



Svedoci smo da se već više godina nešto dešava sa godišnjim dobima. Zime su blage i duge, leta suva i sa velikim brojem tropskih dana i noći.



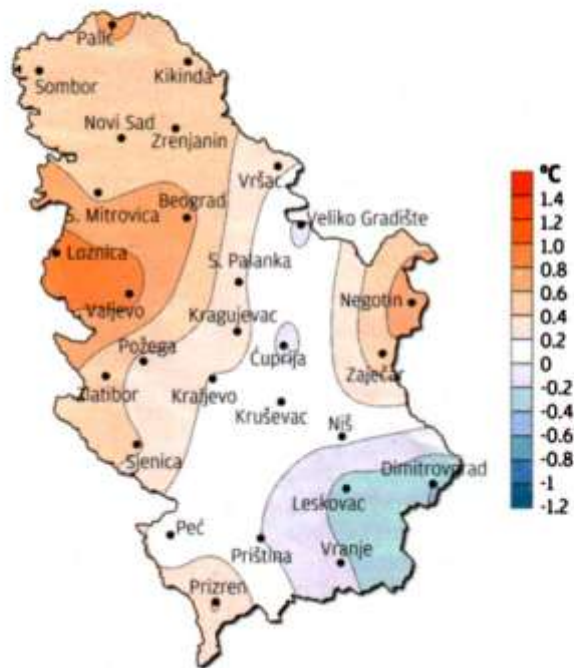
Čini nam se da su se “prelazna” godišnja doba (proleće i jesen) naprosto izgubila i da se iz zime direktno prelazi u leto.

Pritom, za utvrđivanje trenda na “duže staze”, uglavnom imamo kratko pamćenje. Tako je npr. 2010. godine zima bila duga, a leto je bilo velikim delom kišovito, što se ne uklapa u danas prisutan stereotip otopljanja klime.

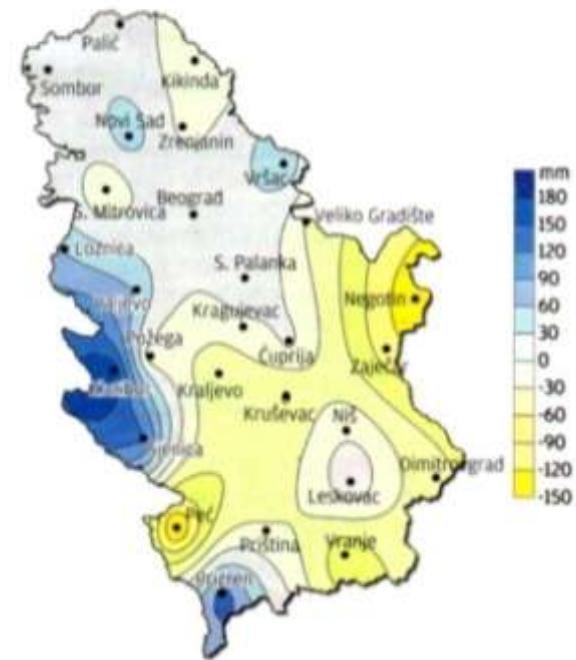


Kod nas su odstupanja od ravnotežnih prosečnih vrednosti temperature male. U regionima Dimitrovgrada, Vranja i Leskovca (na 5 stanica) zabeležen je negativan trend u ponašanju temperatura, a u Vojvodini, severozapadnoj Srbiji, Negotinskoj krajini (15 stanica) trend je pozitivan. Padavina je manje na istoku zemlje (Vlaška nizija), ali ih je više na zapadu naše zemlje.

Trend godišnjih temperatura vazduha u Srbiji u periodu 1950 – 2004.

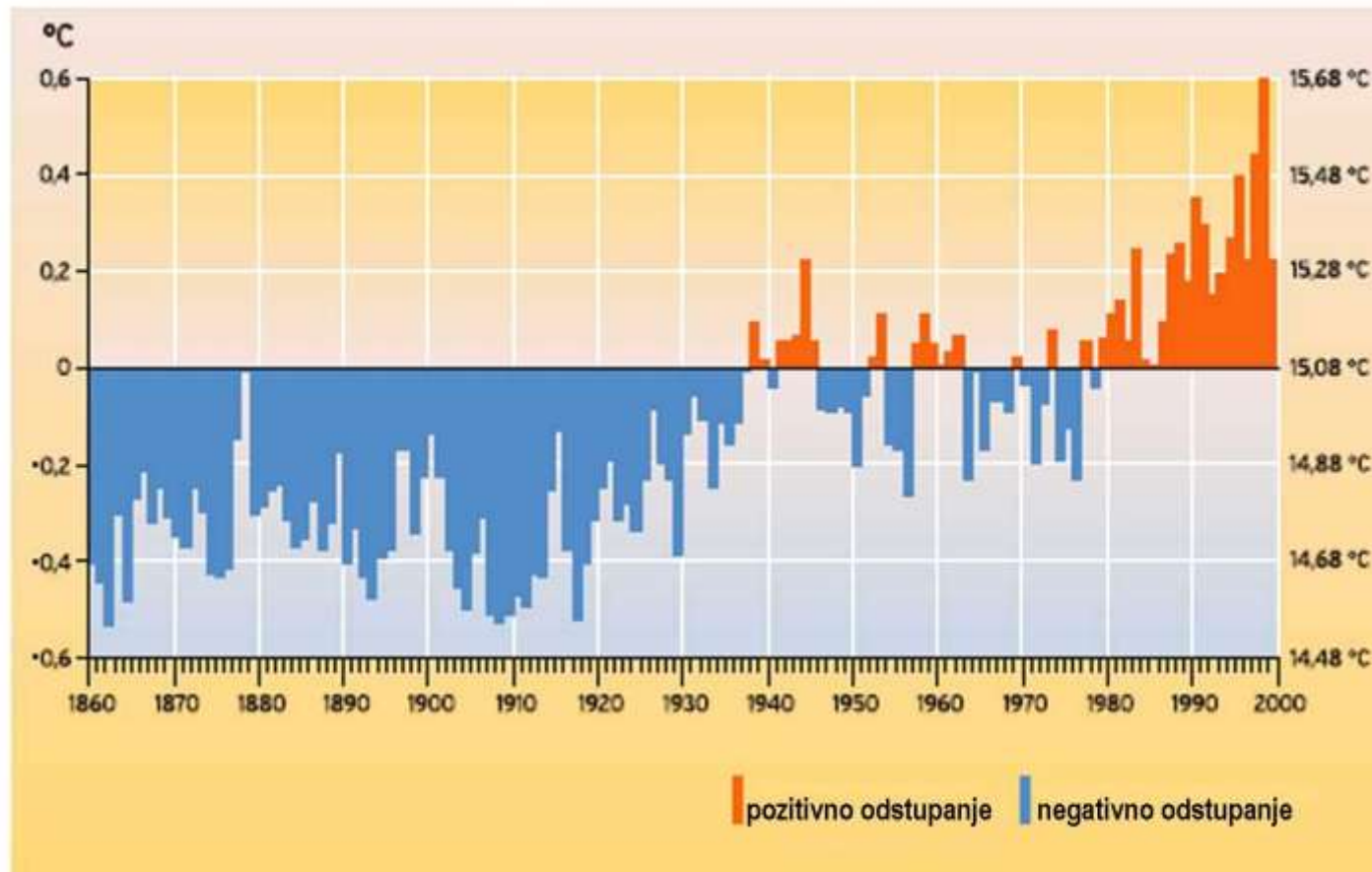


Trend godišnjih količina padavina u Srbiji u periodu 1950 – 2004.



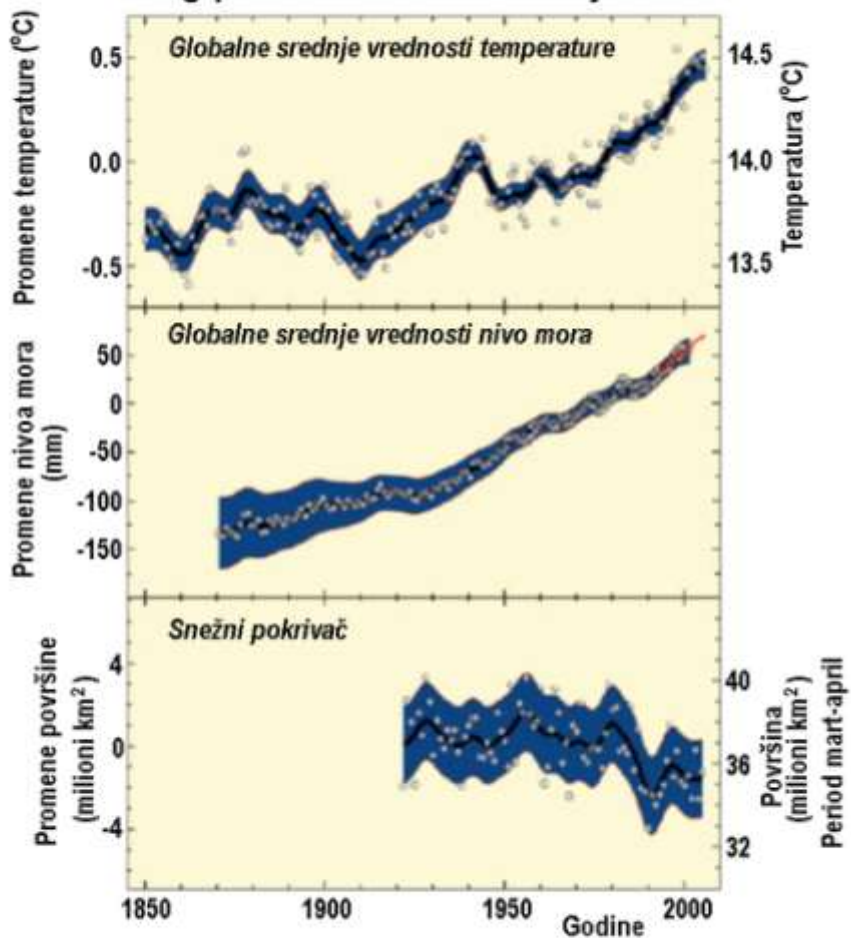
Na globalnom nivou merenja ukazuju da je došlo do otopljavanja (rast temeperature, podizanje nivoa mora, smanjenje zaleđenih površina na polovima i na glečerima, itd.)

Promene srednje godišnje temperature u prizemnom sloju
u periodu 1860-2000. g.

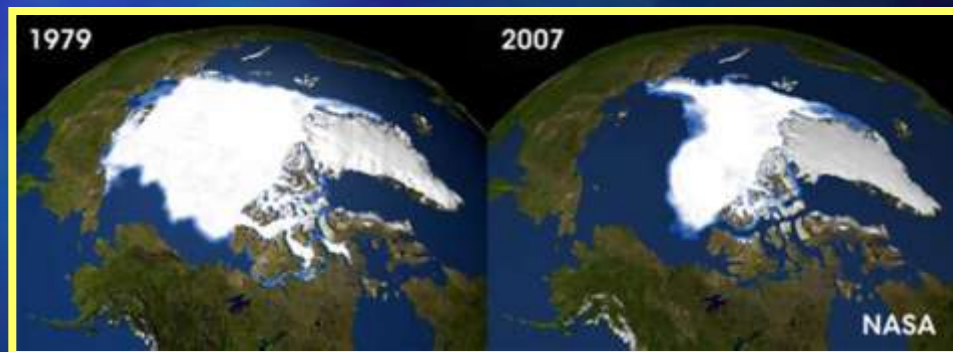


Razlike u odnosu na prosečne vrednosti u periodu 1961-1990.

Promene temperature, nivoa mora i snežnog pokrivača na severnoj hemisferi



Glatke krive prikazuju prosečne decenijske vrednosti, a kružići prosečne godišnje vrednosti. Osenčene površine prikazuju moguće intervale vrednosti.



Ovakav trend rasta temperature na površini Zemlje značajno zavisi od procesa u troposferi, najnižem sloju atmosfere.

Aktuelni problem je i što stanje u troposferi utiče na stanje u stratosferi, sloju u kojem se nalazi ozonski omotač Zemlje. On apsorbuje ubitačni deo UV zračenja, a to omogućava postojanje života na Zemlji.



Naime, zagrevanjem troposfere hladi se stratosfera, tako da polarni stratosferski vrtlozi, u kojima se zadržavaju freoni – ubice ozona, duže traju, pa je tako i uništavanje ozona efikasnije.



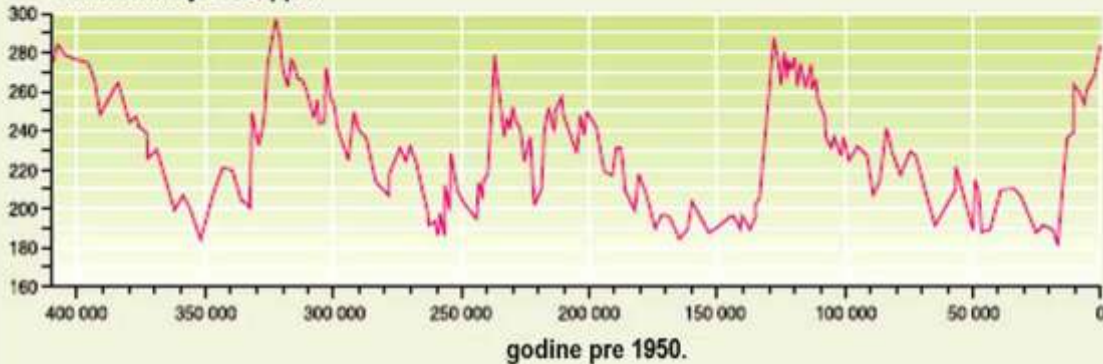
To znači da otopljavanje troposfere pomaže uništavanju ozonskog sloja. Tako se opet pokazuje da jedna nevolja nikada ne ide sama. U prirodi je sve povezano i ništa se ne dešava izolovano. Da bi se razumela jedna pojava treba poznavati i ostale pojave koje na nju utiču.

U klimatologiji i astrofizici je poznato da rast temperature na planeti koincidira sa prisustvom gasova staklene bašte (CO_2 , vodena para, CH_4 , N_2O , O_3 , CFC, SF_6 , ...). Rast njihove koncentracije količine dovodi do rasta temperature (primer Venere).

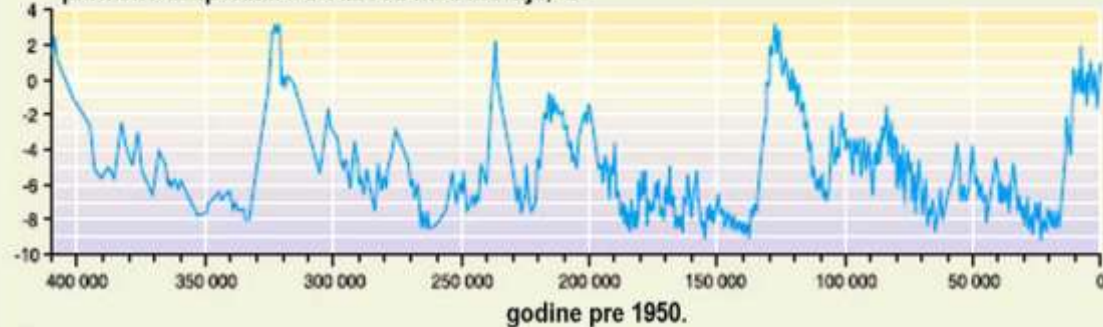
Ponašanje temperature i koncentracije CO_2 u poslednjih 400 000 godina

Ledena kora lednika Vastok

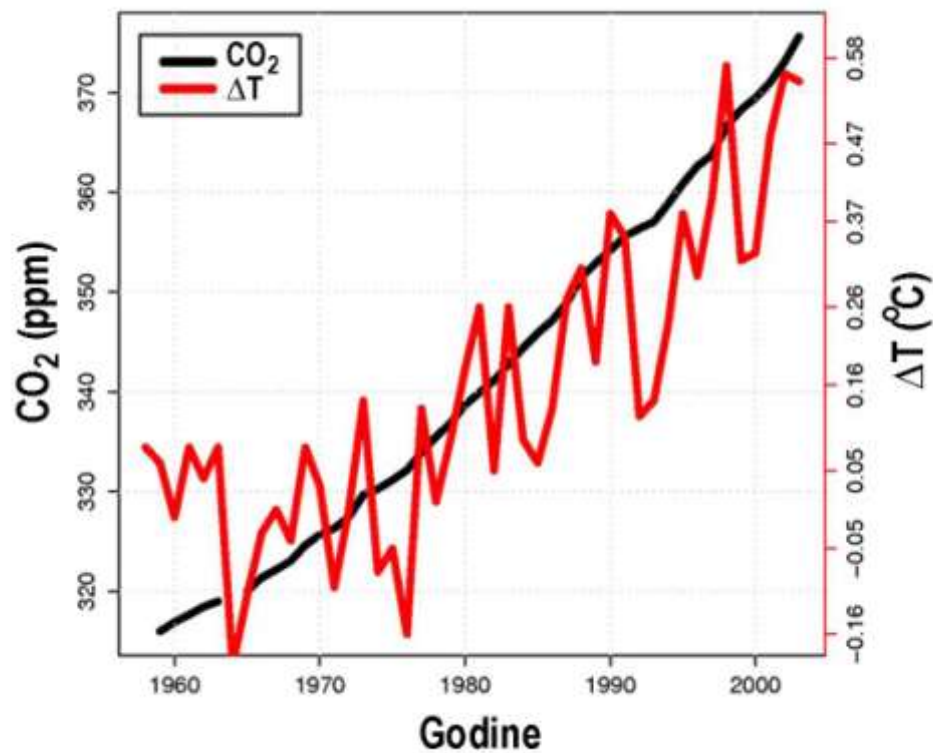
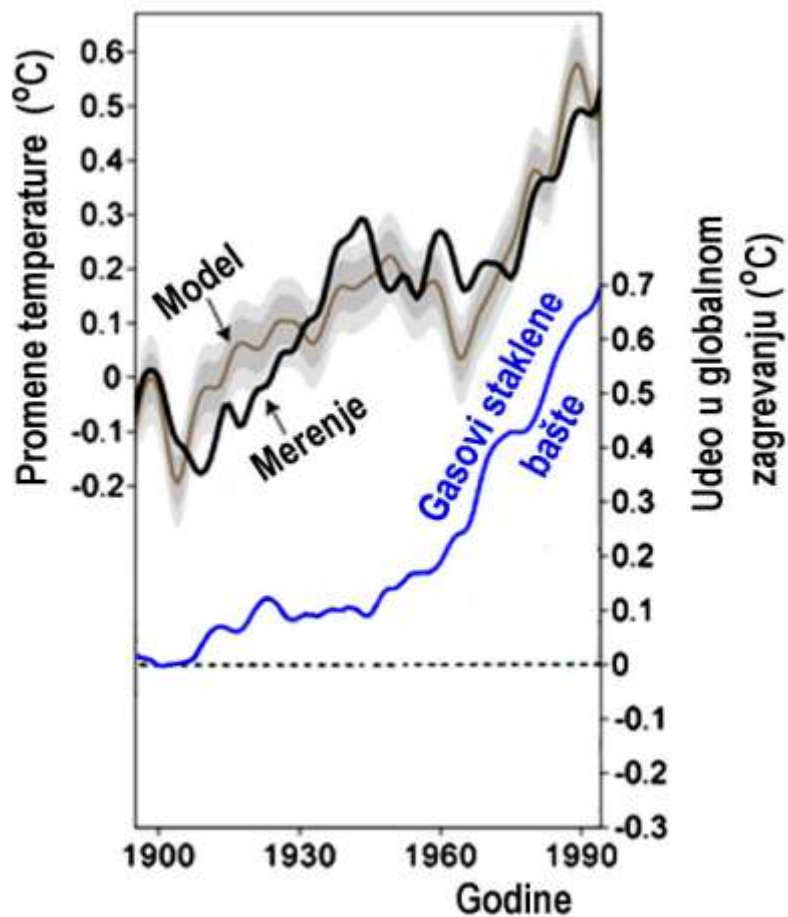
koncentracija CO_2 , ppm



promene temperature u odnosu na današnje, $^{\circ}\text{C}$



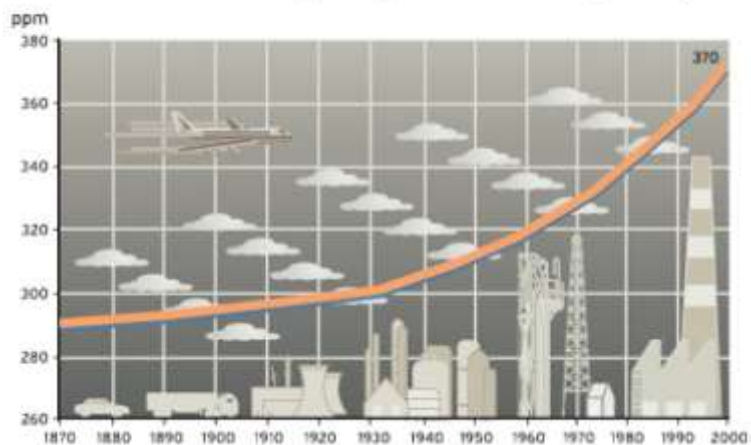
Ogroman broj klimatologa tvrdi da takvi trendovi postoje i na Zemlji.



Od industrijske revolucije do danas došlo je do ubrzanog razvoja civilizacije. Ali, uz “blagodeti”, takav razvoj doneo je i čemer, jad i bedu i ubrzano pustošenje planete i života na njoj. Došlo je do naglog rasta globalne temperature i prisustva gasova staklene bašte u troposferi . Posledice takvih trendova mogu biti pogubne po živi svet na Zemlji (u toku je šesto veliko izumiranje).



Rast koncentracije CO₂ nakon industrijalizacije



Dve su bitne činjenice uticale na formiranje svesti da je potrebna akcija za spas planete

- **Količina toplote dodata atmosferi određena je koncentracijom gasova staklene bašte.**
- **Koncentracije svih gasova staklene bašte su na Zemlji povećane od industrijske revolucije.**

1976. godine UN formira Program životne sredine (UNEP), a 1977. Svetska meteorološka organizacija (SMO) intenzivira Program osmatranja meteoroloških parametara i praćenja (monitoring) klimatskih promena.

1988. UNEP i SMO uspostavljaju Međuvladin panel za klimatske promene (IPCC).

Iako ljudske aktivnosti učestvuju u
 produkciji gasova staklene bašte sa
 samo 0.1% stručnjaci IPCC-a smatraju
 da je upravo to “kap koja je prelila
 čašu”. Njihovi modeli ponašanja ljudi
 prema prirodi pružaju različite
 scenarije i poziv za međunarodnu
 akciju (pre svega u potpisivanju
 obavezujućih protokola).

Izvori gasova staklene bašte

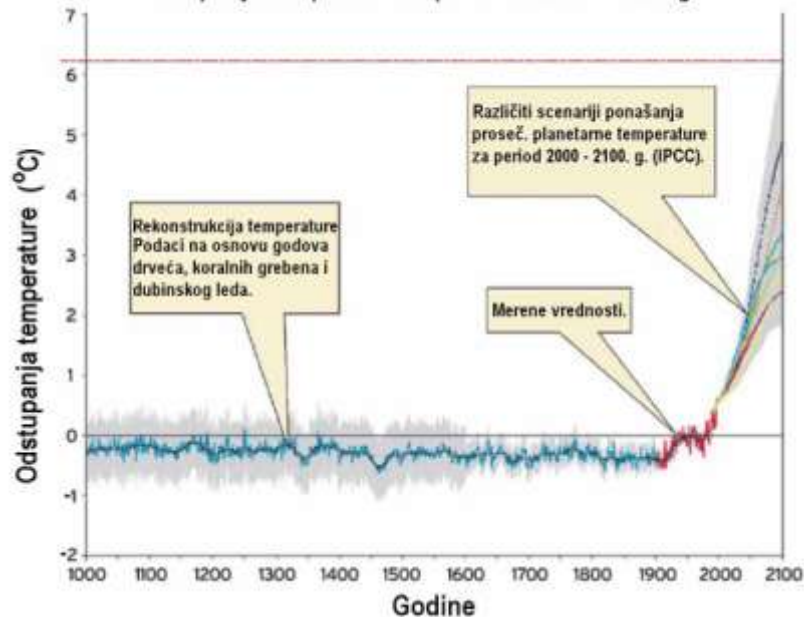
Ljudske aktivnosti	0,1 %
Vulkani i raspad biomase	1,45 %
Biološka aktivnost okeana	1,45 %
Vodena para	97 %



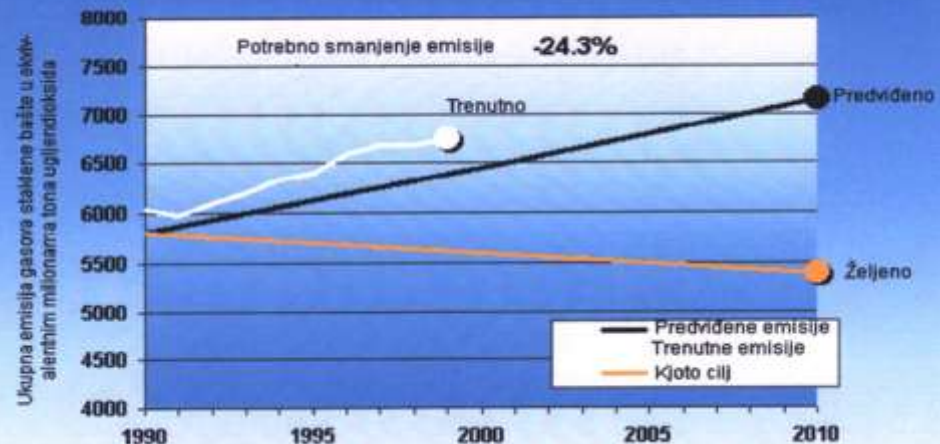
Ljudske aktivnosti

Ugljendioksid	64 %
Metan	19 %
Oksidi azota	6 %
CFC-12	6 %
Ostali halogeni ugljovod.	5 %

Odstupanja temperature u periodu 1000. - 2100. g.

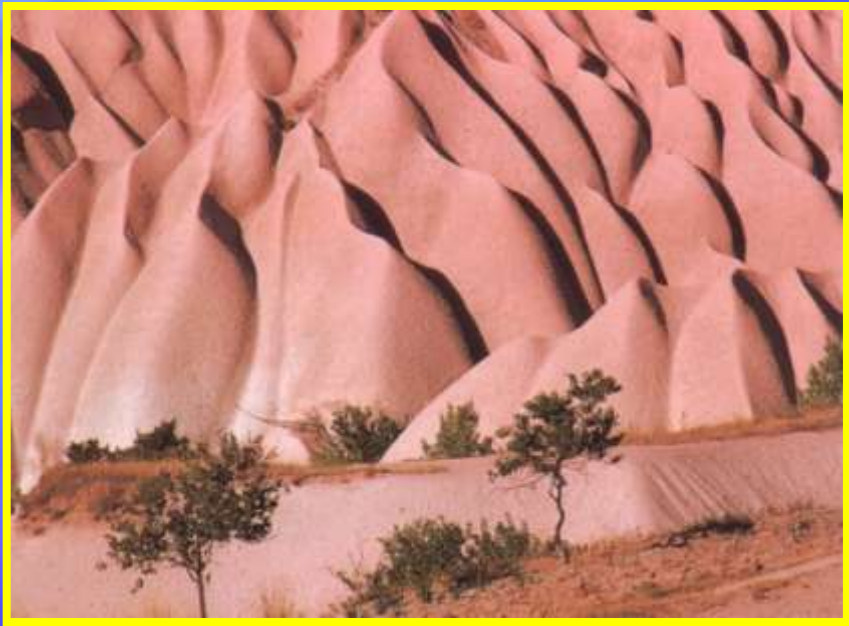


SAD



IPCC u svojim pesimističkim saopštenjima ukazuje da će ovo biti posledice našeg odnosa prema planeti...





Temperature na Zemlji, a samim tim i klima, zavise i od drugih faktora. Promene klime uzrokovane su:

- 1) astronomskim razlozima (promena Sunčevog zračenja, kretanje Sunca kroz galaktičku sredinu različite temperature, gustine kosmičke prašine i gasova, različiti položaji Sunca i Zemlje, itd.)**
- 2) promenama na samoj Zemlji (promena smera proticanja toplih i hladnih struja i vetrova, količine padavina, vulkanska aktivnost, itd.)**
- 3) promenama u Zemljinoj atmosferi (izmene sastava i koncentracije, itd.)**



Iako je tim IPCC sastavljen od vrhunskih vrlo uticajnih naučnika postoji ne mali broj naučnika koji se ne slažu u potpunosti sa zaključcima u biltenima IPCC, pogotovu kada je reč o uzrocima otopljanja globalne klime. Oni uglavnom zameraju stručnjacima IPCC-a da njihov rad nije dovoljno transparentan, da njihovi podaci nisu dovoljno provereni i, što je najvažnije, da je njihov pristup prilično jednostran, jer previše potencira doprinos antropogenog faktora, koji po ovim naučnicima ne može u potpunosti da objasni savremene klimatske trendove. Ima mišljenja da upravo zbog sumnji u ispravnost zaključaka IPCC-a, što je i dobar izgovor, zvaničnici industrijski najrazvijenijih zemalja nisu ratifikovale međunarodne protokole za smanjenje produkcije gasova staklene bašte i očuvanje prirodne sredine.

Kritičari IPCC-a ističu da su za otopljavanje klime odgovorni astronomski i “prirodni” faktori, ali i da je otopljavanje sa stanovišta geoloških vremenskih skala samo “klimatska perturbacija” i da je realan trend klime pad temperature. U tom smislu se scenariji ovih naučnika i tima IPCC-a drastično razlikuju.

U konačnom može se reći da u savremenoj nauci dominiraju dva sistema mišljenja o globalnom otopljavanju (GO) i klimatskim promenama (KP):

- 1) na GO i KP danas direktno utiče čovek svojim kumulativnim , destruktivnim i dugoročnim aktivnostima;**
- 2) učinak ljudskih aktivnosti je zanemariv i GO i KP su rezultat prirodnih ciklusa.**

Prvo stajalište preovladava u naučnoj (ali i političkoj, pogotovu nevladinoj) javnosti. Ono je uglavnom iskristalisano u aktivnostima IPCC i u osnovi polazi od antropogenog doprinosa efektu staklene bašte.

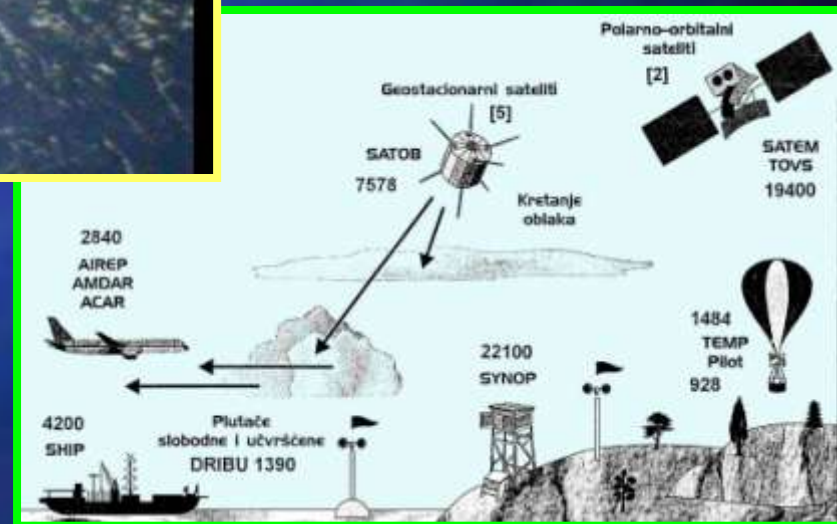
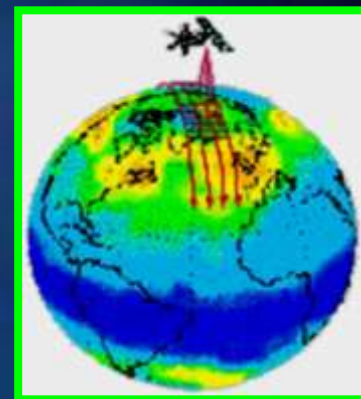
Druga grupa naučnika (koja nije institucionalizovana kao IPCC) ne negira doprinos ljudskih aktivnosti u GO i KP, ali smatraju da je taj doprinos mali i da je pravi uzrok promena vezan za astroklimatske faktore (promene u zračenju i aktivnosti Sunca, kretanjima planete, itd.) ili za promene na samoj Zemlji (vulkanska aktivnost, tektonika, itd.).

Cilj ovog izlaganja je da ukaže na značaj pojedinih astroklimatskih faktora.

Prof. dr Dragan Gajić

*Astrofizička determinisanost
klime na Zemlji*

Klima je prosečno stanje vremenske situacije u razdoblju od 30 godina. To malo matorijima daje za pravo da iz ličnog iskustva mogu da tvrde da li se klima promenila ili nije. Ipak, za relevantnu konstataciju treba se obratiti meteorologiji. Danas se najsavremenijim sredstvima precizno prati vremenska situacija u svetu i faktori koji na nju utiču.





Klima na planeti, bitno zavisi od temperature planete. **Ona je uslovljena je temperaturom Sunca, udaljenošću planete od Sunca, veličinom planete, njenim refleksionim svojstvima (koja su posledice njenog sastava – atmosfere, površine, itd.).**

U termičkoj ravnoteži, planeta emituje onoliko energije koliko primi od Sunca.

Energija koju planeta primi od Sunca opisana je jednačinom:

$$\mathcal{E} = \pi r^2 E_o (1-A) / R^2 \quad (1)$$

π je π , r je radijus planete, E_o je solarna konstanta (za Zemlju to je energija koja dospe sa Sunca u 1s po jedinici površine na vrhu atmosfere, kada se Zemlja nalazi na srednjem rastojanju od Sunca; danas je $E_o \approx 1370 \text{ W/m}^2$), A je *albedo* (odnos energije reflektovanog i upadnog zračenja), R je rastojanje planete od Sunca (izraženo u AU). Albedo varira od 0% (potpuno crna površina koja apsorbuje svu energiju) do 100% (površina koja savršeno reflektuje svu energiju). Planete sa gustom atmosferom imaju mnogo veći albedo od planeta sa transparentnijom i retkom atmosferom.



Planeta prima zračenje površinom svog diska iz jednog pravca, a emituje zračenje u svim pravcima površinom svoje sfere. Pošto je svemirski prostor oko planeta velika šupljina i one nisu u neposrednom kontaktu sa drugim telima, to se mogu tretirati kao apsolutno crna tela. To znači da sa jedinice svoje površine one izračuju energiju σT^4 (Štefan-Bolcmanov zakon, $\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$). Sa svoje cele površine planeta izračuje energiju:

$$\mathcal{E} = 4\pi r^2 \sigma T_e^4 \quad (2)$$

T_e je ravnotežna (efektivna) temperatura planete. Iz (1) i (2) je ravnotežna temperatura planete:

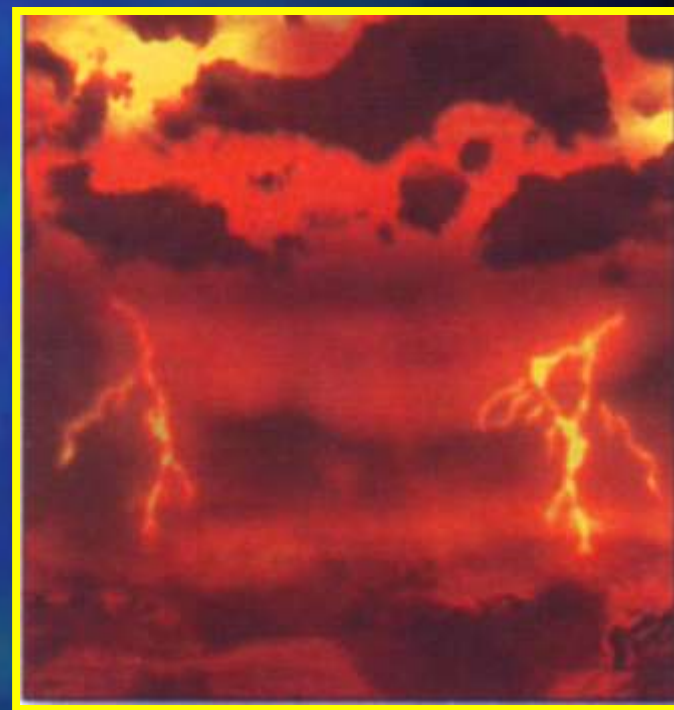
$$T_e = (E_o(1-A)/4R^2 \sigma)^{1/4}$$

Međutim, stvarne temperature na planetama razlikuju se od efektivnih temperatura. **Stvarne temperature određuju se spektroskopski ili se mere sondama**, pri čemu se kod iste planete mogu drastično razlikovati, u zavisnosti od toga da li se odnose na dnevne ili noćne strane planete, od položaja lokacije merenja, referentnog nivoa na planeti, itd.

	R (AU)	Albedo	Sol. kon.	T_e (K)	T_{sr} (K)
Merkur	0.387	0.106	9150	435	340
Venera	0.723	0.75	2620	228	737
Zemlja	1.000	0.36	1370	255	287
Mars	1.524	0.24	590	216	210
Jupiter	5.203	0.34	51	124	152
Saturn	9.539	0.34	15	95	134
Uran	19.182	0.34	3.7	58	68
Neptun	30.058	0.31	1.5	59	72

Činjenica da je $T_{sr} > T_e$ ukazuje da na planeti postoje dodatni izvori energije (radioaktivnost, sažimanje planete, ...) ili je u njenoj atmosferi izražen efekat staklene bašte. Uglavnom se $\Delta T = T_{sr} - T_e$ tretira kao mera efekta staklene bašte.

Tako je npr. na Veneri $\Delta T = 509$ K, na Zemlji $\Delta T = 32$ K. Kako je albedo na Veneri vrlo veliki (75%), a na Zemlji je znatno manji (36%), bez obzira što je Venera oko 1.38 puta bliže Suncu od Zemlje, njena površinska temperatura bi trebalo da bude tek nešto malo viša od Zemljine. Ovakva razlika temperatura je posledica izrazito snažnog efekta staklene bašte na Veneri, koji je od nje napravio paklenu planetu.



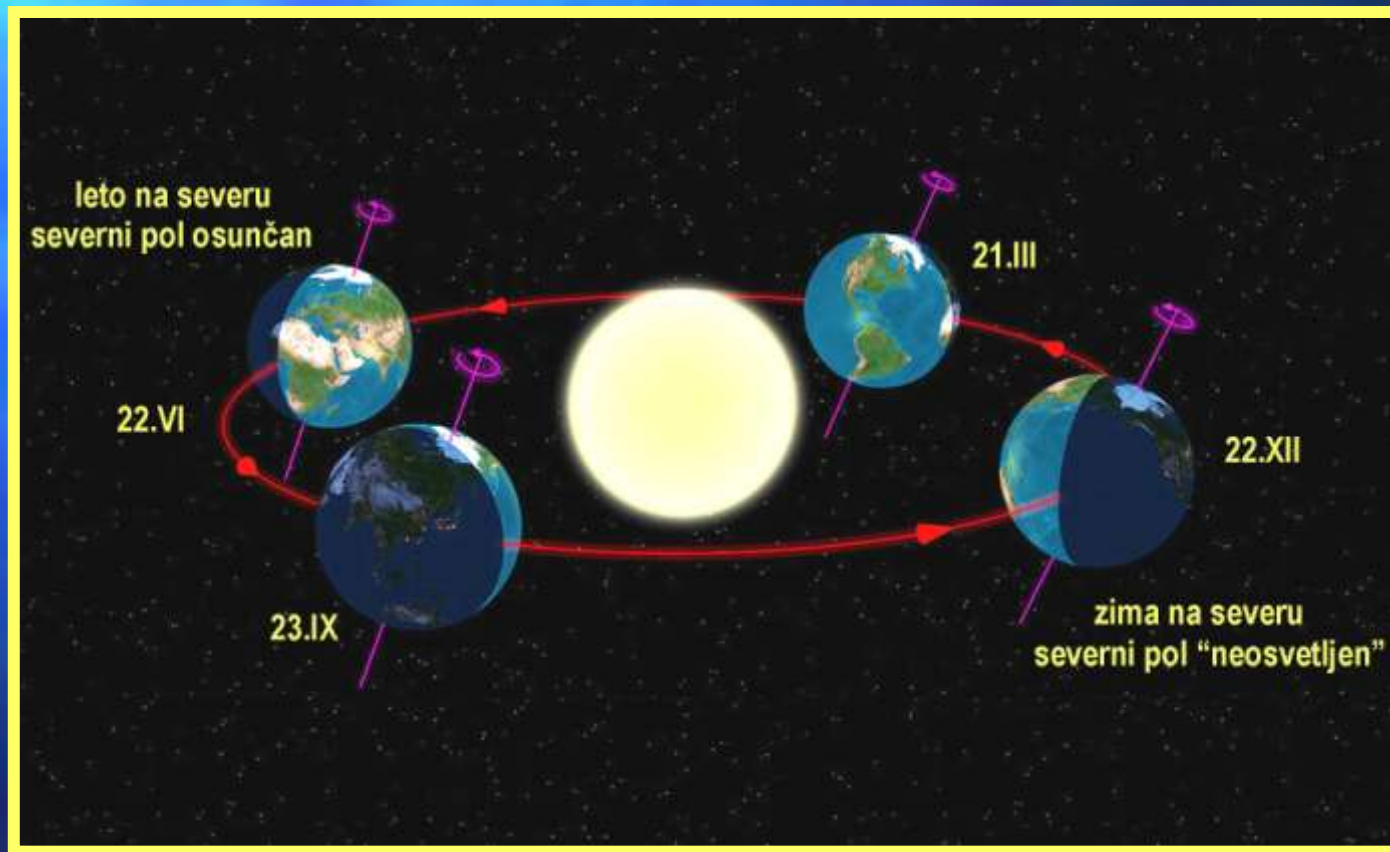
Stvarna temperatura na površini planete zavisi i od faktora, kao što su: gustina i sastav atmosfere, nagib ose rotacije u odnosu na ravan ekliptike, trenutne udaljenosti planete od Sunca, doba dana, reljefa, itd. **Npr. zbog guste atmosfere, na Veneri nema razlike između dnevne i noćne, zimske i letnje temperature.**



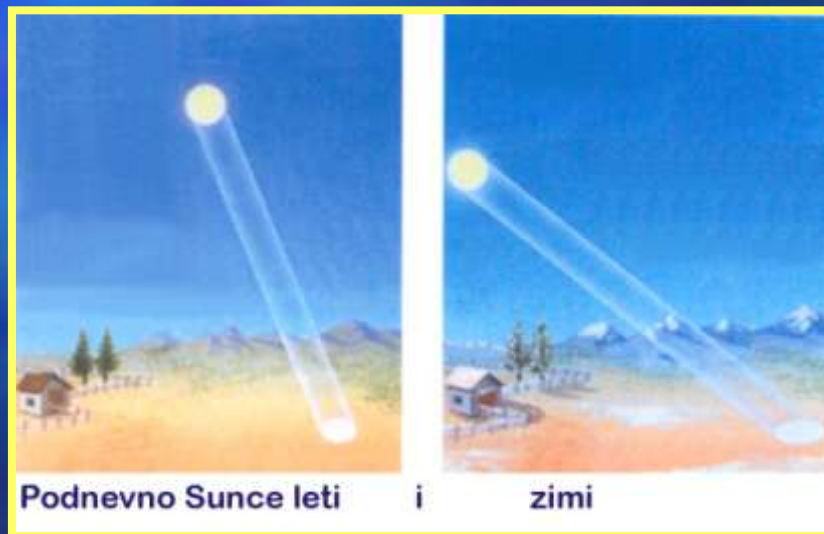
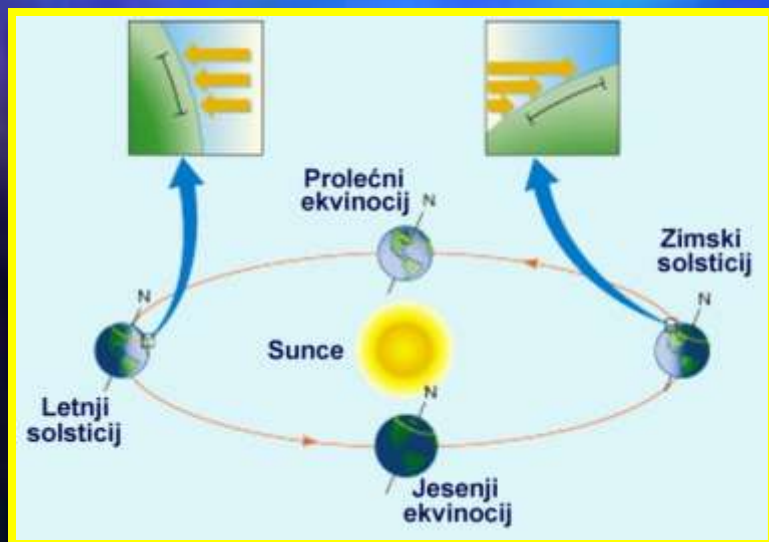
Sa druge strane, za klimu na Zemlji presudan je njen nagib ose (na grčkom *klima* znači nagib), a ne njena trenutna udaljenost od Sunca.

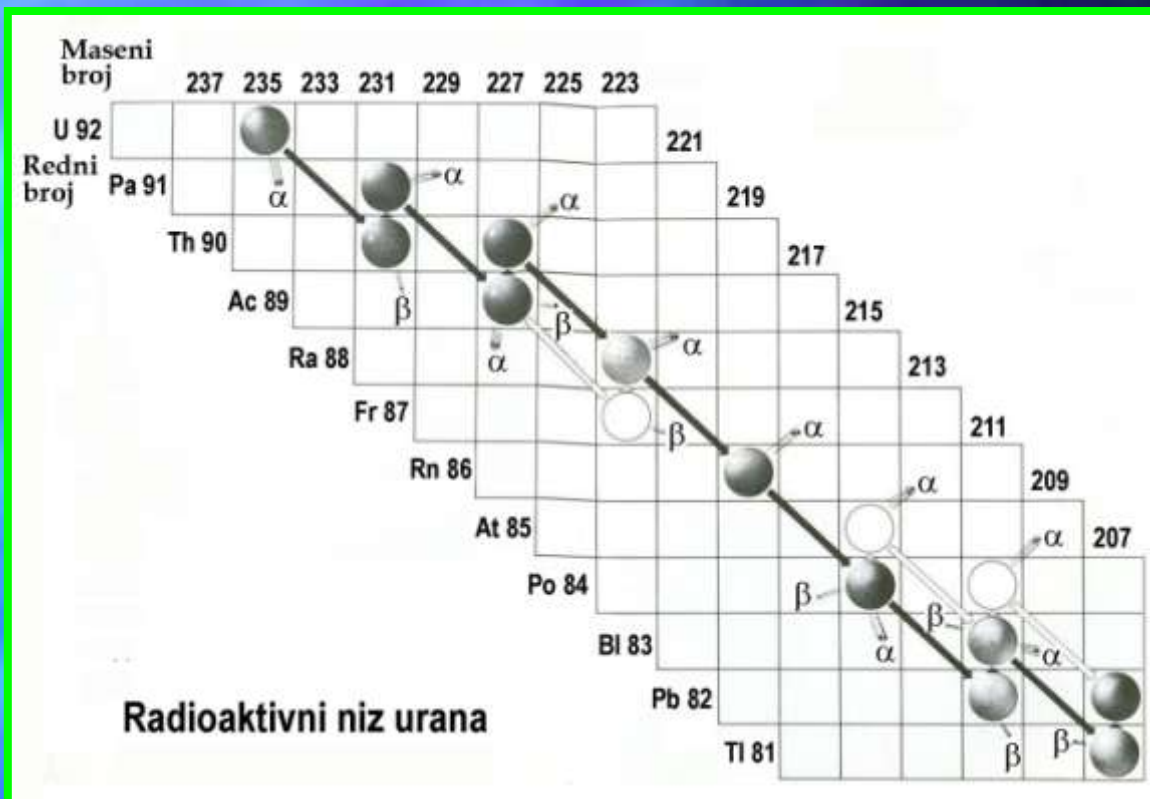


Npr. kada je Zemlja u afelu (najudaljenija tačka od Sunca) na severnoj hemisferi je leto, a u perihelu, (Zemlja najbliže Suncu), kod nas je zima.



Nagib ose rotacije u odnosu na ravan putanje oko Sunca i geografska širina određuju visinu Sunca iznad horizonta i trajanje obdanice. Time je određeno i osunčavanje površine, a samim tim i njena temperatura. Temperature zimi su niske jer je Sunce tokom kratkog dana nisko, a noći su duge. Leti Sunce dostiže najviše položaje iznad horizonta i dani su duži, pa je i osunčavanje površine veće. Sa druge strane, mrazovi su retki i nepoznati u tropima i gotovo neprekidni na polovima.





Zemlja ima “dodatne” unutrašnje izvore - radioaktivnost. U gasu iz kojeg je pre nešto više od 4.5 milijardi godina nastao Sunčev sistem bilo je radioaktivnih jezgara. Vulkani i gejziri na Zemlji svedoče da je njena unutrašnjost topla. Jedini izvor energije koji može trajati toliko dugo u unutrašnjosti relativno malog tela kao što je Zemlja je spontani raspad teških radioaktivnih elemenata (pre svega urana i torijuma).



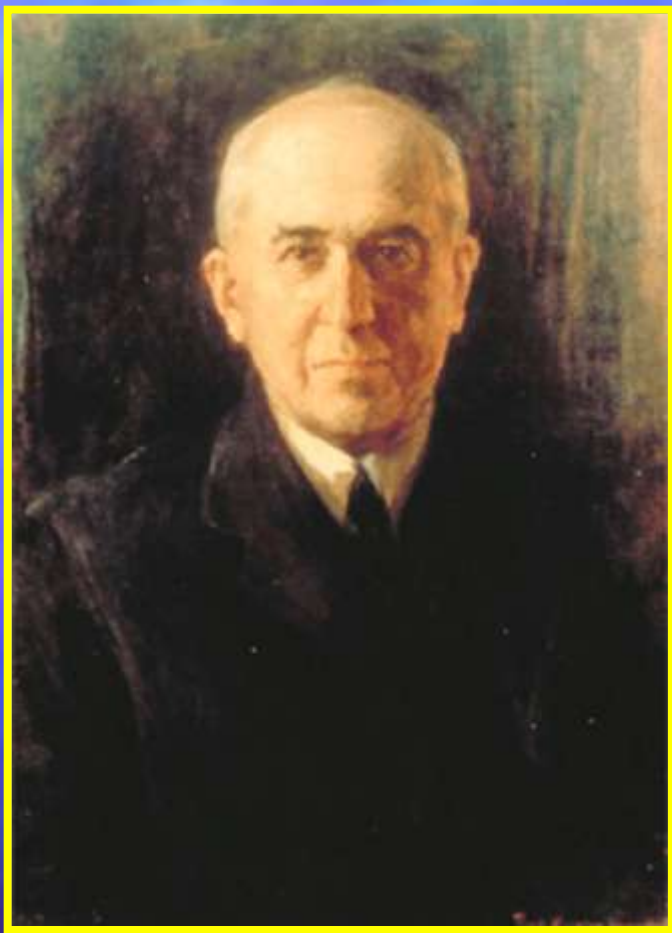
Efekti radioaktivnog zagrevanja Zemlje su mali. Ako bi se ona zagrevala samo ovim izvorom njena temperatura bila bi $-238\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sunce “daje” Zemlji 50 puta više toplote nego njeno vruće jezgro. Zemljina toplota iz unutrašnjosti nikada ne bi mogla da nadoknadi gubitak Sunčeve toplote, ako bi se ono “ugasilo”.

Slično je i sa ostalim planetama, tako da se smatra da su planete u stanju termičke ravnoteže. U suprotnom, one bi se ili hladile ili zagrevale, sve do uspostavljanja nove ravnoteže.



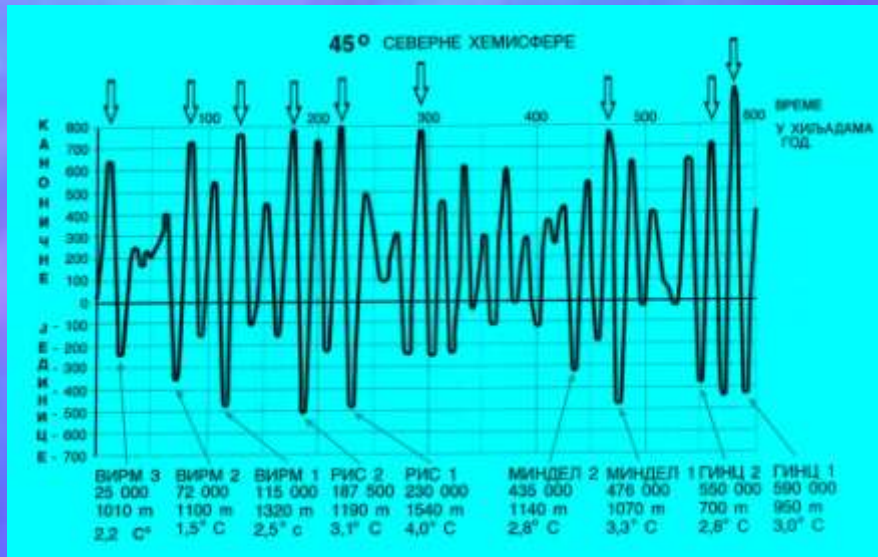
MILUTIN MILANKOVIĆ
1879 - 1958

Kada se govori o astronomskim faktorima koji utiču na klimatske promene nemoguće je ne pomenuti našeg naučnika Milutina Milankovića. Na žalost, kod nas je njegov rad vrednovan na dostojan način tek kada su nam “oni iz belog sveta” došapnuli da je u krugovima klimatologa Milanković najcitiraniji naučnik na svetu. Danas ga i mi, nakon pola veka od njegove smrti, kujemo u zvezde. Takvi smo mi...



Milutin Milanković (1879-1958) autor je teorije (“Kanon osunčavanja Zemlje”) o ledenim dobima na Zemlji. Po ovoj opšte prihvaćenoj i potvrđenoj teoriji, do velikih klimatskih promena i kvazi-periodičnih pojava ledenih doba na Zemlji dolazi zbog periodičnih poremećaja u kretanjima Zemlje oko Sunca i svoje ose. Pokazao je da geometrija planetarne orbite uslovljava količinu Sunčeve energije koja dospeva na jedinicu površine gornje atmosfere.

Periodične promene ove geometrije menjaju sezonsku i prostornu raspodelu osunčavanja. Time se menja temperatura na površini i u atmosferi, a to dovodi do promene klime.



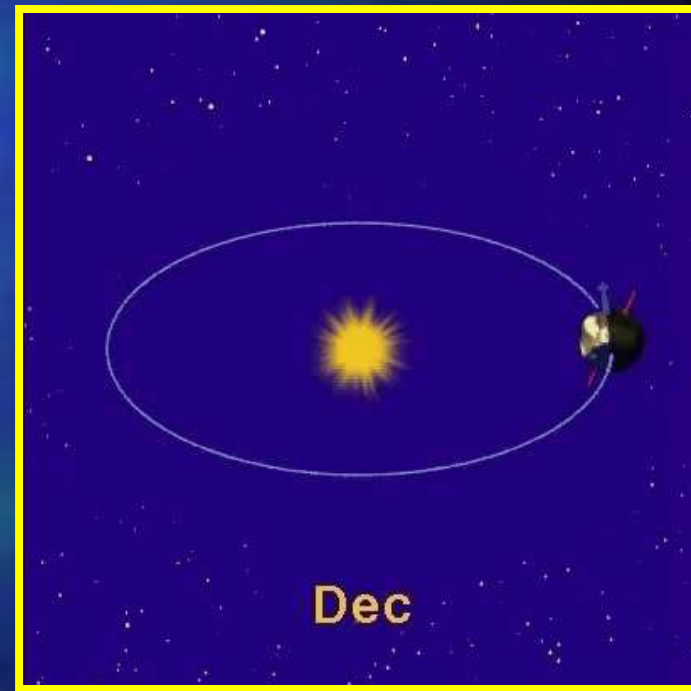
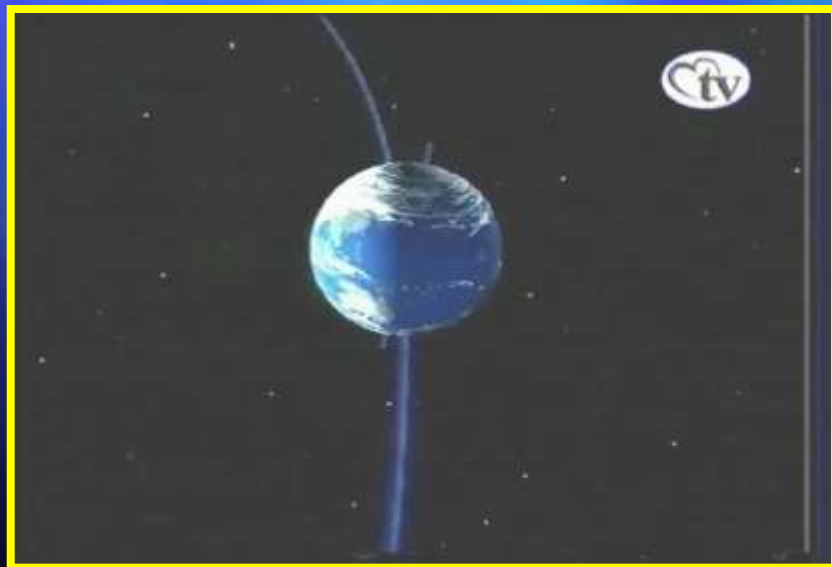
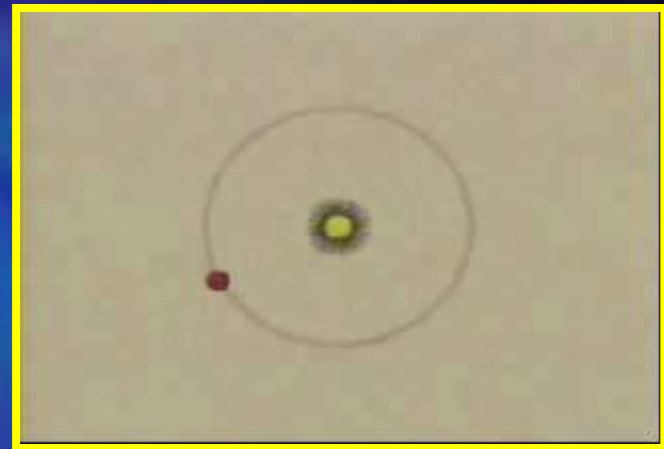
Milankovićevi proračuni osunčavanja i glacijali

Glacijacija (ledeno doba) karakteriše se stvaranjem ledenog pokrivača na najvećem delu severne Zemljine polulopte. Voda svetskog mora hladnija za 10-15°C predstavlja glacijaciju. Između ledenih doba su periodi interglacijacije, kada se led povlačio ka polovima i većim visinama na planinama.

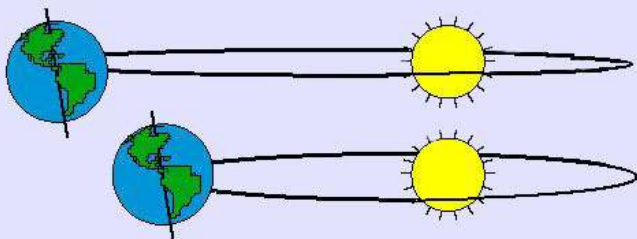


Problem “proračunavanja” vremena i klime je vrlo kompleksan (nepravilna raspodela kopna i mora, naboranost kontinenata, strujanja u atmosferi, itd.), ali je Milankovićev pristup uticao na stvaranje u svetu poznate “Beogradske numeričke škole” u meteorologiji.

Zbog delovanja Sunca, Meseca i ostalih planeta dolazi do promena ekscentriciteta Zemljine orbite, nagiba i precesije ose rotacije, promene brzine rotacije, usporavanja rotacije, precesije položaja ravnodnevnica, pomeranja polova, itd.



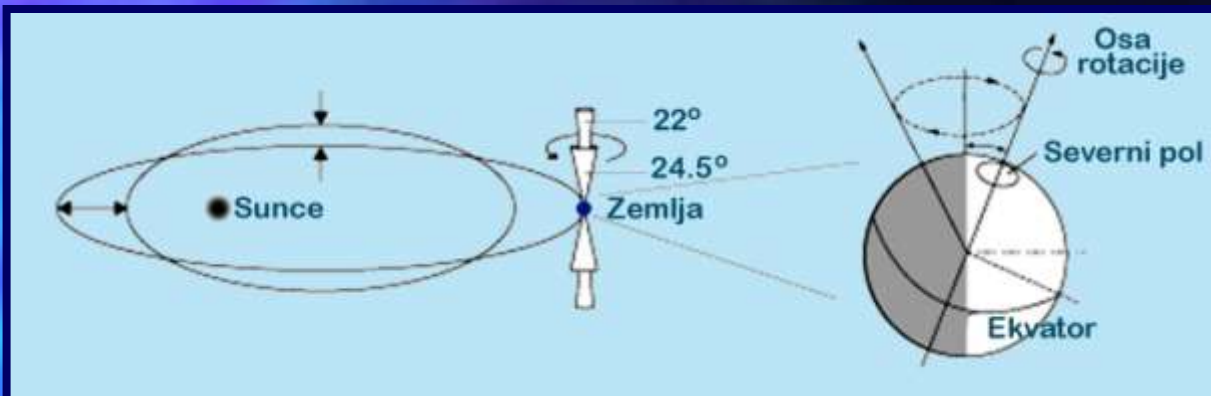
Ciklus promene ekscentriciteta putanje (100 000 godina)



Ciklus promene nagiba ose rotacije (41 000 godina)



Precesija ravnodnevice (19 000 i 23 000 godina)



Svaka od ovih promena utiče na izmenu insolacije Zemljine površine, a to znači i na njenu klimu. Po Milankoviću, dominantni faktori za promenu klime su:

- 1) precesija Zemljine ose
- 2) promena nagiba Zemljine ose
- 3) promena ekscentriciteta Zemljine putanje.

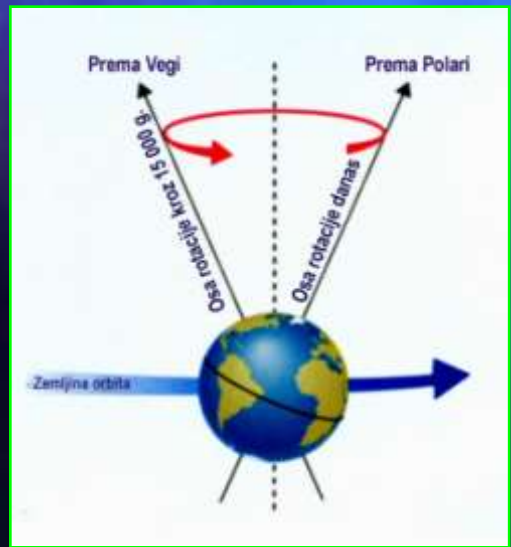
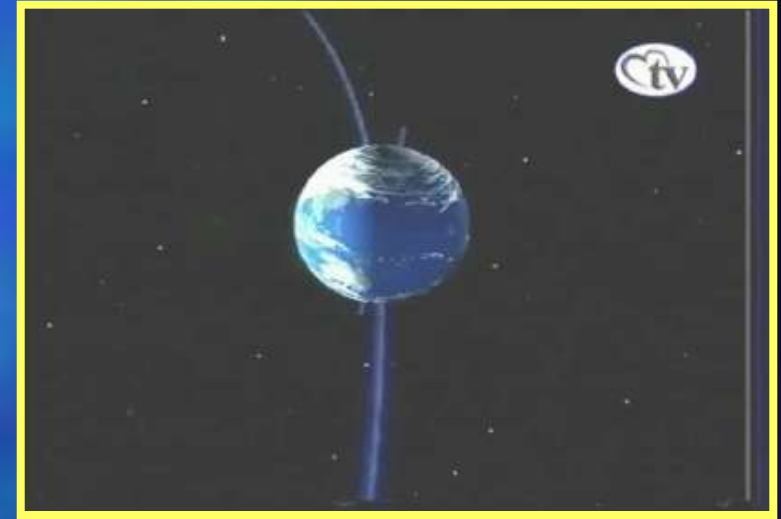
Njegova teorija se nadovezuje na radove Krola, Ademara, Pilgrima, ali je znatno celovitija, sveobuhvatnija i teorijski “potkovanija”.

Precesija Zemljine ose - otkrio je Hiparh 130 g.p.n.e. Zbog rotacije oko svoje ose Zemlja je ispupčena na ekvatoru. Na to ispupčenje druga tela jače deluju nego na polove. Stvara se spreg sile koji primorava Zemljinu osu da se kreće po konusu (precesira) sa periodom od 25 765 g. (Platonova godina).

Dve komponente: luni-solarna i planetarna.

Precesija je odgovorna za pomeranje γ tačke retrogradno po ekliptici, a od toga zavisi dužina godišnjih doba.

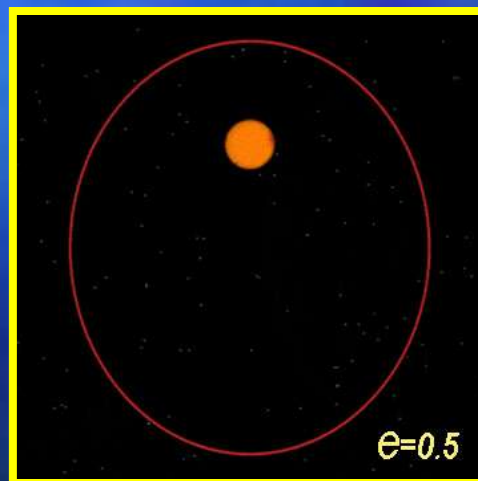
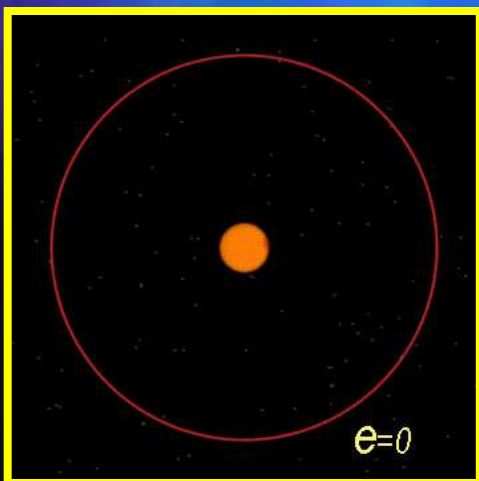
Ovaj faktor je posebno izražajan u nižim geografskim širinama (ekvatorijalni pojas).

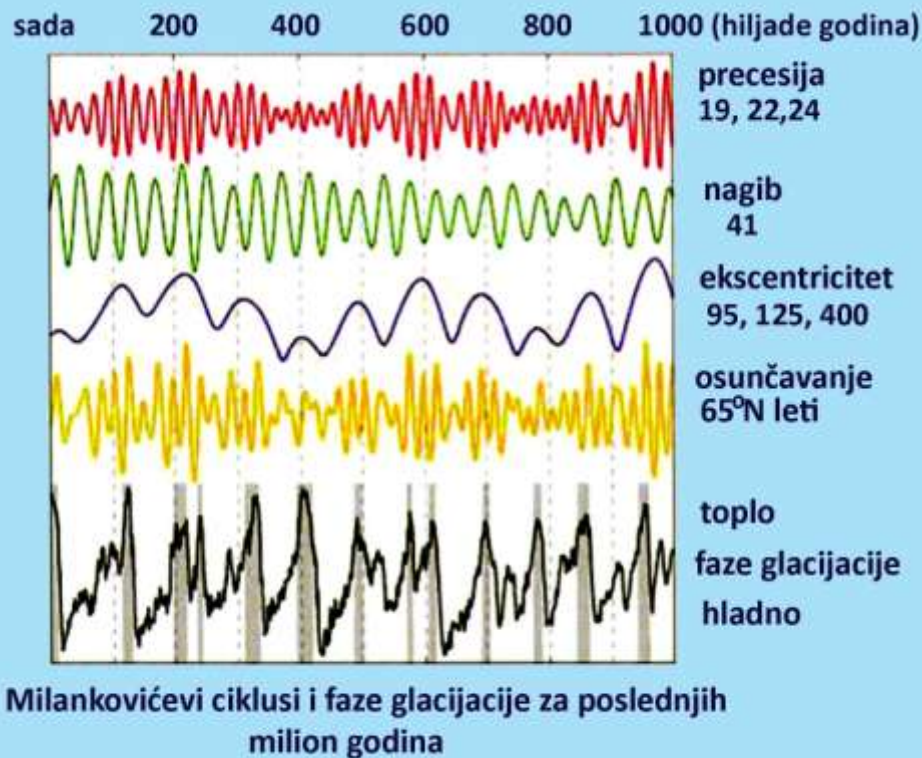


Promena nagiba Zemljine ose – otvor konusa koji opisuje precesiju Z. ose menja se od $21^{\circ}39'$ do $24^{\circ}36'$ (menja se nagib Zemljine ose u odnosu na normalu na ravan ekliptike). **Danas je taj nagib $23^{\circ}5'$.** Milanković je ustanovio da kada je taj nagib veći od današnjeg severnije oblasti primaju više toplote, sneg i led se povlače ka većim širinama i visinama. Kada je ugao manji polarne oblasti primaju manje toplote, led se širi ka manjim geografskim širinama i visinama, toplotna razlika između leta i zime se smanjuju i stvaraju se uslovi za nastanak ledenog doba. Period promene nagiba ose je 41 000 godina i to je faktor koji najviše utiče na promene klime na višim geografskim širinama.



Promena ekscentriciteta Zemljine putanje – promena odstupanja Z. orbite od kružnice. Danas je polugodišnja razlika rastojanja između Zemlje i Sunca 5.1 miliona km (ekscentricitet 0.01672). Godišnje promene ovog rastojanja su 3.4%, a promene osunčanosti površine Zemlje zbog toga su 6.8%. Zbog delovanja planeta na Zemlju (pre svega Jupitera i Saturna) ekscentricitet varira od 0.005 do 0.058, pa je polugodišnja razlika u osunčavanju do 23%. Periodi u variranju ekscentriciteta su 95 000, 136 000 i 413 000 god. Ove promene se najviše ispoljavaju na manjim geografskim širinama (tropske oblasti).





Proračuni pokazuju da kada je Zemljina orbita izduženija razlike između temperatura leti i zimi su veće. **Promena ekscentriciteta ipak ne mogu da dovedu do ledenog doba.** Dakle: u polarnim oblastima dominantno se ispoljavaju promene nagiba ose, a u ekvatorijalnim promene ekscentriciteta i precesija.

Na srednjim geografskim širinama (50°-60°) podjednako utiču sva tri faktora. Za početak glacijacije je kritična širina 65°. U savremenom dobu promena nagiba ose i ekscentriciteta deluju u pravcu zahlađenja, a precesija ima smer otopljavanja klime. Do izmene smera klimatskih promena doći će kada sva tri faktora počnu da deluju u istom smeru. Savremene Furijeove analize (model Andre Buržea) perioda osunčavanja i faza glacijacije potvrđuju valjanost Milankovićeviskih ciklusa.

Savremena istraživanja pokazala su ispravnost Milankovićeve teorije.

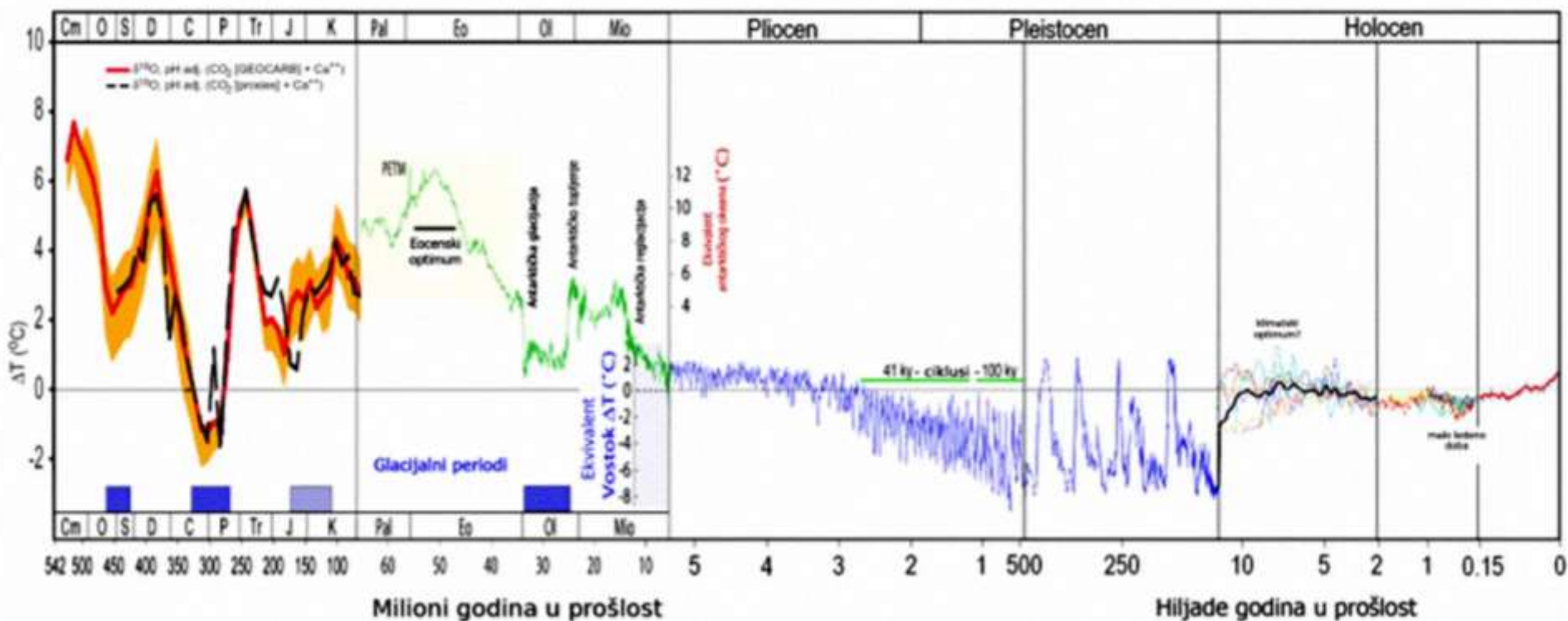
To potvrđuju poređenja sa geološkim istraživanjima:

- 1) krupnih elemenata pejzaža (granice glečera, morena, terasa)**
- 2) sedimentata**
- 3) korišćenjem izotopskih analiza**
- 4) utvrđivanjem vremenskih skala zasnovanih na geomagnetnim reverzijama**

Projekat CLIMAP (Šeklton i Apdajk) - analizom sedimentnih dubinskih morskih jezgara sastavili klimatsku skalu za poslednjih 700 000 g. Imbri, Šeklton, Hejs objavili 1976. g. rad u *Science* "Varijacije Zemljine orbite - pejsmejker ledenih doba ". Nepobitno su potrdili ispravnost ideja M. Milankovića iz 1924. Time su odbačene kritike da su efekti varijacija u orbiti nedovoljni za klimatske promene. Pokazuje se da je nekoliko snežnih zima i hladnih leta, omogućuju rast albeda (zbog neotopljenog snega) koji bi omogućio dalje hlađenje, a to je nagoveštaj novog ledenog doba. U tom smislu klima je na "ivici brijajača": dovoljni su mali poremećaji da je izbace iz ravnoteže.

Milankovićeви proračuni odnose se na 650 hiljada godina od savremenog doba . Današnja istraživanja pokazuju da je u proseku, u prethodnih 550 miliona godina, klima na Zemlji bila najhladnija u poslednjih 5 miliona godina (osim ekstremuma pre 300 miliona godina).

Temperature na planeti Zemlji



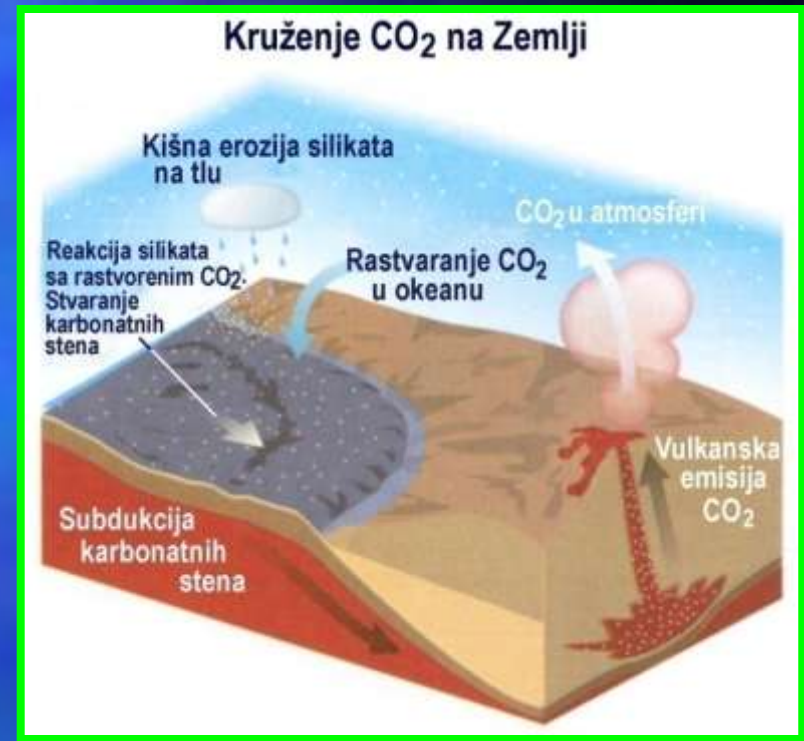
Snižavanjem temperature i spuštanjem nivoa mora raste površina pod ledom. Pošto je albedo leda veći od albeda vode, raste refleksiona sposobnost planete i ona se sve manje greje, a sve više hladi. Količina vodene pare (gas staklene bašte) se smanjuje, a sa nižom temperaturom CO₂ se više apsorbuje u moru, tako da i njega ima manje u atmosferi. To znači da je efekat staklene bašte manji i da se ledeno doba treba da produži.

Šta, osim astronomskih faktora, doprinosi njegovom zaustavljanju?



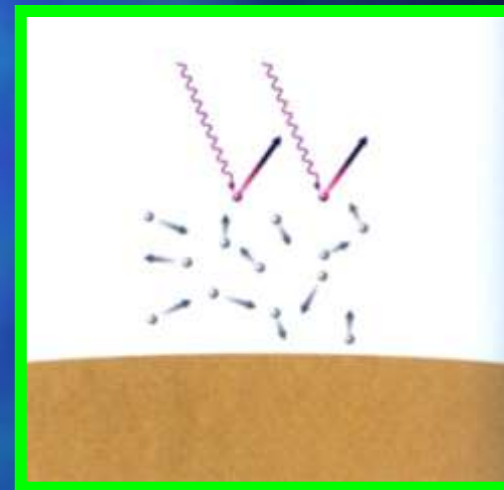


Vrlo značajan faktor je da snižavanje temperature u višim g. š. dovodi do povećanje gradijenta t-re između ekvatora i polova. Zbog toga se povećava konvekcija i prenos toplote iz tropskih krajeva ka polovima što dovodi do stabilizacije stanja i delovanje samoregulacionog mehanizma.



Velike erupcije vulkana doprinose efektu staklene bašte emisijom gasova i taloženjem prašine preko ledenih površina, što smanjuje njihov albedo i dovodi do rasta temperature.

Ali, erupcije vulkana dovode, na kratko, i do negativne povratne sprege (negative feedback): povečano prisustvo prašine ekranira Zemljinu površinu za dolazeće Sunčevo zračenje. Zbog toga dolazi do pada temperature, dok se prašina ne slegne.



Iako na Marsu danas nema aktivnih vulkana, sličan efekat delovanja prašine prisutan je na ovoj planeti. Marsova atmosfera ima visok procenat CO_2 (95%), ali je ona oko 100 puta ređa od Zemljine, tako da se IC fotoni slabo sudaraju sa malobrojnim molekulima CO_2 , pa je efekat staklene bašte slabo izražen. Zbog fine prašine u atmosferi Marsa, tokom globalnih oluja, izražen je efekat antistaklenika – refleksije dolazećeg zračenja sa Sunca, tako da ono ne dospeva do površine planete, koja se zbog toga ne greje (prosečna temperatura na površini je -63°C).

Analogna situacija je i sa delovanjem vulkana. Izbačeni pepeo i prašina stvaraju efekat antistaklenika, jer ekraniraju površinu Zemlje.

Erupcija Pinatubo (Filipini), jun 1991.



Satelitski snimak Zemlje 25. jula 1991. Vulkanske čestice obuhvatile su ceo globus. U atmosferu je izbačeno oko 10 miliona tona sumpora. Zbog "zasenjivanja", prosečna godišnja temperatura na Zemlji pala je za 0.6°C .



Efekti erupcije Pinatuba na atmosferu Zemlje



30. avgust 1984.



8. avgust 1991.



Erupcija vulkana Pinatubo (Filipini), 1991. godine

Nakon džinovskih erupcija stvaraju se tzv. sedefasti oblaci u stratosferi, u kojima fine čestice pepela rasejavaju Sunčevu svetlost, čineći zalaske Sunca “plamtećim”, a noći neobično svetlim. Ali, fluks svetlosti koja dospeva do površine Zemlje je niži, što dovodi do pada globalne temperature na Zemlji.



Zalazak Sunca, posledica izbačene prašine 1990. blizu planine Sent Helen

Tipičan primer je supervulkan Toba (Sumatra, Indonezija). U ovoj erupciji od pre 71 500 god. izbačeno je 2800 km³ pepela, tako da je to najjači vulkan za poslednjih 25 miliona godina.

U erupciji Tambora (1815, Indonezija) izbačeno je oko 80 km³ pepela koji je padao i do 1300 km od mesta eksplozije, a izdisao se do visine od 44 km. U erupciji je stradalo oko 82 000 ljudi (10 000 je poginulo direktno u erupciji). VEI indeks (*Volcanic Explosivity Indeks*), koji klasifikuje snagu erupcije na logaritamskoj skali od 1 do 8, ove erupcije iznosio je 7. Naredna, 1816. godina, zbog “ekraniranja” Zemljine površine, bila je “godina bez leta”. Te godine je u julu i avgustu u Engleskoj padao sneg.

JACHINE VULKANSKIH ERUPCIJA



Količina pepela (u km³) koju izbacuje vulkan kao pokazatelj jačine erupcije.

Vulkan Tambora izazvao je godinu bez leta, a znatno jači Tobo je doveo do klimatskih promena. Temperatura na Zemlji opala je za 3-5°C, što je planetu uvelo u period glacijacije i izumiranje velikog broja vrsta.

Smatra se da je broj ljudi na Zemlji nakon ove kataklizme sveden na svega 2 000. Neki autori smatraju da to objašnjava “jednolikost” današnjih ljudi, koji potiču upravo od tih 2 000 preživelih.



Ne treba zaboraviti i direktne katastrofalne posledice same erupcije na lokalnom nivou.



Gradić Olonago u blizini Pinatuba, nakon erupcije 1991. godine

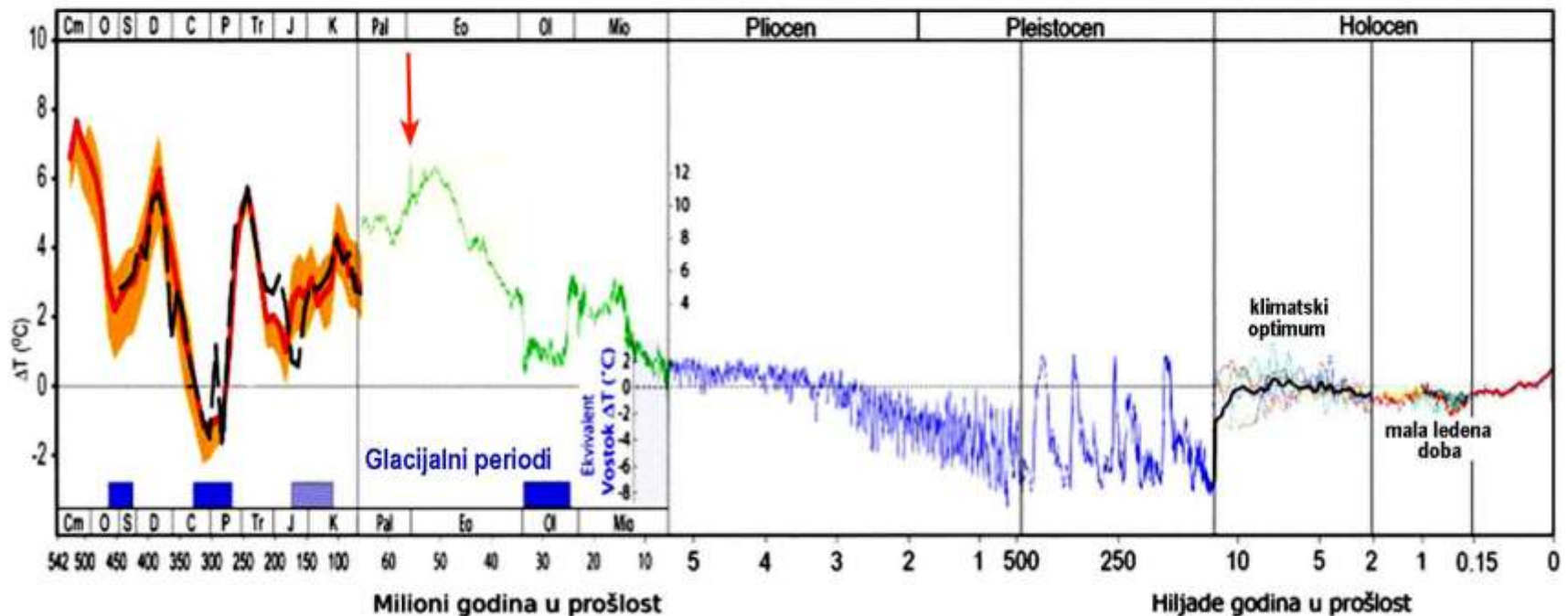


Pa ipak, vulkani su bitna karika i u prirodnom procesu kruženja CO₂ na Zemlji. Njihov doprinos emisiji gasova staklene bašte u geološkoj istoriji bitno je uticao na globalno otopljanje klime na Zemlji. Njihovi prašina i pepeo nakon sleganja smanjivali su albedo što je doprinosilo većem zagrevanju tla.



Primer delovanja vulkana na otopljavanje klime je jedna klimatska katastrofa koja je manje poznata široj javnosti. Ona koja se desila pre oko 55 miliona godina na prelazu paleogen/eocen. Poznata je pod imenom *paleogen/eocen termalni maksimum (PETM)*. PETM promena klime bila je iznenadna, veoma brza i uzrokovana globalnim zagrevanjem, usled visoke koncentracije CO_2 u atmosferi. U vreme PETM, veruje se, da je globalna temperatura porasla za 6°C i trajala oko 20 000 godina.

Temperature na Zemlji u poslednjih 550 miliona godina

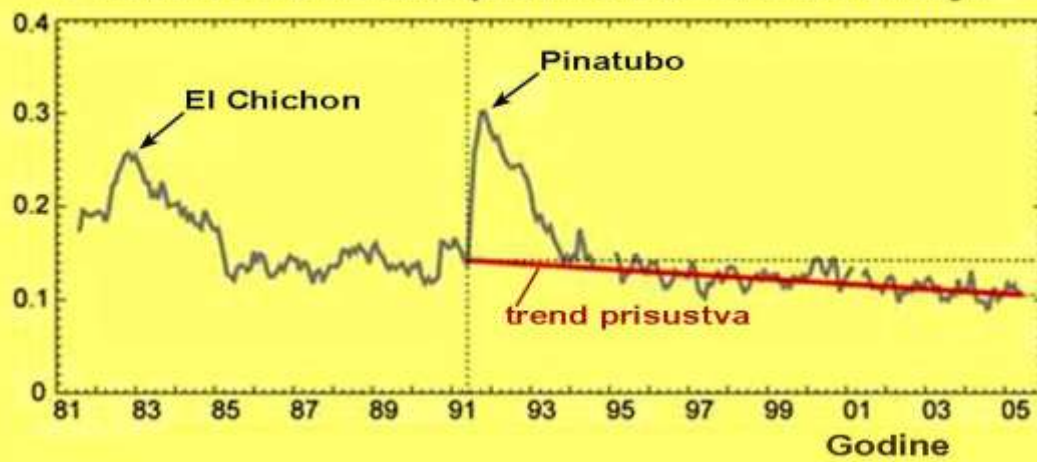


Ovo zagrevanje je praćeno porastom nivoa okeana, njegovim zagrevanjem i zakišeljavanjem. Eksperimentalne činjenice i posmatranja ukazuju da je uzrok PETM verovatno bio intenzivna vulkanska aktivnost.



Prema tome, u klimatskom smislu i za vulkane važi ono naše “mož’ da bidne, al’ ne mora da znači”!

Prisustvo vulkanske prašine u atmosferi Zemlje



Procena uticaja vulkana na klimu nije nimalo jednostavna, s obzirom da se u poslednjih dvadesetak godina smanjilo prisustvo vulkanske prašine u atmosferi.

Situaciju je donekle promenila erupcija vulkana Eyjafjallajokull na Islandu u proleće 2010.



Ogromna količina prašine iz ovog, ne tako velikog vulkana, napravila je rusvaj u avio saobraćaju...



ali , setimo se, 2010. godine pravo leto je dosta kasnilo, a njegov početak bio je izuzetno kišovit. Možda je samo koincidencija, a možda... Konačan zaključak daće detaljnije istraživanje meritornih stručnjaka.

Slična situacija je i sa prisustvom vodene pare u atmosferi. Stručnjaci iz IPCC ističu postojanje pozitivne povratne sprege (*positive feedback*) – rast prisustva CO₂ znači višu temperaturu, topljenje leda, veće isparavanje, više vodene pare u atmosferi. Vodena para je gas staklene bašte, tako da podiže temperaturu, a to pospešuje topljenje leda, itd.



Kritičari IPCC ističu da se u njegovom radu potencira upravo pozitivna povratna sprega u delovanju vodene pare. Oni ističu postojanje i negativne povratne sprege – rast prisustva CO₂ znači višu temperaturu, topljenje leda, veće isparavanje, više vodene pare, veću konvektivnu oblačnost, manje Sunčevog zračenja na površini, obaranje temperature, itd. Na taj način konvektivni oblaci ispoljavaju efekat zenice (*Iris effect*) u regulisanju temperature (Richard Lindzen). Na taj način oblačnost deluje tako da globalnu temperaturu održava manje-više stabilnom. Ističe se i značaj krupnijih čestica prašine u procesu ekraniranja S. svetlosti (*global dimming*), što takođe obara rast temperature.

Povećanje prisustva gasova staklene bašte dovodi do zagrevanja Zemljine površine, a neto učinak povećanja količine aerosola je njeno zahlađenje.

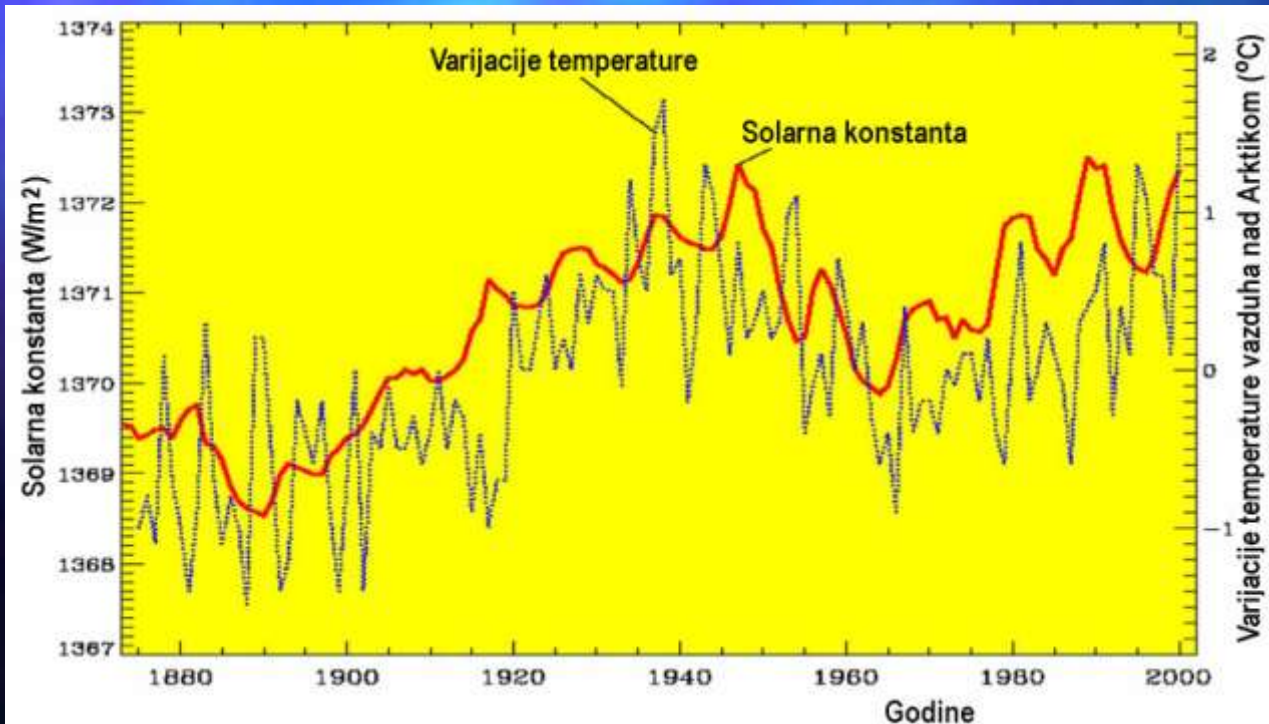


U poslednjih nekoliko godina iz više izvora (NASA, Maks Plankov Institut, Lajbnicov okenografski institut, itd.) sve se više govori o početku globalnog zahlađenja. To je posledica ulaska Pacifičke dekadne oscilacije (PDO) u svoju hladniju fazu. Radi se o periodičnim promenama temperature okeana sa periodom od tridesetak godina, što je praćeno promenama cirkulacije okeana, a to utiče na klimu čitave planete. Topla faza PDO trajala je od 1905. do 1945. kada je temperatura rasla 0.16°C po deceniji. Nakon toga usledilo je zahlađenje od 1945. do 1977. i ponovo otopljanje od 1978. do 2008. Novija istraživanja ukazuju na postojanje i drugih okeanskih oscilacija.

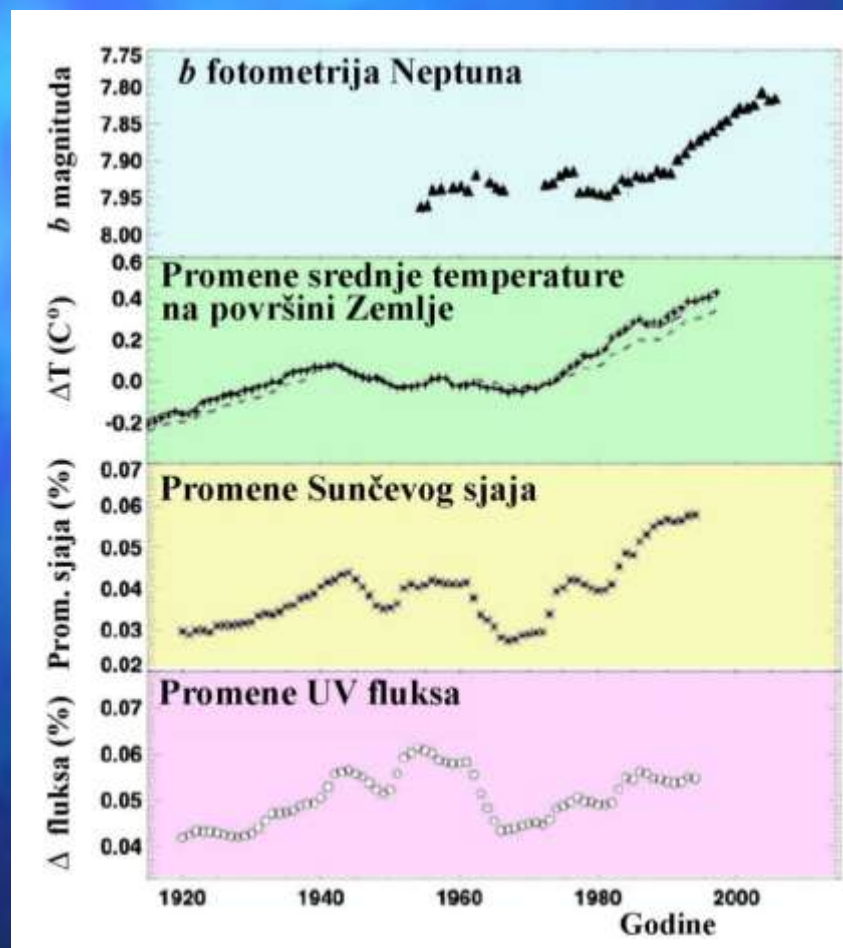


Kabibulo Abdusamatov (Pulkovo, S. Peterburg) na osnovu praćenja solarnih aktivnosti smatra da će doći do pada globalne temperature između 2012. i 2015. godine, a vrhunac zahlađivanja biće između 2055. i 2060. godine.

Sunce je stabilna zvezda, ali to ne znači da se na njemu ne događaju promene. Abdusamatov ističe da je antropogeni uticaj na rast t-re prisutan, ali da nije presudan. Po njemu promene u intenzitetu emisije Sunca su najodgovornije, na šta upućuje i rast temperature na Zemlji, ali ne samo na njoj.



Astrofotometrijska merenja ukazuju na slične trendove i na Marsu (0.65°C za poslednjih 25-30 g.), Jupiteru ($4-5^{\circ}\text{C}$), Saturnu ($3-5^{\circ}\text{C}$ na juž. polu), Plutonu (preko 2°C za poslednih 15 g.). Na Neptunu se beleži rast isijavanja što se tumači rastom njegove temperature. Neki smatraju da se radi o početku leta na Neptunu (dugo se mislilo da na njemu ne postoje godišnja doba), ali ima tvrdnji da je to zbog promene sjaja Sunca.

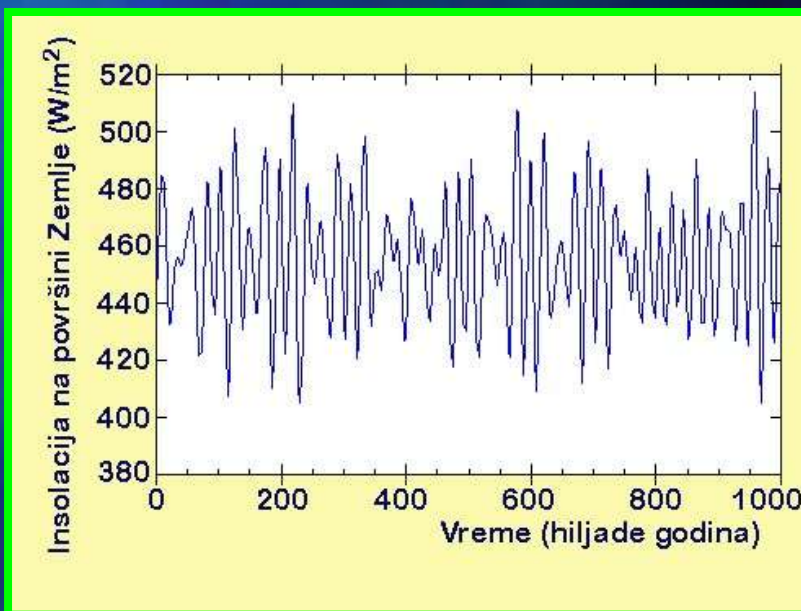
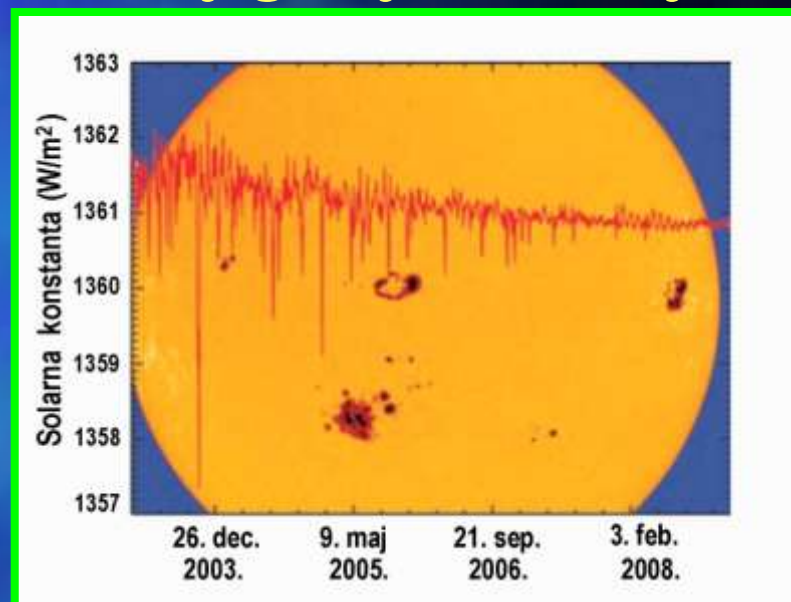


Pokazuje se da Sunce, iako spada u stabilne zvezde ne emituje zračenje uvek istog intenziteta, što je posledica promena u njegovoj unutrašnjosti.

“Mlado” Sunce imalo je manji sjaj od današnjeg . Luminoznost Sunca menja se po formuli:

$$L(t)=L_0 [1+2/5(1-t/t_0)]^{-2}$$

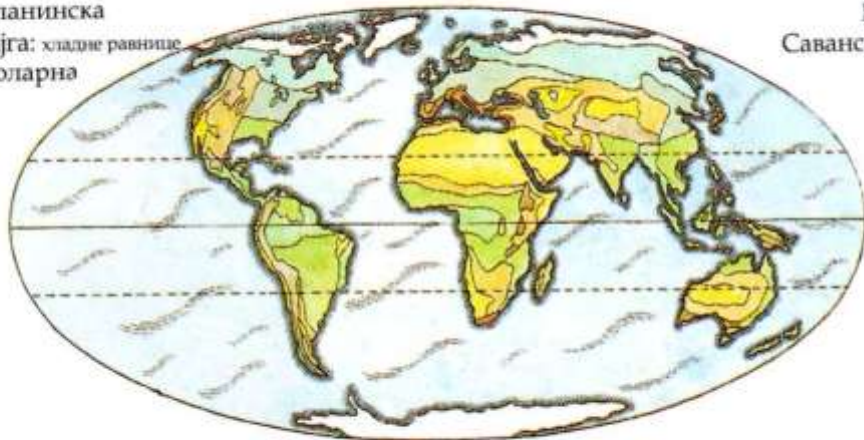
gde je t_0 sadašnja starost Sunca, t starost Sunca u prošlosti, L_0 je sadašnja luminoznost, a $L(t)$ luminoznost u prošlosti. Tako je npr. pre 570 miliona godina Sunce imalo 4.5% manji sjaj od današnjeg, što znači da je ono tada slabije grejalo Zemlju. Istraživanja ukazuju da kada je Sunčeva aktivnost slabija dolazi do smanjenja vrednosti solarne konstante.



U toku interglacijalnog perioda (koji i danas traje) nastali su savremeni klimatski tipovi, ali je i tu bilo ekstremnih iskakanja od uspostavljene klimatske matrice. Takva su bila mini ledena doba u Evropi : Špererovo (1460-1550.), Maunderovo (1645-1715.) , itd. Tada je dolazilo do širenja lednika , a npr. čak i Etiopija je bila pod snegom nekoliko meseci (1700. g.). U Sarajevu je 1777. g. sneg padao u avgustu. Bilo je i perioda značajnijih otopljanja. Npr. 1000 g.p.n.e. južni deo Grenlanda bio je pod bujnom vegetacijom.

Типови климе на Земљи

Планинска
Тајга: хладне равнице
Поларна

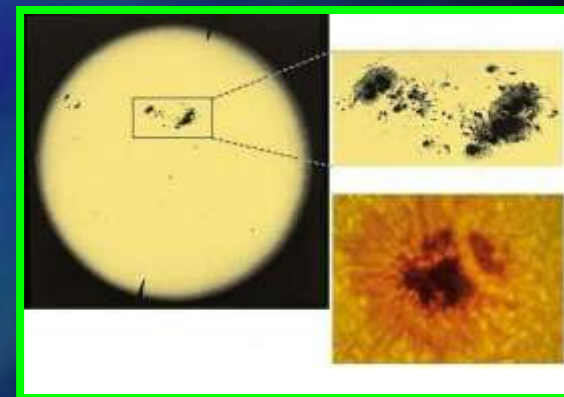
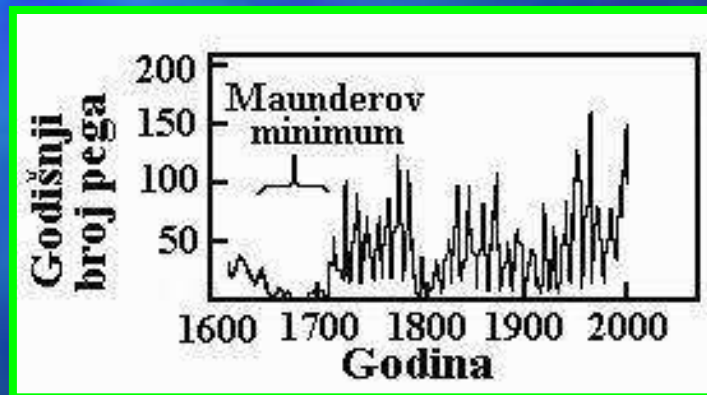


Умерена
Медитеранска
Саванска: топле равнице
Суптропска
Тропска
Топла пустињска

У областима на различитим географским ширинама Сунчево зрачење пада под различитим угловима на Земљину површину. То значи да се ове области неједнако загревају, што је основни предуслов за постојање различитих климата на Земљи.

Mnogi autori tumače ove pojave slabljenjem ili jačanjem solarne aktivnosti u odnosu na njene ustaljene cikluse.

Tako je u vreme Maunderovog minimuma Sunčeve aktivnosti (mini ledeno doba) broj pega na Suncu umesto uobičajenih 40 000-50 000 iznosio je svega pedesetak. Polarne svetlosti (koje su češće u vreme pojačane Sunčeve aktivnosti, a ređe kada je ona smanjena) u tom periodu nisu zabeležene. Analize ledenog jezgra na Antarktiku ukazuju da je u vreme Maunderovog minimuma solarna konstanta bila za 4 W/m^2 (0.25%) manja od savremene vrednosti (1367 W/m^2). Leta su bila kratka i žito nije imalo vremena da sazri. Zato je mini ledeno doba pratila glad.



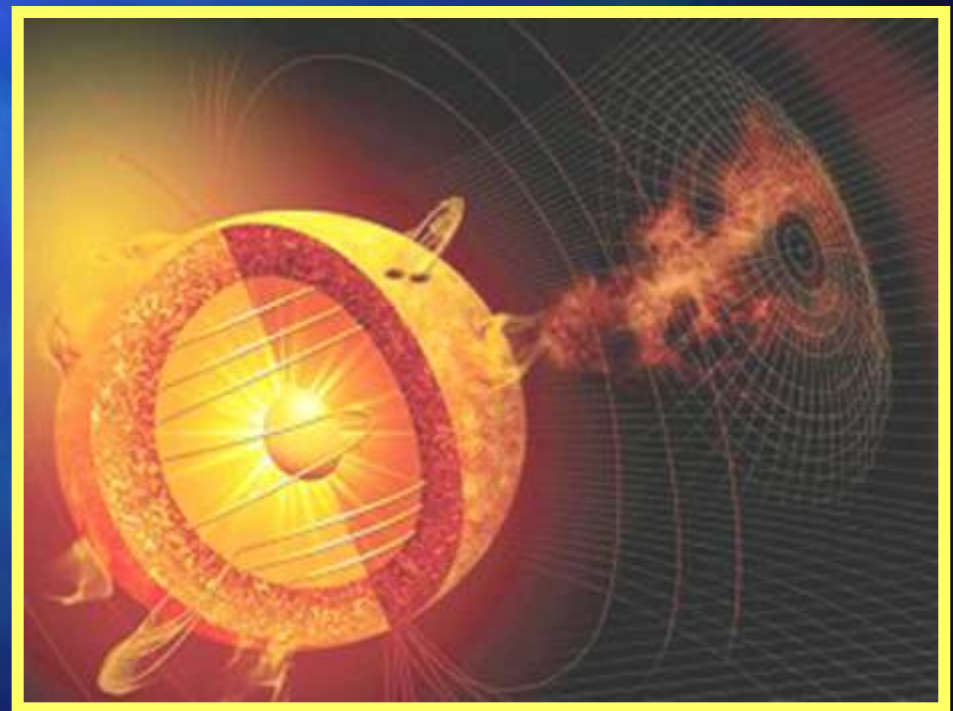
Savremena kosmo-klimatološka istraživanja potvrđuju ovakva tumačenja uticaja solarne aktivnosti na klimu. Henrik Svensmark početkom 90-tih XX veka naveo da kosmički zraci koji ulaze u Zemljinu atmosferu služe kao nukleusi za formiranje oblaka. Manja Sunčeva aktivnost znači da je više kosmičkih zraka u atmosferi Zemlje, tako da raste intenzitet formiranja oblaka u nižim slojevima pa je efekat hlađenja veći (povećanje oblačnosti od 2% dovodi do hlađenja od 1.2 W/m^2). Svensmark je hipotezu potvrdio pomoću komore u kojoj je simulirao atmosferu.



Nir Šaviva i Jan Vajzer su ukazali na inverzno koreliranje temperature i intenziteta kosmičkih zraka koji dolaze do Zemlje (manje kosmičko zračenje praćeno je nižom temperaturom).

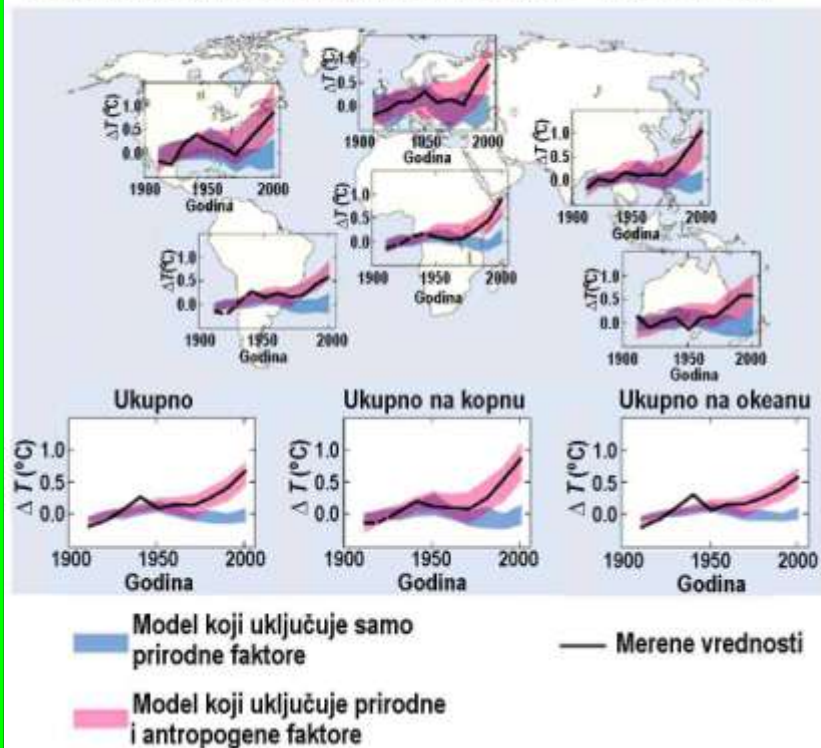
Uticaj aktivnosti Sunca na klimu na Zemlji još uvek nije dovoljno proučen.

U svakom slučaju, ako solarna aktivnost utiče na klimu, na osnovu nje se ne može vršiti meteorološka prognoza, pogotovu ne na lokalnom nivou, iako postoje pokušaji da se to radi.



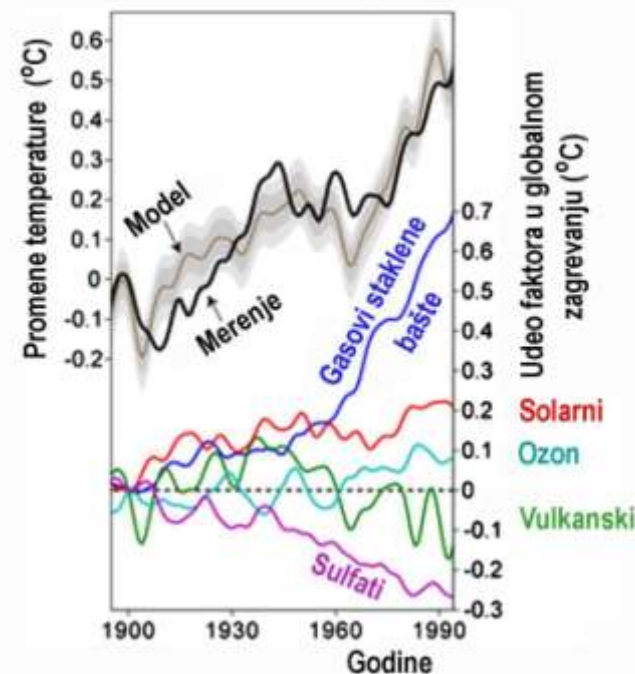
Naučnici IPCC smatraju da je u poslednjih 50 g. zbir solarnih i vulkanskih aktivnosti verovatno dovedio do hlađenja. Po njima se uočeni obrasci zagrevanja mogu objasniti modelima koji uključuju i antropogene uticaje.

Globalna i kontinentalna promena temperature (prema IPCC)

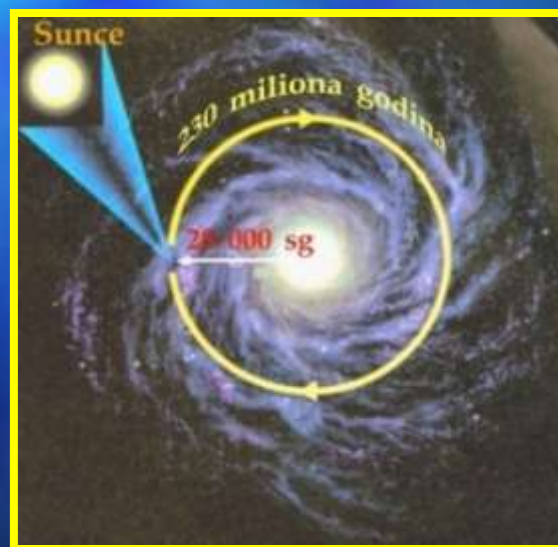


U poslednjih 50 godina zbir solarnih i vulkanskih uticaja verovatno je doveo do hlađenja (plavi pojas na slici). Mereni obrasci zagrevanja i njihove promene simulirani su jedino pomoću modela koji uključuju i antropogene uticaje. Rasponi u rezultatima simulacija potiču od uključivanja većeg broja različitih modela.

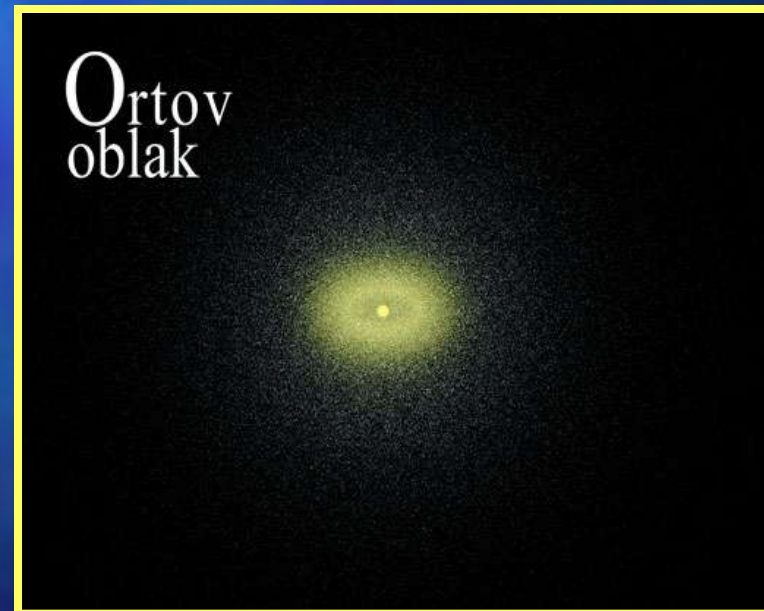
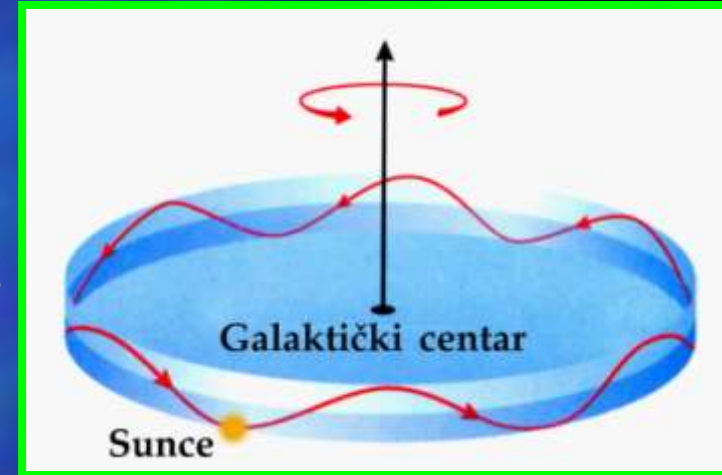
Faktori globalnog zagrevanja



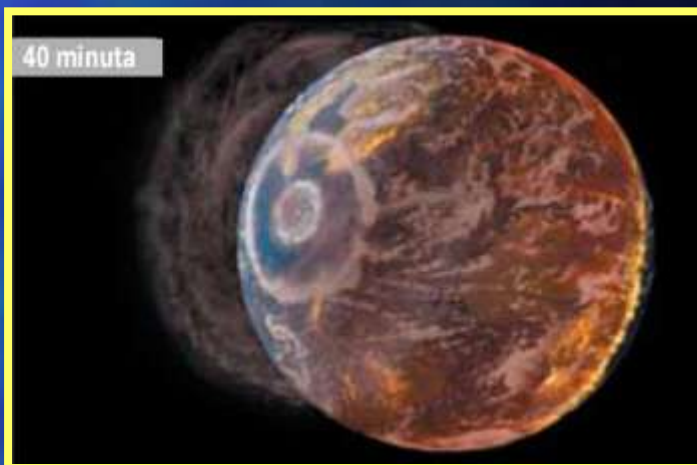
Prilikom kretanja oko jezgra Galaksije Sunce i njegov sistem nailaze na oblake gasa i prašine, što utiče na uslove prostiranja Sunčevog zračenja. Prašina može da utiče na globalno zahlađenje jer “ekranira” zračenje – rasejava ga i apsorbuje, tako da ono u manjem intenzitetu dospeva do površine Zemlje, zbog čega se njena površina manje greje. Osim toga, prisutna zrnca prašine nakon dospevanja u atmosferu naše planete predstavljaju centre kondenzacije vodene pare, što dovodi do porasta oblačnosti i nivoa padavina.



Sunce u svom kretanju oko galaktičkog centra “osciluje” oko galaktičke ravni sa periodom od oko 33 miliona godina. U toj ravni je koncentrisana međuzvezdana prašina koja dospeva u Sunčev sistem. Zbog toga što je u galaktičkoj ravni najveća koncentracija zvezda, kada Sunce preseca ovu ravan dolazi do gravitacionog perturbovanja Ortovog oblaka koji okružuje Sunčev sistem i u kojem se nalazi ogroman broj kometa koje tu praktično miruju.



Nakon perturbovanja neke od njih kreću ka unutrašnjosti sistema sa mogućnošću pada na Zemlju. U slučaju da dođe do udara u atmosferu se podižu ogromne količine prašine i pare. Posle inicijalnog zagrevanja nastupa tzv. “nuklearna zima”- temperatura pada, što je praćeno ledenim kiselim kišama, snažnim vetrovima, gromovima, požarima, itd. Lanci ishrane se prekidaju i nastupaju masovne ekstinkcije. Najpoznatiji je primer je izumiranje dinosaurus (ali i 75% ostalih vrsta) pre 65 miliona godina.

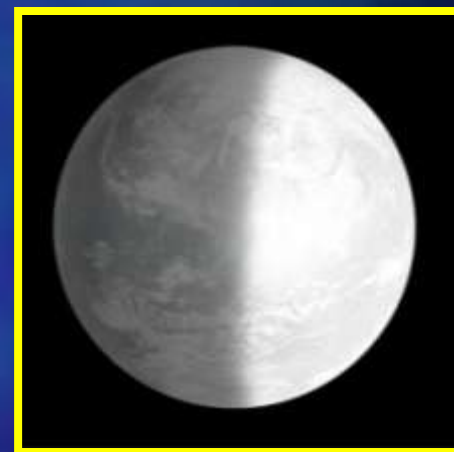
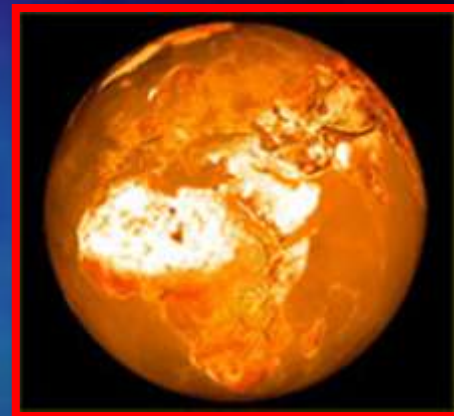


Ne treba ni objašnjavati da su takvi kataklizmični događaji menjali globalnu klimu na Zemlji.



S obzirom da Milankovićeve teorija i savremena klimatologija najavljuju novo ledeno doba postavlja se logično pitanje: Hoće li efekat staklene bašte odložiti novo ledeno doba?

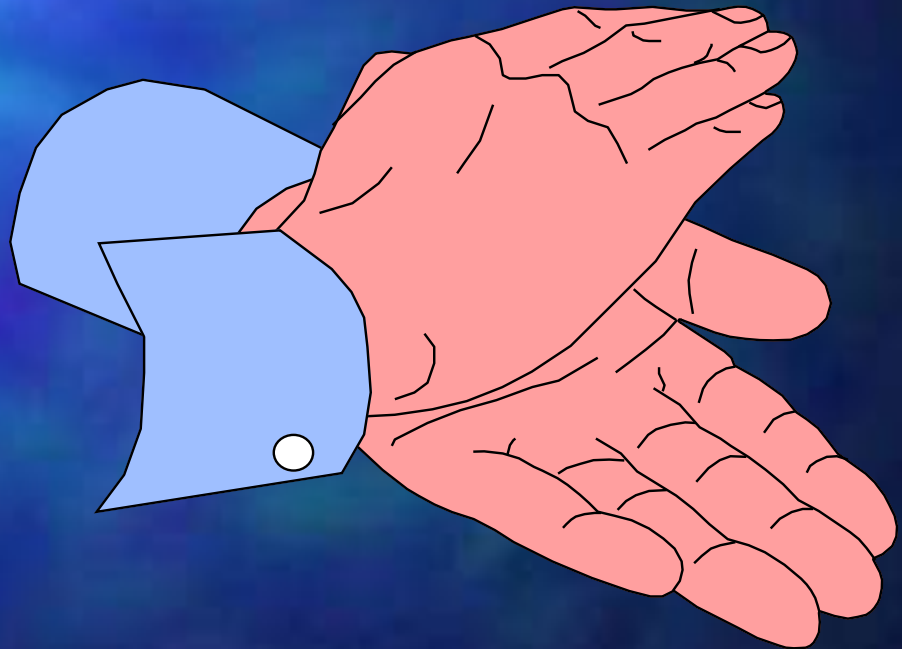
Pre ili kasnije neminovan je ulazak u novi hladni ciklus, jer je uzročnik vezan za astronomske faktore, na koje čovek za sada ne može da utiče. IPCC smatra da novo ledeno doba može početi tek za 30 000 godina, tj. da će otopljanje odložiti početak novog ledenog doba. **Prema nekim autorima, polako ulazimo u novo ledeno doba. Proces njegovog nastupanja traje više stotina godina, a neki smatraju i nekoliko hiljada godina.** Po Dž. Imbriju, iako već desetak hiljada godina živimo u toplom periodu, blago zahlađenje traje oko 7000 godina. Maksimalno zahlađenje nastupiće kroz 23 000 godina. **Tektonika Zemljinih ploča i pomeranje kontinenata ka severnom polu doprineće stvaranju centara zaglečeravanja i prodor lednika ka jugu. To će biti novo ledeno doba.**



Ko preživi pričaće!

KRAJ

HVALA NA PAŽNJI!





**Kako znamo kakve su temperature
bile u dalekoj prošlosti i kakva je tada
bila klima?**



*Zbijeni godovi označavaju hladnu,
a udaljeni toplu godinu*



**To se saznaje
istraživanjem
sedimenata, godova
u drveću, ...**

na osnovu rasprostranjenosti
biljaka i životinja, ...



... analizom mehurića vazduha milionima godina starih u ledu Antarktika, na osnovu čega se utvrđuje kakva je bila temperatura vode u geološkoj prošlosti, a time i temperatura vazduha.



Analiza antarktičkog leda

Zarobljeni mehurići vazduha iz vremena nastanka lednika ukazuju na manju koncentraciju CO_2 u odnosu na današnje vrednosti. Tada je efekat staklene bašte bio slabije izražen.



Insekt i mehurići vazduha u ćilibaru

Istraživanje izotopskog odnosa H^1/H^2 i O^{16}/O^{18} u ledu ukazuje na temperaturu vazduha pri kojoj je formiran led. Tako odnos O^{16}/O^{18} u $CaCO_3$ u skeletu morskih životinja ukazuje na temperaturu vode, pri čemu se starost fosila može odrediti C-14 metodom.

Molekul vode ima veću masu kada sadrži O^{18} (ima dva neutrona više nego O^{16}). To znači da H_2O^{16} kao lakši molekul isparava brže i na nižim temperaturama od H_2O^{18} . Dakle, padavine sadrže veći odnos O^{16}/O^{18} ako su temperature niže. U $CaCO_3$ u skeletu morskih životinja nalazi se kiseonik preuzet iz vode. Organizmi se talože, pri čemu je brzina taloženja približno konstantna. Na taj način dubinska skala nalaženja fosilnih ostataka iz morskih stena je ujedno i vremenska skala. Merenjem odnosa O^{16}/O^{18} u skeletu određuje se i temperatura vode, a ona odražava stanje klime u vreme ugradnje kiseonika u skelet životinja.



Istraživanja klime u prošlosti mogu se obavljati i proučavanjem lesa. Les predstavlja nanose vetra koji su sabijeni u slojevitoj svetloj zemlji. U lesu su magnetne čestice (oksidi gvožđa). Kada je određena oblast na Zemlji prekrivena ledom ili glečerima, les se ne akumulira ili je akumulacija sporija. Značajnije varijacije količine magnetnih čestica u slojevitoj zemlji indikator su ledenih doba.

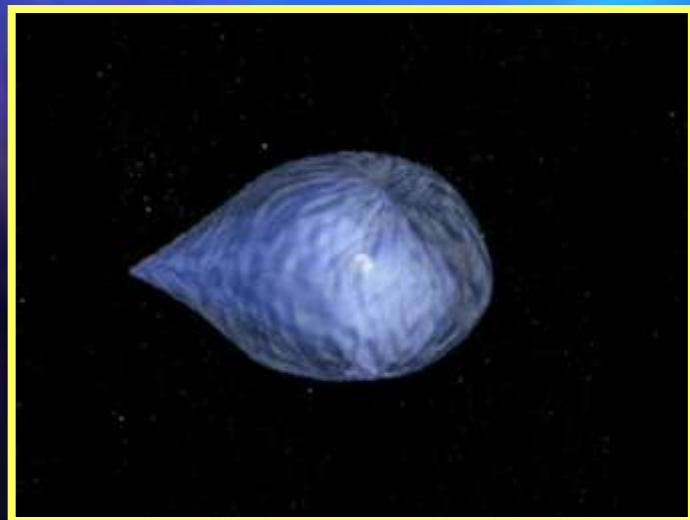


Nivo solarne aktivnosti u prošlosti indirektno se utvrđuje na osnovu prisustva radioaktivnih izotopa u ledu, sedimentima, kori drveća, itd. Npr. poznato je da se izotop C^{14} u atmosferi formira pod delovanjem galaktičkog kosmičkog korpuskularnog zračenja na CO_2 u Zemljinoj atmosferi. Kosmički zraci (oko 90% su protoni) kreću se duž linija galaktičkog magnetnog polja i “bombarduju” tela Sunčevog sistema. Sunčev vetar (strujanje naelektrisanih čestica koje iz korone odlaze umeđuplanetarni prostor) sabija linije galaktičkog polja, suprotstavljajući se time prodiranju kosmičkih zraka dublje unutar Sunčevog sistema.



Kada je Sunčeva aktivnost intenzivnija, jačina i fluks Sunčevog vetra rastu. Intenziviranje Sunčevog vetra dovodi do rasta jačine međuplanetarnog magnetnog polja.

Ovo jače polje rasejava ulazne kosmičke zrake i njihov fluks se smanjuje. To je poznato kao Forbušov efekt (Forbušovo umanjenje). Kada je solarna aktivnost manja, solarni vetar je slabiji, granica Sunčeve magnetosfere je bliže Zemlji. Kosmičko zračenje tada lakše dospeva u atmosferu Zemlje. Tada se u atmosferi stvara više C^{14} i on se u većoj meri u procesu fotosinteze ugrađuje u biljne organe. Kada je manja solarna aktivnost u uzorcima je veće prisustvo C^{14} . Poluperiod raspada C^{14} je 5730 godina. Na osnovu toga, merenjem količine C^{14} u uzorcima moguće je utvrditi nivo Sunčeve aktivnosti u davnoj geološkoj prošlosti.



Kada su ciklusi Sunčeve aktivnosti uobičajeni (na 11 godina) u geološkim slojevima se ne uočavaju razlike u prisustvu C^{14} . Razlike su uočljive kada su poremećaji solarne aktivnosti dugotrajniji. U godovima drveća koji odgovaraju vremenu Maunderovog minimuma detektovan je rast prisustva C^{14} od 10% sa pikom 1690. godine (“fluktuacija H.-de Vriza”).