хладни температурни индекси</u>			
FD	$T_n < 0^{\circ}\text{C}$	0,0 дана/10 год	не
Tx10%	$T_x < 9,4^{\circ}\text{C}$	-2,5 дана/10 г	да (0.01)
Tn10%	$T_n < 0,8^{\circ}\text{C}$	0,0 дана/10 г	не
<u>Топли температурни индекси</u>			
SU	$T_x > 25^{\circ}\text{C}$	+3,6 дана/10 год	да (0.01)
Tx90%	$T_x > 32,2^{\circ}\text{C}$	+3,5 дана/10 год	да (0.01)
Tn90%	$T_n > 20,5^{\circ}\text{C}$	+2.3 дана/10 г	да (0.05)
<u>Индекси падавинских екстрема</u>			
DD	$R_d < 1\text{mm}$	+2,9 дана/10 год	да (0.02)
DI	///	+2,4%/10 год	да (0.02)
R75%	$R_d > 22,2\text{mm}$	-0,5 дана/10 год	не
R95%	$R_d > 53,0\text{mm}$	+0,4 дана/10 год	да (0.05)
R95%T	///	+3,1%/10 г	да (0.02)
R95%ΣR	///	+2,5%/10 год	да (0.01)

У периоду од 1951. до 2008. године, у Подгорици је присутно статистички безначајно смањење годишњег броја влажних дана (R75%), којих иначе има у просеку годишње око 25. Са друге стране, учесталост броја врло кишних (влажних) дана показује тенденцију пораста, 0,5 дана/10 година, сигнификантну на 5%-ом нивоу ризика прихватања хипотезе. У просечној години Подгорица има свега око 5 врло кишних дана, па је зато пораст од 0,5 дана по деценији статистички значајан. Индекс R95%T треба да покаже у којој се мери утврђене промене могу приписати промени количине падавина које падну у врло влажне дане. Овај индекс има позитиван тренд, што значи да постоји пораст великих дневних количина, статистички значајан на 98% нивоу поверења. Наиме, интензитет падавина које падну у врло влажне дане показује тенденцију раста по стопи од 3,1% за 10 година.

У анализу је укључен још један падавински индекс, R95%ΣR који показује учешће великих дневних количина падавина (R95%) у укупној годишњој суми (ΣR). Методом најмањих квадрата је утврђено да овај индекс има позитиван тренд, 2,5% на 10 година, што значи да се повећава учешће великих дневних количина у укупној годишњој суми.

Закључак

У раду су истраживани математички разлози статистички значајног пораста средње годишње температуре ваздуха и безначајног смањења годишњих количина падавина у Подгорици, у периоду 1951-2008. година. Добијени резултати показују да је тенденција пораста средње годишње температуре, строго математички, последица пре свега позитивних вредности тренда топлих температурних индекса. Односно, у периоду 1951-2008. година, у Подгорици се све чешће јављају максималне и минималне дневне температуре које имају ”топлије” вредности. Допринос смањењу, статистички безначајном, годишњих сума падавина у 58-годишњем периоду дају, математички посматрано, статистички значајно повећање учесталости сушних дана и незнатно смањење влажних дана. Са друге стране, интензитет падавина по падавинском и врло влажном дану, као и учесталост врло влажних дана и учешће великих дневних количина падавина, показују статистички значајну тенденцију пораста. Најједноставније речено, сигнал промена код екстрема који се тичу великих дневних количина падавина и учесталости врло влажних дана постоји, али се у годишњој суми готово анулира смањењем броја падавинских и влажних дана, па годишње количине не показују значајне промене по линији тренда.

Истраживања показују да у последње две декаде годишње количине падавина имају тренд пораста, како у Подгорици тако и у осталим крајевима у Црној Гори. Када је температура у питању, готово сва мерна места показују да је последња посматрана деценија (1999-2008), у средњој вредности, најтоплија у инструменталном периоду, од 1949 године. Међутим, већи број станица региструје безначајну тенденцију пораста а неколико чак и тренд пада средње годишње температуре у деценији 1999-2008. (Бурић и сар., у штампи). Ова контрадикторност је методолошке природе. Претходно поменуто и чињенице да се изнад ових предела мешају и сучељавају ваздушне масе различитих физичких особина (баричко деформационо поље – површ дисконтинуитета) и да Црна Гора има веома рашчлањен и дисециран рељеф (Бурић и сар., 2007), упућују на потребу даљег истраживања, односно анализу индекса екстрема и на другим локацијама, како би се видело да ли су промене у складу са резултатима добијеним за Подгорицу.

Обзиром да се извесне промене температуре ваздуха и количине падавина детектују, што је у овом раду и доказано на примеру података за Подгорицу, такође је потребно покушати одговорити на све актуелније

питање: шта је узрок тих промена? С тим у вези, истражујући евентуални утицај антропогеног ефекта стаклене баште и неколико спољашњих и унутрашњих природних фактора (вулканске ерупције, промене Сунчеве активности, утицај Ел Ниња, Северно-атланске осцилације, Атланске вишедеценијске осцилације, Арктичке осцилације) на колебање климе у Црној Гори, Бурић и сар. (у штампи) закључују: "Имајући у виду добијене резултате нашег истраживања као и резултате неких других аутора, мишљења смо да је погрешно стављати акценат на искључиву и постојану доминацију једног фактора, јер је очигледно да се ради о интеракцијском деловању више утицаја".

Захвалност

Захваљујем се др Владану Дуцићу и мр Јелени Луковић који су ми помогли у реализацији рада.

Литература

- Бурић Д., Ивановић Р., Митровић Л. (2007). Клима Подгорице. Подгорица: Хидрометеоролошки завод Црне Горе.
- Бурић Д., Дуцић В., Луковић Ј. (у штампи). Колебање климе у Црној Гори у другој половини XX и почетком XXI вијека. Подгорица: Црногорска академија наука и умјетности.
- База података Хидрометеоролошког завода Црне Горе.
- World Meteorological Organization (2004). Report of the CCI/CLIVAR expert team on climate change detection, monitoring and indices (ETCCDMI). Geneva: World Meteorological Organization, WCDMP - No. 54.
- Гајић-Чапка М. (2009). Трендови оборинских екстрема у Цриквеници, 1901-2007., Зборник радова-Конференција "Сувремене методе одводње оборинских вода урбаних средина на обалним подручјима". Загреб: Хрватско друштво за заштиту вода, Ријека: Грађевински факултет свеучилишта у Ријеци, стр.166-175.
- Groisman et al. (2005). Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 18, 1326-1350.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (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 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Индекси температурних и падавинских екстрема у Подгорици у периоду 1951-2008.

IPCC, B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Mayer (eds), Summary for Policymakers. In: Climate Change (2007). Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.

Klein Tank AMG, Konnen GP. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99, *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.

Lucie A. Vincent and Éva Mekis (2005). Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century, *Climate Research*. Toronto: Division, Science and Technology Branch, Environment Canada 4905 Dufferin Street, ON M3H 5T4.

Peterson T. et al. (2001). Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. Geneva: World Meteorological Organization, , WCDMP - No. 47.