

КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ – ГЕОПЕРСПЕКТИВА

СЛОБОДАН Б. МАРКОВИЋ**, **

А п с т р а к т . – Сведоци смо великог глобалног интереса за феномен климатских промена, како дела научне заједнице тако и најшире јавности. Општи интерес за климатске промене носи велику разноврсност разумевања овог проблема у широком распону, од потцењивања могућих последица до неумерених катастрофичних интерпретација. Овакав незапамћени глобални интерес за разумевање механизама климатске динамике представља нормалну реакцију савремене цивилизације, која још увек суштински зависи од климе.

Посматрано из аспекта дуготрајних кенозојских климатских промена ми се налазимо у последњој топлој фази (интерглацијалу) квартарног леденог доба, која је још увек далеко хладнија од палеоценско-еоценског климатског максимума. Многи савремени научници тврде да ће пораст емисије гасова ефекта стаклене баште у атмосферу узроковати значајно глобално загревање Земље.

У овој прегледној студији анализирана је варијабилност климе Земље у односу на количину присуства гасова који изазивају ефекат стаклене баште током последњих 65,5 милиона година, као потенцијални основ за боље разумевање савремених покушаја сагледавања будућих климатских промена.

Кључне речи: Земља, ефекат стаклене баште, климатске промене и ледено доба

1. УВОД

Клима је средње стање атмосферских/климатских елемената у дужем временском периоду. Поред средњих вредности ових елемената и њихове екстремне вредности су веома битне за адекватно разумевање динамике процеса у приземном делу атмосфере. Упркос драматичном технолошком развоју, савремена цивилизација није у стању да климом (сврсисходно) управља, па у великој мери зависи од климатске динамике. Зато не чуди да се климатска истраживања налазе у жижи интересовања, како научне тако и најшире профане јавности.

Инструментални период метеоролошких осматрања, током којег се систематски мере климатски елементи, није дужи од два века. Најдужи низови

* Катедра за физичку географију, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду

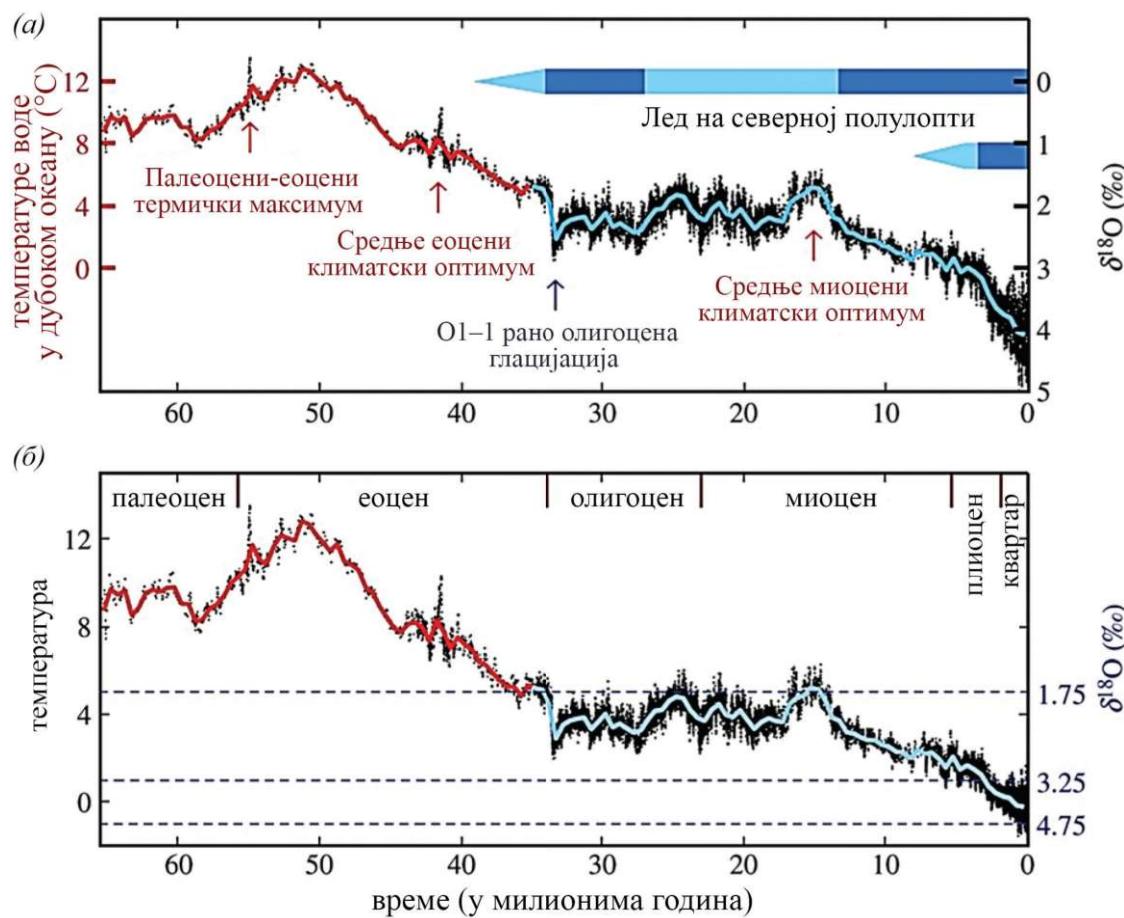
** Српска академија наука и уметности, Кнеза Михаила 35, Београд

климатских мерења углавном су везани за локације највећих светских градова који су временом брзо расли, па се ови подаци не могу увек сматрати потпуно репрезентативним показатељима климатских промена у инструменталном периоду. Идући у археолошку и геолошку прошлост још је теже прецизно реконструисати климатску еволуцију. Занимљиво је да се еволуција хоминида догађала током генерално неповољних климатских флуктуација квартарног леденог доба. Савремени људи су постали доминантни у односу на неандерталце на европском континенту током релативно наглих смена хладних и нешто топлијих, стадијалних и интерстадијалних фаза последњег глацијалног периода, пре око 40.000 година (Obreht et al., 2017; Chu, 2018). Такође, све више научних студија истиче да је уздизање и нестанак многих праисторијских и историјских култура и цивилизација било последица ис-пољавања некадашњих екстремних климатских услова (e.g. Giosan et al., 2012).

2. КЕНОЗОЈСКЕ КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ

Генерално посматрано, клима Земље осцилује у мегациклусима, који екстремно варирају од доминације тропског климата до ултрахладног периода познатог као „снежна лопта“. Последњи такав мегаклиматски циклус додгодио се током кенозоика. Међутим, несумњиво је да је кенозојска клима на глобалном нивоу постепено постала све хладнија (Zachos et al., 2008, 2011). На слици 1а) приказане су промене вредности $\delta^{18}\text{O}$ у води глобалног дубоког мора према Zachos et al. (2008). Дуготрајне кенозојске климатске промене крећу се у великом распону, од палеоценско-еоценског климатског максимума (ПЕКМ), до максималног захлађења забележеног током неколико последњих глацијала квартарног леденог доба.

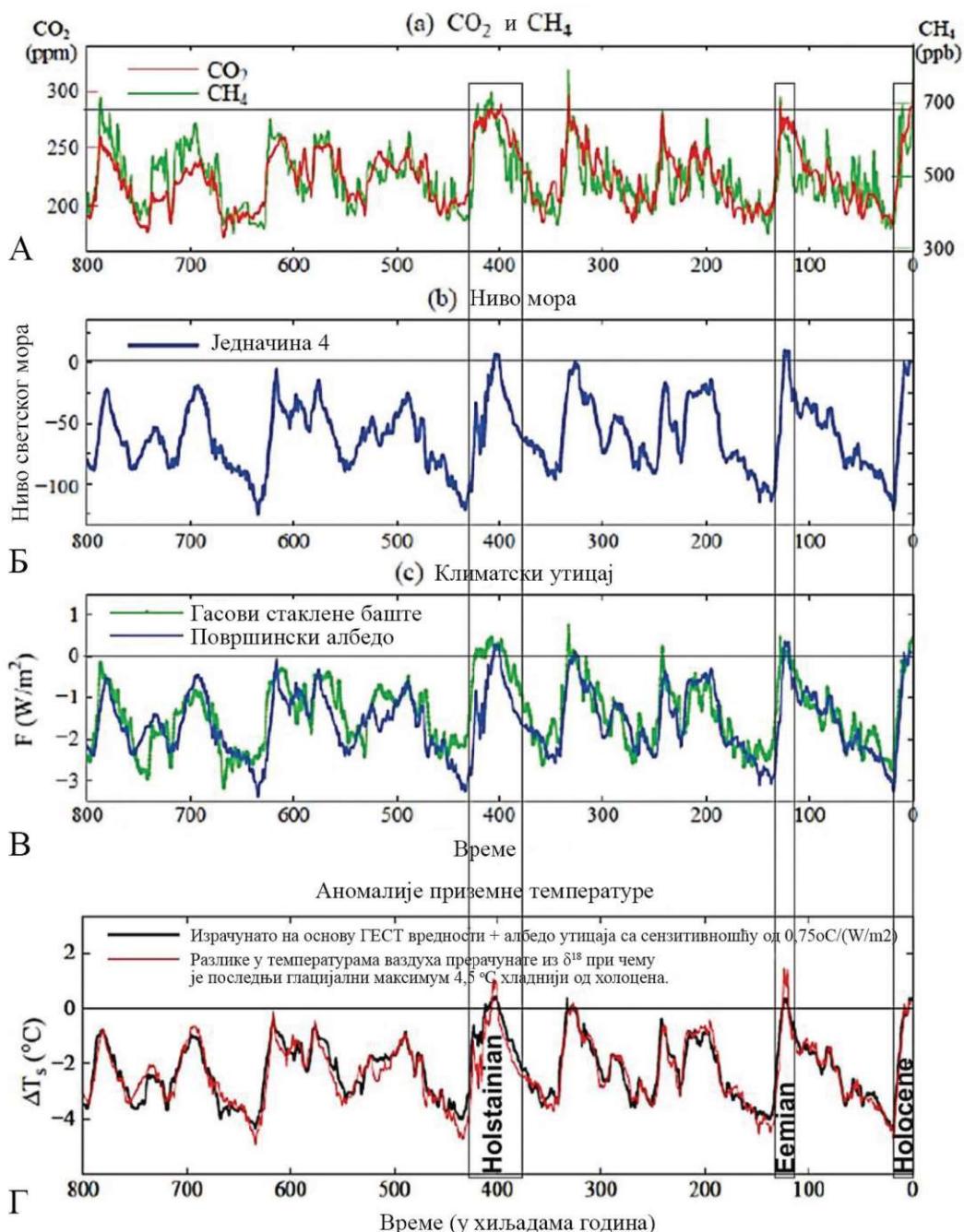
Флуктуација вредности $\delta^{18}\text{O}$ у води глобалног дубоког мора одсликају промене запремине леда на глобалном нивоу. Тако је стварање леденог покривача на Антарктику интензивирано након ране олигоценске глацијације, док је процес стварања поларне ледене капе на северној полуопти започео знатно касније, пре око три милиона година. Доњи део слике 1б) садржи очекиване температуре воде у дубини океана и показује да температурна амплитуда између ПЕКМ и најхладнијих пеистоцених глацијала прелази 12°C . Поређења ради, током последњег глацијалног максимума, пре приближно 23.000 година, када је лед прекривао већи део Северне Америке и значајне делове западног дела Евроазије, глобална годишња температура била је мања за око 5°C од данашње (Hansen et al., 2013). Међутим, утврђивање међусобног односа удела запремине леда, температура и нивоа светског мора у овом јединственом палеоклиматском запису, као и квантификовање концентрације гасова ефекта стаклене баште (ГЕСТ) у атмосфери, током дугог геолошког раздобља кенозоика ипак је у великој мери спекулативан.



Слика 1. а) $\delta^{18}\text{O}$ у води глобалног мора према Zachos et al. (2008) и б) очекиване температуре воде у дубини океана према Hansen et al. (2013); црне тачке означавају измерене вредности, а црвена и плава линија имају временску резолуцију од 500.000 година (Hansen et al., 2013, модификовано)

Идући према гелошкој садашњости, палеоклиматски записи постају све поузданiji за сагледавање односа удела запремине леда, температура и нивоа светског мора и њихових релација са динамиком ГЕСТ. Спектакуларне антарктичке бушотине у леду, а пре свих EPICA Dome C, која је са дубином од 3.260 m досегла дно антарктичког леда (EPICA community members, 2004, Jouzel et al., 2007), пружају нам изванредну могућност да упоредимо палеотемпературе и концентрацију ГЕСТ сачуваних у заосталим ваздушним меухрићима ледених буштина током последњих 800.000 година (слика 2). Значајнији скок ГЕСТ догодио се током интерглацијала холштајнијан (Holstainian) пре приближно 420.000 година и то за око 40 ppm CO_2 у односу на старије интеглацијале (слика 2а). Последица тог скока у концентрацији ГЕСТ било је повећање глобалног нивоа мора за неколико метара (слика 2б) и релативно мало повећање глобалне температуре (слика 2г). Слична ситуација се догодила и током претпоследњег интерглацијала имијан (Eemian)

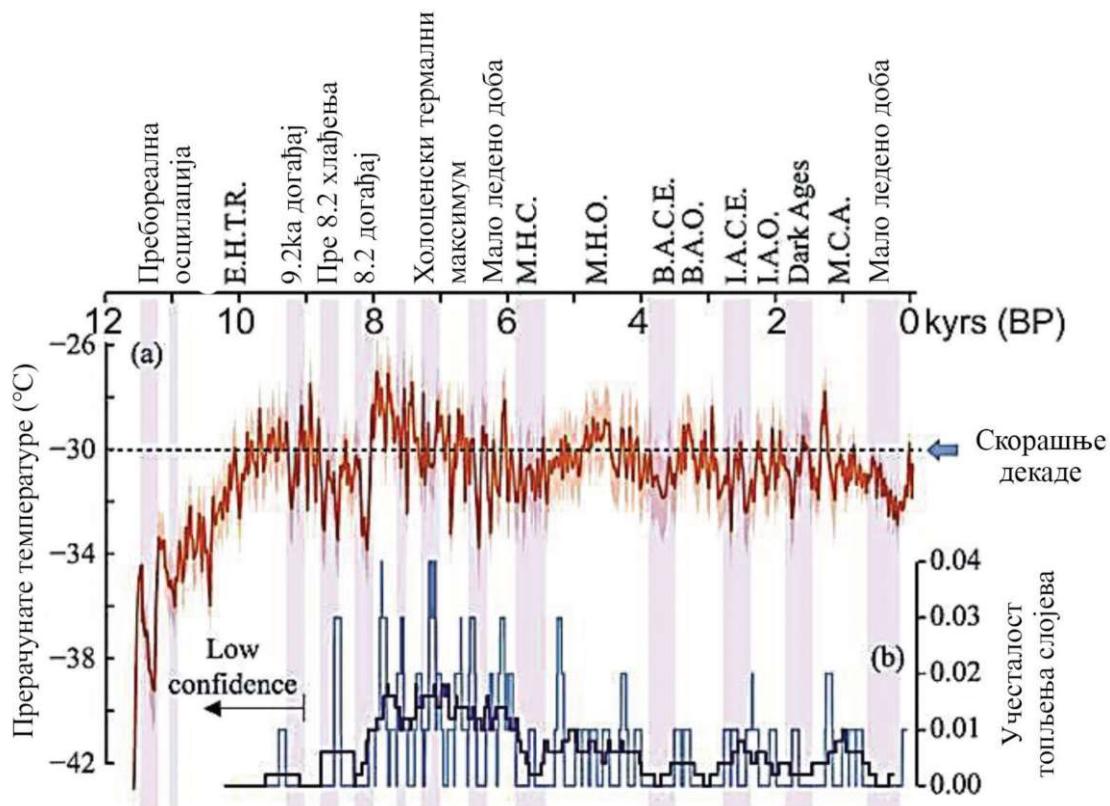
(слика 2а) пре приближно 120.000 година, који је имао сличну, па чак и мању, концентрацију ГЕСТ него у прединдустриско доба, у холоцену, савременом/садашњем интерглацијалу (Hansen et al., 2013).



Слика 2. а) концентрација ГЕСТ (EPICA community members, 2004) CO_2 је приказан црвеном, а CH_4 зеленом линијом, б) промене нивоа светског мора, в) климатски утицај ГЕСТ приказан зеленом линијом и албедо приказан плавом линијом и г) аномалије приземне температуре, где црвена линија представља аномалије температуре ваздуха прерачунате на основу вредности ГЕСТ + албедо, са сензитивношћу од $0,75^{\circ}\text{C} / (\text{W}/\text{m}^2)$.

Црна линија представља разлике у температурама ваздуха где је последњи глацијални максимум $4,5^{\circ}\text{C}$ хладнији од холоцене. Посебно су уоквирени савремени интерглацијал холоцен (Holocene), претпоследњи интерглацијал имијан (Eemian) и интерглацијал холштајнијан (Holstianian) (Hansen et al., 2013, модификовано)

Како што слика 2 показује, утврђене промене присуства ГЕСТ у атмосфери током последњих осам глацијално-интерглацијалних циклуса нису узроковале значајније промене нивоа мора, односно приземне температуре атмосфере. Остаје да се пронађе одговор на суштинско питање, како ће се одвијати климатске промене у условима повећане емисије CO_2 за додатних 130 ppm до 140 ppm у односу на прединдустријски период?



Слика 3. а) Температуре прерачунате за ледену бушотину *Summit* на Гренланду и б) (светлоплава линија) фреквенција топљења ледених слојева у резолуцији 100 (светлоплава линија). Е.Н.Т.Р. = рано холоценски оптимум, М.Н.С. = хладни период холцена, М.Н.О. = средње холоценски оптимум, В.А.С.Е. = хладни период бронзаног доба, В.А.О. = оптимум бронзаног доба, И.А.С.Е. = хладни период гвозденог доба, В.И.А.О. = оптимум гвозденог доба, М.С.А. = средњовековна аномалија (Kobashi et al., 2018, модификовано).

Међутим, измерене и реконструисане температуре ваздуха на глобалном нивоу не дају ни приближно тако драматичан пораст као у случају повећања емисије атмосферског CO₂. Слика За) показује да су температуре прерачунате у односу на одговарајуће вредности за гренландску ледену бушотине *Summit* током већег дела холоцене биле углавном стабилне, и у више наврата веће него савремене температуре (испрекидана линија на слици За), упркос знатно мањем присуству ГЕСТ у тадашњој атмосфери (Kobashi et al., 2018).

3. КОЛИКО СМО БЛИЗУ ПРОЦЕНЕ БУДУЋИХ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА?

Без намере да се умањи неопходност све веће бриге људи за будућност наше планете, у даљем тексту ће бити дат кратак осврт на напоре у тзв. заустављању негативних последица климатских промена. На серији климатских конференција, од којих је прва одржана у Кјоту 1997. године, а последња у Паризу 2015. године, усвојено је више протокола и споразума о борби против глобалног загревања, као негативној последици климатских промена. На тај начин су створени међународни правни оквири: (1) да се клима сматра за комерцијални ресурс и (2) да се клима може користити као политички инструмент.

Тако су отпочете опсежне научно-стручне и пропагандне активности. Једна од најзначајнијих је оснивање Међувладиног панела о климатским променама (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), чије је оснивање одобрila Генерална скупштина Уједињених нација како би се политичким лидерима држава обезбедиле поуздане информације о климатским променама, њиховом утицају, ризицима, прилагођавању и њиховом ублажавању. Главна активност IPCC је објављивање периодичних извештаја о климатским променама. У овим извештајима провејавају садржаји „аспиритног застрашивања“. Тако се климатске промене сматрају неподесним феноменом, а одржавање климе пре индустријског утицаја сматра се пожељним. Такав став је у супротности с варијабилном природом климе. Овакво становиште, упркос драматичном савременом развоју науке, хелиоцентрично схватање климатских промена, подређује геоцентричним, па чак и етноцентричним и егоцентричним поимањима. IPCC у својим документима глобално загревање превасходно доводи у везу са емисијом ГЕСТ услед употребе фосилних горива. Иако IPCC извештаји нису научни радови, ови документи су доминантно најцитиранији у савременим климатолошким студијама, тако да се слободно може рећи да попримају карактеристике „светих књига“. Потпуни „благослов“ за овакве активности представљала је додела Нобелове награде за мир за 2007. годину, коју су поделили IPCC и Алберт Арнолд Гор, тадашњи потпредседник САД (Gavrilov et al., 2016).

Промовисана су три „крунска“ доказа за глобално отопљавање и успостављање „негативних“ будућих климатских промена: повећање температуре током инструменталног периода, повећана емисија CO_2 и нумеричко моделирање климе будућности. Најдужи низови инструменталних климатских података по правилу се везују за највеће светске градове, чије су метеоролошке станице временом биле под све већим утицајем урбане климе. Други проблем представљају непрестане реанализе и прерачунавања реално изменених метеоролошких података. Према IPCC глобална просечна приземна температура је порасла за мање од 1°C у периоду 1880–2012. године (IPCC, 2013). Упркос изостанку изворних података на основу којих су добијени ови крајњи резултати загревања атмосфере, оно није створоило катастрофичну глобалну ситуацију, напротив сведоци смо незапамћеног демографског бума. Планетарни број становника се у овом периоду увећао седам пута, а наша цивилизација је достигла највећи технолошки напредак. Тако, стиче се утисак да је пораст температуре током инструменталног периода осматрања атмосфере имао више поспешујући него штетни утицај.

Највећи број савремених климатских студија сматра повећану концентрацију CO_2 за главни узрок глобалног загревања. Концентрација овог гаса у атмосфери мери се на мало места, а најпознатије мерно место је опсерваторија на Хавајима, чија се мерења користе као илустрација драматичног пораста присуства CO_2 у атмосфери. Хаваји нису најрепрезентативније место за мерење концентрације CO_2 , због интензивне вулканске активности овог архипелага. Такође, још увек није разјашњена улога CO_2 у процесу апсорпције дуготаласног зрачења Земље, што је и даље један од недовољно познатих области у физици атмосфере (Gavrilov et al., 2016).

Нумеричке симулације климе употребом климатских модела и стандардизованих сценарија понуђени су као најсврсиходније решење да се предвиде/процене будуће климатске промене на основу претпостављеног пораста CO_2 условљених пројектованом потрошњом фосилних горива. Интеграције тих модела често иду неколико десетина година у будућност. Такве прогнозе сматрају се неком врстом објективне процене о будућности климе, ако се претпостављени сценарио реализује. Како веома мали број људи заиста разуме бројна ограничења које имају климатски модели, већина истраживача је фасцинирана овом методологијом и безрезервно приhvата често застрашујуће добијене резултате (Gavrilov et al., 2016). Носиоци ових помало догматских схватања агресивно се односе према колегама који изражавају скепсу према катастрофичном погледу на климатске промене, што се суштински коши са природом научних истраживања која представљају слободоуман, сталожен и неагресиван приступ у сагледавању стварности, како природне, тако и друштвене.

4. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Седамдесетих година прошлог века научници Џорџ Кукла и Робли Метјус (Kukla and Metthews, 1972) послали су забрињавајућу поруку америчком председнику Ричарду Никсону, изражавајући бојазан да ће предстојеће захлађење климе проузроковати бројне озбиљне проблеме. Тада је председничка администрација организовала панел посвећен проблему краја садашњег интерглацијала. Кратко накот тога, пажња научне и најшире јавности била је усмерена у потпуно супротном правцу, ка проблему глобалног отопљавања Земље. Да ли се ближимо крају садашњег интерглацијала или улазимо у суперинтерглацијал чији аналог не можемо пронаћи међу плеистоценским интерглацијалним фазама? Да ли ће забрињавајући пораст емисије ГЕСТ заиста проузроковати катастрофичне будуће климатске промене како показују нумерички прорачуни различитих климатских сценарија? Праве одговоре на постављена питања показаће време. Међутим, да би нас будућност што мање изненадила, потребно је климатска истраживања вратити у научно окриље и тако спречити исхитрену комерцијализацију климе као најважнијег јавног ресурса на Земљи.

ЛИТЕРАТУРА

- Gavrilov, M. B., Marković, S. B., Mladjan, D., Zarić, M., Pešić, A., Janc, N., Todorović, N
 2016. Global warming – between myth and reality, International Scientific Conference “Archibald Reiss Days”, 10–11 March 2016, Academy Of Criminalistic And Police Studies, Proceedings of International Significance, Vol II, Proceedings, 304–313.
- Giosan, L., Clift, P. D., Macklin, M. G., Fuller, D. Q., Constantinescu, S., Durcan, J. A., Stevens, T., Geoff, D. A. T., Tabrez, A. R., Gangal, K., Adhikari, R., Alizai, A., Filip, F., VanLanhingham, S., Syvitsk, J. P. M. Fluvial landscapes of the Harappan civilization. PNAS 109, 10138-10139.
- Hansen J, Sato M, Russell G, Kharecha P. 2013. Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. Phil Trans R Soc A 371, 20120294.
- IPCC, 2013: Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (February 11, 2016, 1:37 AM).
- Kobashi, T., Menzel, L., Jeltsch-Thommes, A., Vinther, B. M., Box, J. E., Muscheler, R., Nakaegawa, T., Pfister, P. L., Doring, M., Leuenberger, M., Wanner, H., Ohmura, A. 2018, Volcanic influence on centennial to millennial Holocene Greenland temperature change. Sci. Rep. 8, 4292.
- Kukla, G. J., Metthews, R. K. 1972. When Will the Present Interglacial End? Science 178, 190–202.

Obreht, I., Hambach, U., Veres, D., Zeeden, C., Bösken, J., Stevens, T., Marković, S. B., Klasen, N., Brill, D., Burow, C., Lehmkühl, F. 2017. Shift of large-scale atmospheric systems over Europe during late MIS 3 and implications for Modern Human dispersal. *Sci. Rep.* 7, 5848.

Slobodan Marković

CLIMATE CHANGES – GEOPERSPECTIVE

S u m m a r y

We are witnessing a growing global interest in the phenomenon of climate change, both among the general public and within the larger part of the scientific community. The widespread interest in climate change implies a wide range of different understandings of this problem, from underestimating the potential consequences, to excessive catastrophic interpretations. Such an unprecedented global interest in understanding the mechanisms of climate dynamics is the normal reaction of modern civilization, which is, essentially, still dependent on the climate.

Viewed from the aspect of long-term Cenozoic climate changes, we are living in the last warm phase (interglacial) of the Quaternary Ice Age, which is still far cooler than the Paleocene-Eocene climate maximum. Many modern scientists have argued that an increase in greenhouse gas emissions into the atmosphere will cause significant global warming of the Earth. This review study analyzes the variability of the Earth's climate with respect to the amount of greenhouse gas over the last 65.5 million years, as a potential basis for a better understanding of contemporary attempts to get an insight in future climate change.