

Оригинални научни рад

UDC: 911.2:523.03(497.11)
DOI: 10.2298/IJGI1103001R

АСТРОФИЗИЧКА АНАЛИЗА ЗЕМЉОТРЕСА КОД КРАЉЕВА (СРБИЈА) 03. НОВЕМБРА 2010. ГОДИНЕ

*Милан Радовановић^{*1}, Милан Стеванчевић^{**}, Драгана Миљашевић^{*},
Saumitra Mukherjee^{***}, Жељко Бјељац^{*}*

^{*}Географски институт “Јован Цвијић” САНУ, Београд, Србија

^{**}Бивше Министарство телекомуникација, Београд, Србија

^{***}School of Environmental Sciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India

Примљено 1 августа 2011; рецензирано 3 октобра 2011; прихваћено 25 октобра 2011

Абстракт: Резултати претходних студија указали су на постојање статистички значајне везе између јоносферских, тј. атмосферских поремећаја и земљотреса. Такође, у разматрање су узета бројна досадашња истраживања која су се односила на повезаност између активности Сунца и поремећаја у атмосфери. На основу таквих показатеља покушали смо да утврдимо евентуално постојање узрочно-последичне везе између процеса на Сунцу и земљотреса који се догодио 03. новембра 2010. године у близини Краљева (Србија). На основу теоријских разматрања предложен је нов модел који сугерише настанак окидног импулса. Добијени резултати показују да би на статистички значајнијем броју узорака било неопходно утврдити потенцијалну правилност у променама параметара интерпланетарног магнетног поља (ИМП), односно компоненти Сунчевог ветра (СВ) неколико дана пре и после појаве јаких земљотреса.

Кључне речи: земљотрес, интерпланетарно магнетно поље, модел, Краљево (Србија)

Увод

Снажни земљотреси, нарочито у односу на друге регионе у свету, нису честа појава на територији Србије. Међутим, 03. новембра 2010. године, у централном делу Србије, око 1 сат после поноћи догодио се земљотрес магнитуде 5,4 (ск. 1). Локација епицентра је 43,74 N, 20,69 E, тачно време потреса 00:56:54.4 UTC, дубина хипоцентра 2 km (<http://www.emsc-csem.org/Earthquake/earthquake.php?id=196649>).

¹ Correspondence to: m.radovanovic@gi.sanu.ac.rs



Скица 1. Географски положај локације земљотреса 03. новембра 2010. године (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/usb00009t6/>)

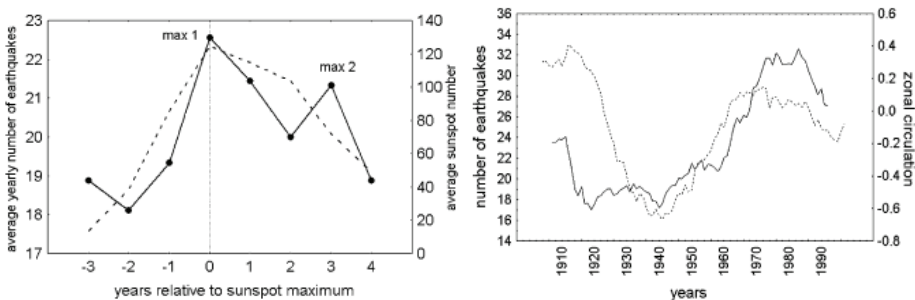
Након тога уследила је серија земљотреса знатно слабије јачине, који су се јављали до 18. новембра. На жалост двоје људи је погинуло, при чему је знатна материјална штета у великој мери отежавала нормализацију живота у хладним данима који су долазили. Као и у многим другим случајевима, не само у Србији, није било никаквих наговештаја да ће се земљотрес догодити. Односно, није нам познато да је било који од савремених модела указивао на могућност појаве подрхтавања тла, поготово не тог интензитета (Nattori, 2004).

У овом раду покушаћемо да укажемо на основе модела који је заснован на интерактивној повезаности процеса на Сунцу и земљотреса који се јавио код Краљева. Основни приступ који је спроведен током истраживања односи се на каузалност, тј. временски след догађаја и то: ерупција енергије са Сунца у виду високоенергетских честица садржаних у електричном ИМП, односно СВ, намагнетисање средине (појединих делова литосфере) и појава земљотреса.

Преглед досадашњих истраживања

Увидом у литературу показало се да постоје бројна истраживања која указују на потенцијалну везу између процеса на Сунцу и земљотреса на неким деловима наше планете. Simpson (1967/68) истиче да се максимум фреквенције земљотреса догађа у периоду умерено високе и флукутирајуће Сунчеве активности. Weiyou et al, (2006) закључују да код земљотреса у Индонезији 26. децембра 2004. године 1) подаци о температури ваздуха могу јасно рефлектовати топлотни знак и комплетан поступак акумулирања и ослобађања енергије земљотреса, 2) додатна структура

стреса астро-плимског окидања је важан спољни фактор окидања земљотреса и 3) анализирајући више од 40 случајева, резултати показују да се за око 60% јаких земљотреса везује абнормални раст температуре ваздуха, односно евидентна је њихова просторно-временска улога. Athanasiou et al, (2011) доказују да промене у енергији електромагнетних ултракратких (ULF) таласа E_z компоненте електричног поља јасно указују на повезаност са земљотресом на Хаитију 12. јануара 2010. године. Silva et al, (2011) су дошли до сличних закључака у случају земљотреса у Португалу 2010. године. Mukherjee, Kortvelyessy (2006) истичу да поред Сунца на подрхтавање тла могу утицати интерстеларни ветрови, односно у случају који су они разматрали, облаци врелог хелијума, са знатно већом густином честица него што је то уобичајено код СВ. Наизглед неспојива дешавања на релацији Сунце-циркулациони процеси у атмосфери-земљотреси статистички су испитана у раду који су дали Odintsov et al, (2006) (ск. 2).



Слика 2. Просечан број земљотреса (пуна линија) и Сунчева активност (испрекидана линија) у једанаестогодишњем Сунчевом циклусу за период 1900-1999. године - леви графикон и годишњи број земљотреса $M \geq 7$ у периоду 1900-1997 (пуна линија) и интензитет зоналне циркулације (испрекидана линија) у истом периоду - десни графикон (Odintsov et al, 2006)

Анализирајући резултате до којих су дошли, аутори споменутог рада закључују да би сценарио утицаја Сунчеве активности на сеизмичку активност могао да укључи следеће елементе:

1. надоласећи шок пулса притиска, придружен са струјама СВ високих брзина или ерупцијама честица из коронарних рупа, сабија магнетосферу,
2. јачање струјања ауреоре,
3. створени таласи атмосферске гравитације се трансмићују на доле,
4. јачање зоналних западних ветрова,
5. промена притиска ваздуха на површини,

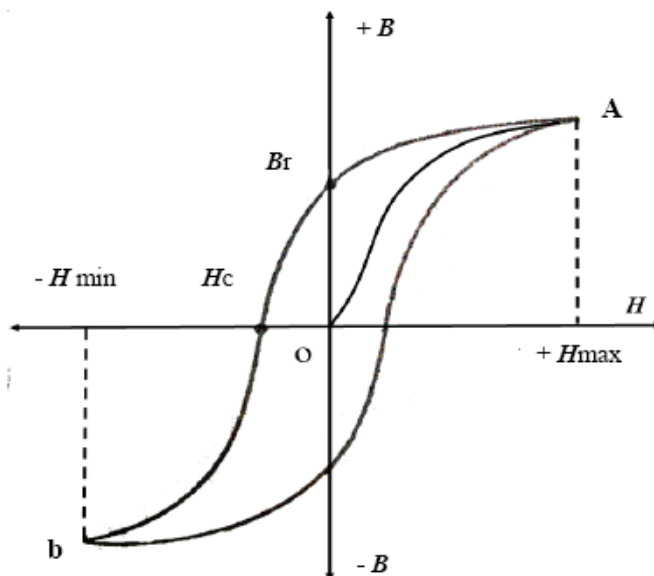
6. баланс притиска на тектонске плоче је поремећен и
7. ако је довољно тензије акумулирано, земљотрес је активиран.

Radovanović et al, (2003), сматрају да јачање ауре у поларним областима представља пропратну оптичку манифестацију спајања ИПМ и геомагнетног поља. Gomes, Radovanović (2008), Mukherjee (2008), Nikolić et al, (2010), Mukherjee, Radovanović (2011) као и многи други истичу бројне примере утицаја СВ на атмосферске процесе, као и на одређене аспекте животне средине. Gabis, Troshichev (2000) су констатовали да утицај краткотрајних промена у Сунчевој активности на поремећаје у баричком пољу (притиска) је очигледан у стратосфери (ниво на 30 mbar). Меридионални поремећаји у стратосфери у случају Форбушовог опадања и дешавања Сунчевих протона, почиње да се развија непосредно пред кључни датум, пратећи раст UV зрачења, типичан за краткотрајне промене у Сунчевој активности. Распадање меридионалног преноса догађа се након кључног дана очигледно под утицајима Сунчевог енергетског корпускуларног флукса. Флукуације баричког поља у оквиру периода од 5 ± 10 дана су типичне за меридионални и зонални пренос у тропосфери (ниво на 500 mbar), будући да интензитети меридионалног и зоналног трансфера имају супротне фазе. Ефекат кључног датума није изражен у овим флукуацијама. Индекс вртложног простора карактеристичан за циклонску активност у тропосфери, одговара променама меридионалног трансфера у стратосфери. Sing et al, (2009) истичу јаку статистичку повезаност између јоносферских поремећаја и земљотреса. Yonaiuchi, Naayakawa (2007) уочавају одређене правилности у атмосферским поремећајима и појави земљотреса током појединих делова године, наглашавајући да се њихова анализа ипак односи на податке за једну (2005) годину. Hasbi et al, (2011) констатују да у случају 4 снажна земљотреса на Суматри, у периоду 2004-2007. године њихови резултати подржавају чињеницу да је висинска аномалија електричног поља створена у близини региона епицентра у интеракцији са источним електричним пољем, индукујући јоносферске аномалије у близини региона епицентра и дисторзије облика екваторијалне аномалије. Концентрације електрона показују позитивне и негативне аномалије од неколико часова до 6 дана пре појаве земљотреса.

Имајући изнето у виду, покушали смо да утврдимо евентуалну узрочно-последичну везу између прилива енергије са Сунца непосредно пре појаве земљотреса код Краљева. У том смислу је са теоријског аспекта предложен нов модел који би, уколико се покаже оправданим, требало да представља основу за израду прогноза.

Хелиоцентрични електромагнетни модел настанка земљотреса код Краљева

Претпоставимо да је ИМП страно поље које делује на неку литосферску средину. Уколико шематски прикажемо јачину интерпланетарног поља (H) и магнетну индукцију (B) (ск. 3) онда можемо рећи да ће са повећањем јачине ИМП, од тачке O до тачке A , намагнетисање у посматраној средини почети да расте. Криву од тачке O до A можемо назвати првобитна крива намагнетисања.



Скица 3. Шематски приказ циклуса хистерезиса

У тачки A долази до засићења, а ИМП достиже максималну вредност H_{max} . Када се смањи јачина ИМП смањиваће се и магнетна индукција B од тачке A до B_g . Када јачина ИМП буде једнака нули, магнетна индукција не ишчезава већ задржава одређену вредност и она представља реманентну индукцију B_g . При промени смера ИМП H смањиваће се магнетна индукција B и у одређеном тренутку она ће бити једнака нули. Ову тачку обележићемо са H_c и назвати је коерцитивно поље или коерцитивна сила. Да би се јавио земљотрес потребно је да ИМП промени смер, а магнетна индукција B_g буде једнака нули, односно да од позитивне вредности $+B_g$ промени смер на $-B_g$. Моменат достизања вредности H_c представља заправо тренутак појаве земљотреса. Када јачина ИМП достигне вредност

$-\mathbf{H}_{\min}$ у тачки b добија се максимална негативна вредност магнетне индукције. Ако се јачина ИМП поново мења од $-\mathbf{H}_{\max}$ до $+\mathbf{H}_{\max}$ и поново до $-\mathbf{H}_{\max}$ добија се циклус хистерезиса за посматрану средину. Произилази да величина циклуса хистерезиса зависи од јачине ИМП и магнетних карактеристика средине која се магнетише.

Ако претпоставимо да између магнетске индукције и јачине ИМП постоји линеарна зависност $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$, добија се да је:

$$dW_m / dV = \mu \int_0^{\mathbf{H}} \mathbf{H} d\mathbf{H} = (\mu / 2) \mathbf{H}^2 \text{ из чега произилази да:}$$

$$dW_m / dV = \frac{1}{2} \mathbf{B} \mathbf{H}^2$$

\mathbf{B} је магнетска индукција, \mathbf{H} – јачина магнетског поља, μ – пермеабилност средине и W – енергија.

Укупна енергија која се троши за време намагнетисања средине је:

$$W_m = \frac{1}{2} \int_v \mathbf{B} \mathbf{H} dV$$

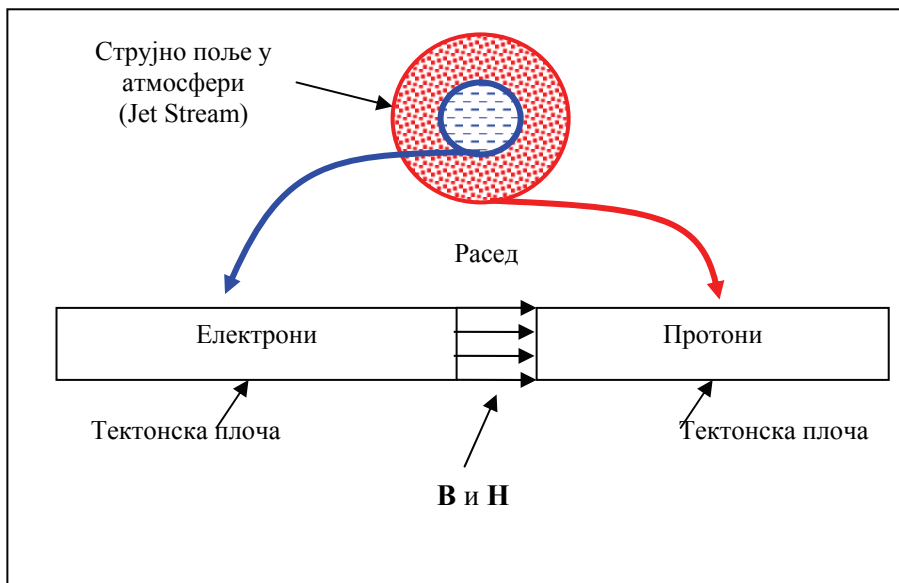
Математички израз којим би се могла описати енергија коју нека средина апсорбује приликом намагнетисања био би:

$$dW_m / dV = \oint \mathbf{B} d\mathbf{H}$$

У ситуацијама када су \mathbf{H} и $d\mathbf{B}$ истог знака, густина енергије $\mathbf{H}d\mathbf{B}$ је позитивна, односно средина која се магнетише апсорбује енергију ИМП. У случају да су \mathbf{H} и $d\mathbf{B}$ различитог знака, средина која је намагнетисана ослобађа енергију. То практично значи да се расед између две тектонске плоче понаша као магнетни акумулатор енергије. Из овога можемо закључити да што је производ \mathbf{B} и апсолутне вредности $|\mathbf{H}|$ већи за посматрану средину, то је земљотрес снажнији (Stevančević, 2011).

Претпоставимо да на расед између две тектонске плоче дејствује једна од компоненти ИМП која је нормална на линију раседа. О могућности да високоенергетске честице допиру до тла писали су и Palamara, Bryant (2004) истичући да је кључно питање како се Соларна/геомагнетна

активност спаја у доњем делу атмосфере. Према мишљењу Gomes et al, (2009) тај процес се одвија на два начина: риконекцијом (у поларним областима) и продором честица СВ у областима најслабијег геомагнетног поља, тј. геомагнетних аномалија. Један од основних услова је смањена облачност, односно смањена влага у зони пропације, која делује апсорбујуће на високоенергетске честице. Након отварања струјног поља, услед трења са све гушћим слојевима атмосфере, расипање протона се одвија лево, а електрона десно (ск. 4) у односу на главни правац продирања СВ (Radovanović, 2010). Јачина поља H и магнетска индукција B у тектонским плочама које се магнетишу имају супротне смерове. У раседу H и B имају исте смерове.



Скица 4. Шематски приказ намагнетисања тектонских плоча високоенергетским честицама СВ

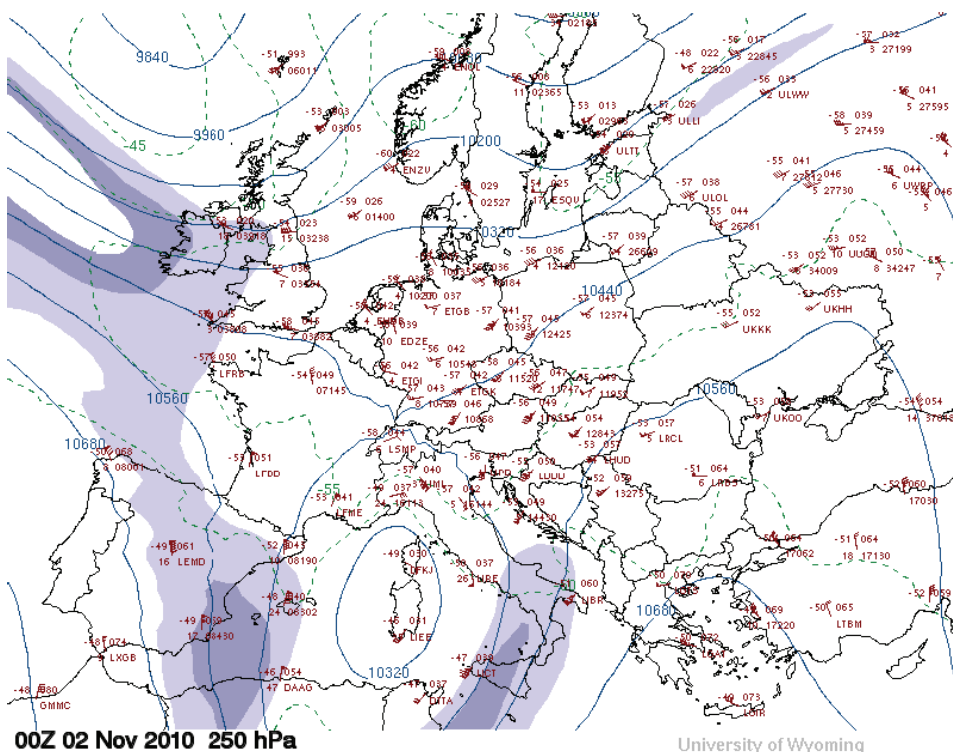
На претходној скици струјно поље је означено као Jet Stream због тога што се у досадашњим анализама показало да сателитски снимци на висинама од 250 mb најчешће адекватно одсликавају процес хидродинамичког захватања ваздушних маса. Хелиоцентрична хипотеза о настанку земљотреса полази од претпоставке да је у првој фази неопходан прилив протона и електрона на одређене литосферске (тектонске) средине, између којих се налази расед. Намагнетисање средине практично може имати неограничен временски рок, због тога што у једном тренутку долази до zasiћења енергијом (тачка А на ск. 3). Када престане деловање ИМП,

јавиће се тзв. тиха разградња, односно тада долази до постепеног отпуштања енергије тј. размагнетисања. Са аспекта теорије, процес одавања енергије најчешће прате два карактеристична сценарија. Први се односи на постепену разградњу до тачке Нс, када се појављује окидни импулс. Временски период који обухвата размагнетисање од тачке А до тачке Нс зависи тада искључиво од геолошких одлика локалне средине. Произилази да уколико је индукција енергије била релативно слаба, при таквим условима и земљотрес мора бити слаб. У другом случају, постоје поново два различита процеса. Први се односи на нов прилив ИМП. У зависности од његових особина зависи да ли ће доћи до земљотреса или не. У одређеним случајевима може се десити нпр. поновно враћање енергије од тачке Вг према тачки А. У таквим условима локална средина опет може досегнути вредности максималног намагнетисања. Насупрот томе, карактеристике ИМП могу бити такве да процес размагнетисања убрзају, тј. да нпр. од тачке Вг размагнетисање нагло спусте до вредности Нс.

На основу анализе стотинак јаких земљотреса који су се десили током 2010. и почетком 2011. године, прелиминарни резултати указују да у самом раседу, приликом појаве земљотреса, магнетни флуks може имати пресудну улогу. Okubo et al, (2011) такође истичу неопходност бољег познавања промена у магнетном пољу изазваних током земљотреса.

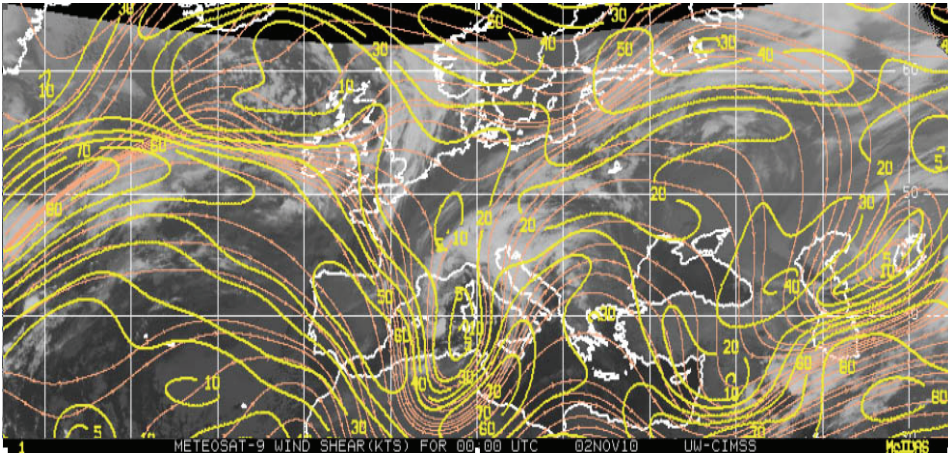
У случају земљотреса код Краљева, један дан раније запажено је кретање ваздушних маса из правца југ-југозапад ка Балканском полуострву (ск. 5). Дакле, према споменутој хелиоцентричној хипотези, током претходних дана било је неопходно да се северно и јужно од реке Западна Морава у тло индукују протони и електрони. Ова река се пружа у правцу запад-исток и протиче кроз Краљево. На ск. 5, сада можемо видети да је кретање струјног поља на 250 mV површини усмерено према централном Балкану. Самим тим задовољен је критеријум да је једна од компоненти СВ усмерена под приближно правим углом на правац пружања раседа.

Астрофизичка анализа земљотреса код Краљева (Србија) 03. новембра 2010. године



Ск. 5. Струјно поље над западном Европом један дан пре појаве земљотреса код Краљева (<http://weather.uwyo.edu/upperair/uamap.html>)

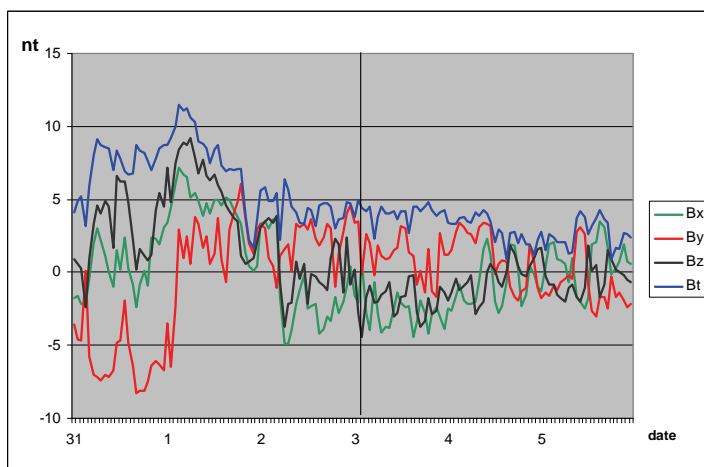
Да се ради о продирању високоенергетских честица не само по хоризонтали, већ и по вертикали, указује ск 6. На основу овог снимка, можемо видети да је брзина кретања ваздушних маса ка централном Балкану достигала 70 чворова (приближно 35 m/s). У овом тренутку нећемо залазити у материју која се односи на повезаност између процеса на Сунцу и хидродинамичког захватања ваздушних маса (Stevančević, 2004). Већ је било речи у уводном делу да бројни аутори, применом различитих метода, долазе до закључака да се управо то догађа и то од зоналне циркулације до најјачих облика циклоналних кретања.



Ск. 6. Географска расподела средње брзине ветра 150-300mb ниво минус 700-925mb ниво над Европом 02. новембра 2010. године (<http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/windgridmain.php?&basin=europe&sat=wm7>)

Сагледавајући расподелу брзине ветра на претходном снимку, може се видети да млаз који се доводи у везу са земљотресом у Србији представља саставни део расподеле брзине ветра над ширим подручјем, који се у виду таласа пружа преко средњег и источног Атлантика, лучно савија према југу, тј Средоземљу, а потом поново у виду таласа скреће ка североистоку.

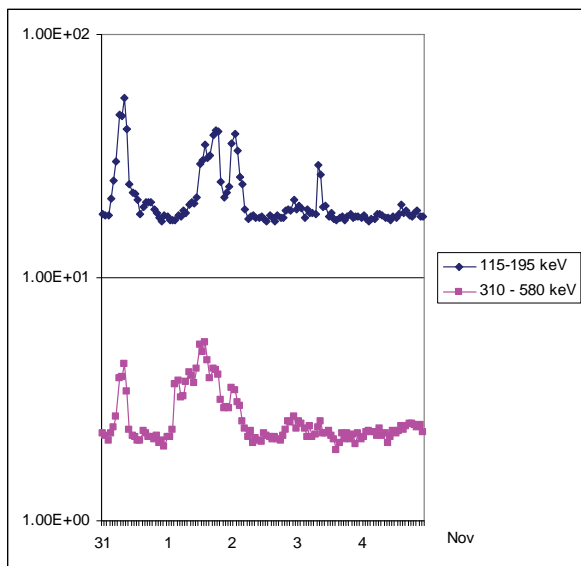
Један од основних сегмената хелиоцентричног модела настанка земљотреса представља анализа x , y , и z компоненти СВ. Колико нам је познато, оне се сада по први пут уводе у научно сагледавање генезе потреса. За разлику од Когерапов et al, (2009) који у фокус истраживања стављају проблематику „одоздо“, на релацији литосфера-атмосфера-јоносфера-магнетосфера, у овом моделу могло би се рећи да су кључни параметри постављени обрнуто. Односно, генеза земљотреса се посматра као последица прилива и трансформације енергије која долази „одозго“. На основу табеле средњих часовних вредности ИМП нацртан је дијаграм (ск. 7).



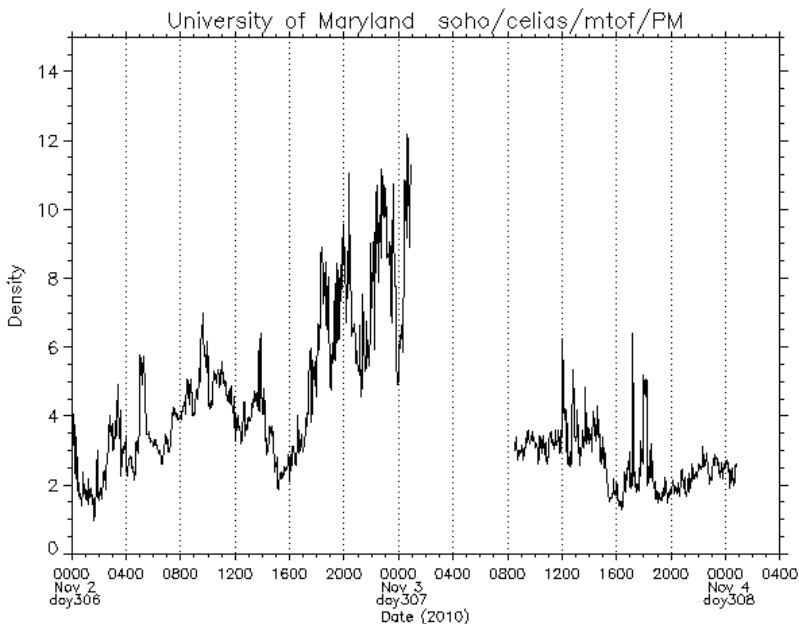
Скица 7. Компоненте СВ неколико дана пре и после појаве земљотреса код Краљева (http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/lists/ace2/201011_ace_mag_1h.txt)

Анализом компоненти СВ може се видети да је током 31. октобра дошло до њиховог максималног „распрезања“. Ради се заправо о периоду најинтензивнијег регионалног намагнетисања литосфере. Да се заиста тог дана десио прилив енергије показује и ск. 8. Графикон је добијен на сличан начин, као и за претходну скицу, преузимањем табеларних података средњих часовних вредности диференцијалног флукса протона.

Тренутак појаве земљотреса (на ск. 7. приказан вертикалном линијом) поклапа се са променом смера V_x у односу на V_z компоненту. У време највећег распрезања, ове две компоненте су имале исти смер кретања. Непосредно пре промене смера њиховог кретања десио се земљотрес. На ск. 9. се може запазити да је густина честица СВ од поноћи (по UTC) 03. новембра 2010. године нагло порасла, достижући максимум у релативно кратком временском интервалу. Једноставно, тешко је игнорисати чињеницу да се управо тренутак максималне густине честица СВ појавио у тренутку или непосредно пре појаве подрхтавања тла код Краљева.

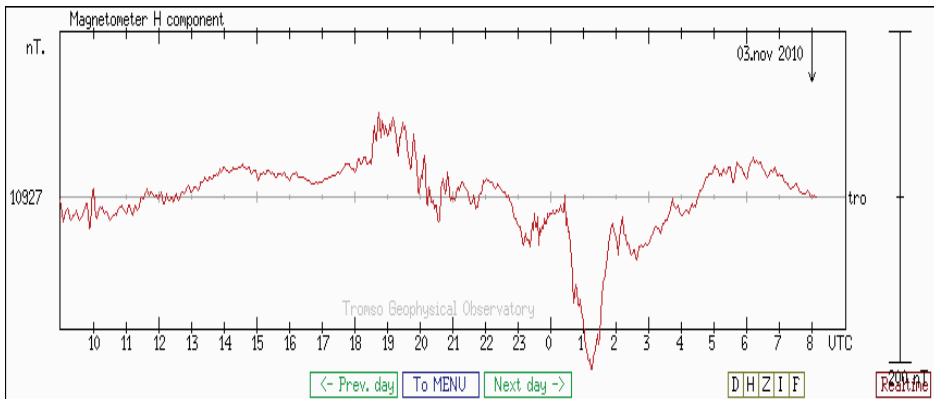


Ск. 8. Пристизање електричне струје ка Земљи у опсегу 115-195 и 310-580 keV крајем октобра и почетком новембра 2010. године (http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/lists/ace2/201010_ace_epam_1h.txt)



Скица 9. Густина честица СВ један дан пре, у дану појаве и један дан после земљотреса у Краљеву (<http://umtof.umd.edu/pm>)

Произилази да је земљотрес код Краљева требало заправо да се деси крајем 04. или почетком 05. новембра 2010. године када би дошло до „сабијања“ компоненти СВ. Односно тада би се постепеним размагнетисањем вредности x , y и z компоненти међусобно приближиле до критичног нивоа. Према приказаном моделу на ск. 3, тада се могло очекивати достизање коерцитивне силе H_c . Међутим, као што се може видети на ск. 9, у међувремену је дошло до наглог прилива ИМП (ск. 5 и 6), које је нагло убрзало довођење магнетске индукције \mathbf{B} на вредност коерцитивне силе, односно појаве земљотреса, чиме се заправо убрзао процес појаве окидног импулса.



Скица 10. Н компонента геомагнетног поља крајем 02. и почетком 03. новембра 2010. године (<http://flux.phys.uit.no/stackplot/>)

Пратећи даље овакав начин размишљања, било би релано очекивати да је геомагнетна активност морала „одреаговати“ на енергетски импулс који долази споља. Претходна скица показује да је између 01:00 и 02:00 h 03. новембра дошло до наглог пада Н компоненте геомагнетног поља. Тиме долазимо до још једног показатеља који говори у прилог приказане хипотезе.

Уколико су изложена разматрања коректна, произилази да изостанак накнадног прилива ИМП заправо не би довео до појаве тако снажног земљотреса. Другим речима, постепено размагнетисање, које би требало да резултује земљотресом 04/05. новембра 2010. године, вероватно не би изазвало тако јак земљотрес, као што је то био случај два дана раније. Могло би се рећи да уколико би до потреса уопште дошло, вероватно би се радило о слабијем подрхтавању без тако тешких последица по локално становништво.

Закључак

Изложени резултати могу представљати основу за хелиоцентричну хипотезу о генези земљотреса. Основа о којој је реч за циљ би требало да има стварање прогностичког модела. Међутим, разрађивањем оваквог приступа отварају се бројна нова питања међу којима треба истаћи:

- на који начин, кроз изложени приступ, се могу посматрати хипоцентри лоцирани на дубинама од више стотина километара,
- у каквом су међусобном односу релативно слаба подрхтавања тла након снажних земљотреса,
- да ли се према предложеном моделу могу објаснити географске закономерности локација земљотреса који су се десили истог дана на различитим деловима наше планете,
- уколико је наведени приступ оправдан, у каквој је функцији појава снажних земљотреса у односу на Сунчев циклус,
- имајући у виду начелну разлику између Космичког и Сунчевог зрачења, да ли појава земљотреса може бити изазвана енергијама пореклом изван Сунчевог система.

У овом тренутку, чини се да разрада добијених резултата захтева мултидисциплинарно истраживање, као и анализу већег броја снажних земљотреса. Њихова систематизација на бази хелиоцентричног приступа може пружити основу за одговоре на постављена питања, као и нов приступ за израду прогностичких модела.

Acknowledgement: Добијени резултати представљају део пројекта III47007 који финансира Министарство Просвете и науке Републике Србије

Литература

- Athanasίου M.A, Anagnostopoulos G.C, Pliopoulos A.C, Pavlos G.P, David C.N. (2011): Enhanced ULF radiation observed by DEMETER two months around the strong 2010 Haiti earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 1091–1098, doi:10.5194/nhess-11-1091-2011.
- Gabis I.P, Troshichev O.A. (2000): Influence of short-term changes in solar activity on baric field perturbations in the stratosphere and troposphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 62, pp. 725-735.
- Gomes J.F.P, Radovanovic M. (2008): Solar activity as a possible cause of large forest fires - a case study: Analysis of the Portuguese forest fires. *Science of the total environment*, Volume 394, Number 1, pp. 197 – 205, doi:10.1016/j.scitotenv.2008.01.040, ISSN 0048-9697.

- Gomes J.F.P, Radovanovic M, Ducic V, Milenkovic M, Stevancevic M. (2009): Wildfire in Deliblatska Pescara (Serbia) – Case Analysis on July 24th 2007. In the book: Forest Fires: Detection, Suppression and Prevention (Chapter 3). Nova Science Publishers, New York, pp. 89-140.
- Hasbi A.M, Mohd Ali M.A, Misran N. (2011): Ionospheric variations before some large earthquakes over Sumatra. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 597–611, doi:10.5194/nhess-11-597-2011.
- Hattori K. (2004): ULF Geomagnetic Changes Associated with Large Earthquakes. *TAO*, Vol. 15, No. 3, pp. 329-360.
- Korepanov V, Hayakawa M, Yampolski Y, Lizunov G. (2009): AGW as a seismo-ionospheric coupling responsible agent. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, pp. 485–495, doi:10.1016/j.pce.2008.07.014.
- Mukherjee S, Kortvelyessy L. (2006): Starstorm influence on earth leads tsunami and earthquakes. In *Earthquake Prediction*, Brill, Leiden-Boston, pp. 69-76.
- Mukherjee S. (2008): Cosmic Influence on the Sun-Earth Environment. *Sensors*, 8, pp. 7736-7752; DOI: 10.3390/s8127736.
- Mukherjee S, Radovanović M: (2011): Influence of the Sun in the Genesis of Tornadoes. *The IUP Journal of Earth Sciences*, Vol. 5, No. 1, pp. 7-21.
- Nikolić J, Radovanović M, Milijašević D. (2010). An Astrophysical Analysis of Weather Based on the Solar Wind Parameters. *Nuclear Technology & Radiation Protection*: Vol. 25, No. 3, pp. 171-178. DOI: 10.2298/NTRP1003171N.
- Odintsov S, Boyarchuk K, Georgieva K, Kirov B, Atanasov D. (2006): Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, pp. 88–93, doi:10.1016/j.pce.2005.03.004.
- Okubo K, Takeuchi N, Utsugi M, Yumoto K, Sasai Y. (2011): Direct magnetic signals from earthquake rupturing: Iwate-Miyagi earthquake of M 7.2, Japan. *Earth and Planetary Science Letters* 305, pp. 65–72, doi:10.1016/j.epsl.2011.02.042.
- Palamara R.D, Bryant A.E. (2004): Geomagnetic activity forcing of the Northern Annular Mode via the stratosphere. *Annales Geophysicae*, 22, pp. 725-731.
- Radovanović M, Stevančević M, Štrbac D. (2003): A Contribution to the Study of the Influence of the Energy of Solar Wind upon the Atmospheric Processes. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić” SASA, Belgrade*, pp. 1–18.
- Radovanović M. (2010): Forest fires in Europe from July 22nd to 25th 2009. *Archives of Biological Sciences*, vol. 62, issue 2, Belgrade, pp. 419-424, DOI:10.2298/ABS1002419R.

- Silva H.G, Bezzeghoud M, Reis A.H, Rosa R.N, Tlemcani M, Araujo A.A, Serrano C, Borges J.F, Caldeira B, Biagi P.F. (2011): Atmospheric electrical field decrease during the M = 4.1 Sousel earthquake (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 987–991, doi:10.5194/nhess-11-987-2011.
- Simpson J.F. (1967-1968): Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 3, pp. 417-425, doi:10.1016/0012-821X(67)90071-4.
- Singh O.P, Chauhan V, Singh V, Singh B. (2009): Anomalous variation in total electron content (TEC) associated with earthquakes in India during September 2006–November 2007. *Physics and Chemistry of the Earth* 34, pp. 479–484, doi:10.1016/j.pce.2008.07.012.
- Stevančević M. (2004): *Secrets of the Solar Wind (Tajne Sunčevog vetra – in serbian)*. Edition of the author, pp. 1-160, Belgrade.
- Stevančević M. (2011): *Theoretic Elements of Helocentric Electromagnetic Seismology*. Belgrade School of Meteorology, vol. IV, pp.79-310, Edition of the authors, Belgrade.
- Weiyu M, Xiudeng X, Baohua X, Hangcai Z. (2006): Abnormal temperature increase and astro-tidal triggering in the tsunami earthquake in Indonesia magnitude 9.0. In *Earthquake Prediction*, Brill, Leiden-Boston, pp. 61-68.
- Yonaiguchi N, Ida Y, Hayakawa M. (2007): On the statistical correlation of over-horizon VHF signals with meteorological radio ducting and seismicity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, pp. 661–674, doi:10.1016/j.jastp.2007.01.007.