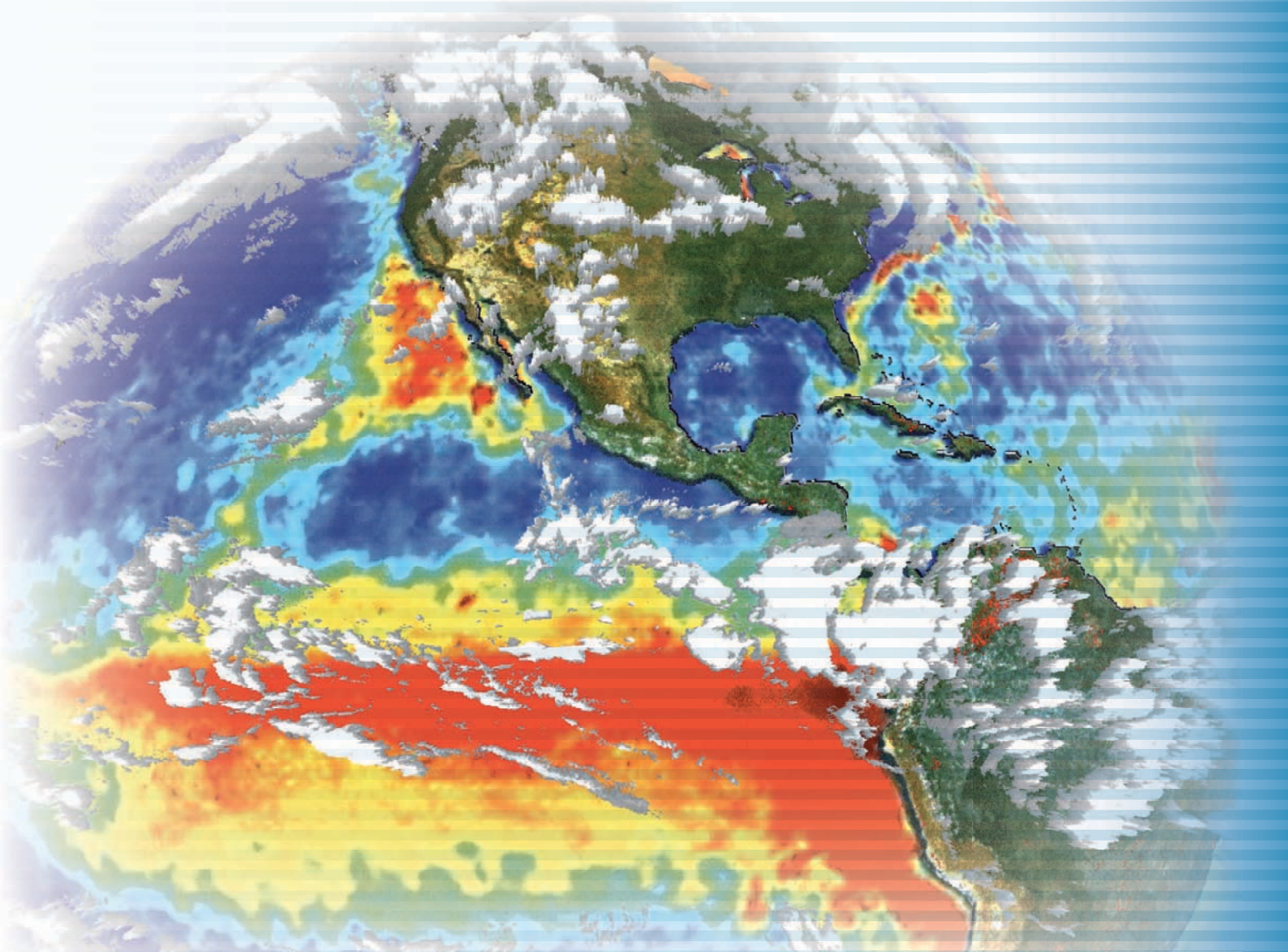


PRIRODNA VARIJABILNOST GLOBALNOG KLIMATSKOG SISTEMA

Gordana
Jovanović

Klimatski fenomeni El Ninjo i La Ninja



PRIODNA VARIJABILNOST
GLOBALNOG KLIMATSKOG SISTEMA

Klimatski fenomeni El Ninjo i La Ninja

**Gordana
Jovanović**

**Prirodna varijabilnost globalnog
klimatskog sistema:
„Klimatski fenomeni El Ninjo i La Ninja“**

Autor

Gordana Jovanović, dipl. meteorolog

Recenzenti

Prof. dr Borislav RAJKOVIĆ, Institut za meteorologiju,

Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Branimir RELJIN, Elektrotehnički fakultet,

Univerzitet u Beogradu

Izdavač

Meteorološko društvo Srbije

www.meteo.org.rs, office@meteo.org.rs

Likovno-grafička oprema

Srđan Popadić

Januar 2010.

ISBN: 978-86-913235-0-9

Sadržaj

Predgovor 1

1. Uvod 3

2. Atmosferska cirkulacija u tropima 6

2.1 Normalna atmosferska cirkulacija iznad Pacifika 7

2.2 Cirkulacija iznad tropskog Pacifika za vreme ENSO 8

2.3 Sličnosti i razlike između okeana i atmosfere 10

3. Cirkulacija u okeanu 11

3.1 Ekvatorijalni Pacifik – normalno stanje 12

3.2 Ekvatorijalni Pacifik – anomalije 14

4. Interakcija okean – atmosfera u oblasti Pacifika 16

4.1 Normalno stanje 16

4.2 Evolucija El Ninjo 17

4.3 Evolucija La Ninja 19

5. Oscilovanje nivoa mora 21

6. Talasna kretanja u ekvatorijalnim vodama 23

6.1 Kelvinovi talasi 24

6.2 Rozbijevi dugi talasi 24

6.3 Talasna kretanja za vreme El Ninjo, La Ninja 24

7. Varijabilnost ENSO 27

7.1 Varijabilnost u prostoru 27

7.2 Varijabilnost u vremenu 27

8. Posledice 31

8.1 Posledice El Ninjo 31

8.1.1 Posledice El Ninjo u atmosferi 31

8.1.2 Telekonekcija 34

8.1.2.1 Telekonekcija temperatura El Ninjo – Srbija 35

8.1.3 Posledice El Ninjo u okeanu 37

8.2 Posledice La Ninja 37

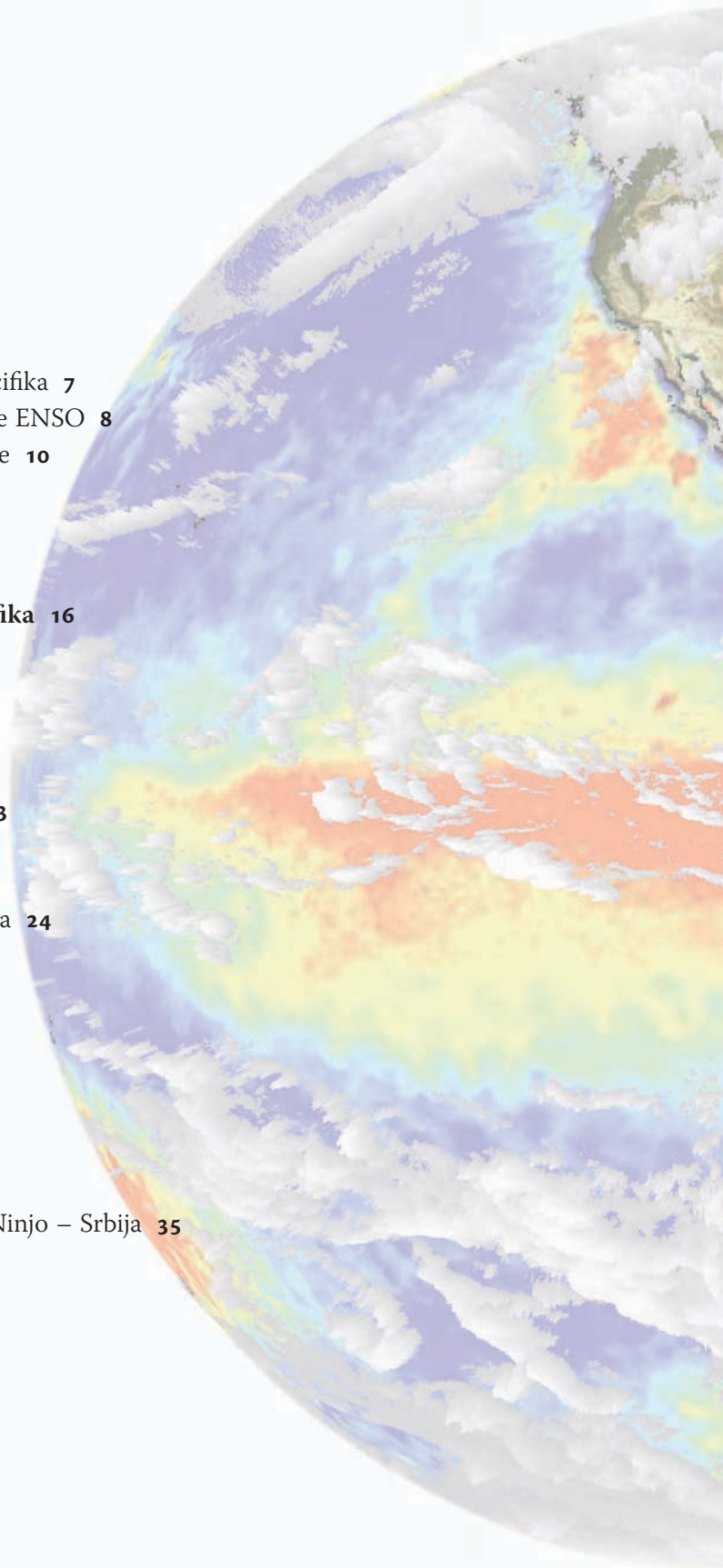
9. Prognoziranje ENSO događaja 40

9.1 Lamont model 41

10. Zaključak 44

Literatura 45

Reference za slike 54



Predgovor

Najznačajnije globalne klimatske pojave El Ninjo (El Niño) i La Ninja (La Niña), sve su češće tema ne samo stručnih već i novinskih članaka. Razlog je veliki uticaj ovih pojava na vreme i klimu, prvo ekvatorijalnih i tropskih širina, a zatim i šire, sve do globalnih razmera. Pojave El Ninjo i La Ninja su posledica međusobnih uticaja atmosfere i okeana i zbog toga su najviše predmet proučavanja meteorologije i okeanografije.

Na izvanrednom dobrom kursu: “Course on the Ocean-Atmosphere Interaction in the Tropics” koji je održan u Međunarodnom centru za teorijsku fiziku (Trst, Italija, 1991. g.), stekla sam početna znanja o složenim klimatskim pojavama El Ninjo i La Ninja. Zatim sam nastavila proučavanje obilne stručne literature, o pojavama koje su od 1990-tih jedan od prioriteta istraživanja klime. Vremenom je uticaj ovih fenomena na varijabilnost klime postajao jasniji a moja znanja kompletnija. Kako se kod nas veoma malo zna o ovim pojavama, nametnula se potreba da putem ove publikacije, objasnim i približim glavne aspekte El Ninjo i La Ninja, pre svega našim meteorolozima.

Za praćenje teksta nije potrebno veliko predznanje, tako da publikaciju mogu koristiti stručnjaci iz svih oblasti geofizike kao i drugi zainteresovani. Prvo poglavlje govori o istoriji pojava, a sledeća dva o cirkulaciji atmosfere i okeana u tropima. U četvrtom poglavlju je opisana pojava na osnovu interakcija atmosfera-okean. U 5. i 6. su opisani varijabilnost nivoa okeana i prostiranje talasa preko Pacifika. Poglavlje 7 analizira varijabilnost El Ninjo i La Ninja, u prostoru i vremenu. U 8. su opisane najznačajnije posledice u atmosferi i okeanu, kao i telekonekcija sa temperaturama u umerenim širinama i Srbiji. Na kraju su prikazane prognoze El Ninjo i La Ninja dobijene pomoću numeričkih modela i zaključak.

U tekstu, pored referenci koje objašnjavaju pojavu, dat je i dovoljan broj druge literature za one koji su zainteresovani za dalja proučavanja ovih zanimljivih i kompleksnih pojava, sa nesumnjivo najvećim uticajem na globalni klimatski sistem. Na samom kraju publikacije, prema rednom broju, navedene su reference za slike.

Beograd, novembar 2009.

Gordana Jovanović

1. *Uvod*

Klasična definicija, koja tretira klimu kao dugogodišnji prosek meteoroloških parametara, nije bila u stanju da objasni određene značajne i složene klimatske pojave. Zato je sredinom 1980-tih prihvaćen pristup, koji klimu tretira kao dinamički sistem, u kome učestvuju i jedni na druge deluju: atmosfera, okeani, procesi na tlu, kriosfera (ledeni pokrivač) i biosfera (živi svet). Klima ovako definisana kao dinamički, interaktivni, globalni sistem sastavljen od više komponenta, bila je daleko uspešnija u tumačenju kompleksnih pojava kao što su: El Ninjo, La Ninja, globalno zagrevanje, ozonske rupe i dr.

El Ninjo je prema posledicama i uticajima najznačajniji klimatski fenomen za vremenske razmere od jedne sezone do nekoliko godina. U meteorološkoj i okeanografskoj literaturi se često nailazi na termin ENSO, što predstavlja akronim za istovremenu pojavu u okeanu El Ninjo (EN) i atmosferi Južna Oscilacija (Southern Oscillation – SO). Za ENSO su karakteristične dve ekstremne faze, topla – El Ninjo i hladna – La Ninja. El Ninjo najkraće rečeno, označava pojavu povišene temperature površinskih voda u istočnom i centralnom ekvatorijalnom Pacifiku, dok Južna Oscilacija (JO) (*Walker G.T. 1923.,1924.*) označava odgovarajuću oscilaciju pritiska vazduha, iznad istih oblasti. Za La Ninju su karakteristične niže temperature površine mora od prosečnih u ovim istim oblastima. Zbog toga se u literaturi, El Ninjo neretko zove topli, a La Ninja hladni događaj ili pojava. Iako se ove pojave primarno

odvijaju u ekvatorijalnom pojasu, one bitno menjaju vreme i klimu ekvatorijalnog i tropskog regiona, dok u manjoj ili većoj meri utiču na klimu Zemlje. ENSO je integralni deo prirodne varijabilnosti globalnog klimatskog sistema i na njegov razvoj ne može uticati čovek.

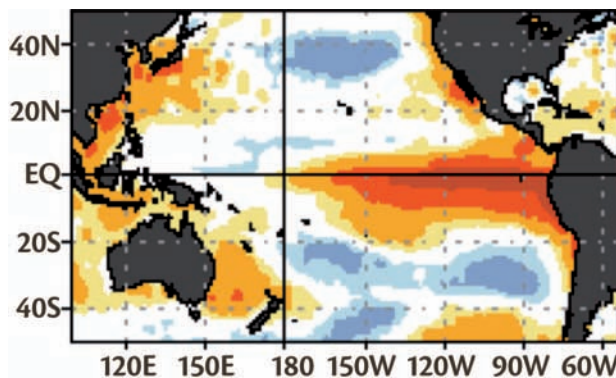
Iako se tek poslednjih dvadesetak godina naveliko govori i piše o fenomenu El Ninjo, neke manifestacije ove pojave su poznate više stotina godina. Još od šesnaestog veka u pisanim dokumentima u vreme španskog koloniste Franciska Pisaroa (1525. g.) (*Philander G. 1990.*), pominje se pojava povišene temperatura mora pored pacifičkih obala ekvatorijalnog pojasa Južne Amerike. Ribari iz Perua, su ovu toplu morsku struju koja je zapljuskivala njihove obale u vreme oko Božića, od davnina zvali El Ninjo. Topla struja koja obično traje nekoliko nedelja, dobila je ime El Ninjo (u prevodu sa španskog muška beba, dete Isus), jer se javlja krajem decembra i početkom januara tj. oko Božića. Međutim, događalo se svakih nekoliko godina, da ova struja postane znatno toplija, traje znatno duže i prostire se daleko na zapad i jug. Tih godina su se dešavale brojne neobične pojave na moru i kopnu. Za vreme trajanja El Ninja, duž obala Perua padale su izuzetno jake kiše, koje su u ovoj inače gotovo pustinjskoj oblasti, veoma retke. Godine kada su se „pustinje pretvarale u bašte“ a zemljište za nekoliko nedelja postalo prekriveno bujnim rastinjem, nazivali su u Peruu „godine obilja“. Obilne kiše, ukoliko nisu izazivale poplave, bile su veoma dobrodošle.

Istovremeno, u neposrednoj blizini, temperature u površinskim slojevima okeana su bile znatno više od prosečnih, što je prouzrokovalo drastično smanjenje ulova ribe. Smanjen ulov riba je značio pomor ptica, gubitak hrane za sisare i naravno za čoveka. Te godine su za ribare značile siromaštvo, jer su po pravilu hladne okeanske vode duž obala Perua, jedan od ribom najbogatijih regiona na globusu.

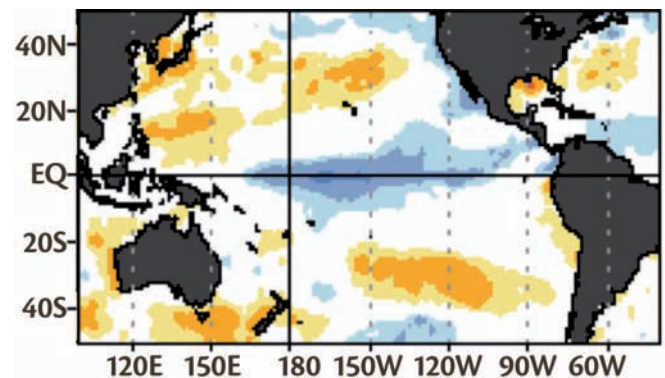
Tokom godina 1877. i 1899., kada je pored obala Perua bilo obilje na kopnu a El Ninjo u okeanu, na drugom kraju sveta u Indiji, oslabljeni i zakasneli monsoni su prouzrokovali katastrofalne suše, glad i smrt hiljada ljudi. Tadašnji predsednik Kraljevskog meteorološkog društva Ser Gilbert Voker (Sir Gilbert Walker), zainteresovao se za istraživanja uzroka ovih nepogoda i početkom dvadesetog veka, kao rukovodilac meteorološke opservatorije u Indiji, preduzeo opsežna merenja i osmatranja a zatim i analizu tih podataka. Tada je dao da se izračunaju korelacije između pritiska, temperature i padavina na 29 meteoroloških stanica za nizove duge oko 40 godina. Da bi otkrio različite uticaje i veze sa atmosferskim pojavama, u svoja ispitivanja je uključio i podatke o poplavama, sunčevim pegama i dr. Posle obimnog istraživanja, njegov zaključak je bio: „kada je iznad istočnog Pacifika tendencija

pritiska da raste, tada je iznad Indijskog okeana od Afrike do Australije tendencija pritiska da opada i obrnuto; pri čemu iznos padavina varira sa suprotnim znakom“. Rezultate svojih istraživanja Voker je objavio u radovima od 1924. g. do 1937. g. a ovu fluktuaciju pritiska je nazvao Južna Oscilacija (Southern Oscillation) (*Walker G.T. 1924., 1932.*). Tada, ugledni naučnik nije znao, da istih godina kada se odvijalo kašnjenje i slabljenje monsona iznad Indijskog podkontinenta, pored obala Perua je bila dugotrajna pojava El Ninjo.

Pred kraj Vokerovog života za vreme geofizičke godine 1957/58. g., naučnici su opet pokrenuli istraživanje anomalija cirkulacije atmosfere i okeana u oblasti istočnog ekvatorijalnog Pacifika. Prof. Jakob Bjerknes sa Univerziteta u Kaliforniji, ukazao je na koincidenciju specifičnih okeanografskih i meteoroloških uslova tokom pojave tople anomalije. On je sugerisao teoriju interakcije atmosfere i okeana kao uzroka nastanka i razvoja El Ninjo. U radu iz 1966. god. Bjerknes (*Bjerknes J. 1966.*) je dokazao da su Južna Oscilacija i El Ninjo u stvari dva aspekta jedne iste pojave i objasnio zašto je El Ninjo (Slika 1 a) povezan sa donjom fazom JO (*Bjerknes J. 1969.*). Bjerknes je takođe, definisao do tada nepoznatu zonalnu cirkulaciju u ekvatorijalnoj ravni, koju je iz



Slika 1. a. El Ninjo – Pacifikom dominiraju pozitivne anomalije temperature površine mora.



Slika 1. b. La Ninja – Pacifikom dominiraju negativne anomalije temperature površine mora.

poštovanja prema svom prethodniku nazvao Vokerova cirkulacija (Walker Circulation) (*Bjerknes J. 1972.*). Bjerknesov doprinos rasvetljavanju pojave je veliki, a njegova tvrdnja da je srž pojave u interakciji okeana i atmosfere, dokazana je osamdesetih godina pomoću numeričkih integracija cirkulacije atmosfere i okeana.

Posle 70-tih godina, pod terminom El Ninjo pojava (događaj, fenomen, faza) uglavnom su podrazumevane vremenske katastrofe širom tropa i u vodama Pacifika, sa najintenzivnijim posledicama u ekvatorijalnom regionu. Tih godina ustanovljene su i određene telekonekcije – visoko korelisane veze između klimatskih pojava na velikoj udaljenosti, npr. između El Ninjo događaja i anomalija parametara vremena i klime na umerenim širinama, (*Wallace J. M. 1981.*). Ipak, značajni segmenti ENSO još uvek nisu bili u dovoljnoj meri protumačeni, ni jasni.

Sledeći suštinski korak u analizi ENSO je napravio okeanograf Virtki (Klaus Wirtky) sa Univerziteta na Havajima, koji je analizirao podatke o nivou mora pored istočnih i zapadnih obala Pacifika (*Wyrtsky K. 1975.*). Tada je ustanovio da su promene visine nivoa Pacifika u vremenu visoko korelisane sa promenama parametara u obližnjoj atmosferi. Karakteristične oscilacije nivoa okeana Virtki je ispravno protumačio kao dinamičku reakciju okeana na forsiranja vetrom. Njegov drugi, takođe, veliki doprinos bila je pretpostavka da se oscilacije u Pacifiku od istočnih do zapadnih obala (i obrnuto) prostiru putem nisko frekventnih Kelvinovih i Rozbijevih talasa (*Wyrtsky K. 1979.*).

Izuzetno intenzivan događaj El Ninjo 1982/83 g., je prouzrokovao do tada neviđene

katastrofalne posledice: dugotrajne suše i požare, razorne poplave, velike ekološke i ekonomske katastrofe u zemljama tropskog pojasa, brojne ekstremne i neobične meteorološke i okeanske pojave širom globusa. Ovaj događaj je zatekao potpuno nespremnju međunarodnu naučnu zajednicu. Tadašnja nauka ne samo da nije bila u stanju da prognozira događaj, već ga za duže vreme nije ni prepoznala. Zbog toga su, posle pojave ENSO 1982/83., meteorolozi i okeanografi, napravili prekretnicu i odlučili da detaljno prate i do kraja rastumače i ako je moguće predvide, ovu složenu pojavu. Ubrzo je definisana i suprotna faza od El Ninjo, tzv. La Ninja ili hladan događaj (*Cane M. 1986.*). Poslednji krupan napredak u proučavanju ENSO je urađen u okviru projekta TOGA – Tropical Ocean Global Atmosphere, Svetske meteorološke organizacije (*WMO, 1995.*).

Tokom sledećih godina urađene su brojne analize a zatim i pokušaji prognoze ENSO pomoću numeričkih modela, jedinih alatki koje su u stanju da simuliraju zbivanja u prirodi. Radi dobre prognoze interakcije, dovode se u međusobnu zavisnost odnosno „spajaju“ modeli globalne atmosfere i tropskog okeana. Prvi dobar „spojen“ model okeana i atmosfere za prognozu ENSO uradili su Zebiak i Kejn 1987. g. (*Zebiak S. E., Cane M.A., 1987.*) i sa njim dobili prvu uspešnu prognozu za El Ninjo događaj 1991/95. g. Tačna i blagovremena prognoza ENSO faza od ogromnog je značaja jer omogućava pripremu za predstojeće, sada već detaljno definisane, anomalije globalnog klimatskog sistema.

2. Atmosferska cirkulacija u tropima

Za razumevanje interakcije okeana i atmosfere, koja prouzrokuje nastanak ENSO faza, poželjno je određeno predznanje o cirkulaciji atmosfere i okeana u tropima.

Procesi u tropskom pojasu zbog koncentracije ogromnih količina toplote, deluju kao pokretači opšte cirkulacije atmosfere, a kretanja su uglavnom termičkog porekla. Cirkulacija započinje u prizemnom sloju konvergencijom (uzdizanjem) vlažnog vazduha ka najtoplijim regionima, gde se formiraju oblačni sistemi vertikalnog razvoja. Ovi snažni konvektivni sistemi, iako procentualno zauzimaju malu oblast, veoma su značajni za atmosferu. Oni deluju kao provodnik između podloge i visokih slojeva troposfere. Zbog izlučivanja velikih količina padavina, oslobađaju se ogromne količine latentne toplote koje još više doprinose formiranju burnih kretanja (Sarachik E. 1991.). Tropi se razlikuju od viših širina i po tome što je smanjeno dejstvo Koriolisove sile (Holton J. R. 2004). U okolini Ekvatora, gde se odigrava ključna interakcija vezana za nastanak ENSO, dejstvo Koriolisove sile je minimalno, što je od bitnog značaja za nastajanje specifičnih kretanja u okeanu i atmosferi.

Značajna karakteristika koja se odnosi samo na tropske oblasti je ćelijska cirkulacija u dve ravni, u meridionalnoj i zonalnoj.

Hadlijeva cirkulacija (slika 2) se odvija u meridionalnom pravcu u vertikalnoj ravni i simetrična je u odnosu na Ekvator. Hadlijevu cirkulaciju čine dve simetrične ćelije u kojima

se vlažan vazduh podiže u ekvatorijalnoj zoni formirajući uzlaznu struju (obeleženo strelicom 1), odnosno veoma intenzivnu konvekciju u tzv. intertropskoj zoni konvergencije (Intertropical Convergence Zone – ITCZ). Kada dostigne gornju troposferu, ovaj vazduh divergira i spušta se južno i severno od ITCZ, (na slici 2, obeleženo strelicama 2a, 2b i 3). Takođe, na slici 2 sa L su obeleženi centri niskog pritiska u domenu ITCZ, a sa H zone visokog pritiska u kojima nastaje subtropska subsidencija (spuštanje vazduha). Ovom cirkulacijom se odvija glavni transport toplote iz tropa ka visokim širinama.



Slika 2. Šematski prikaz meridionalne Hadlijeve cirkulacije.

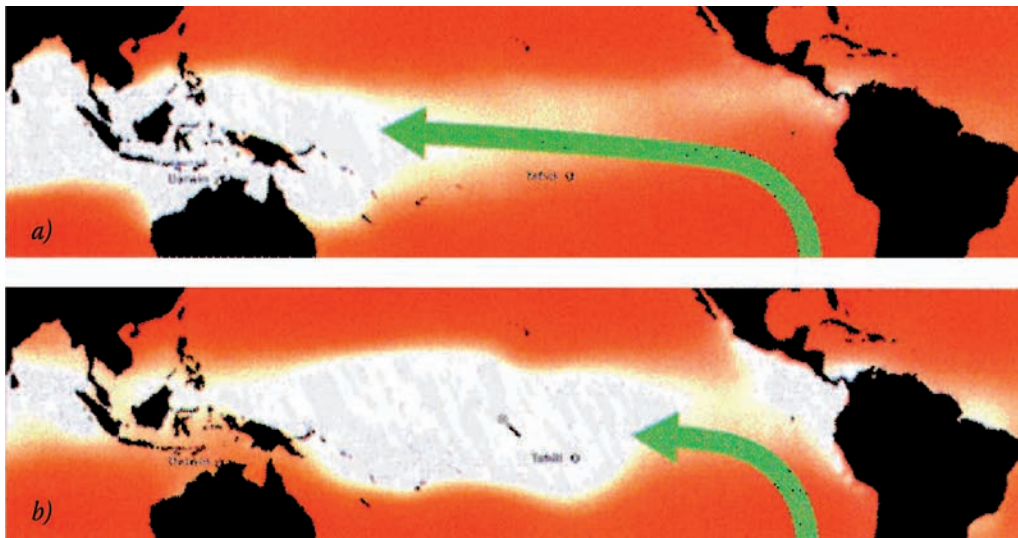
Nasuprot Hadlijevoj, Vokerova cirkulacija je asimetrična, postavljena je zonalno u ekvatorijalnoj ravni i delimično superponirana na meridionalnu struju Hadlijeve cirkulacije. Vokerova cirkulacija direktno zavisi od faze ENSO događaja i bitno se menja tokom trajanja El Ninjo u odnosu na prosečno stanje. Hadlijeva cirkulacija ostaje uvek skoro ista.

2.1. Normalna atmosferska cirkulacija iznad Pacifika

Oscilaciju pritiska tj. „tendenciju pritiska na stanicama u Pacifiku... da raste, dok pritisak u oblasti Indijskog okeana opada, i obrnuto“, Voker (*Walker, 1924.*) je nazvao Južna Oscilacija (JO). Na slici 3 a) i b), crvenom bojom je označeno polje visokog pritiska, svetlom niži

zavisnost promena pritiska između Darvina i Tahitija je prikazana na slici 4. za period od 45 godina. Sa grafika je očigledno da pritisak u ovim tačkama osciluje kao klackalica: kada raste u Darvinu (crvena linija), opada na Tahitima (zeleno linija) i obrnuto.

Pasati su stalni vetrovi čiji je glavni uzrok Hadlijeva ćelijska cirkulacija. Oni su jugoistočnog smera na južnoj, odnosno

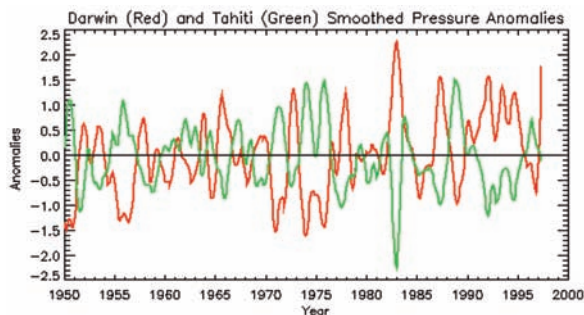


Slika 3. Južna oscilacija – visok pritisak je obeležen crvenom bojom. a) Normalni uslovi sa visokim pritiskom iznad istočnog Pacifika a niskim iznad zapadnog Pacifika formiraju intenzivne pasate, tzv. gornju fazu JO. b) El Ninjo uslovi sa niskim pritiskom iznad istočnog Pacifika a povišenim iznad zapadnog Pacifika, formiraju oslabljene pasate, tzv. donju fazu JO.

pritisak a strelicom pasati. Na slici 3 a) je prikazano prosečno stanje iznad ekvatorijalnog Pacifika ili tzv. gornja faza JO. Ona je definisana stacionirnim centrom visokog pritiska iznad istočnog Pacifika dok nizak pritisak preovlađuje iznad zapadnog Pacifika. Sa slike 3 se mogu uočiti dva regiona gde su promene pritiska najizraženije. Prvi je iznad zapadnog Pacifika sa centrom oko Darvina (Australija) a drugi iznad jugoistočnog Pacifika sa centrom u blizini Tahitija (Francuska Polinezija). Anomalije pritiska u ova dva centra, uvek su obrnutog znaka i sa visokim koeficijentom korelacije. Ova

severoistočnog na severnoj polulopti, sa najvećim intenzitetom na geografskim širinama oko 15°S odnosno 15°N. Ovakav raspored centara pritiska, tj. gornja faza JO, formira jak gradijent pritiska koji dodatno intenzivira pasate na obe polulopte.

Jakob Bjerknes (*Bjerknes J. 1969.*), imajući u vidu tada poznatu JO, je cirkulaciju koju je nazvao Vokerova, opisao sledećim rečima: „Relativno hladan i suv vazduh iznad hladnih voda istočnog Pacifika kreće se u prizemlju ka zapadu, gde biva zagrevan i snabdeven vlagom iznad toplih mora (kišni region). Tako



Slika 4. Uravnate anomalije pritiska u Darwin-u (crvena linija) i na Tahitima (zelena linija) za period 1950–1995.

dolazi do podizanja vazduha koji na visini divergira, jednim delom se kreće ka polovima u okviru Hadlijeve cirkulacione ćelije, dok se drugim delom spušta ka istočnom Pacifiku“. Bjerknies je ovim definisao nov tip cirkulacije u ekvatorijalnoj ravni i tako dokazao da se značajan transport toplote odvija i zonalno, duž Ekvatora, a ne isključivo meridionalno, u okviru Hadlijeve ćelije.

Na slici 5 je šematski prikazano prosečno stanje Vokerove cirkulacije, koje karakterišu konvekcija i jake kiše iznad Indonezije i zapadnog Pacifika, Afrike i Amazonije i silazna kretanja (subsidiencija) koja donose deficit padavina iznad zapadne Afrike i zapadne Južne Amerike. Vokerova cirkulacija je pre svega termalnog porekla, sa uzlaznom granom iznad

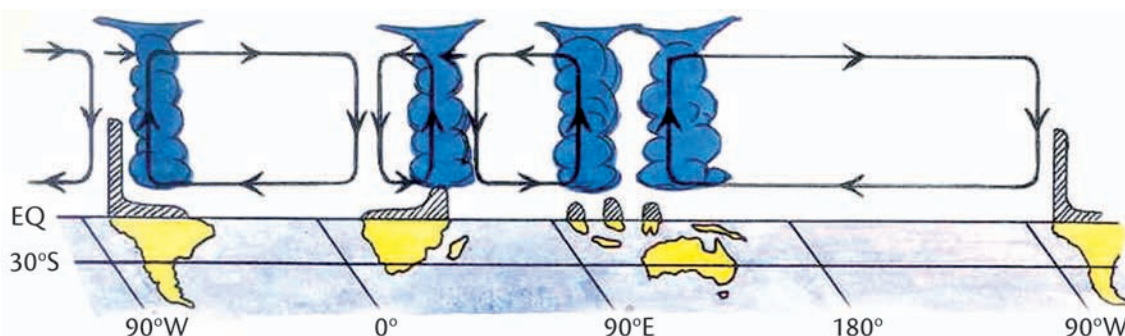
toplih voda zapadnog Pacifika (oko 165°E) i silaznom iznad hladnih voda istočnog Pacifika (oko 90°W). Sa slike 5 je očigledna druga značajna karakteristika Vokerove cirkulacije, a to je zonalna asimetričnost. Zonalna simetrija nije moguća jer se forsiranja atmosfere razlikuju zbog nejednakog zagrevanja podloge, kopna i mora, kao i specifičnog rasporeda stacionarnih centara pritiska.

Oblast zapadnog Pacifika ima izuzetno visoke temperature površine mora i najveće količine padavina na globusu, zbog čega se ponekad naziva maritimni kontinent (Gill A. 1980.). Iznad preostalih delova okeana duž Ekvatora, gde su temperature površine mora donji granični uslov atmosfere niže, prevladava atmosferska subsidiencija.

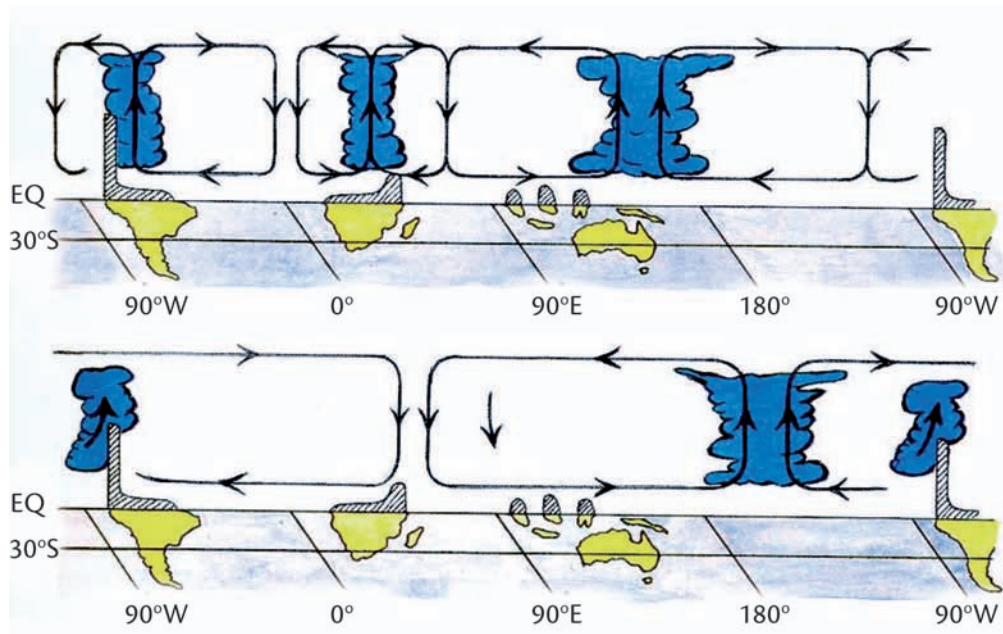
2. 2. Cirkulacija iznad tropskog Pacifika za vreme ENSO

Za vreme prosečne zime, Vokerova cirkulacija izgleda kao na slici 6 a), gde se divergencija odvija u donjoj i gornjoj troposferi, a vazduh se kreće u pravcu istok-zapad.

El Ninjo događaje karakterišu specifične promene pritiska, vetra i temperature, koje prouzrokuju značajne anomalije kod cirkulacije



Slika 5. Šema prosečne Vokerove cirkulacije: vazduh se podiže i formira obilne padavine iznad Indonezije i zapadnog Pacifika, Afrike i Amazonije.



Slika 6. Šema Vokerove cirkulacije na osnovu vetrova u gornjoj i donjoj troposferi: a) Vokerova cirkulacija i kretanje vazduha u pravcu istok-zapad tokom prosečne zime. b) Vokerova cirkulacija i kretanje vazduha u pravcu istok-zapad tokom El Ninjo 1982/83.

atmosfera i okeana u oblasti tropskog Pacifika. El Niño je povezan sa donjom fazom JO kada je pritisak nizak iznad istočnog, a povišen iznad zapadnog Pacifika (Slika 3. b). Ovakav položaj centara pritiska, obrnut od uobičajenog, veoma slabi gradijente pritiska a time i pasate. Za vreme intenzivnih El Niño događaja kao npr. 1982/83., zbog veoma izraženih centara pritiska sa promenjenim znakom, pasati zamiru ili čak dobijaju zapadnu komponentu (*Cane M.A 1991. ICTP, Philander G. 1991.*).

Tokom pojave El Niña, Vokerova cirkulacija je bitno drugačija, kao što je prikazano na slici 6. b). Tople vode koje se prostiru u širokoj oblasti centralnog i istočnog Pacifika, menjaju termalnu strukturu atmosfere. Uzlazna grana Vokerove cirkulacije tada se nalazi istočno od datumske granice (180°W), a kako je konvekcija uvek najjača na mestima sa najvećom temperaturom podloge, zajedno sa

maksimalnom temperaturom površine mora, ka istoku se pomeraju i oblačni sistemi (Slike 1 a), 4 b), 6 b)). Za vreme El Niña padavine se izlučuju iznad najtoplijih istočnih i centralnih delova Pacifika, koji se zbog inače veoma malih količina padavina, zovu okeanske pustinje. Padavine su tada veoma obilne u području severozapadnih obala Južne Amerike, koje su takođe poznate kao sušne oblasti. Istovremeno, iznad zapadnog Pacifika zbog povišenog pritiska dominiraju silazna kretanja koja sprečavaju razvoj konvektivnih oblaka i nastanak padavina. Zato su u oblasti Indonezije, znatno smanjene inače preobilne kiše, nastaju dugotrajne suše i šumski požari.

Za vreme ekstremno jakih El Niño pojava, promena faze JO čini da Vokerova cirkulacija postane dominantna u odnosu na Hadlijevu, što inače nije slučaj.

Druga krajnost ili La Niña, nastaje kada su vode istočnog i centralnog Pacifika, hladnije

nego obično (slika 1 b). Tada su stacionarni centri pritiska, visok iznad istočnog a nizak iznad zapadnog Pacifika, još jači. Oni stvaraju veliki gradijent pritiska i pospešuju formiranje izvanredno jakih pasata. Posledice su deficit padavina na većem delu Pacifika, a konvektivni sistemi se koncentrišu na malu oblast toplih voda iznad zapadnog Pacifika. Za ovu pojavu je prihvaćeno ime La Ninja (na španskom devojčica) (*Philander G. 1989.*), umesto kako je predlagano Anti El Ninjo ili El Vieho (starac). La Ninja predstavlja najjednostavnije rečeno, intenzivirano normalno stanje, praćeno jakim gornjom fazom JO (odnosno hladnu ENSO fazu).

Ova pojava dugo nije posebno razmatrana, jer njene posledice u oblasti istočnog Pacifika nisu bile u suprotnosti sa normalnim stanjem. Međutim, detaljnija proučavanja su dokazala značajan uticaj La Ninje na razvoj tropskih ciklona kao i mnogobrojne telekonekcije.

2.3. *Sličnosti i razlike između okeana i atmosfere*

Zakoni koji važe za cirkulaciju okeana su u određenoj meri izmenjeni u odnosu na one koji su nam poznati za atmosferu. Da bi se bolje razumele osobenosti okeana o kojima meteorolozi manje znaju, prikazano je kratko poređenje nekih osnovnih karakteristika okeana i atmosfere (*Sarachik E. 1991., Cane M. 1991.*).

Glavne sličnosti i razlike, koje određuju dinamiku okeana i atmosfere, kao i njihove interakcije, su sledeće:

- * Oba su plitki fluidi;
- * Oba su rotirajući fluidi;
- * Oba su fluidi sa vertikalnom stratifikacijom;
- * Oba imaju značajnu topografiju na donjoj granici;
- * Okeani imaju čvrste bočne granice, atmosfera nema;
- * Okean ima konačan vrh, atmosfera nema;
- * Atmosfera je vođena termičkim forsiranjem na svojim donjim granicama;
- * Okeani su primarno dinamički forsirani od vrha;
- * Atmosfera ima značajno dijabatsko zagrevanje; npr. zračenje, oslobađanje latentne toplote, dok okeani nemaju;
- * U atmosferi je vlaga aktivna supstanca, u okeanima je aktivna supstanca salinitet;
- * Atmosferu čine gasovi koji su stišljivi, okean je skoro nestišljiv;
- * Okean je oko 1000 puta gušći od atmosfere;
- * Okean ima ogroman kapacitet toplote zbog apsorpcije sunčeve energije; sloj okeana debljine 2,5 m, ima toplotni kapacitet kao čitava atmosfera (*Sarachik E., 1991*);
- * Okean ima veliku inerciju; Vremenske razmere kretanja u okeanima su 100 i više puta veće od onih u atmosferi;
- * Okean apsorbuje velike količine CO₂ zbog čega postaje „kiseo“;
- * Za okean postoji daleko manje osmotrenih podataka nego za atmosferu.

3. Cirkulacija u okeanu

Glavni izvori energije za cirkulaciju okeana su sunčevo zračenje i vetar. Sunčevo zračenje formira termičku cirkulaciju u svim, pa i u dubljim slojevima okeana, dok vetar utiče samo na gornje slojeve. Okeani na svojoj površini, osjetljivo reaguju na pravac i intenzitet vazдушnih strujanja, tako da je cirkulacija gornjih slojeva okeana uglavnom forsirana odozgo, sa vrha, udarima vetra.

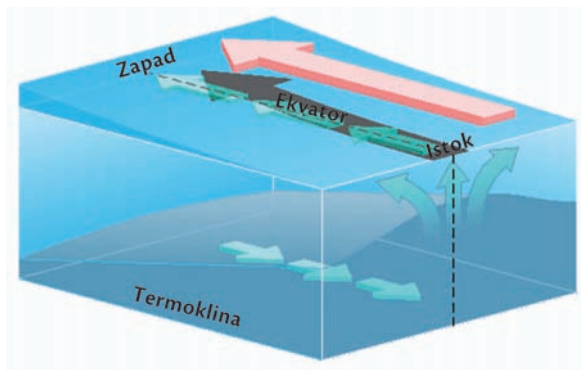
Osnovna karakteristika okeana je postojanje dva, gotovo razdvojena sloja. Gornji, tzv. mešoviti sloj okeana, je plitak i topao. On se od dubokih, hladnih voda okeana razdvaja termoklinom, tankim slojem u kome su promene temperature fluida vrlo velike. U mešovitom sloju okeana se pod dejstvom atmosferskih strujanja formiraju talasi i morske struje. Forsiranjem vetrom odozgo sa vrha okeana, stvaraju se horizontalna kružna kretanja čija se cirkulacija zatvara morskim strujama (Washington W.M., Parkinson C.L. 1986.). U okeanima takođe postoji tzv. opšta cirkulacija, koja podseća na opštu cirkulaciju atmosfere. Strujanja su u gornjem sloju okeana, iako mnogo brža od onih u dubljim slojevima, daleko sporija od onih u atmosferi. Značajna karakteristika brzine fluida je da one veoma brzo opadaju sa porastom dubine okeana.

U donjim slojevima okeana, koji su neuporedivo dublji i hladniji od gornjih, vode se veoma teško i sporo pokreću. U slojevima ispod termokline, odvijaju se karakteristična, izuzetno spora silazna i uzlazna kretanja.

Vremenske razmere kretanja u donjim, dubokim slojevima okeana su reda veličine od nekoliko godina, do više desetina, pa i stotina godina (Philander 1991.).

Kretanja u okeanima mogu biti i termički forsirana. U tropima, višak toplote proizvodi uzlazna kretanja dok se silazna odvijaju ka polovima. Kao što u atmosferi različita gustina vazduha stvara gradijente pritiska a zatim i cirkulaciju, tako i u okeanima razlike u salinitetu i temperaturi, takođe prouzrokuju kretanja. Isparavanjem se salinitet okeanskih voda povećava, dok ga padavine smanjuju. Razlika u salinitetu stvara gradijent saliniteta, odnosno gradijent gustine koji je obično manji od termičkog.

Gradijenti saliniteta i temperatura zajedno formiraju specifična kretanja koja se zovu termohalina cirkulacija (thermo – uticaj temperature, halina – salinitet). Ovo je poseban tip veoma sporih kretanja u obliku pojasa,



Slika 7. Izronjavanje i ekvatorijalno izronjavanje

koji zatvaraju cirkulaciju na globalnom nivou (*Washington W.M., Parkinson C.L. 1986.*).

Kretanja u okeanu mogu biti slobodna i prisilna. Osnovni oblici prisilnog kretanja u morima i okeanima su tzv. zaronjavanje i izronjavanje fluida, što je prikazano na slici 7. Vetar npr. istočni, svojim dejstvom na površinu okeana (crvena strelica na slici 7.), nosi površinske vode i dovodi ih do suprotnih, zapadnih obala gde se zbog nagomilavanja voda, nivo okeana (ili mora) povećava. Nailazak nestišljivog fluida na prepreku prouzrokuje njegovo zaronjavanje u dublje slojeve. Fluid koji se kreće bliže dnu i više nema gde, prinuđen je da se vraća nazad, kao što je prikazano kraćim strelicama na slici 7. (*Sarachik E. 1991., Schopf P.S. i Suarez M.J. 1988.*). Nakon pređenog puta u dubljim slojevima okeana, fluid dolazi do suprotne obale gde ponovo nailazi na prepreku, što prouzrokuje njegovo izronjavanje. Na ovaj način se odvija kružni tok fluida i mešanje voda sa različitih dubina. Sva navedena kretanja se odvijaju u gornjem sloju okeana, iznad nivoa termokline.

Pored izronjavanja zbog nailaska fluida na prepreku, postoji i priobalno izronjavanje, a u ekvatorijalnom pojasu specifičan oblik tzv. ekvatorijalno izronjavanje. (*Philander G. 1991., Cane M. 1991.*) Princip ekvatorijalnog izronjavanja nastaje kao posledica nepostojanja Koriolisove sile u uskoj oblasti oko Ekvatora. Idući od Ekvatora na sever i jug Koriolisova sila raste, zbog čega rotacija Zemlje vrši devijaciju osnovnog zapadnog strujanja, tako što na severnoj polulopti pravi odstupanja od toka udesno, a na južnoj ulevo. Pasati u tropskom regionu „vuku“ vode sa istoka ka zapadu. Tako, površinske vode bivaju „terane“ dalje od Ekvatora na obe polulopte. Idući ka višim širinama gde Koriolisova sila raste, pod njenim dejstvom, kroz dublje slojeve vode se vraćaju

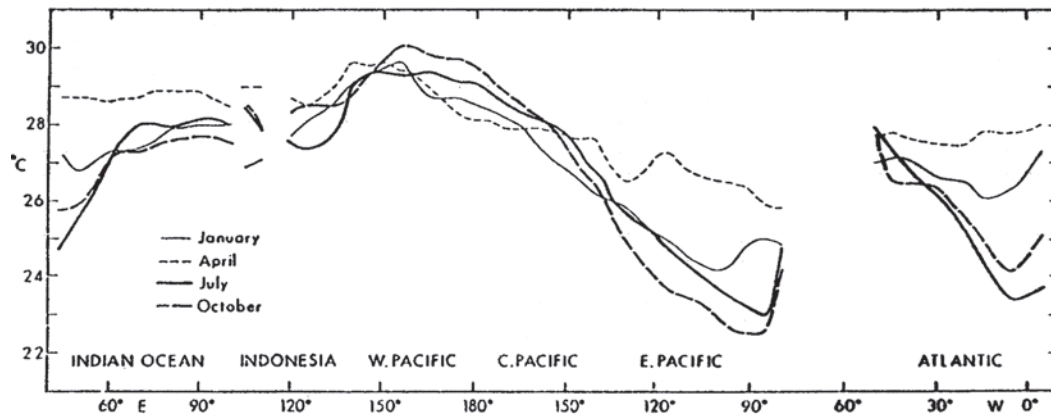
nazad ka Ekvatoru, što se takođe vidi na slici 7. Na ovaj način u ekvatorijalni pojas dolaze hladne vode iz dubina koje formiraju tzv. „jezik hladnih voda“ u okolini Ekvatora. Mešanje voda sa različitih dubina omogućavaju i brze morske struje koje su takođe prouzrokovane jakim lokalnim vetrovima. Mešanje površinskih, sa hladnim i svežim vodama koje dolaze iz dubina, daje povoljne uslove za nastanak planktona, koji je apsolutni uslov za nastanak i održavanje života u okeanu.

Ogroman kapacitet toplote okeana i njegova velika inercija, bitno utiču na globalnu klimu. Takođe, osobina okeana da apsorbuju velike količine CO₂ veoma je važna. Naime, tekuće globalno zagrevanje koje je uzrok vrlo aktuelnih klimatskih promena, prvenstveno se vezuje za povišenu emisiju CO₂ u atmosferu (*Sarachik E. 1991.*). Za tumačenje brojnih značajnih pojava, među kojima su El Niño i La Niña, a naročito za izradu prognoza za duže vremenske razmere preko 10 godina, neophodan činioac klimatskog sistema je okean.

Ne kraju, temperatura površine mora (TPM) je od suštinskog značaja za cirkulaciju atmosfere, jer funkcioniše kao njen donji granični uslov. TPM je određena dinamikom gornjih slojeva okeana, gde se cirkulacija odvija u okviru postojećeg rezervoara toplote.

3.1. *Ekvatorijalni Pacifik – normalno stanje*

Ekvatorijalni Pacifik je veoma specifičan, ne samo po dimenzijama, već i prema svojoj termalnoj strukturi i cirkulaciji. Profili temperature površine mora za: januar, april, jul i oktobar duž celog Ekvatora, prikazani su na slici 8. Sa slike 8 se uočava da postoji varijabilnost temperature u odnosu na godišnje



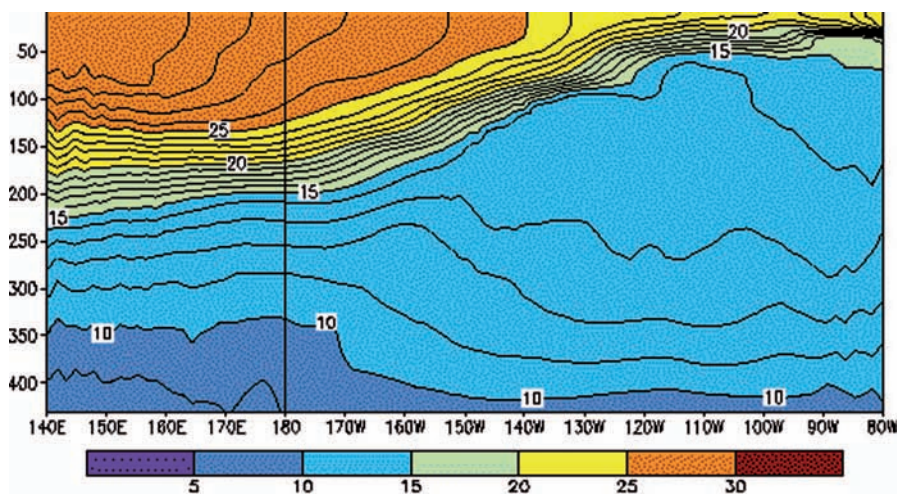
Slika 8. Srednje temperature površine mora duž Ekvatora u januaru, aprilu, julu i oktobru.

doba duž čitavog Ekvatora. Ova varijabilnost je najmanja u oblasti zapadnog Pacifika gde se visoka srednja TPM oko 30°C, održava tokom cele godine. Ovaj ogroman Pacifički region ima najviše TPM na globusu i predstavlja ogroman izvor toplote na globalnom nivou.

Nasuprot ovome, u hladnom istočnom Pacifiku veoma je izražena sezonska varijabilnost. Izrazite razlike u TPM od preko 5°C su takođe karakteristične samo za Pacifik (Slika 8), zbog čega nastaje intenzivan gradijent TPM od

istočne do zapadne obale, tokom sva četiri godišnja doba.

Vertikalni profil temperature Pacifika je takođe poseban. Na slici 9. je prikazan presek srednje temperature okeana, od površine do dubine 400 m, u pojasu Pacifika od 2° N do 2° S geografske širine. U sloju termokline debljine oko 100 m, razlika temperature je čak 10°C, što je veoma visok gradijent temperature. Sa slike 9. se vidi karakterističan nagib termokline. Pored obala Južne Amerike termoklina je ili na samoj površinii okeana ili najniže do dubine od 50 m,



Slika 9. Vertikalni presek temperature Pacifika od površine okeana do dubine od 400 m duž ekvatorijalne linije od 2°N do 2°S od Australije do Južne Amerike.

dok je nasuprot tome, pored obala Australije potisnuta na dubinu do 250 m.

Sa slike 9. se takođe vidi da je na zapadu, srednja TPM je 28–30°C, a na krajnjem istoku je oko 20°C. Topla mora u oblasti Indonezije su najveći, relativno homogen bazen tople vode, dok hladne vode istočnog Pacifika imaju globalno najniže TPM u ekvatorijalnoj oblasti (*Hastenrath S. 1982.*).

3.2. Ekvatorijalni Pacifik – anomalije

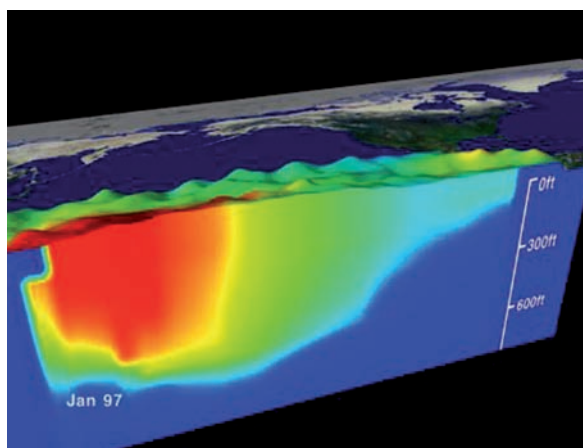
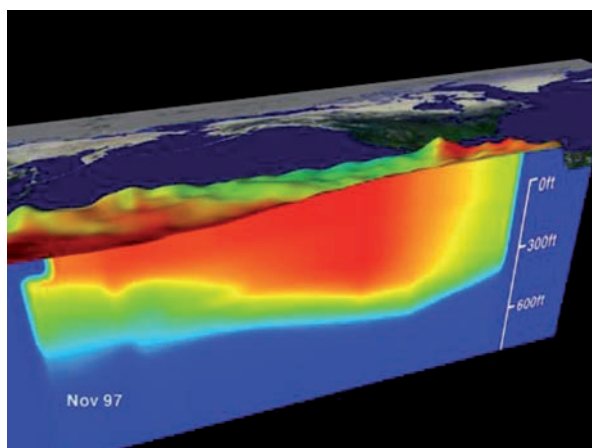
3.2.1. El Ninjo

Opšte poznata, osnovna karakteristika El Ninja su pozitivne anomalije TPM u istočnom ekvatorijalnom Pacifiku (slika 1a, 11a). Po toj osobini, čija je posledica i porast globalne temperature, El Ninjo se često naziva topli događaj. Međutim, ponekad nije lako uočiti razliku između normalnog sezonskog zagrevanja zbog tople struje El Ninjo i onog koje preraste u događaj El Ninjo. Pored obala Perua, krajem decembra se po pravilu javlja topla okeanska struja koja

traje par meseci, a fenomen El Ninjo nastaje kada se pozitivne anomalije TPM prostiru do centralnog i istočnog Pacifika i traju više meseci. Definicija za nastanak El Ninjo pojave prema Trenthbeth-u (*Trenthbeth K. 1997.*) je: „odstupanje srednje temperature površine mora za +0.5°C koje traje pet uzastopnih meseci u oblasti od 90°W – 150°W geografske dužine a u pojasu od 5°N do 5°S geografske širine“.

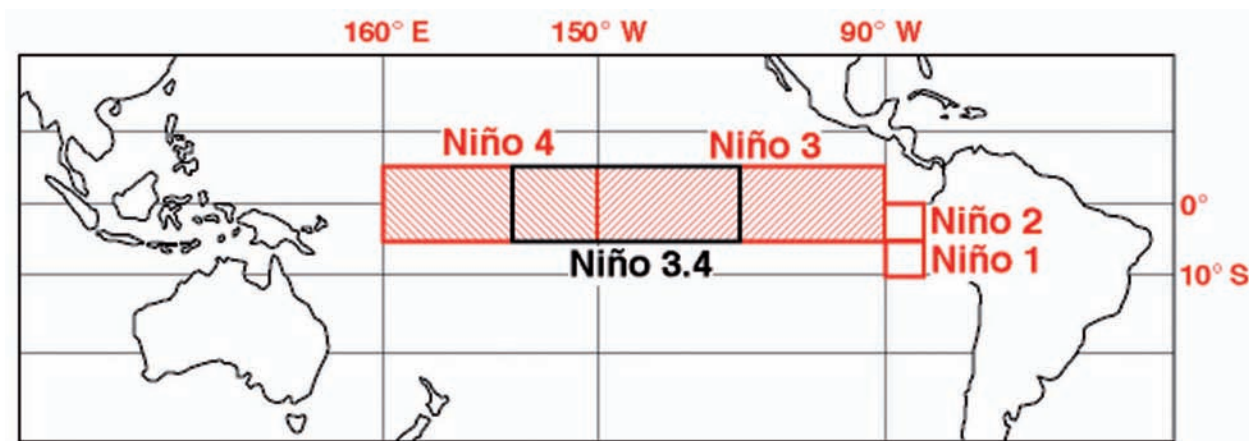
Na slikama 10 a) i b), su predstavljene topografija i temperature površine mora dobijene satelitskim sensorima, kao i temperature okeana ispod površine osmotrene pomoću bova. Ove trodimenzionalne slike pokazuju sinhronizovan porast odnosno pad nivoa mora i temperatura, kao i položaj termokline (označena svetlo plavom bojom) sa temperaturom oko 20°C.

Na slici 10 a) je prikazan profil temperature Pacifika od površine do dubine 200 m duž Ekvatora, za vreme veoma intenzivnog El Ninja 1997/98. g. Crveno polje koje označava temperature preko 30°C, tada se prostiralo na ogromnom delu okeana, od površinskih slojeva na zapadu do dubina preko 100 m ka istoku.



Slika 10. Profil temperature od površine do dubine 200 m duž Ekvatorijalnog Pacifika. Crvenom bojom je označena temperature preko 30°C a plavom ispod 8°C.

a) u novembru 1997. g. za vreme El Ninjo 1997/98.g. (levo) b) u januaru 1997. g. za vreme La Ninja (desno)



Slika 11. Regioni Nino 1, Nino 2, Nino 3, Nino 4 i Nino 3, 4 u kojima se javlja topla odnosno hladna anomalija TPM.

Hladne vode ispod 8°C obeležene plavom, opstaju na velikim dubinama i u uskoj zoni oko Ekvatora zbog izronjavanja.

Radi preciznijeg osmatranja i praćenja, ekvatorijalni Pacifika je podeljen na regione koji su prikazani na slici 11. Regioni gde se osmatraju topla, odnosno hladna anomalija TPM su obeleženi kao Ninjo 1, Ninjo 2, Ninjo 3, Ninjo 4 i Ninjo 3, 4. Na osnovu osmatranja parametara okeana i atmosfere u ovim regionima, prognoziraju se početak i dužina trajanja ENSO faza.

Najveća odstupanja srednje TPM su osmotrena neposredno pored obala Perua u regionima Ninjo 1 i Ninjo 2, koja su u rasponu od +6°C do -4°C. Zbog blizine kopna u regionima Ninjo 1 + 2 je veoma izražen godišnji ciklus temperatura. Posebno značajne anomalije TPM su međutim, u regionu Ninjo 3, 4 koji obuhvata i jezik hladnih ekvatorijalnih voda. U centralno-

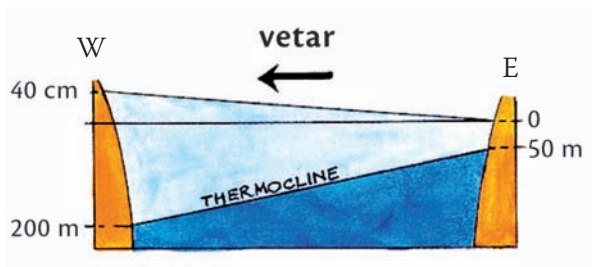
pacifičkom regionu Ninjo 3, 4, kompletna varijabilnost TPM je posledica dinamike sistema O-A a godišnji ciklus gotovo ne postoji. Odstupanja TPM u Ninjo 3, 4 se kreću u opsegu od +3.36°C do -3.10°C.

3.2.2. La Ninja

Suprotna, hladna anomalija TPM prevladava za vreme La Ninje (slika 1.b, 10 b)). Region hladnijih voda najizraženiji je pored obala Južne Amerike i duž ekvatora. Za vreme La Ninje, hladne vode obuhvataju veći deo Pacifika a topli region površinskih voda je sužen na deo zapadnog Pacifika, kao što je prikazano na slici 10 b. Prema definiciji (*Trenberth K.E., 1997.*) pojava La Ninja je u toku, ako su „u regionu Ninjo 3, 4 (5°N-5°S i 120°W-170°W) TPM hladnije od srednje vrednosti za 0.4°C tokom avgusta, septembra i oktobra“.

4. Interakcija okean – atmosfera u oblasti Pacifika

El Ninjo baš kao i La Ninja su posledica velikih anomalija u režimu cirkulacije okean-atmosfera u tropskom Pacifiku. Dok je za meteorologe suština ENSO faza u zagrevanju ili hlađenju površinskih slojeva okeana kao donjeg graničnog uslova atmosfere, za okeanografe je uzrok pojave u atmosferi ili u reakciji okeana na forsiranje vetrom. Konačna istraživanja pokazuju da je suština nastanka ENSO faza u interakciji između okeana i atmosfere.

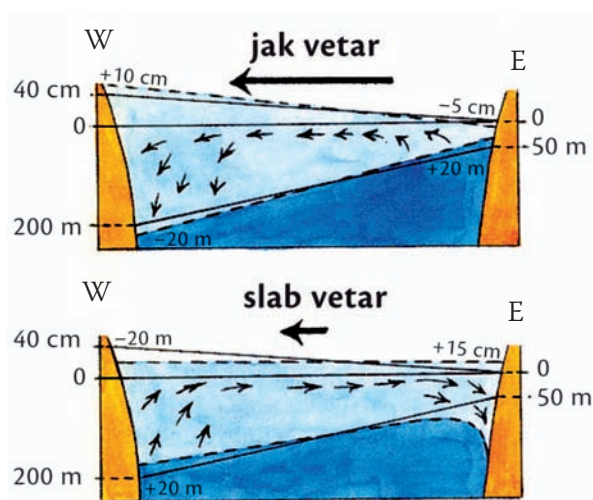


Slika 12. Promena termalne strukture ekvatorijalnog Pacifika zbog promena vetra. Pri normalnom intenzitetu pasata nivo mora se na zapadu podiže, a termoklina produbljuje.

4.1. Normalno stanje

Reakcija okeana na prosečni intenzitet pasata u ekvatorijalnom Pacifiku je prikazana na slici 12. Pasati svojim dejstvom na površinu okeana „nose“ okeanske vode ka zapadu. Ovi jugoistočni, odnosno severoistočni vetrovi, svojim stalnim ujednačenim udarima nagomilavaju površinske vode okeana ka obalama Indonezije i Australije gde prave nagib.

Zbog toga je nivo okeana viši za oko 40 cm kod zapadnih nego kod istočnih obala Pacifika (Wirtky K. 1974.). Zbog istog razloga je i nagib termokline visok, što se takođe vidi na slici 12. Nagomilane vode koje dopru do zapadnih obala Pacifika, zbog nailaska na čvrstu prepreku zaronjavaju u dubinu gde se odbijaju i zatim sporo vraćaju do suprotnih, istočnih obala kroz duboke hladne slojeve, kao što je prikazano na slici 7. (Busalacchi A. et al 1991.). Posle dugog puta, iz dubina na površinu izronjavaju sveže i hladne okeanske vode pored obala Perua i Ekvadora. Posledica izronjavanja je niska temperatura sloja mešanja i karakterističan



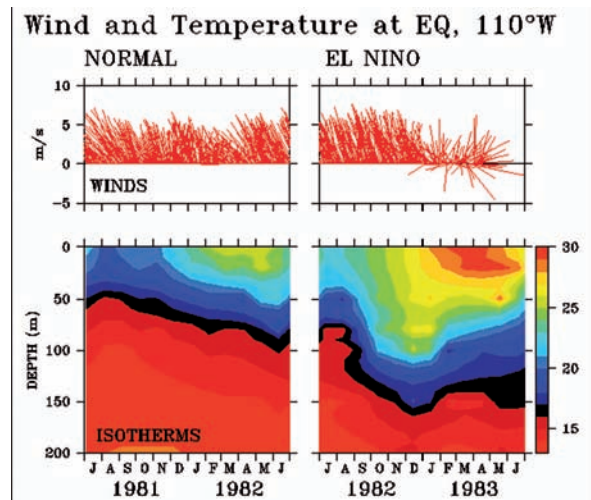
Slika 13. Promena termalne strukture ekvatorijalnog Pacifika zbog promena vetra. a) La Ninja – intenzivirana normalna situacija zbog pojačanih pasata. b) El Ninjo – oslabljeni pasati na zapadu spuštaju, a na istoku povišavaju nivo mora i povedavaju dubinu termokline.

nagib termokline, koja je kod obala Južne Amerike skoro na samoj površini, najviše do dubine od 50 m.

4.2. Evolucija El Ninjo

El Ninjo pojava je, kao što je ranije prikazano na slikama 3b) i 6b), udružena sa donjom fazom JO. Na slici 13 b) je prikazana promena termalne strukture okeana zbog promene vetra tokom pojave El Ninjo. Zbog donje faze JO, slabo izraženi centri pritiska iznad južnog Pacifika, prouzrokuju manji gradijent pritiska odnosno slabljenje pasata. Zbog smanjenog forsiranja vetrom, smanjeno je i nagomilavanje voda na zapadnim obalama Pacifika, pa je nivo okeana za 20 cm niži od uobičajenog. Takođe, oslabljen vetar prouzrokuje smanjeno zaronjavanje površinskih voda kod zapadnih obala, odnosno smanjenje izronjavanje kod istočnih (*Cane M. 1991., Munich M. i dr 1990.*). Oslabljeno izronjavanje onemogućuje dotok hladnih voda iz dubina i ostavlja termoklinu potisnutu u dubini. Slaba cirkulacija i povišena temperatura u celom gornjem sloju doprinose da je nivo okeana pored istočnih obala, za 15 cm viši nego inače (*Rasmusson E.M. i dr 1988.*). Posledica je i promena nagiba termokline, koji se tada smanjuje jer je na zapadu njen nivo viši za 20 cm, a na istoku je potisnut na veću dubinu, kao što se vidi sa slike 13 b). Spušten nivo termokline pored obala Južne Amerike stvara još deblji sloj tople vode iznad termokline i doprinosi održavanju tople vode na površini.

Karakteristika El Ninja je da zbog oslabljenih pasata, povratna sprega okean-atmosfera slabi izronjavanje hladnih voda, zbog čega opstaju tople vode na površini (*Cane M. 1991., Sarachic E. 1991.*). Tople površinske vode



Slika 14. Promena površinskog vetra i temperature okeana od površine do dubine 200 m na geografskoj dužini od 110°W, duž ekvatora od jula 1981. do jula 1983. g.

prouzrokuju razvoj jakih konvektivnih oblaka, koji se kreću na istok nošeni pasatima. Ovi oblačni sistemi smanjuju pritisak na svom putu i modifikuju vetrove tj. još više slabe pasate. Kada pasati dovoljno oslabe, okean se još više zagreva a El Ninjo jača. Na ovaj način se stvara povratna sprega O-A koja pospešuje opstanak i trajanje El Ninjo pojave.

Kod ekstremno jakih El Ninja događalo se da ova povratna sprega bude toliko jaka da centri pritiska skoro promene znak i pojačaju obrnut proces. Jaka donja faza JO (slika 3b) pravi iznad zapadnog Pacifika centar višeg a iznad istočnog centar nižeg pritiska. Ovakav raspored polja pritiska menja gradijent pritiska, zbog čega se događa da pasati promene svoj smer i dobijaju zapadnu komponentu. Na slici 14 je prikazana ova retka situacija za vreme El Ninjo 1982/83. g. gde se vide promene površinskog vetra i profili temperature okeana od površine do dubine 200 m, na geografskoj dužini od 110°W, duž ekvatora. Sa slike 14 se uočava da su od jula 1981. g. do kraja 1982. g. duvali severoistočni pasati skoro konstantnog pravca i intenziteta.

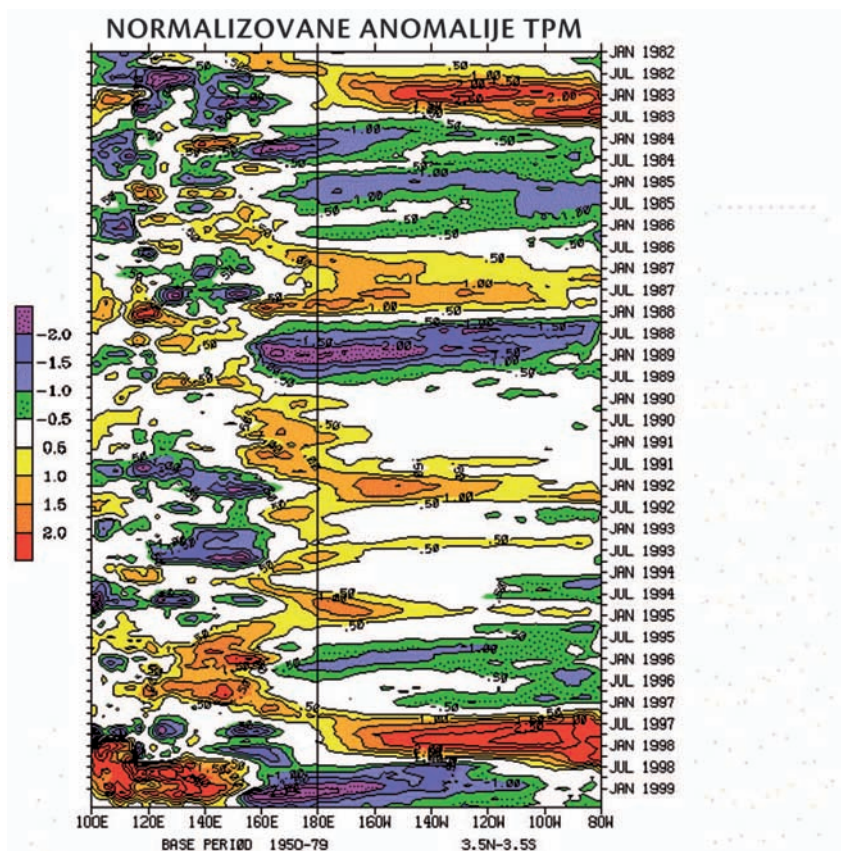
Od decembra 1982. g. do aprila 1983. g. kada je pojava bila najintenzivnija a topla anomalija TPM najveća, pasati naglo gube brzinu a smer vetra je veoma promenljiv, ponekad i suprotnog znaka.

Tokom najintenzivnijih El Ninjo događaja 1982/83. g. i 1997/98. g., pojavile su se najveće anomalije cirkulacije O-A, koje su proizvele posebno dramatične implikacije na globalni klimatski sistem (Garret D. 2000., Barsugli i dr. 1999.).

El Ninjo događaji, uprkos jasnim zakonitostima, mogu se međusobno znatno razlikovati po intenzitetu i položaju anomalija, dužini trajanja pojave, kao i prema posledicama na vreme, klimu i okean. Analiza niza istorijskih događaja

ukazuje da su uobičajena prethodnica pojavi prosečnog El Ninja, pojačani pasati i TPM malo iznad prosečnih, sredinom godine u zapadnom Pacifiku. U jesen iste godine, topla anomalija TPM se pojavljuje između 15°S i 30°S širine u okolini datumske granice (180°W). Međutim, tek visoka pozitivna odstupanja TPM sledeće godine u aprilu, maju i junu, koja opstaju više meseci, pouzdan su znak za postojanje pojave El Ninjo. Pozitivne anomalije TPM se zatim šire na sever, duž obala Južne Amerike i na zapad do centralnog Pacifika.

Na slici 15. su prikazane osmotrene anomalije Pacifičkih TPM duž ekvatora, od 100°E do 100°W, od januara 1982. do januara 1999. Slika 15. obuhvata razvoj tri El Ninjo događaja, dva



Slika 15. Normalizovane anomalije TPM u ekvatorijalnom domenu Pacifika.

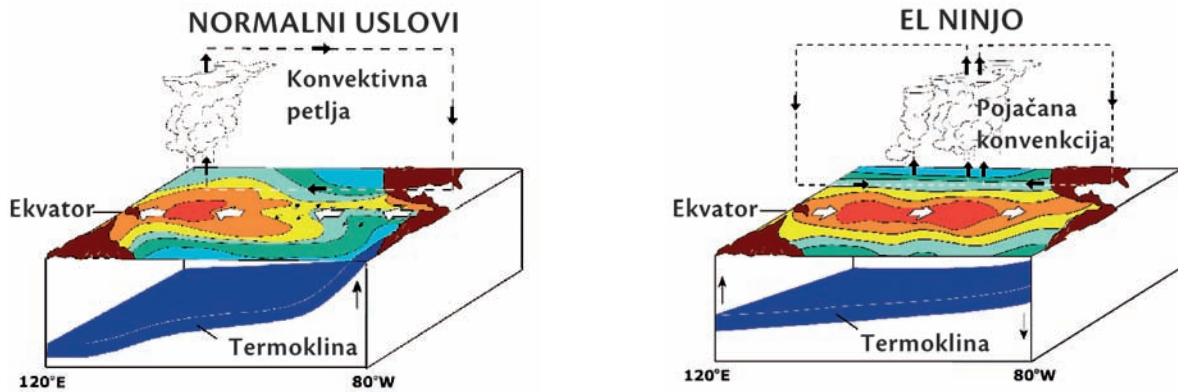
izuzetno jaka sa visokim anomalijama 1981/82. i 1997/98. i treći, slabijeg intenziteta ali veoma dugog trajanja od 1991. do 1995. g. Takođe se mogu uočiti dve intenzivne La Nina pojave, 1988. g. i 1999. g.

U najintenzivnijoj fazi El Ninja topla anomalija TPM se prostire duž gotovo čitavog Pacifika i obuhvata četvrtinu ekvatorijalnog kruga. Maksimalno osmotreno prostiranje pozitivnih odstupanja TPM je oko 5000 km duž Ekvatora. Perzistencija tople anomalije predstavlja ogroman rezervoar toplotne energije na planeti čiji se uticaj na globalni hod temperature jasno vidi. Kraj pojave je obično iduće godine u leto

ili jesen, kada TPM postanu blizu normale (Garret D. 2000).

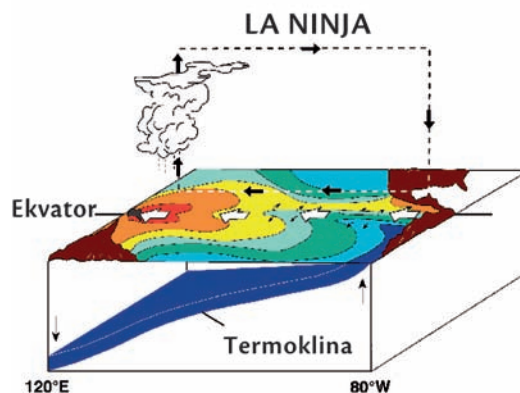
4.3. Evolucija La Ninja

Hladan događaj ili La Ninja koja je povezana sa gornjom fazom JO, predstavlja intenzivirano normalno stanje u oblasti ekvatorijalnog Pacifika. Na slici 3a) se vidi izražen centar visokog pritiska iznad istočnog, a niskog iznad zapadnog Pacifika, koji su tokom La Ninja događaja još izraženiji. Posledica su veoma jaki gradijenti pritiska koji formiraju intenzivne



a) Normalni uslovi

b) El Ninjo uslovi



c) La Nina uslovi

Slika 16. Interakcija okean atmosfera

pasate. Pojačani vetrovi prouzrokuju značajan porast nivoa mora pored zapadnih obala, do 50 cm viši nego kod suprotnih obala. Zbog nailaska na prepreku vode se vraćaju nazad i sledi intenzivno izronjavanje pored obala Južne Amerike. Ekvatorijalno izronjavanje i priobalno izronjavanje duž obala, su takođe pojačani zbog čega ogromne količine hladnih voda dopiru iz dubina, formirajući veliku oblast hladnih voda na površini. Tokom La Ninje karakteristična je pojava negativnih odstupanja TPM pored obala Perua, Ekvadora itd.

Na slici 13. a) je prikazana interakcija O-A za vreme La Ninje, sa koje se vidi da forsiranje jakim pasatima prouzrokuje oštiri nagib termokline, koji je za 20 cm viši na istočnoj a za 5 cm niži na zapadnoj obali, nego što je normalno. Promena nagiba termokline je reakcija okeana na forsiranje vetrom i to je način na koji se njen položaj održava.

Kao zaključna ilustracija funkcionisanja interakcije O-A u ekvatorijalnom Pacifiku, na slikama 16. su prikazani: TPM, položaj termokline, površinski vetrovi, konvektivni sistemi i Vokerova cirkulacija, tokom normalnih uslova (16 a), za vreme El Ninjo (16 b) i tokom La Ninje (16 c). Nastajanje tople odnosno hladne faze, inicirano je promenom intenziteta pasata, koji menjaju izronjavanje, odnosno TPM, koje zatim menjaju položaj konvektivnih sistema.

Atmosfera daje vetrove i konvekciju, a okeani izronjavanje i temperaturu površine mora. Zbog nelinearne interakcije između okeana i atmosfere, na pitanje ko je odgovoran za početak jedne ili druge pojave ili za njen kraj, okean ili atmosfera, još uvek ne postoji jednostavan odgovor.

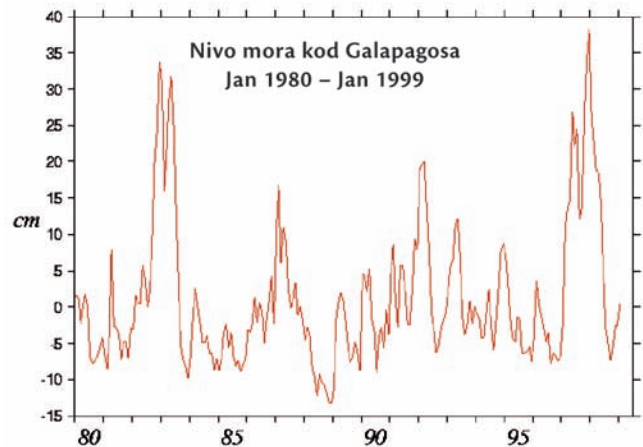
5. Oscilovanje nivoa mora

U radovima profesora okeanografije Vrtkija (*Wirtky K. 1974., 1975.*) prvi put su analizirane oscilacije nivoa okeana na obalama Pacifika (slika 17.) i povezane sa promenama parametara u atmosferi. Vrtki je na osnovu poređenja oscilacija nivoa mora i TPM pored obala Južne Amerike, ustanovio da nivo mora raste odnosno opada, istovremeno sa TPM i da se njihovi periodi oscilovanja gotovo poklapaju.

Drugi, originalan i veoma značajan doprinos teoriji nastanka El Ninjo, Vrtki je dao u radu iz 1975. g. sa naslovom: „El Nino – Dinamička reakcija ekvatorijalnog Pacifika na atmosfersko forsiranje“ (*Wirtky K. 1975.*). Citat glasi: „Za vreme perioda jakih jugoistočnih vetrova koji traju duže od godinu dana napravi se nagib istok-zapad i akumulacija voda u zapadnom Pacifiku. Čim udari vetra oslabe, vode akumulirane u zapadnom Pacifiku imaju tendenciju da se vrate nazad. Ovo se može dogoditi u formi unutrašnjih ekvatorijalnih Kelvinovih talasa a svakako na način koji je konzistentan sa hidrodinamikom sistema...“

Vrtkijevo otkriće oscilovanja nivoa okeana u skladu sa različitim fazama ENSO, značajno je doprinelo definisanju dinamike zavisnosti okeana i atmosfere. Za vreme El Ninja se pored obala Južne Amerike odvija akumulacija toplih voda, podizanje nivoa okeana i spuštanje termokline. Pri tome, nagib termokline označava količinu toplote u gornjem sloju okeana. Vrtki je ustanovio da se varijabilnost nivoa okeana može tretirati kao mera za

sadržaj toplote u gornjem sloju. Kako nivo mora odgovara zagrevanju okolnih voda, povišeni nagib okeana uvek čini toplija i ređa voda. Takođe je izračunao da porast nivoa mora za 15 cm nastaje kao posledica porasta temperature za 3°C (*Wirtky K. 1975.*). Na slici 17. je prikazana promena nivoa mora pored Galapagosa (arhipelag na 1000 km od obala Perua na zapad) od januara 1980. do januara 1999. g.



Slika 17. Nivo mora pored Galapagosa od januara 1980. do januara 1999.

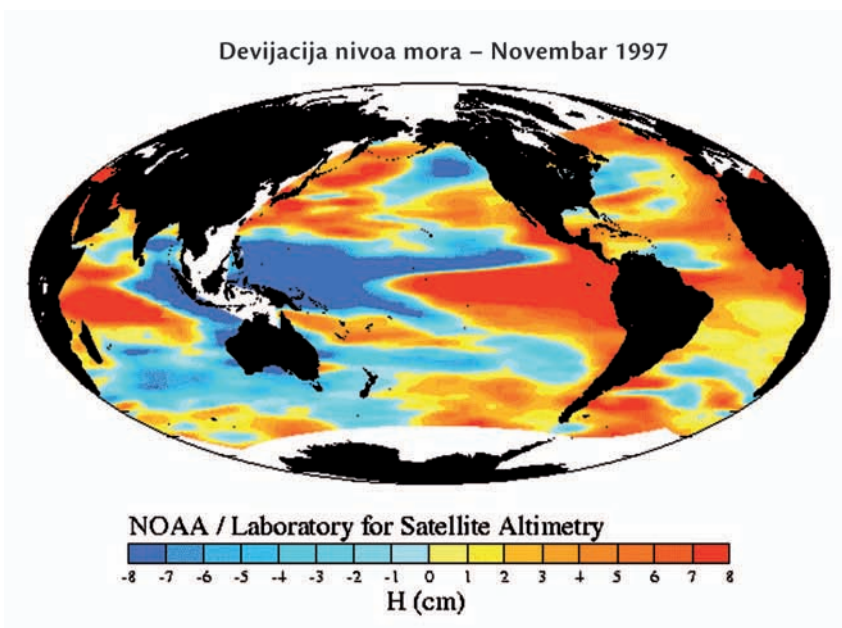
Grubo poređenje varijabilnosti vremenskih serija koje su prikazane na slikama 4. i 17, ukazuje na podudaranje u znaku i veličini, između oscilacija pritiska i oscilovanja nivoa mora. Najveće anomalije pritiska i TPM za vreme pojave El Ninja 1982/83. i 1997/98., izdvajaju se i po najvećim pozitivnim odstupanjima nivoa okeana pored istočnih obala Pacifika.

Na slici 18. je prikazano oscilovanje nivoa mora na globusu tokom trajanja El Ninjo, u novembra 1997. godine. Oscilacije nivoa okeana su primetne i na drugim lokacijama ali su najveće kod Pacifika. Kada se na zapadnim obalama Pacifika, nagomilane površinske vode bez daljeg forsiranja pasatima lagano prelivaju na istok, nivo voda pored Australije i ostrva se smanjuje,

Situacija je obrnuta, tokom trajanja La Ninja.

Može se zaključiti da pored oscilovanja pritiska, vetra i TPM, osciluje i nivo okeana tokom ENSO faza i da su ove karakteristike atmosfere i okeana međusobno visoko korelisane.

Nakon što je ustanovljen značaj oscilacija nivoa Pacifika za razvoj procesa u atmosferi i



Slika 18. Odstupanja nivoa mora (cm) za vreme El Ninjo tokom novembra 1997 .

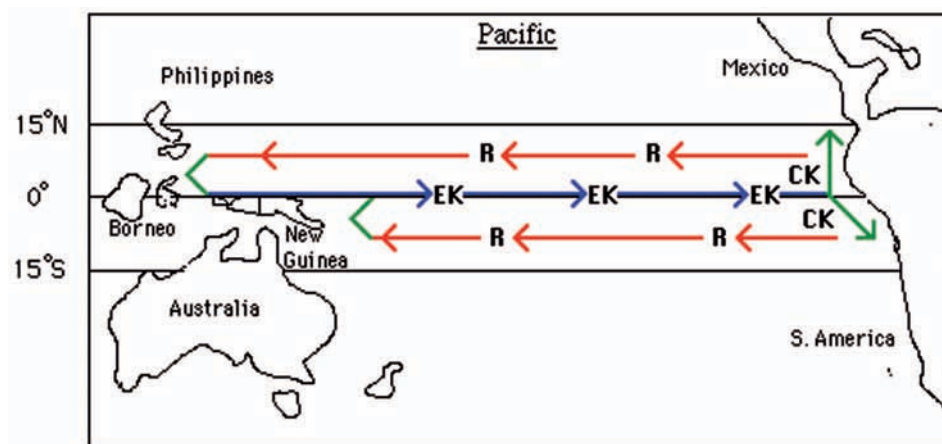
a na istočnim obalama povećava (Slike 13 b, 16 b), 17)). Advekcija tople vode prouzrokuje dodatnu toplu anomaliju srednje TPM ka istoku. Prilikom promene nagiba od istočne do zapadne obale Pacifika, dolazi do ogromne preraspodele vodenih masa za čiji je intenzitet procenjeno da iznosi oko $2.7 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (Sarachic E. 1991.).

okeanu, visina nivoa okeana se od kraja 1990. kontinuirano meri, prati i objavljuje u više biltena (CSM). Visine nivoa mora na zapadnoj odnosno istočnoj obali Pacifika, su jedan od glavnih indikatora stanja odnosno najave promene ENSO faze.

6. Talasna kretanja u ekvatorijalnim vodama

Na pitanje kako se odvija promena ENSO faza, Virtki je pretpostavio, da se „signal“ od jedne do druge obale Pacifika, prenosi putem talasa (Wirtky K. 1974.). Danas, sve teorije ENSO ciklusa daju centralnu ulogu prelasku talasa preko Pacifika. Za vremenske i prostorne razmere ekvatorijalnog Pacifika, od značaja mogu biti samo dve vrste talasa: dugi Kelvinovi i dugi Rozbijevi talasi. Dok se Rozbijevi talasi kreću uvek na zapad, Kelvinovi talasi se kreću na istok, kao što je prikazano na slici 19.

veličine gradijenta Koriolisovog parametra. To su unutrašnji talasi koji se prostiru u okeanu, oko nivoa termokline (Meyers S. et al 1998., Philander G. 1990.). Ovi talasi svojim prostiranjem vrše preraspodelu količine toplote u gornjem sloju okeana i tako posredno utiču na formiranje polja TPM. Za uspešnu prognozu nastanka ENSO, od posebnog je značaja vreme putovanja Kelvinovih i Rozbijevih talasa preko Pacifika, kao i brzina porasta TPM uslovljena dolaskom Kelvinovih talasa do istočnih obala.



Slika 19. Smer i pravac prostiranja ekvatorijalnih Kelvinovih talasa (plava linija), priobalnih Kelvinovih talasa (zeleno linija) i Rozbijevih (crvena linija).

Postojanje ekvatorijalnih talasa u Pacifiku je ustanovljeno krajem 1980-tih pomoću numeričkih simulacija, a zatim su to pokazala i satelitska osmatranja. Ova vrsta Kelvinovih i Rozbijevih talasa se u literaturi zovu „ekvatorijalno zarobljeni“, jer se javljaju isključivo u blizini ekvatora i zavise od

Najčešći uzrok nastanka talasa u okeanima je forsiranje površinskih slojeva vetrom. Međutim, talasi mogu nastati i odbijanjem od čvrstih granica, odnosno obala. Slabljenje i prestanak vetrova, baš kao i njihovo jačanje, iniciraju nastanak i prestanak talasa. Tako, u zavisnosti od interakcije između vetra i gornjih slojeva

okeana, Kelvinovi i Rozbijevi talasi se formiraju kao izronjavajući ili zaronjavajući talasi.

6.1. *Kelvinovi talasi*

Najznačajnije za oblast ekvatorijalnog Pacifika je postojanje Kelvinovih talasa. Ekvatorijalni Kelvinovi talasi se kreću samo na istok, oni postoje isključivo u okolini Ekvatora, a razlog za njihov nastanak je odsustvo Koriolisove sile. Oni prenose energiju od jedne do druge obale Pacifika za 40 do 120 dana a ta energija je najveća za periode od 60 do 90 dana. Ekvatorijalni Kelvinov talas je najbrži od svih niskofrekventnih okeanskih kretanja i prelazi Pacifik za samo 90 dana. Kada ovaj tip Kelvinovih talasa ne bi bio disperzivan, kretao bi se brzinom od 2 m/s, što znači da bi mu trebalo svega 60 dana da pređe ekvatorijalni Pacifik (*Cane M. 1986., Sarachik E. 1991., TOGA*).

Kelvinovi talasi su slobodni vertikalni modovi koji se u okeanu mogu kretati bez forsiranja. Kada dostignu istočnu granicu tj. obalu, oni dalje putuju duž obala severne i južne Amerike kao priobalni Kelvinovi talasi. Nivo okeana, dubina termokline i zonalno strujanje, koji su karakteristični za postojanje ovih talasa, šire se ka istoku faznom brzinom od 2 m/s do 3 m/s.

6.2. *Rozbijevi dugi talasi*

Dinamikom okeana, osim za uzak pojas od nekoliko stepeni oko ekvatora, dominira geostrofska ravnoteža između Koriolisove sile i sile gradijenta pritiska (*Holton J.R. (2004.)*) Ovaj balans je karakteristika Rozbijeviskih talasa i on ograničava njihovu brzinu i amplitudu. Rozbijevi talasi se uvek kreću na zapad. Pored svoje dominantne zonalne komponente, oni

imaju i vertikalnu brzinu koja iznosi 2m/dan u ekvatorijalnom regionu. Rozbijevi talasi su tri puta sporiji od Kelvinovih i potrebno im je, najmanje devet meseci a najduže četiri godine da pređu Pacifik (*Goswami B. i Shukla J. 1991.*).

Brzina Rozbijeviskih talasa je najveća u ekvatorijalnoj oblasti i ona opada sa kvadratom geografske širine. U umerenim širinama, Rozbijeviskim talasima bi trebale decenije da bi prešli Pacifik. U okeanu se ovi talasi podešavaju forsiranjem vetrom i njihova brzina je prvenstveno uslovljena ovim uticajima. U regionima stalnih vetrova npr. pasata, oni su pod njihovim stalnim uticajem, na obe polulopte. Na slici 19 su prikazane zone prostiranja Rozbijeviskih talasa, koji sa udaljavanjem od ekvatora, sve kasnije stižu do zapadnih obala. Zbog ovakvog efekta, oni pospešuju nepravilnu varijabilnost ENSO i tako doprinose formiranju mehanizma poznatog kao „zakasneli ili odloženi“ ENSO oscilator (*Suarez M., Schopf P. 1987.; Kirtman, B.P. 1997.*).

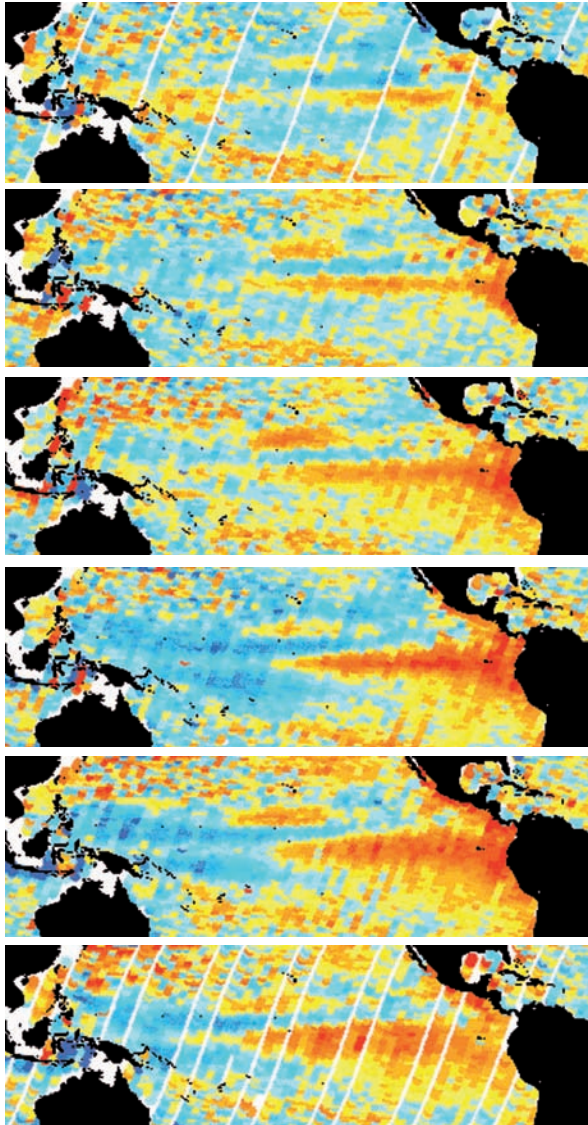
6.3. *Talaska kretanja za vreme El Ninjo i La Ninja*

El Ninjo faza započinje nagomilavanjem toplih voda u zapadnom Pacifiku putem Rozbijeviskih talasa, koji su forsirani intenzivnim pasatima. Kad stignu do Indonežanskih obala, Rozbijeviski talasi *zaronjavaju* i tamo grade toplotni greben, koji prethodi El Ninju. Odbijanje Rozbijeviskih talasa od zapadnih obala, inicira stvaranje ekvatorijalnih Kelvinovih talasa, koji se tu formiraju i zatim kreću u suprotnom smeru, na istok. Oni prelaze okean i stižu do obala Južne Amerike, takođe kao *zaronjavajući* Kelvinovi talasi. Ovi talasi u okeanu doprinose spuštanju nivoa termokline u dubinu i tako dodatno

pospešuju razvoj toplih anomalija TPM odnosno nastanak El Ninjo.

Sličan proces se odvija kod razvoja suprotne faze, La Ninja. Oslabljeni pasati stvaraju *izronjavajuće* Rozbijeve talase koji se pri odbijanju od zapadnih obala transformišu u *izronjavajuće* Kelvinove

talase koji putuju na istok. Kada stignu do Južnoameričkih obala, *izronjavajući* Kelvinovi talasi podižu nivo termokline gotovo do same površine okeana. Na ovaj način se formiraju niske temperature gornjeg sloja okeana i stvaraju negativne anomalije TPM tj. La Ninja pojava.



21. april 1997.

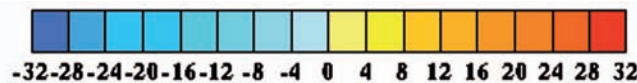
11. maj 1997.

31. maj 1997.

29. jun 1997.

19. jul 1997.

18. avgust 1997.



Slika 20. Sekvence odstupanja nivoa mora u odnosu na trogodišnji referentni period 1993-95. od aprila 1997. do avgusta 1997. za vreme El Ninjo 1997/98., pokazuju porast nivoa Pacifika pored zapadnih obala Južne Amerike za 27 cm koje je uslovljeno prostiranjem izronjavajućih Kelvinovih talasa.

Za odvijanje celog ENSO ciklusa, od nastanka tople do nastanka hladne faze, potrebno je da po dva para Rozbijeve i Kelvinovih talasa pređu Pacifik duž Ekvatora. Ovaj podatak je važan za određivanje vremenskih razmera ENSO oscilacija.

Na osnovu osmatranja El Ninjo 1997/98. prema McPhaden-u., ilustrovana je smena talasa u ekvatorijalnom Pacifiku (*McPhaden M. J. 1999.*). Prvo su intenzivni pasati godinu dana do 18 meseci, tokom slabe La Ninje 1995/96., nagomilavali tople vode na zapadnim obalama što je iniciralo uslov za nastanak El Ninjo. Advekcija toplih voda stvara *zaronjavajuće* Rozbijeve talase na zapadnim obalama koji su se nakon odbijanja od obala pretvorili u Kelvinove, takođe *zaronjavajuće talase* koji su se kretali na istok. Posebnost veoma intenzivne pojave El Ninjo 1997/98., je dodatno forsiranje talasa specifičnim vetrom, tzv. Madden-Julian Oscilacijom (MJO). MJO predstavlja poremećaj tipa talasa koji potiče iz Indijskog okeana a prostire se duž Ekvatora i

kreće ka istoku (*Yanai, M. 2000., Maloney, E. D. et al. 2001.*). Nastanak El Ninjo 1997/98. se poklopio sa pojavom ovih epizodnih zapadnih vetrova koji su dodatno pojačali kretanja na istok i intenzivirali već postojeće *zaronjavajuće* ekvatorijalne Kelvinove talase. Pretpostavlja se da je vreme pojave MJO, doprinelo veoma brzom i intenzivnom razvoju El Ninjo 1997/98. Tada je pored obala Centralne i Južne Amerike, termoklina bila potisnuta čitavih 90 m dublje od normale, zbog čega su nastale najveće ikad izmerene pozitivne anomalije TPM u svim Ninjo regionima i konsekvntno, veoma velike posledice.

Razvoj El Ninjo 1997/98. prikazan je na slici 20 pomoću sekvenci odstupanja nivoa mora za period od aprila 1997. do avgusta 1997. u odnosu na trogodišnji referentni period 1993-95. Porast nivoa Pacifika kod zapadnih obala Južne Amerike, zbog nailaska serije izronjavajućih Kelvinovih talasa je dostigao čak 27 cm.

7. Varijabilnost ENSO

7.1. U prostoru

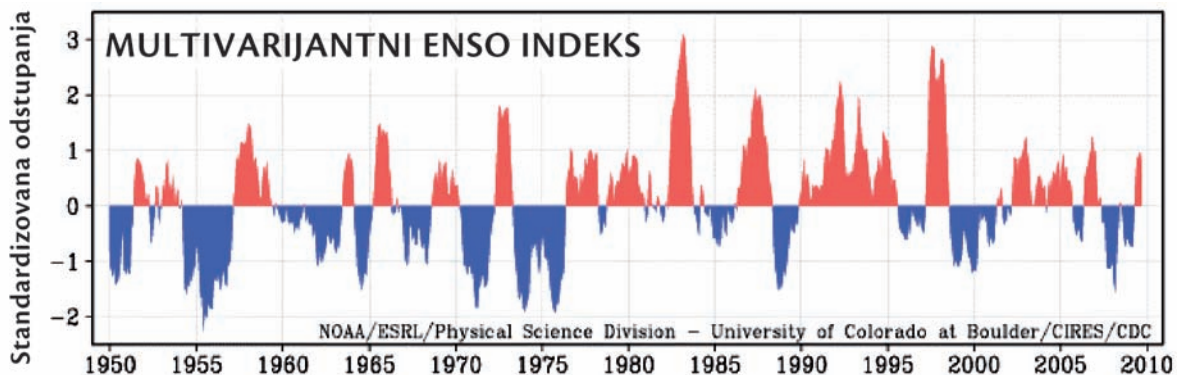
Na ranije prikazanoj slici 11 se vide regioni Nino 1, Nino 2, Nino 3, Nino 3, 4 i Nino 4, koji su tako formirani prema potrebama analize i prognoze parametara okeana i atmosfere u oblasti ekvatorijalnog Pacifika. Od niza osmotrenih parametara, najvažniji je razvoj anomalija TPM, koje se pomno prate i analiziraju u svim oblastima. Varijabilnost TPM u Nino 3, 4 je posebno značajna jer gotovo isključivo zavisi od dinamike sistema O-A. Numeričke prognoze TPM pomoću modela O-A, najčešće se rade za region Nino 3,4, jer su oni bitan indikator za prognoze ENSO faza.

7.2. U vremenu

Pokazatelj stanja u ekvatorijalnom Pacifiku poslednjih 20–30 godina je tzv. multivarijantni

ENSO Index (MEI). Na slici 21 je prikazan ovaj ENSO indikator koji je izračunat kao otežani srednjak sledećih parametara atmosfere i okeana duž ekvatorijalnog Pacifika: pritiska na nivou mora, komponentata vetra istok-zapad i sever-jug, temperature vazduha, ukupne oblačnosti i TPM. Složeni MEI se računa od kada su znatno poboljšana osmatranja i postali dostupni brojniji i precizniji podaci o parametrima okeana i atmosfere. Negativne vrednosti MEI označavaju hladnu La Ninja, a pozitivne toplu El Ninjo fazu. El Ninjo se pojavljuje svakih 2 do 7 godina sa prosečnim periodom oscilovanja oko 4. godine i prosečnim trajanjem od 12 do 18 meseci dok se La Ninja javlja ređe i obično traje do godinu dana (*Brassington, G.B., 1997.*).

Na slici 22. su prikazane srednje mesečne TPM u Nino 3,4 za period 1951–1998. Poslednjih dvadeset godina dvadesetog veka, šešća je bila pojava tople faze, sa dva ekstremno jaka El

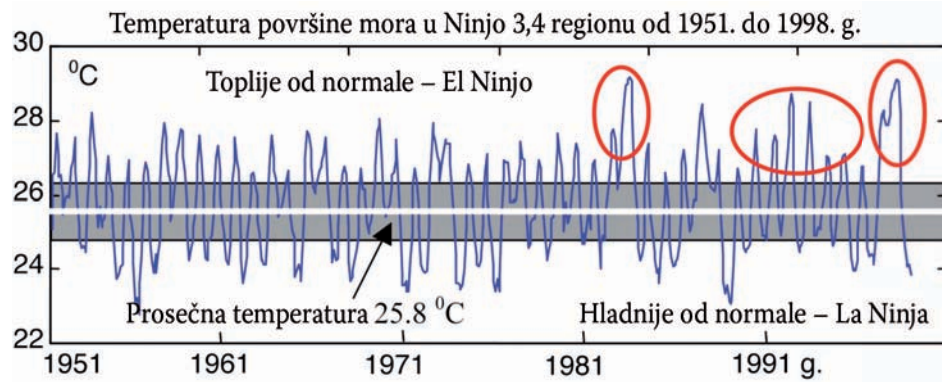


Slika 21. Multivarijantni ENSO Index se računa na osnovu sledećih karakteristika ENSO duž ekvatorijalnog Pacifika: pritiska na nivou mora, obe horizontalne komponente površinskog vetra, temperature vazduha, ukupne oblačnosti i TPM. Period 1950–2007.

Ninjo događaja 1982/83. i 1997/98. godine i pet godina dugim događajem 1991/95. U periodu 1950-97. g., El Ninjo faza je ubuhvatala 31% vremena, La Ninja 23%, a tokom preostalog vremena je prevladavala neutralna faza.

Nepravilna varijabilnost vremenske serije TPM je prema literaturi karakteristična za sve epohe (Zang X.G. i dr. 1992.,1997.). Geološka istraživanja, istraživanja fosila koralnih grebena (CLIVAR 2000) i dr., ukazuju da je čestina oscilacija TPM tokom poslednjih nekoliko stotina, do par hiljada godina, gotovo nepromenjena (Lough J.M. et al. 1985.). Isto tako, tokom poslednja dva-tri veka za koje postoji pisana evidencija o El Ninju i za dvadeseti vek instrumentalnih osmatranja, nije utvrđena pravilnost u smenjivanju ENSO faza.

urađene spektralne analize vremenskih serija TPM u regionu Ninjo 3, 4 i srednjih mesečnih temperatura u Srbiji za period od 1951. do 1998. g. (48 g.) (Reljin I. i dr. 2000.). Na slici 23. su prikazani dobijeni frekvencijski spektri ovih vremenskih serija primenom Furijeove transformacije. Spektri ukazuju da obe serije imaju dominantan osnovni harmonik koji odgovara godišnjem ciklusu (48-i frekvencijski bin). Dok je ovaj zaključak predvidiv za seriju temperatura u Srbiji, kao što se vidi na slici 23. b), za Ninjo 3, 4 je ta periodičnost znatno manja. Za Ninjo 3, 4 su izraženi polugodišnji ciklusi (96-ti bin), a naročito ciklusi duži od jedne godine (slika 23. a). Na slici 24. su izdvojeni detalji frekvencijskog spektra TPM za Ninjo 3,4 za cikluse veće od 1. godine, bez



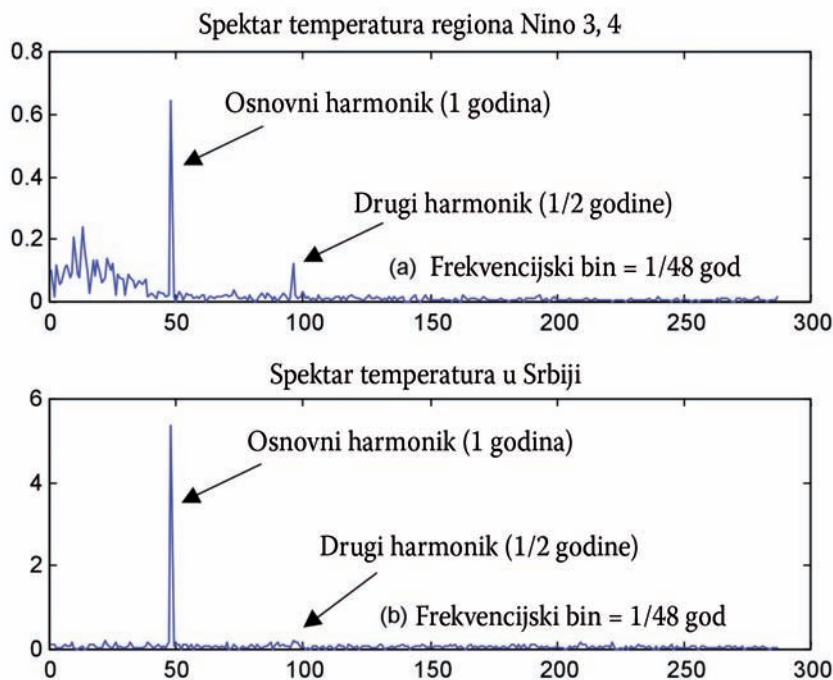
Slika 22. Mesečne vrednosti TPM u Niño 3, 4 regionu.

Radovi koji analiziraju vremenske serije El Ninjo su mahom zasnovani na Furijeovoj analizi (Brassington, G.B. 1997.), na analizi empirijskih ortogonalnih funkcija, tzv. EOF analiza (Nunes et al. 1995.; Wallace et al. 1981., Zhang et al. 1997.) i na numeričkim modelima O-A (Schopf P.S i Suarez M. 1988.; Kirtman, B.P. i Schopf P.S. 1998.).

U okviru analize potencijalnih uticaja El Ninjo na varijabilnost temperatura u Srbiji, prvo su

konstantne komponente a koji je označen punom linijom. Dobijeni spekter za region Ninjo 3, 4 je u saglasnosti sa rezultatima koji se referišu u literaturi (Zhang 1992.) jer ukazuje na sekundarni maksimum periodičnosti za Ninjo 3,4 koji je oko 4 godine.

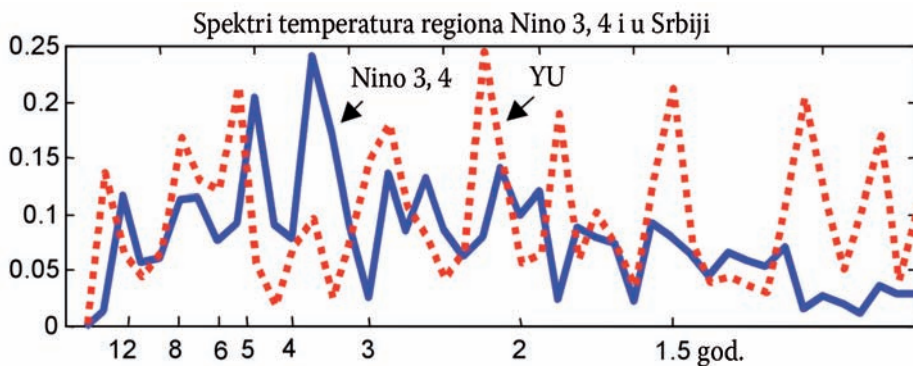
Uzrok nepravilne varijabilnosti koja nastaje u inteaktivnom sistemu O-A, tumači se nelinearnošću koja je svojstvena cirkulaciji i okeana i atmosfere. Pojedinačni efekti



Slika 23. Frekvencijski spektri srednjih mesečnih temperatura za period 1951–1998.: a) za region Ninjo 3,4; b) za Srbiju.

nelinearnosti ovih komponenata su uglavnom poznati i predvidivi. Međutim, pretpostavlja se da nepravilnu cikličnost TPM, uzrokuje novi tip nelinearnosti koju generiše sam interaktivni sistem O-A. Forsiranjem interakcije O-A u ekvatorijalnom Pacifiku pomoću spojenih numeričkih modela O-A, dobija se delimično

haotična dinamika sistema ili deterministički kaos (*Latif M. i dr. 1998*). Takođe, jedan deo neregularnosti se pripisuje vezivanju za sezonski ciklus cirkulacije okeana, kao i za pomenuti „zakasneli oscilator“. Određeni značaj se daje „šumu“ koji stvara atmosferska, vremenska varijabilnost a čiji su dominantni



Slika 24. Frekvencijski spektri srednjih mesečnih temperatura za region Ninjo 3, 4 i za Srbiju, za period 1951–1998. Izdvojen je detalj od prvih 46 frekvencijskih binova (tj. za cikluse veće od 1. godine) i bez konstantne komponente.

periodi nekoliko dana. Veruje se da superpozicija svih ovih faktora, proizvodi za sada neobjašnjivu varijabilnost smene ENSO faza (*Tziperman et al. 1995.*).

Takođe, poznato je da je varijabilnost ENSO znatno bliža razmerama koje karakterišu

kretanja u okeanima, nego u atmosferi. Kako su vremenske razmere ENSO najmanje godinu dana, pretpostavlja se da „memoriju“ periodičnosti TPM određuje okean a ne atmosfera.

8. Posledice

Opisani poremećaji cirkulacije atmosfere i okeana tokom La Ninja, naročito El Ninjo, fundamentalno utiču na klimu Zemlje. Brojni su stručni radovi i izveštaji o posledicama i uticajima koje proizvode ove klimatske pojave (*Barsugli, J.J. et al. 1999, Changnon, S.A., 1999.*). Posle skoro tri decenije intenzivnog proučavanja svih aspekata ovih fenomena, ustanovljene su brojne, sada gotovo potpuno predvidive, prateće pojave El Ninjo i La Ninja, u okenima i atmosferi. Najintenzivnije i najčešće katastrofalne posledice su u ekvatorijalnom, i tropskom regionu. Međutim nesumnjive su i brojne tzv. telekonekcije, širom globusa.

8. 1. Posledice El Ninjo

8. 1. 1. Posledice El Ninjo u atmosferi

Danas, prognoza El Ninjo događaja, znači prognozu dinamike razvoja vrlo dobro definisanih ekstremnih pojava vremena i klime, kao i određenih pojava u okeanu. Ove očekivane posledice su poznate na tropskom nivou, ali su prepoznatljivi uticaji na umerenim širinama, pa i globalni. Na slici 25 a) i b) su prikazane uobičajene posledice pojave El Ninjo, tokom zime i sledećeg leta. Izmenjeni raspored polja pritiska, vetrova, temperature vazduha, TPM, oblačnosti i dr., prouzrokuju ekstreme pre svega temperatura i/ili padavina. Sa slike 25 je očigledno da se posledice El Ninja osećaju daleko do izvantropskih širina, tako da se

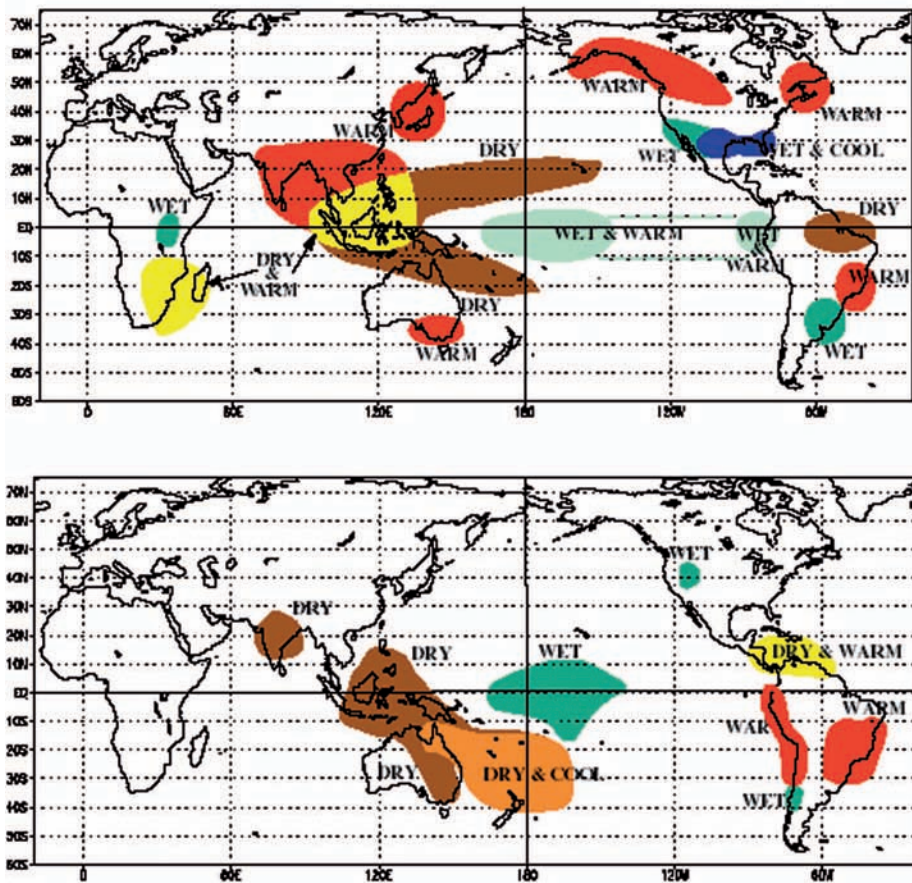
pozitivne anomalije temperature prostiru sve do polarnog kruga, na delu severne polulopte.

Izmene režima padavina prouzrokuju najteže posledice. Najizraženije anomalije TPM tokom zime, proizvode regionalno najintenzivniju konvekciju, odnosno subsidenciju, tj. padavine i sušu, respektivno. Na slici 26. su prikazane anomalije padavina, od juna do septembra 1997. g. tokom El Ninjo 1997/98. Veća odstupanja od normalnih vrednosti (na karti od +800 mm do -800 mm) tokom više meseci, po pravilu prouzrokuju poplave ili suše. U oblastima sa izrazitom konvekcijom, najugroženija područja sa preobilnim padavinama su: Peru, Ekvador, Kuba, Bolivija i jug SAD (*Changnon S.A. 1999.*). U ovim inače veoma sušnim predelima, velike količine padavina reda veličine godišnjih suma npr. 1998. u Peruu, padnu tokom samo dvadesetak dana. Krajnji efekti su katastrofalne poplave, klizišta, uništena ljudska naselja a ukupne ekološke posledice su veoma teške. Ogromne količine padavina formiraju rasprostranjene močvare, pa i plitka jezera, gde se stvaraju povoljni uslovi za razvoj insekata prenosioca zaraznih bolesti (*Diaz H.F. 1999.*). Posledice su bolesti, gubici ljudskih života, uništavanje infrastruktura, gubitak rezervi hrane, proizvodnih sistema itd. Konačan rezultat je opšte nazadovanje pogođenih država, a štete se procenjuju stotinama miliona do više milijardi dolara, u zavisnosti od žestine događaja.

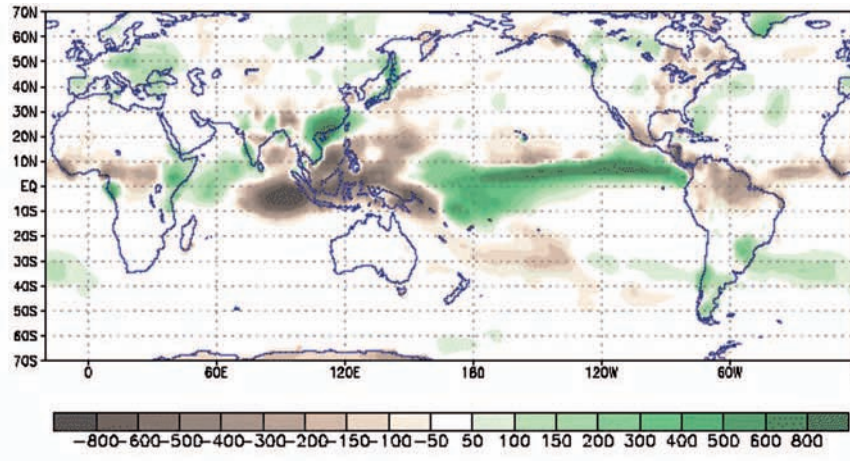
U zoni subsidencije zapadnog Pacifika: u Indoneziji, Filipinima, Australiji, južnoj Indiji, Šri Lanki i južnoj Africi, pojava El Ninjo znači ekstremno suve uslove. Padavine u ovom regionu, sa inače globalno najvećim sumama, za vreme trajanja El Ninjo, mesecima su višestruko ispod proseka. Dugotrajne suše dovode do šumskih požara, a dim koji dugo opstaje smanjuje vidljivost i otežava disanje. Štete su ogromne, ekološke posledice dugotrajne a ekonomski gubici se mere milijardama dolara. U južnom i centralnom Pacifiku u okolini Havaja, El Ninjo pojačava i aktivnost i čestinu pojave tropskih ciklona. U Indijskom okeanu, stacionaranje visokog pritiska može prouzrokovati devijaciju tj. kašnjenje i/ili slabljenje monsunu, koji znače žito za prehranu

stanovništva. Ekstremne, retke vremenske nepogode se tada odvijaju u gotovo svim zemljama tropskog regiona.

Poslednji događaj El Ninjo 1997/98., koji je trajao od aprila 1997. do maja 1998., bio je najintenzivniji od kada postoje osmatranja, po mnogima, sa žešćim posledicama od onog 1982/83. g. El Ninjo 1997/98. se razvijao brže nego bilo koji događaj tokom poslednjih 40 godina i izazvao je širom sveta prave katastrofe. Posledice na ekosisteme okeana i atmosfere osećale su se veoma brzo. Velike suše, kao posledica velike deformacije Vokerove cirkulacije, su izazvala razorne šumske požare i ogromne oblake smoga na ostrvima zapadnog Pacifika i u Australiji (WMO: *El Nino Update, 1997/98.*). Istovremeno, u Centralnoj i Južnoj



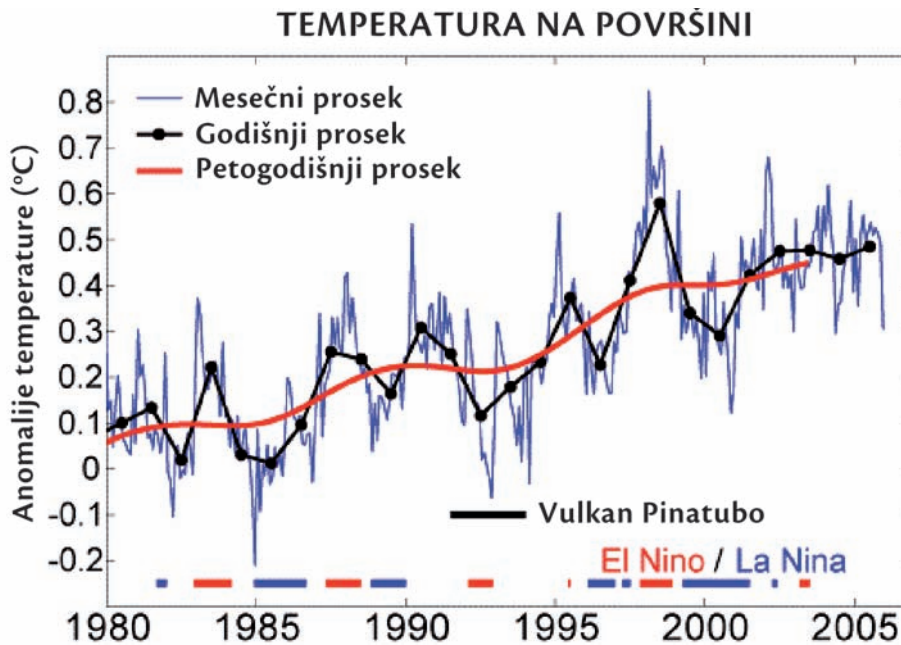
Slika 25. Uobičajeni uticaji El Ninjo tokom perioda: a) decembar, januar, februar; b) jun, juli, avgust.



Slika 26. Procenjena odstupanja padavina od normale (mm) tokom perioda juni-septembar 1997. Ekstremno suvi uslovi su iznad Indonezije i zapadnog Pacifika i padavine znatno iznad normale duž centralnog i istočnog Pacifika.

Americi, u Keniji i na velikim prostranstima Kine, preobilne padavine su izazvale poplave i klizišta. U periodu avgust-oktobar 1997. u Čileu su padavine izazvale strašne poplave. U vantsropskim širinama su tada takođe zabeležene brojne retke i neobične nepogode kao što su: ledene oluje, intenzivne snežne padavine i

mećave, obilne kiše i poplave (*Barsugli J.J. i dr 1999*). Ovakve nepogode u Severnoj Americi, koje traju nekoliko dana zovu „sinoptički signal El Ninjo“ a tumače se interakcijom tropa i van tropa. Retko su registrovane pozitivne posledice, kao što je bila mirna sezona uragana u zapadnom Atlantiku i blage zime u SAD.



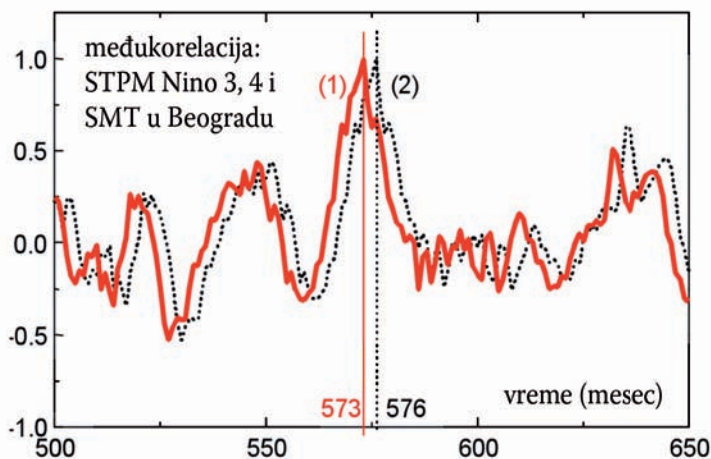
Slika 27. Anomalije srednjih mesečnih, godišnjih i petogodišnjih globalnih temperatura.

Osnovni globalni uticaj El Ninjo je, ne uvek veliki, ali statistički signifikantan, porast globalne temperature vazduha. Nekoliko meseci posle El Ninjo, srednja globalna temperatura vazduha poraste za nekoliko desetih delova stepena. Godinu 1998., koja je bila najtoplija od kada postoje instrumentalna osmatranja, takođe obeležila je jedna od dve najintenzivnije El Ninjo pojave u ovom veku. Uzrok je ogromna količina toplote koju emituje veoma veliki region toplih voda, pre svega Ninjo 3 i Ninjo 4, ali i Ninjo 1 + 2. U radu Zanga (*Zhang Y. i dr. 1997.*) se ukazuje na sličnost varijabilnosti

izrazito pozitivan trend globalne temperature, najviše posledica antropogenih uticaja (*Latif M., et al. 1997.*). Slika 27 pokazuje da su El Ninjo godine toplije od proseka, a da se najtoplija 1998.g., poklapa sa najintenzivnijom pojavom El Ninjo u novijoj istoriji. Isto tako pojave La Ninja kao i vulkanska erupcija, poklapaju se sa periodima nižih globalnih temperatura.

8.1.2. Telekonekcija

Udaljavanjem od tropskog regiona, smanjuju se očigledne posledice El Ninjo, ali su ipak prisutne. Slabiji uticaji El Ninjo ili La Ninja, se identifikuje se preko tzv. telekonekcije.



Slika 28. Međukorelacija srednjih mesečnih temperatura regiona Ninjo 3, 4 i Beograda, za period 1951–1998.

vremenskih serija TPM između Ninjo regiona i ostalih regiona na planeti.

Na slici 27 su prikazane anomalije srednjih mesečnih, godišnjih i petogodišnjih temperatura vazduha od 1980. do 2007. Na dnu slike su naznačene prirodne pojave za koje se zna da utiču na hod globalne temperature: El Ninjo, La Ninja i erupcija vulkana Pinatubo. Vulkanske erupcije zbog zamračivanja sunčeve svetlosti ogromnim količinama dima, uvek donose zahlađenje. Takođe, zna se da je postojeći

Telekonekcija je uticaj jedne klimatske pojave na klimu udaljenog regiona a dokazuje se statističkom vezom između određenih parametara. Kao što se visok pritisak iznad Darvina, istovremeno javlja sa niskim iznad Tahitija, tako se ove oscilacije mogu povezati sa raznim klimatskim anomalijama na udaljenim regionima. Telekonekcije se objašnjavaju fizičkim odnosima koji nastaju putem interaktivne dinamike talasnih kretanja u okeanima i atmosferi. Telekonekcije

temperature, pritiska i padavina sa JO i TPM u Pacifiku su dokazane za mnoge zemlje Južne i Severne Amerike (*Gershunov A., Barnett T.P. 1998.*), Afrike i Evroazije (*Palmer, T. N., Anderson, D. L. 1994.*) kao i sa drugim udaljenim oblastima (*Horel J.D. i Wallace J.M 1981.*). TPM Pacifika, iako objašnjava mali deo ukupne varijabilnosti parametara u umerenim širinama, korelisan je sa osnovnim parametrima atmosfere tokom obe ENSO faze. Telekonekcija El Ninjo – Evropa, je dokazana malom, ali statistički signifikantnom pozitivnom korelacijom između temperatura vazduha u Evropi i TPM u Ninjo 3, 4. Takođe, ustanovljeno je da su telekonekcije JO sa umerenim i visokim širinama, najveće u zimskom periodu.

8.1.2.1. Telekonekcija temperatura El Ninjo – Srbija

Po uzoru na radove u kojima je dokazana telekonekcija ENSO sa Evropom (*Rolewski C.F. 1989., Wallace J.M. 1990., Palmer T.N. 1994., CPC 2000.*), naši autori su su sličnu vezu dokazali sa Srbijom. U radu (*Jovanović G. i dr. 2000.*) su analizirane vremenske serije srednjih mesečnih TPM u Ninjo 3,4 i srednje mesečne temperature vazduha u Srbiji (SMTV) za period 1950-98.g. (tj. 576 meseci). Korelacija TPM u regionu Ninjo 3, 4 i SMTV u Beogradu, potvrđena je analizom međukorelacije vremenskih serija Ninjo 3, 4 i Beograda. Na slici 28. je prikazan detalj ove međukorelacije u intervalu oko centralnog (576-og) odmerka (linija (1) na dijagramu) sa maksimumom na 573em odmerku, znači sa pomakom od 3 meseca u odnosu na centralni. Prema tome, temperaturne varijacije u regionu Srbije su povezane, odnosno globalno dirigovane odgovarajućim varijacijama temperatura regiona Ninjo 3,4, sa zakašnjenjem od 3 meseca. Ovde

je broj zaokružen na celobrojnu vrednost 3, jer su ulazni podaci – srednje mesečne temperature.

Zakašnjenje od tri meseca je potvrđeno na sledeći način. Kada je vremenska serija za Beograd veštački zakašnjena za 3 odmerka (meseca), a zatim je urađena *međukorelacija* sa originalnom serijom Ninjo 3, 4, dobijen je dijagram sa maksimumom na 576-om odmerku. Ovo je prikazano na slici 27 kao kriva označena sa (2). Dobijeni vremenski pomak od 3 meseca odnosno zakašnjenje, tumači se vremenom koje je potrebno da sa velike daljine, „signal“ varijabilnosti TPM stigne od udaljenog ekvatorijalnog Pacifika do Beograda. Slično zakašnjenje varijabilnosti temperature nekog regiona u odnosu na TPM Pacifika, je dobijeno u više radova (*Nunes R.H. 1995.*)

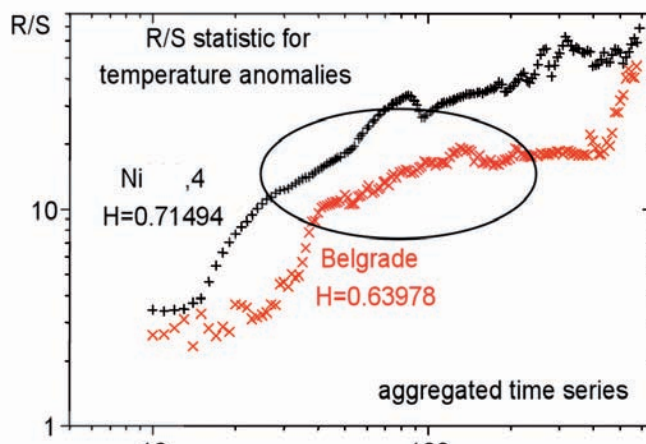
Za serije temperatura u Beogradu i regionu Ninjo 3,4, su testirane i tzv. *fraktalne i multifraktalne* karakteristike (*Reljin I. i dr. 2000.*). Poljski matematičar i fizičar Mandelbrot (*Mandelbrot B.B. 1975., 1990.*) je uveo fraktale za opis neregularnih struktura različitih prirodnih pojava, kao što su oblaci, turbulencija, reljef, različite prirodne teksture itd. Ovu analizu je prvi put uspešno primenio Engleski hidrolog Hirst (*Hurst H.E. 1951.*) kod izgradnje Asuanske brane, sa namerom da napravi optimalne dimenzije rezervoara za najveći i najmanji protok vode preko brane. On je razvio uspešnu metodu tzv. R/S statistiku za opis procesa koji se ponavljaju u neperiodičnim ciklusima sa nepredvidivim trajanjem, a koje karakteriše tzv. katastrofa, tj. iznenadna i velika promena.

Poslednjih dvadesetak godina sve više se koristi fraktalna geometrija kao matematički alat za analizu različitih prirodnih pojava. Fraktalna geometrija je do sada dala veoma dobre

rezultate kod simulacija prirodnih procesa u oblasti meteorologije (Cahalan 1989.), biologije, sociologije kao i u digitalnom procesiranju slika (Reljin I. i dr. 1999.).

Kako su prirodni procesi složeni i prostiru se u širokim razmerama, oni zahtevaju sveobuhvatnije matematičke mogućnosti za svoj opis. Kao nadgradnja fraktalima, opštija teorija vodi do multifraktala koji u sebi sadrže meru za čitavu skalu između graničnih vrednosti. Tako, umesto jedne mere koja opisuje fenomen u svim razmerama (kao što je slučaj kod

(Brest, 4.4W-48.5N i Bourget-Paris, 2.5E-49N), kao i za Srbiju (Beograd, 20.5E-44.8N). Svi nizovi temperatura prvo su testirani pomoću R/S statistike, koja je ukazala na fraktalnu prirodu procesa. Multifraktalne karakteristike raspodele temperature su zatim izračunate i prikazane na slici 30 preko $f(\alpha)$ dijagrama. Za izračunavanje multifraktalnog spektra $f(\alpha)$ je korišćen program FALFA (Gammal B. 1996., 99.). Veoma uzak $f(\alpha)$ dijagram za region Ninjo 3,4, ukazuje na dominantnu multifraktalnu prirodu procesa. Nasuprot



Slika 29. R/S statistika srednjih mesečnih temperatura za region Ninjo 3, 4 i za Beograd, za period 1951–1998.

fraktala), uzima se čitav skup mera koji opisuju isti fenomen ali u različitim razmerama. Drugi prilaz opisuje multifraktale sa karakteričnom multifraktalnom veličinom α , tzv. Holderov eksponent, koji sadrži skup razmera u intervalu $0 < \alpha_{\min} < \alpha_{\max} < \infty$. Raspodela funkcije $f(\alpha)$ je kontinuirana za α i obično ima grafik, zvani $f(\alpha)$ kriva, oblika parabole.

U radu (Reljin I. i dr. 2000.) je funkcija $f(\alpha)$ primenjena na vremenske serije temperature za testiranje multifraktalnih karakteristika. Analizirani su raspoloživi srednji mesečni podaci za: TPM u regionu Ninjo 3,4 i za stanice: u Peruu (Tacna, 70W-18S), Francuskoj

tome, dijagram temperatura u Beogradu pravi najširi spektar $f(\alpha)$ sa takođe izraženom multifraktalnom karakteristikom, ali u širokom opsegu. Ostali spektri su unutar ovih granica. Ovi rezultati su se mogli očekivati jer su TPM u centralnopacifičkom regionu Ninjo 3,4 posledica uglavnom jednog uticaja, interakcije O-A. Kada je međutim, osmotreni region daleko od ogromne količine toplote iznad Pacifika, brojni drugi uticaji stvaraju veću složenost procesa koja se manifestuje proširenjem dijagrama $f(\alpha)$. Peruanski grad Tacna koji se nalazi na kontinentu nedaleko od regiona Ninjo 1, iako ima značajan godišnji hod, pod neposrednim je uticajem

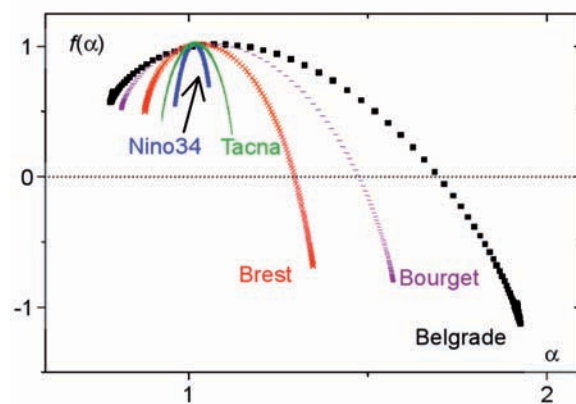
varijabilnosti TPM. Francuska luka Brest, na obali Atlantskog okeana, znatno udaljena od Pacifika, predstavljena je širim dijagramom. Burže (Bourget-aerodrom Pariza), koji se nalazi oko 200 km istočno od kanala La Manš, trpi značajnije kontinentalne uticaje što i dalje širi dijagram $f(\alpha)$. Beograd ima složenu kontinentalnu klimu i daleko je od mora i okeana. Ukoliko je region udaljeniji od Pacifika, multifraktalni proces koji karakteriše temperature, ukazuje na singularitet sa vrednostima $\alpha < 1$ (zone sa visokim gradijentima odnosno iznenadnim promenama) i sa vrednostima $\alpha > 1$ (koji se odnosi na zone diskontinuiteta). Ova preliminarna razmatranja koja daju negativne vrednosti $f(\alpha)$ za evropske gradove ukazuje na visoku varijabilnost u vremenskoj seriji.

8.1.3. Posledice El Ninjo u okeanu

Osnovna devijacija cirkulacije tropskog Pacifika za vreme El Ninjo je veoma oslabljeno izronjavanje pored zapadnih obala Amerike. Dovođenje hladnih, hranljivim sastojcima bogatih voda iz dubina, je bez izronjavanja, gotovo onemogućeno. Hladne bogate vode ostaju u dubini, a u površinskim slojevima se održavaju tople vode. Bez hranljivih sastojaka koji su neophodan početak lanca ishrane u okeanu, nastaje ogroman deficit riba koji može biti do 90%. Duž istočnih obala, čitav morski svet je veoma ugrožen. Nestanak riba ugrožava opstanak brojnih ptičjih vrsta (npr. na ostrvima Galapagos), sisara i svih drugih na ovom lancu ishrane. Druga posledica zagrevanja voda su promene putanja kretanja jata riba. Tropske toplovodne vrste se tada kreću ka severu i istoku, a hladnovodne vrste na sever ili u dublju vodu. Na ovaj način se smanjuje zastupljenost vrsta, ribe manje izrastu, slabije se reprodukuju i preživljavaju. Ovo su razlozi za ogromne

gubitke ulova komercijalno značajnih ribljih vrsta duž zapadnih obala Amerike, tokom 1997/98. g.

Koralni grebeni koji prave ekološki balans u okeanu, pojavom El Ninjo su takođe, veoma ugroženi. U velikim prostranstvima tropskog Pacifika, koralni žive u vodama koje su blizu gornje granice temperature njihovog opstanka. Ukoliko su temperature voda suviše visoke, simbiotske alge (zooxanthellae) iz ljuštura napuštaju korale i oni zbog toga blede (Cane M. 1986.). Koralima alge obezbeđuju hranu i oni često uspevaju da obnove svoje alge i prežive ali, kada je stres zbog visokih temperatura predug ili prejak, oni umiru. Posle intenzivnih toplih događaja, mogu se naći čitave kolonije uginulih korala.



Slika 30. Multifraktalni spektar vremenskih serija temperature u različitim regionima.

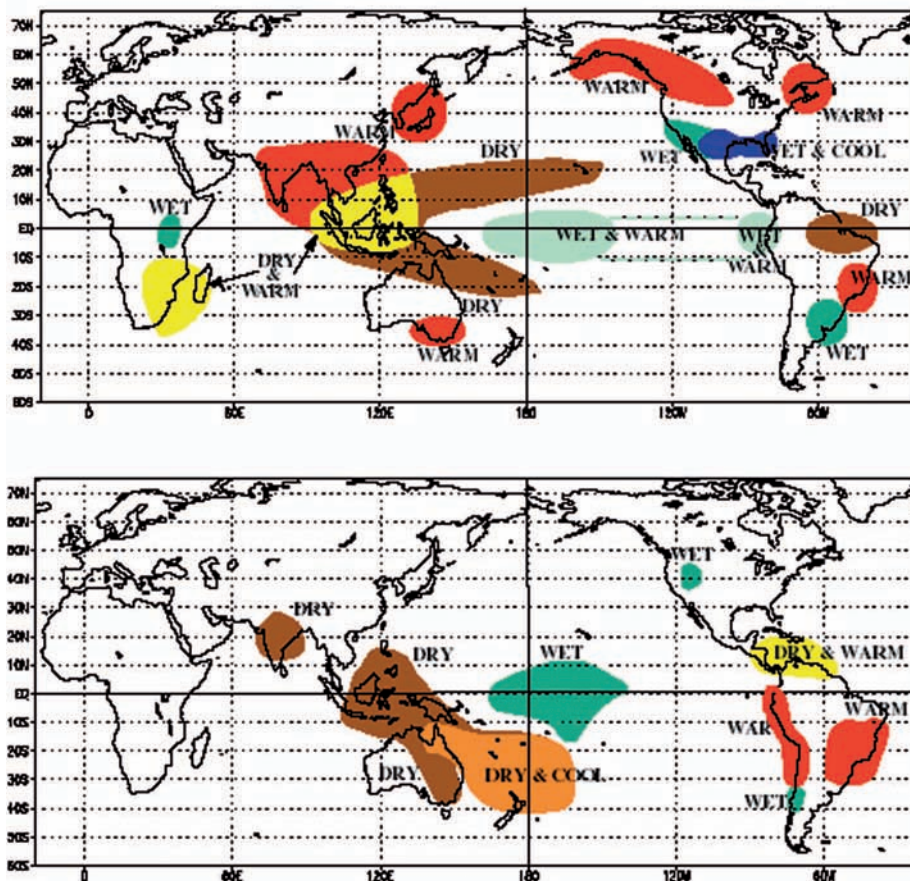
Zbog oscilacija nivoa mora tokom faza JO, pored brojnog ostrvlja zapadnog tropskog Pacifika čija je nadmorska visina veoma mala, za vreme El Ninjo nivo voda toliko padne, da ogoli morsko dno. Na ovaj način je veoma ugrožena čitava živa populacija u plitkim vodama priobalja.

8.2. Posledice La Ninja

Opšta karakteristika La Ninje, je intenziviranje normalnih uslova (Slika 13. a) što znači, da tamo gde su npr. normalni uslovi tokom zime vlažni, za vreme La Ninja, još su vlažniji. Može se isto tako pojednostavljeno reći da su posledice La Ninja, suprotne onima koje proizvodi El Ninjo. Na slici 31 a) su prikazane posledice La Ninja tokom zime kada u u severnoj Australiji i Indoneziji nastaju obilne kiše i poplave, dok su u Čileu i Peruu jake i trajne suše. Vlažnije je iznad jugoistočne Afrike i severnog Brazila a suvlje duž zapadne obale tropske Južne Amerike. Zahlađenje je tada osetno u umerenim pa i višim širinama, severne

polulopte. U letnjem periodu, (slika 31 b)) posledice nastaju uglavnom u tropskom pojasu, pri čemu su ekstremi temperatura i padavina češće udruženi.

Ukoliko je La Ninja dovoljno jaka da utiče na položaj i intenzitet subtropske mlazne struje, njeni efekti mogu biti još teži od onih koje prouzrokuje El Ninjo. Aktivnost harikena u Atlantiku je uslovljena pomenom ENSO faze zbog promena vertikalne cirkulacije atmosfere koju one izazivaju (*Pielke R. 1999.*). Položaj mlazne struje za vreme La Ninja, El Ninjo i neutralne faze su prikazani na slici 32. Za vreme El Ninjo, suprotropska mlazna struja je intenzivirana na obe hemisfere i postavljena u pravcu zapad-istok iznad severnog dela

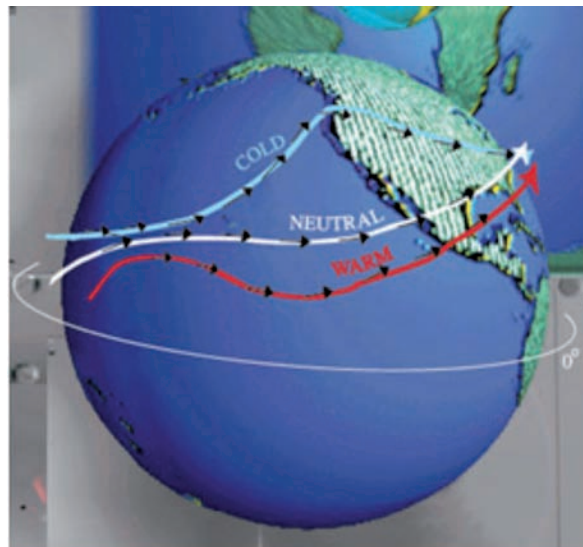


Slika 31. Uslovi vezani za pojavu La Ninja: a) tokom zime i b) leta.

Meksičkog zaliva i severne Floride. Ovakav položaj mlazne struje drži tropske ciklone daleko od istočne obale SAD i smanjuje čestinu i intenzitet nepogoda u domenu Atlantika.

Za vreme La Nina, mlazna struja se prostire od centralnih Stenovitih planina istočno-severoistočno do istoka Velikih jezera. Tada se vremenske nepogode prostiru znatno dalje na sever i zapad i tropski cikloni postaju češći i intenzivniji u oblasti Atlantika pa je ovaj region najpodložniji vremenskim nepogodama. Statistika tropskih ciklona koji pogađaju SAD daje verovatnoću pojave intenzivnog tropskog ciklona 23% za vreme El Ninjo, 58% za vreme neutralne faze i 63% za vreme La Ninje. Posledice tropskih nepogoda u SAD za vreme La Ninja, broje se pre svega ljudskim životima a zatim milijardama dolara štete.

Posledice La Ninja u okeanu su takođe veoma karakteristične. Kao rezultat intenzivnog ekvatorijalnog i priobalnog izronjavanja duž pacifičkih obala Južne Amerike, iz dubina na površinu okeana dospevaju hladne, sveže vode, veoma bogate hranljivim sastojcima, pre svega proteinima i mineralima. Udari vetra na površinu okeana, svojom silom mešaju površinske vode sa hranljivim sastojcima koje izronjavaju iz dubina. Pod uticajem Sunca, od postojećih proteina i minerala, prvo se stvara



Slika 32. Položaj mlazne struje za vreme tople, hladne i neutralne faze.

fitoplankton a zatim hlorofil i zooplankton, tj. sitne životinjske i biljne vrste, koje predstavljaju neophodan početak produktivnog lanca ishrane živog sveta okeana. Prisustvo hlorofila u okeanu je moguće uočiti na satelitskim slikama kao zeleni region a period trajanja ovog dragocebnog izvora hrane je ograničen. U Peruanskim vodama, razvoj ovih povoljnih okolnosti dovodi do jednog od najvećih ulova ribe na planeti. Obilje riba, je izvor hrane za brojne vrste ptica, za morske i obalske sisare i naravno za čoveka.

9. Prognoziranje ENSO događaja

Jedini način da se brojne nepogode koje izazivaju ENSO faze ublaže, je da se na osnovu blagovremene najave pojave, do nekoliko meseci unapred, stanovništvo dobro pripremi za ono što ih očekuje. Tačna i blagovremena prognoza ENSO događaja, veoma je značajna jer omogućava preventivno delovanje za predstojeće, u velikoj meri definisane anomalije atmosfere i okeana.

Posle katastrofalnih posledica El Ninjo 1981/82., naučna zajednica na čelu sa Svetskom meteorološkom organizacijom (u okviru Svetskog programa za istraživanje klime) je osnovala program TOGA (Akronim – **T**ropical **O**cean-**G**lobal **A**tmosphere), sa glavnim zadatkom da istraži sve aspekte ENSO pojava, a naročito mogućnosti prognoze. Tokom deset godina rada od 1985. do 1994. g., u okviru programa TOGA, formiran je novi osmatrački sistem u oblasti tropskog Pacifika, čija su mahom automatska merenja putem bova i satelita u realnom vremenu, načinila veliku bazu podataka atmosfere i okeana. Izmerene vrednosti: pritiska, površinskih vetrova, zračenja, TPM, temperature podpovršinskih slojeva okeana, saliniteta, brzine struja, nivoa okeana itd.; koriste se kao ulazni podaci za istraživanje i prognozu ENSO, pomoću numeričkih modela okeana i atmosfere (O-A). Novi rezultati koji su postignuti u okviru projekta TOGA su: korektna analiza mehanizma razvoja procesa O-A tokom vremena na osnovu pouzdanih osmatranja, definisanje mogućnosti prognoznosti sistema

O-A, modeliranje spojenog sistema O-A i izrada prvih prognoza ENSO u realnom vremenu (*TOGA 1998.*). Nakon završetka TOGA projekta ostalo je manje nedorečenog, kako o normalnom stanju u tropskom okeanu i atmosferi, tako i o brojnim anomalijama i singularitetima.

Numerički modeli su matematičko – fizički modeli, koji preko matematičkih jednačina opisuju razvoj fizičkih procesa u atmosferi ili okeanu (*Battisti, D.S. i dr. 1989.*). Numerički modeli atmosfere, kao i drugih komponenta klimatskog sistema (hidrosfere, površinskog sloja, kriosfere i biosfere), su danas najfinije i najpouzdanije alatke za proučavanje i prognozu vremena i klime. Izmenom forsiranja ili vrednosti određenih parametara u modelu, stalno se ostvaruju nova saznanja o funkcionisanju globalnog klimatskog sistema. Tokom poslednjih dvadesetak godina, naučni progres u oblasti prognoze vremena i klime, gotovo je isključivo vezan za upotrebu numeričkih modela.

Kada je neka pojava složena kao što je to ENSO, za analizu dinamike interakcije atmosfere i okeana neophodni su spojeni modeli koji se međusobno forsiraju promenama uzajamno zavisnih parametara (*Schopf P.S. i Suarez M.J., 1988.*). Za prognozu ENSO je neophodno spojiti najmanje, parametre u tropskom okeanu i u čitavoj atmosferi, zbog čega su zastupljni upravo ovakvi modeli O-A. Zajednička pretpostavka za sve spojene modele je eksplicitna pretpostavka

da je ENSO fizika ugrađena u sistem O-A tropskog Pacifika (*Latif M., et al., 1998.*).

Danas postoji čitava hijerarhija spojenih modela koji se dele na: jednostavne modele, srednje (intermediate), hibridne i globalne klimatske spojene modele. Dok jednostavni modeli podrazumevaju najjednostavnije modele plitke vode i dinamike, srednji modeli sadrže nelinearnost koja omogućava realističan razvoj. U modele srednje složenosti spada i model Zebiaka i Kejna (*Zebiak, Cane 1987.*), koji se pokazao kao vrlo uspešan. Kod hibridnih modela se reakcija atmosfere na promenu graničnih uslova tj. okeana, izražava preko empirijskog (statističkog) modela. Ovi modeli se uspešno primenjuju za prognozu anomalija TPM Pacifika do godinu dana unapred. Globalni spojeni modeli sadrže globalni model cirkulacije okeana i sličan model atmosfere. Komponenta okeana se predstavlja preko nekog srednjeg modela npr. model Zebiaka i Kejna, koji se spaja sa empirijskim modelom atmosfere. Ovim modelima se ostvaruje povratna sprega između atmosfere i okeana, koja može ukazati na udaljeni uticaj anomalija TPM. Razlike u hijerarhiji modela nisu tako oštre, tako da globani klimatski model sa niskom rezolucijom, može biti manje složen od najboljih srednjih modela.

Većina spojenih modela su modeli anomalija što znači da sigurno sadrže spajanja anomalija na određen način. U O-A modelima, udar vetra je primarni uzrok reakcije okeana na atmosferu, a okean odgovara na udare vetra skoro deterministički. Na sličan način atmosfera reaguje na promene TPM. Okean sadrži memoriju i ograničavajuću nelinearnost sistema a atmosfera se tretira kao brza komponenta ovog čvrstog sistema. Parametar μ je koeficijent relativnog spajanja i osnovna je karakteristika za spajanje modela O-A. Parametar μ predstavlja

intenzitet spajanja povratne sprege u modelu, a izražava se preko udara vetra po jedinici anomalije TPM. Vrednost μ se kreće od 0 do 1, pri čemu kada je 0 u modelu ne postoji spajanje a za maksimalnu $\mu = 1$ spajanje je realno najjače. Drugi značajan parametar spajanja je β_s – relativni koeficijent podešavanja u vremenu, koji daje meru za odnos vremenskih razmera u kojima se preko dinamike talasa podešava okean i vremenskih razmera za podešavanje TPM.

Ukoliko je potrebno analizirati ili prognozirati uticaj drugih aspekata klimatskog sistema, moguće je napraviti još složeniji model povezivanjem sa modelima drugih komponentata. Tako se može napraviti integrisani spojeni model npr. okean-atmosfera-prizemni procesi, okean-atmosfera-biosfera i dr. (*Latif M. i dr. 1998.*).

Iako su za prognozu ENSO daleko najkvalitetniji alat numerički modeli, statistički modeli takođe imaju svoju ulogu, bilo kao deo inicijalizacije za numeričke modele, bilo kao još jedan komparativan način prognoze.

9.1. *Lamont model*

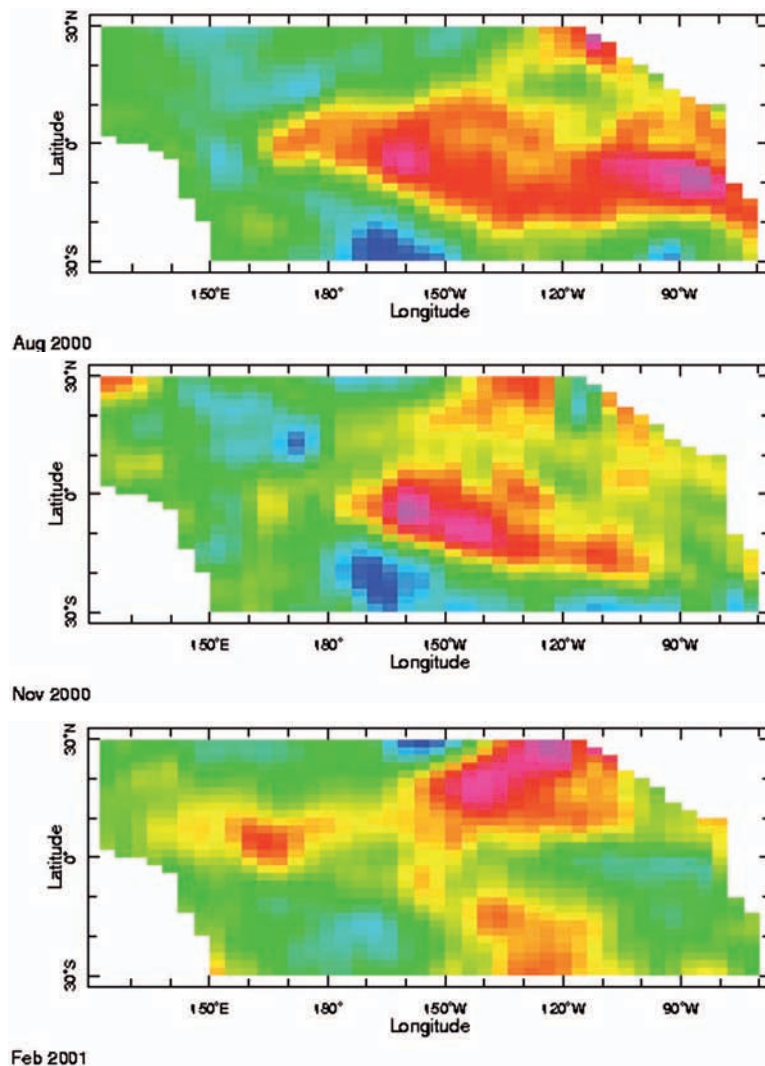
Kamen temeljac za prognozu ENSO su postavili Zebiak i Cane (*Cane M. A. 1986., Zebiak S., Cane M. 1987., Cane M. A. 1991.*) razvojem tzv. srednjeg Lamont modela. Lamont model je među prvima uspešno korišćen kako za istraživanje, tako i za mogućnosti prognoze sistema O-A. On se operativno koristio za prognozu ENSO u realnom vremenu od 1988. g. i jedan je od prvih modela koji je tačno prognozirao pojavu El Ninjo 1991/92.

Lamont je regionalni model koji pokriva samo domen tropskog Pacifika. On je model anomalija srednje složenosti i podrazumeva

da je fizika u celosti ugrađena. Lamont je nelinearan model i sadrži sve najznačajnije delove ENSO teorije. Jedini osmotreni podatak u modelu je površinski udar vetra. Dinamička reakcije okeana na udare vetra se proučava pomoću modela plitke vode kojim je predstavljen gornji, mešoviti sloj okeana. U atmosferi takođe, jednostavni modeli atmosfere tipa plitke vode, obezbeđuju dobru aproksimaciju reakcije donjih slojeva atmosfere na anomalije TPM. Reakcije anomalija udara vetra i zavisnost od TPM u Lamontu,

kvalitativno su slični sa osmatranjima i simulacijama koje su dobijene pomoću atmosferskog globalnog klimatskog modela (Goswami B.N. i Shukla J. 1991.). Ipak, u ovom kao i drugim spojenim modelima, uobičajena su neslaganja oko toga koja je od formulacija modela atmosfere najbolja.

Postoje dve verzije Lamont modela, jedna je standardna a druga nova. U standardnom modelu, početni uslovi za okean se dobijaju iz kontrolne integracije u kojoj se model



Slika 33. Prognoza TPM za avgust i novembar 2000. g. i februar 2001. g. dobijena pomoću novog modela Lamont.

okeana forsira osmotrenim udarima vetra. Prognoze na osnovu standardnog modela su izvedene preko inicijalizacije individualnih komponenata modela, svake zasebno. Početni uslovi za atmosferu su dobijeni forsiranjem atmosferskog modela sa anomalijama TPM, a one su simulirane modelom okeana u istoj kontrolnoj integraciji. Kako je jedina osmotrena informacija u Lamont modelu površinski vetar, Chen (*Chen, Cane, Zebiak 1998., 2000.*) je koristio iste udare vetra koje je asimilovao u spojeni model. Ovakva inicijalizacija spojenog modela je nazvana novi model, iako je u Lamont standardnom modelu promenjena samo šema asimilacije, dok je

model ostao isti. Ipak, ova izmena je dovela do značajnih poboljšanja u rezultatima.

Na slici 33. su prikazane prognoze anomalija TPM za 6, 9 i 12 meseci unapred, dobijene novim Lamont modelom. Prognoze su zasnovane na srednjim vrednostima pojedinačnih prognoza koje su inicijalizovane tokom šestomesečnih prognoza završno sa februarom 2000. Greške početnih uslova brzo rastu sa vremenom, tako da su prognoze za duži period manje pouzdane. Usavršena verzija Lamont modela se i danas operativno koristi za prognozu El Nino pjava i može se, između ostalih, naći na mreži.

10. Zaključak

Razvoj obe faze ENSO, tokom poslednjih godina, je gotovo u celosti protumačen. Osnovni uticaji pojava su takođe, uglavnom jasni. Međutim, često su nejasni uzroci brojnih nepravilnosti a zatim retke i ekstremne vremenske pojave, koje karakterišu čitav klimatski sistem. Neke od ovih pojava je moguće povezati sa oscilacijama ENSO, ali ipak ostaju brojni singulariteti, iz čijih se analize može samo naslutiti određena telekonekcija. Kao glavni razlog nedovoljnog razumevanja ovog aspekta, navode se višestruke nelinearne veze koje generiše sam spojeni sistem O-A (Montroy, D.L. i dr.1998.). Nepravilnost vremenske serije TPM tropskog Pacifika (ili SO indeksa) se tumači na sličan način. Pretpostavlja se da je najbolji način da se ovi problemi sagledaju i reše, prepoznavanje nelinearnih relacija u interaktivnom sistemu O-A a zatim njihovo modeliranje. Treba takođe imati u vidu, da međusobna dejstva atmosfere, okeana, procesa na tlu i biosfere, formiraju povratne sprege koje menjaju početna svojstva pojedinih uticaja i zato nisu uvek jasne. Jasno je međutim, da svaki od brojnih uticaja daje svoj doprinos, koji zajedno stvaraju veliku raznovrsnost u okviru klimatskog sistema.

Drugi ili možda prvi problem klime, koji se danas veoma mnogo proučava, je evidentno globalno zagrevanje, posebno izraženo tokom poslednjih dvadesetak godina. Opšte je prihvaćeno da je najveći uzrok postojećeg porasta globalne temperature antropogeni faktor tj. nekontrolisano sagorevanje fosilnih goriva, koje je kontinuirano raslo tokom

20-og veka. Ipak, uočen je i ENSO uticaj na varijabilnost globalne temperature (Latif M. i dr. 1997.; Hunt A. G. 1999.). Međutim, koliki je udeo prirodne varijabilnosti klime a koliki antropogeni udeo, na tok brojnih tekućih i budućih klimatskih promena i ekstrema, biće i nadalje predmet proučavanja.

Oblasti proučavanja koje takođe nisu dovele do zadovoljavajućih rezultata (TOGA, 1998.) su: interakcija sa monsunima, interakcija tropskog sistema O-A sa izvantropskim širinama, interakcija kopno – okean – atmosfera, među-decenijska varijabilnost ENSO (Trenberth K.E. 1990, Kirtman B.P. 1998) itd.

Uprkos velikom uspehu koji je postignut u prognozi ENSO faza i dalje su brojne primedbe na modeliranje i prognozu ENSO pojava. Numeričke prognoze El Ninjo i La Ninja, u stanju su da najave početak pojave i promenu faze, ali ne brzinu i intenzitet razvoja. Jedan od razloga nedovoljno pouzdanih prognoza je brza promenljivost atmosfere koja stvara šum u spojenim modelima. Fizika obe komponente u modelima je takođe nesavršena. Zatim se često spominju nedovoljno obimna i precizna osmatranja na osnovu kojih se definišu početna polja u modelu. Brojne pretpostavke o prognoznjivosti sistema O-A, takođe treba preispitati.

Odgovor na postavljena i druga pitanja, očekuje se da će značajno doprineti razvoju spojenih numeričkih modela i preciznijoj prognozi ENSO događaja, u sve većim vremenskim i prostornim razmerama.

Literatura

Barsugli, J.J. et al., 1999: The Effects of the 1997/98 El Nino on Individual Large Scale Weather Events, *Bull. Am. Met. Soc.*, Vol. 80, No.7, 1399–1411.

Battisti, D.S., Hirst, A. C., Sarachik, E.S., 1989: Instability and predictability in coupled atmosphere-ocean models, *Phil. Trans. R. Soc. London A* 329, 237–247

Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus*, 18, 820–829.

Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Weather Rev.*, 97, 163–172.

Brassington, G.B., 1997: The modal evolution of the Southern Oscillation, *Journal of Climate*, Vol. 10, 1021–1034, May.

Busalacchi, A. J., Takeuchi, K., O’Brien, J. J., 1983: On the Interannual wind-driven response of the tropical Pacific ocean, Hydrodynamics of the Equatorial Ocean, *Elsevier Science Publishers*.

Cahalan, F., Joseph J. 1989: Fractal statistics of Cloud Fields; *Monthly Weather Review* Vol. 117, NO 2, 262–272

Cane, M.A., 1986: El Nino, Ann Rew. Earth Planet, *Science*.

Cane M.A., 1991: Tropical Air-Sea Interaction in General Circulation Models. *ICTP* (International Centre for Theoretical Physics), *Lecture Notes*.

Cane, M.A., 1991: Lecture Notes on: “Course on Ocean-Atmosphere Interaction in the Tropics”, International Centre for Theoretical Physics (*ICTP*), Trieste, Italy, Summer 1991.:

- The Ocean Mixed Layer I and II;
- The Atmospheric Heat Engine;
- Sea Surface Temperature and Surface Fluxes;
- Free Waves;
- Equations;
- ENSO mechanisms;
- Simplified models;

Tropical Air-Sea Interaction in General Circulation Models;
Prediction;
Forecasting El Nino with a Geophysical Model.

Changnon, S.A., 1999: Impact of 1997–98 El Nino-Generated Weather in the United States, *Bulletin of the AMS*, Vol. 80, No. 9.

Chen, D., M. A. Cane, and S. E. Zebiak, 1998: The impact of sea level data assimilation on the Lamont model prediction of the 1997/98 El Nino. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2837–2840.

Chen, D., M. A. Cane, S. E. Zebiak, Rafael Canizares and A. Kaplan, 2000: Bias correction of an ocean-atmosphere coupled model. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2585–2588.

Chen, D., M. A. Cane, A. Kaplan, S. E. Zebiak, and D. Huang, 2004: Predictability of El Nino in the past 148 years. *Nature*, 428, 733–736, 2004.

CLIVAR, WMO : Vol. 8, No 1, March 2000.

CPC – Climate Prediction Center, NOAA, 2009., Northern hemisphere teleconnection pattern, <http://www.cpc.noaa.gov/>

Diaz H.F., McCabe G.J., 1999: A Possible Connection between the 1878 Yellow Fever Epidemic in the Southern United States and the 1877–78 El Nino Episode, *Bull. Am. Met. Soc.*, Vol. 80, No. 1, 21–27.

Gammel, B., 1996: *Multifractals*, http://www.physik.tu-muenchen.de/81/lehrstuehle/T32/matpack/html/matpack_frame.html, Sep.

Gammel, B., 1999: *Matpack Library Release 1.4*, Jan, <http://www.physik.tu-muenchen.de:81/.../Falpha/>

Garret, D., 2000: Current monthly atmospheric and SST index values, Climate Prediction Center, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>

Gershunov, A., Barnett, T. P., 1998: ENSO: Influence on Intraseasonal Extreme Rainfall and Temperature Frequencies in the Contiguous United States: Observations and Model Results, *J. of Climate*, Vol. 11, No.7, 1575–1586.

Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heat-induced tropical circulation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 106, No. 449.

Goswami, B. N., Shukla, J., 1991: Predictability of a Coupled Ocean-Atmosphere Model, *Journal of Climate*, Vol. 4, No. 1.

Hastenrath, S., 1982: On Meridional Heat Transports in the World Ocean, *J. of Physical Oceanography*, Vol. 12, No.8

Holton, James R. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press.

Horel J.D., Wallace J.M 1981: Planetary Scale Atmospheric Phenomena Associated with the SO, *Mon. Weather Review*, 109, 813–829

<http://www.coaps.fsu.edu/~nunez/Paper1/paper1.html>, Statistical analysis of Chilean precipitation anomalies associated with 'El Nino Southern Oscillation' (1961–1994).

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.html>,

<http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate>

Hunt, A. G., 1999: Understanding a Possible Correlation between El Nino Occurrence Frequency and Global Warming, *Bulletin of the AMS*, Vol. 80, No.2.

Hurst, H. E., 1951: Long-term storage capacity of reservoirs, *Trans. Amer. Soc. Civil Engineers*, Vol. 116, 770–799.

Jovanović, G.R., 1999: Prognoza El Nino pomoću numeričkih modela okean-atmosfera, Zbornik Radova *Informacione Tehnologije-sadašnjost i budućnost: IT 99*, 17–20, Žabljak, Crna Gora.

Jovanović, G.R., Reljin, I., Reljin, B., 2000: Telekonekcija El Ninjo sa temperaturama u Srbiji, *IT-2000*, Žabljak, Mart 2000.

Jovanović, G.R., Reljin I., Reljin. 2000: "Multifractal Analysis of El Niño Influence", Conf. On Non-Linear Phenomena In Global Climate Dynamics, ICTP, Trieste, CD, Italy

Kirtman, B. P., 1997: Oceanic Rossby wave dynamics and the ENSO period in a coupled model. *J. Climate*, 10, 1690–1704.

Kirtman, B.P., Schopf, P.S., 1998: Decadal variability in ENSO predictability and prediction, *Journal of Climate*, Vol. 11, 2804–2822.

Latif M., Kleeman R., Eckert C. 1997: Greenhouse warming, Decadal Variability or El Nino; *Cournal of Climate*, Vol. 19, N0 0, 2221–2239

Latif M., Anderson, D., Barnett, Cane, M., Leetmaa, A., O'Brien, J., Rosati, A., Schneider, E., 1998: *A review of the predictability and prediction of ENSO*

Lough, J. M., Fritts, H. C., 1985: The Southern Oscillation and Tree Rings: 1600–1961, *J. of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 24, No. 9, 952–966.

Maloney, E. D. and D. L. Hartmann (September 2001). “The Madden–Julian Oscillation, Barotropic Dynamics, and North Pacific Tropical Cyclone Formation. Part I: Observation” (PDF). *Monthly Weather Review* **58** (17): 2545–2558.

Mandelbrot B.B, 1990: Negative fractal dimensions and multifractals, *Physica A*, Vol. 163, 306–315.

Mandelbrot, B.B., 1975: *Les objets fractals: Forme, hasard et dimension*, Flammarion, Paris.

McPhaden M.J., 1999: Genesis and evolution of the 1997/98 El Nino, *Science*, 283, 950–954.

Meyers, S., Magnan, J., Brien, J., 1994: Fractal trajectories in a numerical model of the upper Indian Ocean, *Nonlinear Processes in Geophysics*, Vol. 1, 45–50.

Meyers, S.D., Melsom, A., Mitchum, G. T., O’Brien, J. J., 1998: Detection of the fast Kelvin Wave teleconnection due to El Nino-Southern Oscillation, *J. of geophysical reasearch*, Vol. 103, No. C12, 27, 655–27, 663.

Munnich, M., Cane, M. A., Zebiak, S. E., 1990: A Study of Self-excited Oscillations of the Tropical Ocean-Atmosphere System. Part II: Nonlinear Cases, *AMS.ICTP*

Nunes, R.H., Richards, T.S., Brien, J.O., 1995: Statistical analysis of Chilean precipitation anomalies associated with ENSO, *International Journal of Climatology*, August.

Palmer, T. N., Anderson, D. L. T., 1994: The prospects for seasonal forecasting-A review paper, *Quarterly journal of the Royal Met. Soc.*, Vol. 120, No. 518.

Philander, G., 1989: El Nino and La Nina, *American Scientist*, Vol. 77.

Philander, G., 1990: El-Nino, La Nina and the Southern Oscillation, *Academic Press*, San Diego, CA, 289 pp.

Pielke, R.A.Jr., Landsea, C.N., 1999: La Nina, El Nino, and Atlantic Hurricane Damages in the United States, *Bull. Of the Amer. Met. Soc.*, Vol. 80, No. 10.

- Rasmusson**, E. M., 1988: Nature of low-frequency tropical variability, *ICTP*
- Rasmusson**, E. M., Carpenter T. H., 1982: Variations in tropical SST and surface wind fields associated with SO/El Nino, *Mon. Weather Rew.* 110, 354–384.
- Reljin I.**, Reljin, B., Rakočević, I., N., Mastorakis, N., 1999: Image content described by fractal parameters, in *Recent Advances in Signal Processing and Communications*
- Reljin, I.**, Reljin, B., Jovanović G., 2000: Multifractal Analysis of El Nino Climate Influence, *First IEEE Balkan Conference on Signal Processing Communication, Circuits and Systems ISIK Univ. Campus, Istanbul Turkey*
- Reljin, I.**, Reljin, B., Pavlović, I., Rakočević, I., 2000: Multifractal analysis of gray-scale images, *IEEE Conf. MELECON-2000, Cyprus, May*
- Ropelewski** C. F., Halpert, M. S., 1989: Precipitation patterns associated with the high index phases of the Southern Oscillation, *J. of Climate*, 2, 268–284.
- Sarachik**, E., 1991: Lecture Notes on “Course on Ocean-Atmosphere Interaction in the Tropics”, International Centre for Theoretical Physics *ICTP*:
- The Atmospheric Heat Engine
 - Thermodynamic Quantities
 - How Clouds Heat
 - Convective Boundary Layers
 - Thermal Forcing I: Equatorial Wave in the Western Pacific
 - Hadley Circulation: Thermal Forcing II
 - Thermal Forcing III: Linear Theory
 - Thermal Forcing IV: A Simple Atmospheric Model
 - Equations
 - Linear Instability Analysis of the Coupled System
 - ENSO Observation: Tropics
 - ENSO: Global Aspects;
- Schopf**, P. S., Suarez, M. J., 1988: Vacillations in a Coupled Ocean-Atmosphere Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 45, No. 3.
- Seager**, R., Zebiak, E., Cane, A., 1988: A Model of the Tropical Pacific Sea Surface Temperature Climatology, *J. of Geophysical Research*, Vol. 93, No.2 , 1265–1280.

- Shukla, J.**, 1991: Influence of SST Anomalies on Atmospheric Circulation, *ICTP*
- Suarez, M. J., Schopf, P. S.**, 1987: A delayed action oscillator for ENSO, reprinted from *Journal of the Atmospheric Sciences*
- TOGA (Tropical Ocean-Global Atmosphere) Decade 1998:** Reviewing of the Progress of El Nino Research and Prediction, Reprinted from *The J. of Geophysical research*, Published by AGU.
- Trenberth, K.E.**, 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 66, 398–412.
- Trentbeth K.**, 1997: The definition of El Nino, *Bulletin of the Amer. Met. Soc.*, Vol. 78, 2771–2777.
- Tziperman, E., Cane, M. A., Zebiak, S. E.**, 1995: Irregularity and Locking to the Seasonal Cycle in an ENSO Prediction Model as Explained by the Quasi-Periodicity Route to Chaos, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 52, No. 3.
- Walker, G.T.**, 1923: Correlation in seasonal variations of weather, VIII, A preliminary study of world weather, *Mem. Indian. Meteorol. Dept.*, 24, 75–131.
- Walker, G.T.**, 1924: Correlation in seasonal variations of weather, IV, A further study of world weather, *Mem. Indian. Meteorol. Dept.*, 24, 275–332.
- Walker, G.T., Bliss E.W.**, 1932: *World weather, V, Mem. R. Meteorol. Soc.*, 4, 53–84.
- Wallace, J. M., Gutzler, D. S.**, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter, *Mon. Weather Rew.*, 109, 784–812
- Wallace, J. M., Smith, C., Jiang, Q.**, 1990: Spatial patterns of atmosphere-ocean interaction in the northern winter, *J. of Clim.*, 3, 990–998
- Washington W.M., Parkinson C.L.** 1986: An Introduction to Three Dimensional Climate Modeling; *University Science Books*, Oxford University Press
- WMO**, 1985: *World Climate Programme: Climate System Monitoring. The Global Climate System: A Critical review of the climate system during 1982–84; 1985.*

WMO, 1995: Proceedings of the International Scientific Conference on the Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) Programme, *WCRP-91*, WMO/TD No.177.

WMO, 1997-1998: El Nino Update No. 1-7; *World Meteorological Organization*.

WMO, *CSM* – Climate System Monitoring Bulletin: 1991–2009.

Wyrtky, K., 1975: El Nino – the dynamic response of the equatorial Pacific to atmospheric forcing, *J. Phys. Oceanogr.* No.5, 572–84.

Wyrtky, K., 1979: The response of sea level topography to the El Nino 1976, *J. Phys. Oceanogr.*, 9.

Yanai, M., B. Chen, and W.-W. Tung, 2000: The Madden–Julian Oscillation observed during the TOGA COARE IOP: Global view. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 2374–2396.

Zebiak, S. E., 1982: A Simple Atmospheric Model of Relevance to El Nino, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 39, No. 9.

Zebiak, S. E., Cane.M.A., 1987: A model El Nino-Southern Oscillation, *Mon.Weather Rev.* 115, 2262–2278.

Zhang, X.G., T.P. Casey, 1992: Long-term variation in the Southern Oscillation and relationships with Australian rainfall, *Aus. Meteor. Mag.*, Vol. 40, 211–225.

Zhang, Y., J. Wallace, D. Battisti, 1997: ENSO-like interdecadal variability: 1900–93, *Journal of Climate*, Vol. 10, pp. 1004–1020.

Reference za slike

Slika 1. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring

Slika 2. **Philander** G. 1990. El-Niño, La Niña and Southern Oscillation. Academic Press, New York, strana 20

Slika 3. <http://www.atmos.washington.edu/gcg/RTN/Figures/RTN9.html>
<http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/figure9.html>

Slika 4. JO, <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/>

Slika 5. **WMO**, World Climate Programme: Climate System Monitoring. The Global Climate System: A Critical review of the climate system during 1982-84; 1985.

Slika 6. **WMO**, World Climate Programme: Climate System Monitoring. The Global Climate System: A Critical review of the climate system during 1982-84; 1985.

Slika 7. <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/>

Slika 8. **Rasmusson**, E. M., Carpenter T. H., 1982: Variations in tropical SST and surface wind fields associated with SO/El Nino, Mon. Weather Rew. 110, 354-384

Slika 9. <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/> (Wallace J.M 1981)

Slika 10. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions

Slika 11. <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino-home.html>

Slika 12 **WMO**, World Climate Programme: Climate System Monitoring. The Global Climate System: A Critical review of the climate system during 1982-84; 1985.

Slika 13.a, 13 b, **WMO**, World Climate Programme: Climate System Monitoring. The Global Climate System: A Critical review of the climate system during 1982-84; 1985.

Slika 14. <http://www.pmel.noaa.gov/tao/el-nino/el-nino-story.html>

Slika 15. <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/gif/el-nino.gif>

Slika 16a., 16b. http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/proj_over

Slika 17. **Philander**, G., 1990: El-Nino, La Nina and Southern Oscillation, *Academic Press*, New York.

Slika 18. <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/gif/elnino.gif>

Slika 19. <http://library.thinkquest.org/3356/main/course/course1.html>

Slika 20. http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/near_rt/enso/orig.html

Slika 21. <http://www.elnino.noaa.gov/>

Slika 22. **Jovanovic**, G., Reljin I., B. Reljin, 2000 : Telekonekcija: Ninjo sa temperaturama u Srbiji, (IT-2000), Žabljak (Montenegro, Yugoslavia).

Slika 23. **Jovanovic**, G., Reljin I., B. Reljin, 2000 : Telekonekcija: Ninjo sa temperaturama u Srbiji, (IT-2000), Žabljak (Montenegro, Yugoslavia).

Slika 24. **Jovanovic**, G., Reljin I., B. Reljin, 2000 : Telekonekcija: Ninjo sa temperaturama u Srbiji, (IT-2000), Žabljak (Montenegro, Yugoslavia).

Slika 25. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/impacts/warm.gif

Slika 26. **Ropelewski** C. F., Halpert, M. S., 1989: Precipitation patterns associated with the high index phases of the Southern Oscillation, *J. of Climate*, 2, 268–284.

Slika 27. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

Slika 28. **Reljin, I.**, Reljin, B., Jovanović G., 2000: Multifractal Analysis of El Nino Climate Influence, *First IEEE Balkan Conference on Signal Processing Communication*, Circuits and Systems ISIK Univ. Campus, Istanbul Turkey

Slika 29. **Reljin, I.**, Reljin, B., Jovanović G., 2000: Multifractal Analysis of El Nino Climate Influence, *First IEEE Balkan Conference on Signal Processing Communication*, Circuits and Systems ISIK Univ. Campus, Istanbul Turkey

Slika 30. **Reljin, I.**, Reljin, B., Jovanović G., 2000: Multifractal Analysis of El Nino Climate Influence, *First IEEE Balkan Conference on Signal Processing Communication*, Circuits and Systems ISIK Univ. Campus, Istanbul Turkey

Slika 31. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis/_monitoring/impacts/cold.gif

Slika 32. <http://www.coaps.fsu.edu>

Slika 33. <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.ENSOFORECAST/LDEO1/.09MON/figviewer.html?plotttype=colors>

Reference za slike

National Academy of Sciences El Niño web site

McPhaden, M.J., 1993: TOGA-TAO and the 1991-93 El Niño-Southern Oscillation Event. *Oceanography*, 6, 36-44. (entire paper available)

El Niño references: TAO refereed journal articles and other TAO papers.
Reports to the Nation – El Niño and Climate Prediction El Niño Theme Page – Central access to widely distributed El Niño data and information.

<http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino/home.html>

<http://topex-www.jpl.nasa.gov/el-nino/el-nino.html>

http://www.coaps.fsu.edu/lib/el-nino-links/conference_papers/