

БОШКО МИЛОВАНОВИЋ\*  
МИЛАН РАДОВАНОВИЋ\*  
ВЛАДАН ДУЦИЋ\*\*

**УДВОЈЕНИ СИСТЕМ ОКЕАН-АТМОСФЕРА  
– ПОВЕЗАНОСТ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОДЕ СУБПОЛАРНОГ АТЛАНТИКА,  
ИСЛАНДСКОГ МИНИМУМА И ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА У СРБИЈИ-**

**Извод:** У раду је испитивана веза између температуре воде северног дела Атлантског океана (појас од 50-65°N) и атмосферског притиска. Повезаност океана и атмосфере се најочигледније манифестује у механизму Ел Нињо јужне осцилације. Међутим, колико је познато, у Атлантском океану не постоји еквивалент Ел Ниња, нити овако јасно изражена повезаност између температуре океана и атмосфере. Тежиште истраживања је стављено на испитивање повезаности Исландског минимума са променама температуре воде у субполарном појасу Атлантика (датим у мрежи 5x5°). Хијерархијском кластерском анализом је издвојено пет релативно уједначених кластера температуре воде субполарног дела Атлантског океана. Њихова повезаност са положајем и интензитетом Исландског минимума испитана је вишеструком линеарном регресијом. Установљено је који од кластера највише утиче на географску ширину, географску дужину и интензитет Исландског минимума и која од гريدних ћелија у оквиру сваког од кластера представља најзначајније предикторе. Испитивањем односа између положаја и интензитета Исландског минимума са температуром ваздуха у Србији и Београду, установљено је да је најснажнија повезаност са географском дужином овог акционог центра.

**Кључне речи:** Кластерска анализа, вишеструка линеарна регресија, субполарни Атлантски океан, Исландски минимум, температура ваздуха, Србија

**Abstract:** In the presented paper correlation between the northern part of the Atlantic ocean (belt between 50-65°N) and the atmospheric pressure is examined. Connection between the ocean temperature and atmospheric pressure is the most obvious in the El Nino southern oscillation mechanism. Thus, so far it is not known that such a mechanism exist in the Atlantic ocean. The main accent in the presented paper is focused on the connection between Iceland low and the sea surface temperature (SST) in the subpolar part of the Atlantic ocean (used data are in grid 5x5°). By hierarchical cluster analysis five relatively unified clusters of sea surface temperatures grid cells are defined. By multiple linear regression, we examined the correlation between each of the depicted clusters with position and intensity of Iceland low, and identified the most important grid cells inside every cluster. The analysis of the relation between Iceland low and air temperature in Serbia and Belgrade has shown the strongest correlation for the longitude of this centre of action.

**Key words:** Cluster analysis, Multiple linear regression, Subpolar Atlantic ocean, Iceland low, air temperature, Serbia

---

\* **мр Бошко Миловановић**, истраживач сарадник, Географски институт „Јован Цвијић“, САНУ, Београд, [b.milovanovic@gi.sanu.ac.rs](mailto:b.milovanovic@gi.sanu.ac.rs)

\***др Милан Радовановић**, научни сарадник, Географски институт „Јован Цвијић“, САНУ, Београд, [m.radovanovic@gi.sanu.ac.rs](mailto:m.radovanovic@gi.sanu.ac.rs)

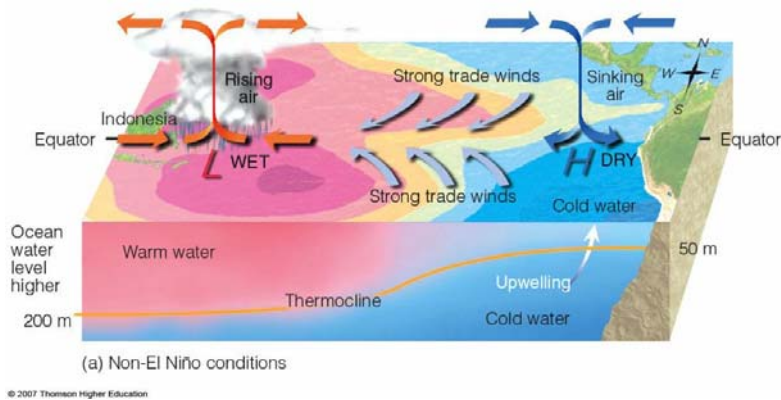
**др Владан Дуцић**, ванредни професор, Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд

Рад представља резултате истраживања пројекта 146011 које финансира Министарство науке и технолошког развоја Републике Србије.

## Увод

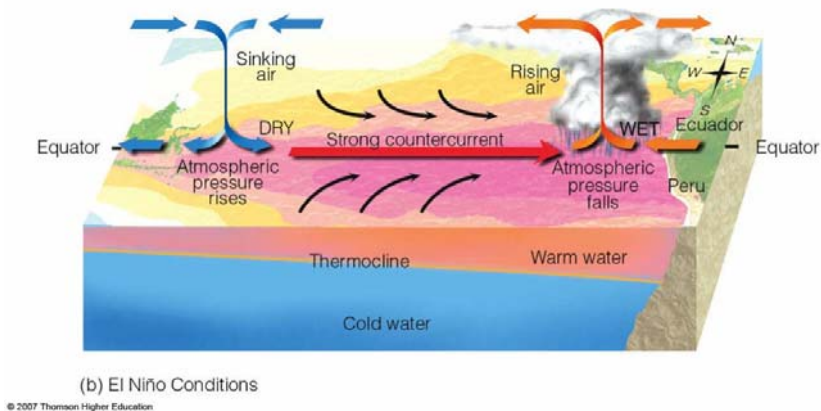
Интерактивна веза између атмосфере и океана представља дужи низ година предмет проучавања бројних научника. „Атмосфера своја битна физичка својства, као што су: топлота, влажност, замућеност и др. добија од Земљине површине. Стога главни чинилац који утиче на вредност и расподелу метеоролошких елемената јесте разлика у физичким својствима водених и копнених маса“ (Radinović Ђ., 1981). Bigg G., (2003) наводи да модификација температуре ваздуха услед радијације и конвекције од водене подлоге утиче на ваздушни притисак (топла вода умањује, док хладна вода као подлога повећава ваздушни притисак).

Претходно изнета констатација се јасно може уочити када се посматра појава Ел Ниња и промена ваздушног притиска у тропском појасу Пацифика (скице 1 и 2).



Скица 1. Расподела ваздушног притиска у „нормалним“ условима – без Ел Ниња  
([http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter10/normal\\_elniño\\_ssts.html](http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter10/normal_elniño_ssts.html))

На скици 1. се може уочити да је при „нормалним“ условима, односно у годинама када не постоји Ел Нињо, поље ниског ваздушног притиска померено према западу, тако да и морска струја под утицајем пасата тече у том смеру. Међутим, у годинама појаве Ел Ниња (скица 2) јавља се снажна повратна струја, која премешта топлотно поље према истоку и формира област ниског притиска у источном Пацифику.



Скица 2. Расподела ваздушног притиска при појави Ел Ниња  
([http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter10/elniño\\_ssts.html](http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter10/elniño_ssts.html))

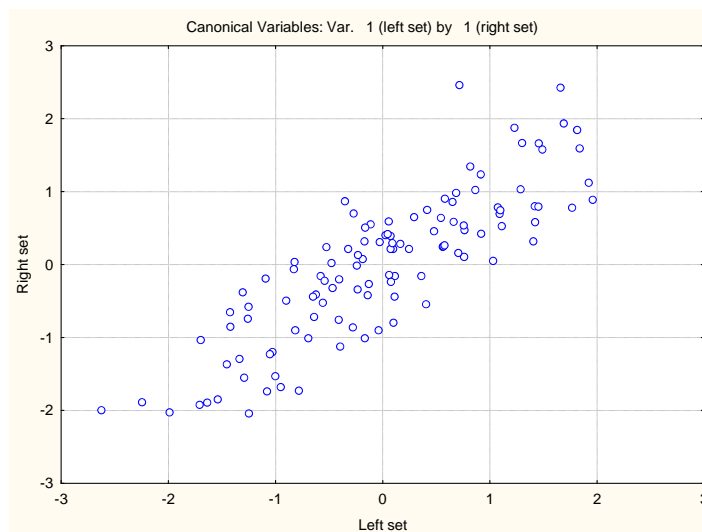
Бројни текстови указују да је реч о удвојеном систему океан – атмосфера (Kirov B., Georgieva K., 2002; Wang X., et al, 2004). То показују и резултати каноничке корелације за индекс јужне осцилације (Southern Oscillation Index), или прецизније говорећи, елементи на основу којих се добија овај индекс (ваздушни притисак у Дарвину и на Тахитију) и промене температуре Ел Нињо региона у тропском Пацифику (табела 1, графикон 1).

**Табела 1. Резултати каноничке корелације Ел Нињо региона и ваздушног притиска у Дарвину и на Тахитију**

	Факторска структура Ел Ниња		Факторска структура индекса јужне осцилације		Процент захваћене варијансе индекса јужне осцилације	Број случајева	Вредност $\chi^2$ /ниво значајности првог каноничког корена	Каноничко R
	Корен 1	Корен 2	Корен 1	Корен 2				
Регион 1.2	-0,827	-0,472			59,9%	113	146,2 p=0,000	0,849
Регион 3	-0,968	-0,242						
Регион 4	-0,935	0,346						
Притисак у Дарвину			-0,978	-0,206				
Притисак на Тахитију			0,715	-0,698				

Подаци су преузети са адресе [www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/)

Изузетно висока повезаност првих каноничких коренова је уочљива на графикону 1. Такође, може се уочити да не постоје аутлејери нити постоје индиције нелинеарног односа.



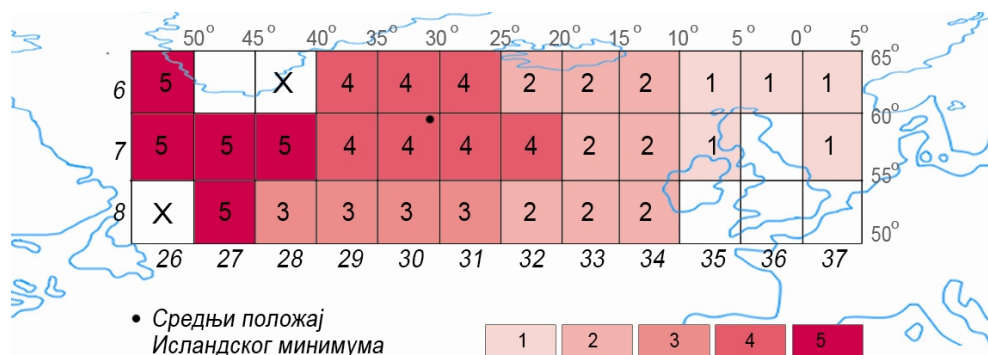
**Графикон 1. Рој тачака (Scatterplot) каноничких коренова**

Важно је напоменути да је због броја случајева одабрано само пет варијабли и да је тумачен само први канонички корен (Stevens, J., 1986). У формирању овог каноничког корена највећи значај у првом скупу има регион 3 ( $55^{\circ}\text{N}$ – $5^{\circ}\text{N}$ ;  $150^{\circ}\text{W}$ – $90^{\circ}\text{W}$ ), односно у другом скупу варијабли промена ваздушног притиска у Дарвину. Каноничка корелација (каноничко  $R \approx 0,85$ ) је статистички значајна на нивоу поверења већем од 99,9% при чему се око 60% варијансе јужне осцилације може објаснити променама температуре тропског Пацифика у поменутиим регионима.

С обзиром да на климу Србије посредно у знатно већој мери утичу, или могу утицати промене температуре Атлантског океана, покушали смо да проверимо да ли и над Атлантиком постоји механизам сличан Ел Нињо јужној осцилацији и који делови Атлантског океана би могли имати највећи утицај на промене у атмосферском притиску. Са друге стране, с обзиром на то да Дуцић, В., (1999) доводи у везу промене положаја Исландског минимума са променама температуре ваздуха у Београду, пажњу смо фокусирали на могући утицај температуре Атлантског океана на овај акциони центар и његову везу са променама температуре у Србији и Београду.

### Коришћени подаци и методи

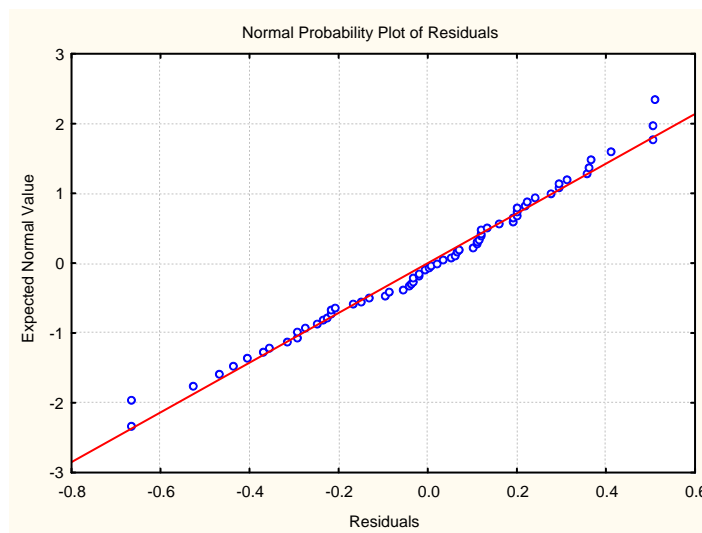
У покушају да одговоримо на претходно постављено питање, искористили смо податке о промени површинске температуре Атлантског океана који су дати у мрежи од  $5 \times 5^{\circ}$ . Подаци су добијени од British Atmospheric Data Centre ([www.badc.nerc.ac.uk](http://www.badc.nerc.ac.uk)) и постоје за период 1850-2005. година. Међутим, због већег броја недостајућих података, нарочито у вишим ширинама Атлантског океана, искоришћен је низ од 1918-2005. године, односно због дужине низа о Исландском минимуму 1918-1994. година. Подаци о Исландском минимуму су добијени у личној преписци са Херманом Махелом\* и односе се на период 1888-1994. године. Због средњег положаја Исландског минимума ( $\bar{\varphi} = 59,63^{\circ}\text{N}$ ;  $\bar{\lambda} = 31,64^{\circ}\text{W}$ ) посматран је субполарни појас Атлантског океана од  $50^{\circ}\text{N}$ – $65^{\circ}\text{N}$ . У овом појасу Атлантика постоји 31 варијабла, односно 31 гريدна ћелија. Због функционалности и економичности приказивања, уместо описивања координата које дефинишу сваку гريدну ћелију, оне ће бити именоване бројчаном ознаком која је комбинација ред-колона. Припадност сваке гريدне ћелије одређеном кластеру дата је истоветном бојом и бројчаном ознаком на карти 1.



Карта 1. Просторни распоред кластера у субполарном Атлантику

\* Dr. Hermann Mächel, KU21 Projekt: KLIDADIGI, Deutscher Wetterdienst Kaiserleistr. 44 63067 Offenbach am Main

Да би се утврдило како се групишу гريدне ћелије, искоришћена је хијерархијска кластерска анализа (joining tree), при чему је основна идеја била да се само на основу расположивих података (без *a priori* претпоставке) могу одредити гريدне ћелије сличних карактеристика (Паскота, М., 1994, Wilks, D. S., 2006). Одабрано је квадрирано Еуклидовско растојање за чије оцењивање је искоришћен Вардов метод који се разликује од осталих начина повезивања и према Тепавчевић А., Лужанин З., (2006) често даје боље резултате од њих. Повезаност добијених кластера и Исландског минимума је испитана вишеструком линеарном регресијом (Wolter, K., 1987). Овај метод је одабран на основу анализе резидуала. Ни у једном од испробаних регресионих модела није уочено значајније одступање резидуала од нормалне расподеле, нити постоје индиције нелинеарног односа. Међутим, због ограничености простора, биће приказана свега два типична графикана на основу којих се дошло до претходно изнете констатације (графикони 2 и 3).

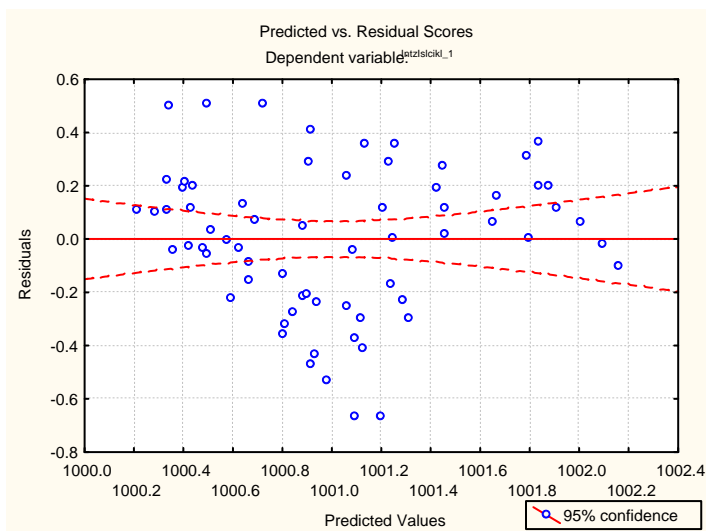


Графикон 2. Типична дистрибуција резидуала у примењеним моделима вишеструке регресије

На графикону два се може уочити да не постоји знатно одступање од нормалне дистрибуције резидуала.

На графикону 3 се не уочава груписање резидуала које би могло указивати на нелинеаран однос варијабли.

Raeth, H., et al., (2003) су истражујући повезаност температуре океана и НАО индекса указали да на месечном и међусезонском нивоу, НАО индекс кроз потисак ветра, интензивну размену топлоте и утицај на радијациони биланс (кроз промене у облачности) индукује промене температуре површине Атланског океана. Са друге стране, океан има изузетну „меморију” односно огроман топлотни капацитет који складишти одступања, а затим их у наредним годинама преноси кроз струјно коло и термохалинску циркулацију. На декадном нивоу и у дужим временским скалама, повратни механизам утицаја океана на атмосферу би се могао огледати у дугопериодичном преносу поља топле и хладне воде кроз Атлантик (океан уопште) и одступања у салинитету. Стога је у испитивању повезаности температуре субполарног Атлантика и Исландског минимума анализиран однос покретних декадних вредности.



**Графикон 3. Типичан однос предвиђених вредности и резидуала у примењеним моделима вишеструке регресије**

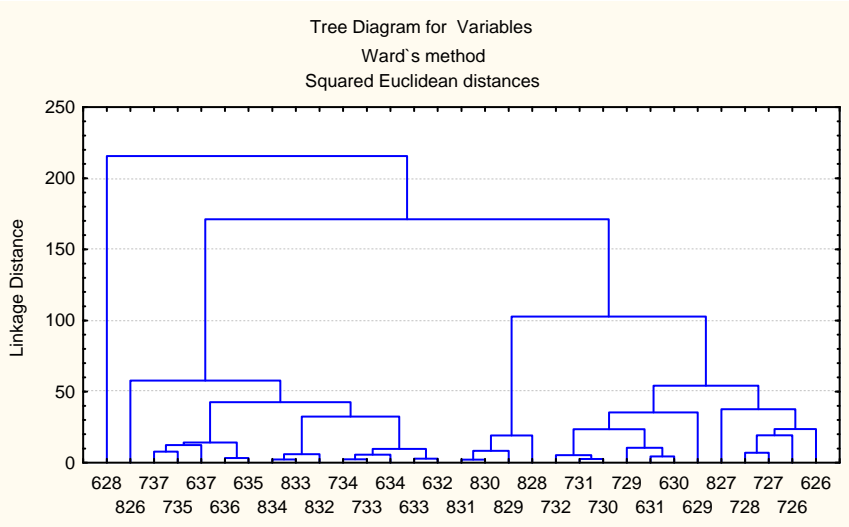
За испитивање повезаности Исландског минимума и промена у температури ваздуха у Београду/Србији искоришћени су подаци о средњим годишњим вредностима са Београдске опсерваторије (период 1888-1994.) и са 18 метеоролошких станица у Србији (период 1949-1994. година). Коришћени су подаци са станица: Београд, Димитровград, Кикинда, Крагујевац, Крушевац, Неготин, Ниш, Нови Сад, Палић, Призрен, Сјеница, Смедеревска Паланка, Сомбор, Ваљево, Велико Градиште, Врање, Зајечар и Златибор. Да би се поменута веза изоловала од других утицаја, такође су израчунате покретне декадне вредности. На основу ових података је израчунато одступање температуре ваздуха у Србији. За обраду података су искоришћени програмски пакети Statistica 6.0 и SPSS 14.0.

### Резултати

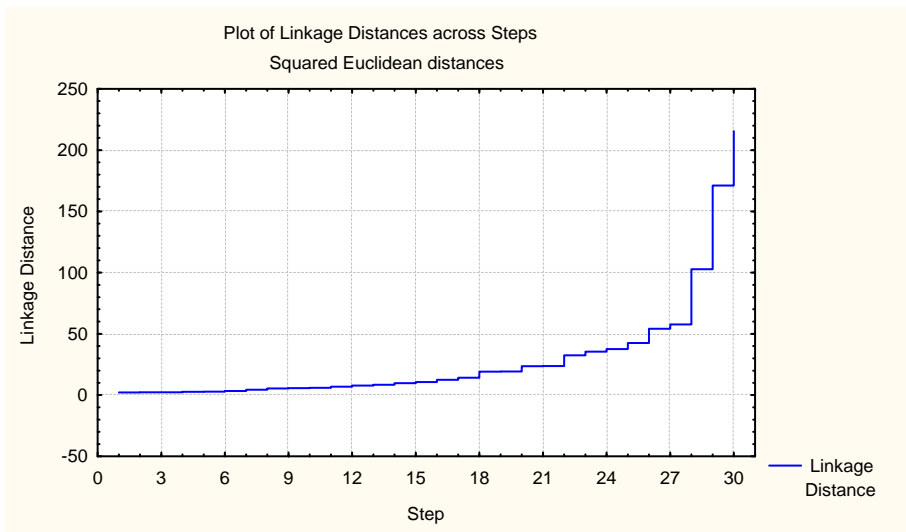
Применом кластерске анализе добијено је груписање грид ћелија које је приказано на графикону 4 и карти 1. Ако би се направио пресек на ниском хијерархијском нивоу, могло би се издвојити 7-8 кластера. Међутим, тада би и број појединачних варијабли био знатно већи.

На основу дијаграма растојања (графикон 5) при сваком кораку у кластерској анализи може се уочити да растојање између кластера нагло расте од 26. и 27. фазе, што би одговарало броју од 4-5 кластера (с обзиром да је максимални број корака раздвајања  $n-1$ , где је  $n$  број грид ћелија). Одлучили смо се за пресек дијаграма на хијерархијском нивоу 35 чиме је добијено 5 уједначених кластера и две појединачне варијабле (грид ћелије 826 и 628 – ознака **X** на карти 1).

Применом вишеструке линеарне регресије, у којој свака гридна ћелија која чини поједини кластер представља независну варијаблу, показало се да сваки од модела јесте статистички значајан. Међутим, постоје знатне разлике у захваћености варијансе критеријумских варијабли (географске ширине, географске дужине и интензитета Исландског минимума).

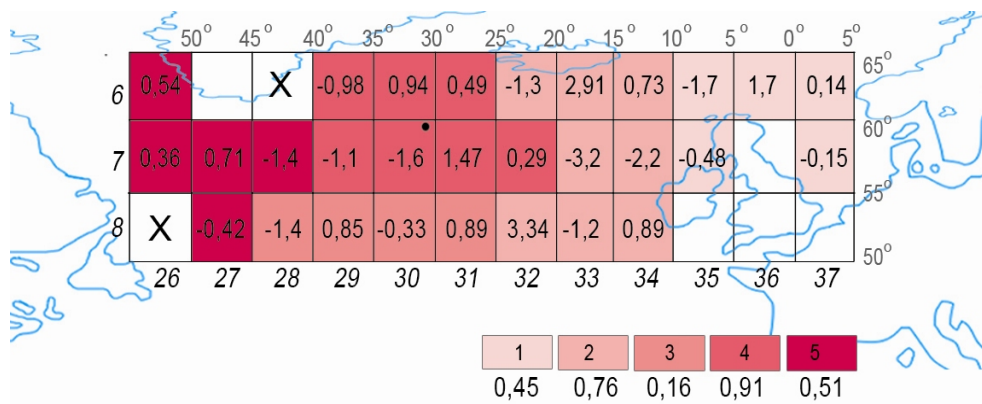


Графикон 4. Дендограм грид ћелија субполарног Атлантика



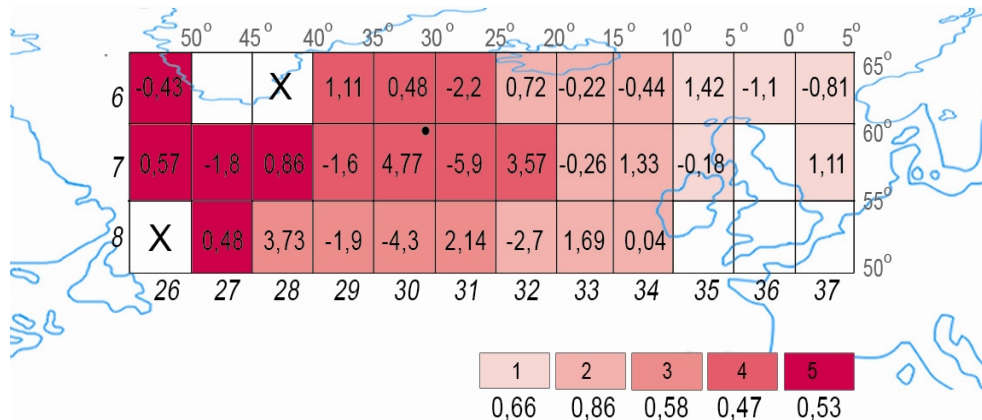
Графикон 5. Дијаграм растојања током сваког од корака кластерске анализе

Највећи проценат варијансе географске ширине Исландског минимума захвата кластер 4, при чему се око 91% (прилагођено  $R^2=0,91$ ) свих промена може објаснити променама у овом кластеру. У оквиру овог кластера највећи допринос има гридна ћелија 730 чији  $\beta$  коефицијент износи -1,6 (карта 2). Високом вредношћу прилагођеног коефицијента детерминације (0,76) се одликује и кластер 2 у коме највећи значај има гридна ћелија 832.



**Карта 2. Процент захваћености варијансе географске ширине Исландског минимума и  $\beta$  коефицијенти за сваку гридну ћелију у оквиру добијених кластера**

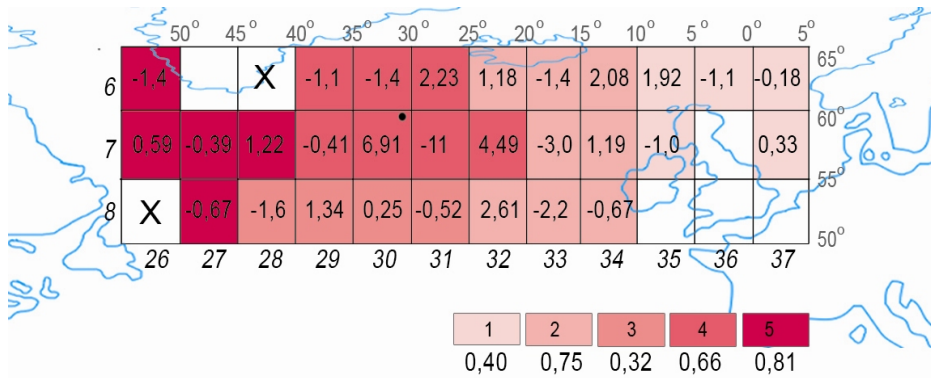
Највећи проценат варијансе географске дужине Исландског минимума захвата кластер 2. Око 86% (прилагођено  $R^2=0,86$ ) свих промена ове критеријумске варијабле се може објаснити променама у овом кластеру, при чему највећи допринос има гридна ћелија 832 чији  $\beta$  коефицијент износи -2,7 (карта 3). Код свих осталих кластера је прилагођени коефицијент детерминације испод 0,7.



**Карта 3. Процент захваћености варијансе географске дужине Исландског минимума и  $\beta$  коефицијенти за сваку гридну ћелију у оквиру добијених кластера**

Највећи проценат варијансе интензитета Исландског минимума захвата кластер 5. Око 81% (прилагођено  $R^2=0,81$ ) свих промена ваздушног притиска се може објаснити променама у овом кластеру, при чему највећи допринос има гридна ћелија 626 чији  $\beta$  коефицијент износи -1,4 (карта 4). Велики проценат варијансе ове варијабле се захвата и кластером 2 у којем највећи допринос има гридна ћелија 733.





**Карта 4. Процент захваћености варијансе интензитета Исландског минимума и  $\beta$  коефицијенти за сваку гридну ћелију у оквиру добијених кластера**

Иако кластер 4 захвата свега 66% варијансе интензитета Исландског минимума, овде треба имати у виду изузетно високе вредности  $\beta$  коефицијената гридних ћелија 730 и 731.

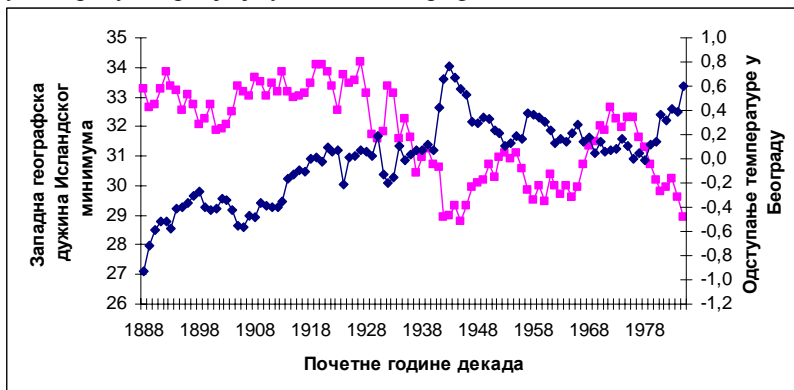
Као што је већ речено, испитана је и корелација покретних декадних вредности положаја и интензитета Исландског минимума и одступања температуре ваздуха у Србији и Београду (табела 2).

**Табела 2. Коефицијенти корелације између положаја и интензитета Исландског минимума и температуре у Београду и Србији**

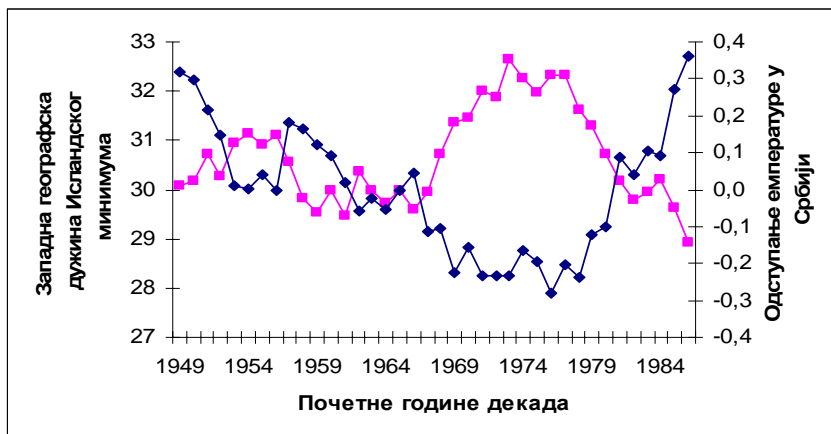
	Географска дужина Исландског минимума	Географска ширина Исландског минимума	Интензитет Исландског минимума
$T_{\text{Београд}}$	-0.78	-0.19	-0.14
$T_{\text{Србија}}$	-0.76	-0.27	-0.59

Највеће вредности коефицијената корелације су између географске дужине Исландског минимума и температуре ваздуха у Београду и Србији, а затим између интензитета Исландског минимума и температуре ваздуха у Србији (значајни на нивоу поверења од 99%). Остали коефицијенти корелације приказани у табели 2 не показују статистичку значајност.

Однос између географске дужине Исландског минимума и температуре ваздуха у Београду и Србији је уочљив и на графиконима 6 и 7.



**Графикон 6. Однос између географске дужине Исландског минимума и температуре ваздуха у Београду**



Графикон 7. Однос између географске дужине Исландског минимума и температуре ваздуха у Србији

Важно је нагласити да је знак везе негативан, што значи да са померањем Исландског минимума према истоку долази до пораста температуре ваздуха у Београду и Србији.

### Закључак

Повезаност између Ел Ниња, односно позитивног одступања температуре воде у тропском појасу Тихог океана и промена у ваздушном притиску изнад овог океанског басена је документована мноштвом радова. Примена каноничке корелације на поједине регионе тропског дела Тихог океана и индекс јужне осцилације је потврдила ову везу.

Са друге стране, с обзиром на то да је у ранијим радовима уочена веза између Исландског минимума и температуре ваздуха у Београду, покушали смо да испитамо да ли промене температуре воде (дате у мрежи  $5 \times 5^\circ$ ) у субполарном појасу Атлантика могу утицати на овај акциони центар. Стога је кластерском анализом испитано како се групишу гридне ћелије овог појаса, при чему је издвојено пет кластера. Анализом резидуала је утврђено да вишеструка линеарна регресија представља одговарајућу статистичку технику за испитивање повезаности између сваког од кластера и положаја, односно интензитета Исландског минимума.

Када се као зависна варијабла посматра географска ширина Исландског минимума највећи проценат варијансе (око 91%) се захвата кластером 4, у оквиру кога је најзначајнија гридна ћелија 730 (простор између  $55-60^\circ\text{N}$ ;  $30-35^\circ\text{W}$ ).

Када се као зависна варијабла посматра географска дужина Исландског минимума највећи проценат варијансе (око 86%) је захваћен кластером 2, у оквиру кога је најзначајнија гридна ћелија 832 (простор између  $50-55^\circ\text{N}$ ;  $20-25^\circ\text{W}$ ).

У погледу интензитета Исландског минимума најзначајнији је кластер 5, којим се захвата око 81% варијансе ове критеријумске варијабле, а у оквиру овог кластера, најзначајнија је гридна ћелија 626 (простор између  $60-65^\circ\text{N}$ ;  $50-55^\circ\text{W}$ ).

У погледу повезаности положаја и интензитета Исландског минимума и температуре ваздуха у Београду и Србији, показало се да најснажнија (негативна) корелација постоји између географске дужине овог акционог центра и температуре. Такође на нивоу поверења од 99%, постоји статистички значајна веза и између интензитета Исландског минимума и температуре ваздуха у Србији.

## Захвалност

Аутори се захваљују Драгољубу Штрпцу и мр Миловану Миливојевићу из Географског института „Јован Цвијић“, САНУ на обради података о површинској температури воде Атлантског океана и израђеним картама субполарног појаса Атлантског океана. Такође се захваљују Херману Махелу на подацима о Исландском минимуму.

## Литература

- Bigg, G. (2003). *The Oceans and Climate*. New York: Cambridge University Press
- Дуцић, В. (1999). *Антропогени утицаји на колебање климата у Србији*. Београд: Географски факултет, докторска дисертација
- Kapala, A., Machel, H. and Flohn, H. (1998). Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part II: Associations with regional climate anomalies. *Int. J. Climatology*, 18, p. 23-36.
- Kirov, B. and Georgieva, K. (2002). Long-term variations and interrelations of ENSO, NAO and solar activity. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* 27 (6–8), p. 441–448.
- Machel, H., Kapala, A. and Flohn, H. (1998). Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. *Int. J. Climatology*, 18, p. 1-22.
- Paeth, H., Latif, M. and Hense, A. (2003). Global SST influence on twentieth century NAO variability. *Climate Dynamics* 21, p. 63–75.
- Paskota, M. (1994). Hijerarhijska klasifikacija meteoroloških podataka i klima u Beogradu. U "XXI Jugoslovenski simpozijum za operaciona istraživanja", Kotor, str. 380-391.
- Radinović, Đ. (1981). *Vreme i klima Jugoslavije*. Београд: Градевинска knjiga
- Тепавчевић, А, и Јужанин, З. (2006). *Математичке методе у таксономији*. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за математику и информатику
- Stevens, J. (1986). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wang, X., Xie, S. P. and Carton, J. A. (2004). A Global Survey of Ocean–Atmosphere Interaction and Climate Variability. Eds. Wang X, Xie S.P, Carton J. A, *Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, 147, AGU, Washington D.C. 1-19.
- Wilks, D. S. (2006). Statistical methods in the atmospheric sciences. *International Geophysics Series*, volume 91, p. 630.
- Wolter, K. (1987). The Southern Oscillation in Surface Circulation and Climate over the Tropical Atlantic, eastern Pacific, and Indian Oceans as Captured by Cluster Analysis. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, p. 540-558.

BOŠKO MILOVANović  
MILAN RADOVANović  
VLADAN DUCIĆ

## S u m m a r y

### OCEAN AND ATMOSPHERE COUPLING, CONNECTION BETWEEN SUB-POLAR ATLANTIC AIR TEMPERATURE, ICELANDIC MINIMUM AND TEMPERATURE IN SERBIA

In the presented paper correlation between the northern part of the Atlantic ocean (belt between 50-65°N) and the atmospheric pressure is examined. The main accent is focused on the connection between Iceland low and the sea surface temperature (SST) in the subpolar part of the Atlantic ocean. By hierarchical cluster analysis five relatively unified clusters of sea surface temperatures grid cells are defined. By multiple linear regression, we examined the correlation between each of the depicted clusters with position and intensity of Iceland low, and identified the most important grid cells inside every cluster.

When the latitude of the Iceland low is analyzed the most important cluster is number 4 (approximately 91% of the variance is accounted for) where the grid cell number 730 (55-60°N; 30-35°W) has the highest coefficient. It is shown that cluster number 2 is the most important for the longitude of the Iceland low (approximately 86% of the variance is accounted for) and that grid cell number 832 (50-55°N; 20-25°W) is the most important one inside this cluster. In the case of the intensity of this centre of action, the most important is cluster number 5 (approximately 81% of the variance is accounted for) with the grid cell number 626 (60-65°N; 50-55°W) as the most important one.

The analysis of the relation between position and intensity of Iceland low and air temperature in Serbia and Belgrade has shown the strongest (negative) correlation for the longitude of this centre of action. The statistically significant correlation (also on the significance level of  $\alpha=0,01$ ) exist between intensity of Iceland low and air temperature in Serbia, while other correlation coefficients are not statistically significant.