

Analysis of Quality Forecasts from Physical Representation of Geomagnetic Dst Index

Alexander Z. Bochev, Yordan K. Tassev

Institute for Space Research and Technology,
Bulgarian Academy of Sciences,
Acad. G. Bonchev Str., Bl. 1, 1113 Sofia, Bulgaria

Abstract. A representation of geomagnetic storms is performed by using a physical method (O'Brien, J.P., Mc Pherron, 1999; Burton, E. K., et al., 1975). The input data for solar wind are separate intervals for 2013-2014 plus one interval for 2011 – total of 15 intervals, each of them with length of four consecutive days containing at least one geomagnetic storm. Cases with successful representation as well as cases with significant difference between Dst-real and Dst-theoretical (Dst-th) are analyzed. On this base an attempt is made to classify the events.

1 Въведение

В ИКИТ-БАН се прави прогноза на слънчевата и геомагнитната активност (сайт: <http://space.bas.bg/SpaceWeather/index.html>). Прогнозът се основава предимно на индексите Kp и Ap . Друга важна характеристика на геомагнитната активност е Dst -индексът, изразяващ се директно в магнитни единици. Главният източникът на тази вариация е кръговият ток (RC), който е тороидален ток и протича в едноименната област на магнитосферата между 2 и 10 земни радиуса. Физическите носители на този източник са енергийни йони, най-вече протони с енергии от 20 до 200 keV. RC е диамагнетик – ефектът му води до отслабване на главното магнитно поле на Земята. По време на геомагнитна буря RC е основното смущение на средни ширини. България се намира на средни ширини и ето защо представянето (апроксимацията) на Dst -индекса като функция на параметрите на междупланетната среда и респективно прогнозирането му са важни за нашата страна. Още първите изследователи разглеждат Dst като сума от два източника: кръгов ток и токове по магнитопаузата [Siscoe et al., 1968; Ogilvie et al., 1968; Burton, E.K., et al., 1975 и други]. В последно време към сумата се добавя още един източник – токовете в опашката на магнитосферата. Формирането на кръговия ток (RC) се разглежда като процес на

приток (инженция) на енергия в магнитосферата и едновременно възникващи процеси на загуба на енергия: зарядообменни реакции (charge exchange) и други процеси. В съответствие с тях се дефинира магнитното поле върху земната повърхност създадено от “чистия” кръгов ток, т.е. токът с отстранен принос от токовете по магнитопаузата $Dst^* = Dst - b(Pd)^{1/2} + c$, където вторият член от дясно е полето от токовете по магнитопаузата, Pd – динамичното налягане, b и c се разглеждат като константи при спокойни условия; вторият член $b(Pd)^{1/2}$ представлява компресията на земното магнитно поле в резултат на динамичното налягане на слънчевия вятър. От тази постановка се стига да следното диференциално уравнение за изменението на RC: $d/dt(Dst^*) = F(E) - a Dst^*$, където E е междупланетното електрическо поле $E = v -$ скорост на слънчевия вятър, v – междупланетно магнитно поле, ρ – плътност на слънчевия вятър (са съответно маса и концентрация на протоните), $F(E)$ – функция на инжекция (енергизация) на кръговия ток, която се използва в упростен вид $F(E) = d(E_y)$, E_y – компонентата изгрев-залез, и d се приемат за константи. Методът е модифициран неколкократно с цел по-добра корелация между реалното и пресметнатото Dst [Murayama, T., 1982; Fenrich, F. R., and J. G. Luhmann, 1998; Feldstain Y.I and et al., 1992; O’Brien, T.P., R.C. McPherron, 1999]. В сегашната ни работа ние се възползвахме от последната модификация [O’Brien, T.P., R.C. McPherron, 1999], където коефициентът е динамичен параметър.

2 Формулировка на задачата

Задачата в настоящето изследване е свръх-краткосрочен прогноз на Dst -индекса, използвайки модификация на физическия метод [Burton, E.K., et al., 1975; O’Brien, T.P., R.C. McPherron, 1999] за съвременни епохи при различни условия на слънчевия вятър и интензитет на междупланетното магнитно поле (B_{imf}) и да покажем съответните закономерности и особености както и недостатъци при синтеза на Dst вариациите.

3 Входни данни и анализ

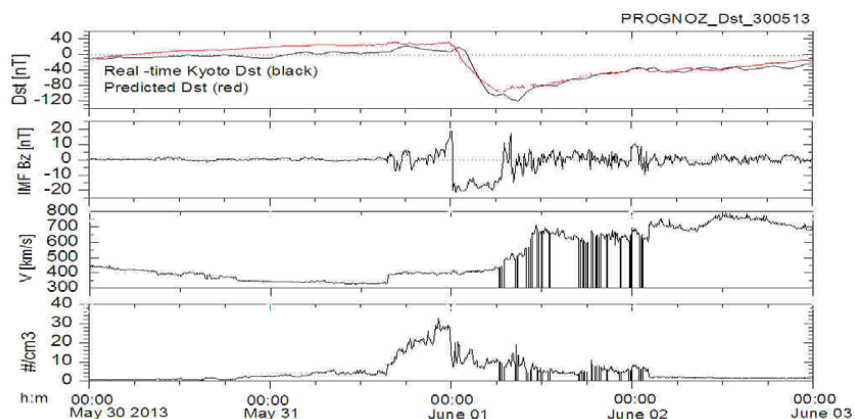
За йонната концентрация n_i скоростта на плазмения поток v и IMF в сегашното изследване използвахме данни от космическата мисия ACE (Advanced Composition Experiment: Solar wind experiment – D.J. McComas; Magnetic field investigation – N. Ness), дадени във вид на дискретни стойности (5 min key parameters) с времево разрешение 5 min (cdaweb.gsfc.nasa.gov). За периода 2012–2014 бяха включени в анализа и съответно илюстрирани всички станали събития. Този период разделихме на отделни отрязъци от данни – общо 15 на брой (в

Analysis of Quality Forecasts from Physical Representation of

това чило и един особен случай от 24 окт. 2011). Всеки от отрязъците е с продължителност 4 последователни денонощия (или 1152 кадри) и съдържа поне една магнитна буря (общият брой на магнитните бури, заедно с по-значителните аномалии в Dst , предхождащи или следващи непосредствено главната магнитна буря, са 17 на брой. Данни за Dst -реално са взимани от Геомагнитния център Киото, Япония <http://wdc.kugi.kyoto.u.ac.jp/Dst>. Диференциалното уравнение се решава числено по метода на Адамар. При обработката на поредния отрязък като начална стойност на Dst -пресметнатото е използвана само първата стойност на Dst -реално от отрязъка; останалите Dst -реално служат само за сравнение с Dst -пресметнатото. Резултатите от синтеза на Dst -индекса са представени във вид на сумарни графици. На този начален етап заедно с Dst -реално и Dst -пресметнатото диаграмите съдържат и входните данни n_i , v , B_z IMF за всички анализирани случаи. Пресмятанията са извършени на Персонален Компютър(ПК) по съставена от нас програма под ORIGIN.

4 Анализирани случаите с приемливо представяне на Dst -индекса, всичко 11 магнитни бури (показани 3)

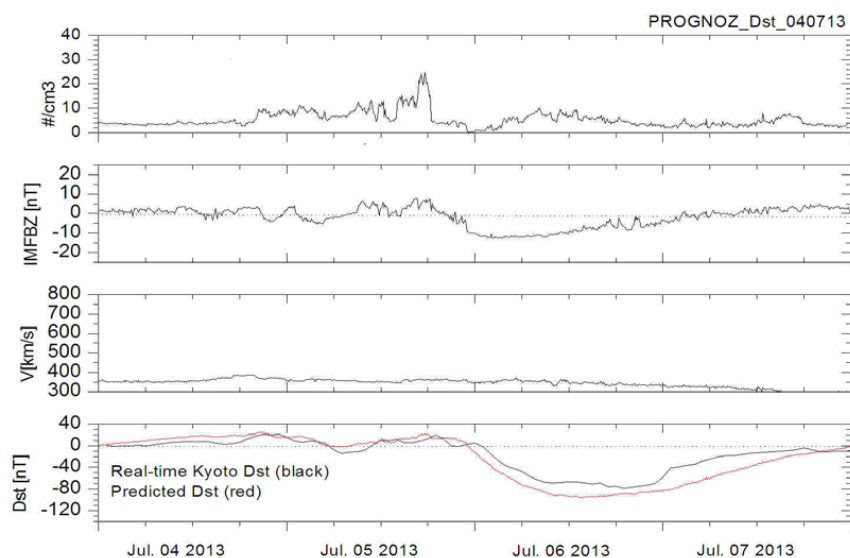
30 май – 2 юни 2013 г. (Фигура 1) Примерът демонстрира сполучливо апроксимиране на Dst -индекса за силна магнитна буря.



Фиг. 1

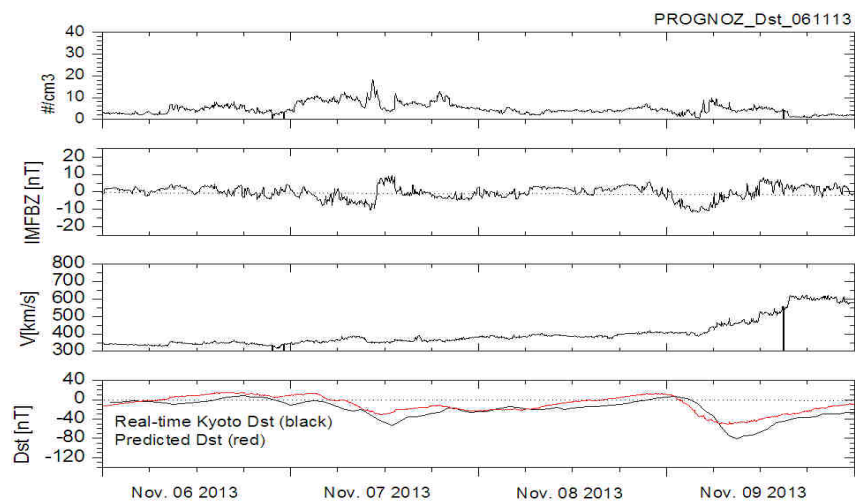
4–7 юли 2013 (Фигура 2) Магнитната буря от 6 юли е средна по интензивност ($Dst = -80$ nT). В областта на минимума Dst -пресметнатото = -95 nT. По-големи разлики в Dst се виждат в началото на възстановителната фаза.

Alexander Z. Bochev, Yordan K. Tassev



Фиг. 2

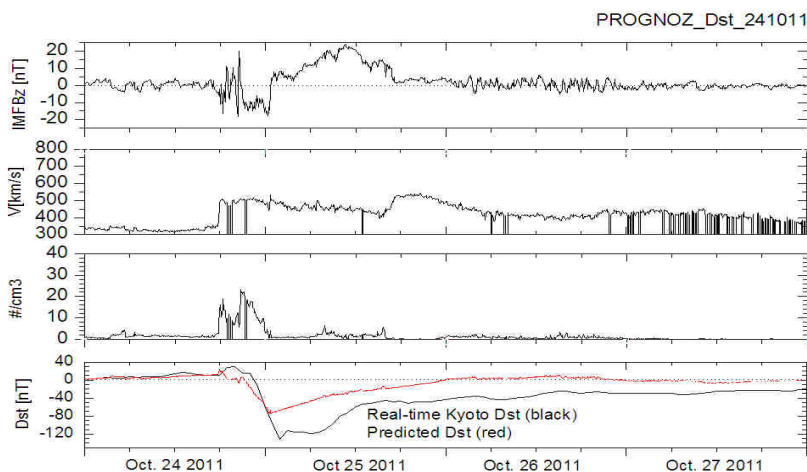
6–9 ноември 2013 (Фигура 3) На фигурата се виждат две събития: слаба магнитна аномалия на 7 ноември ($Dst = -50$ nT) и средна буря на 9 ноември ($Dst = -80$ nT). Пресметнатото Dst и за двата подслучая е по-малко от наблюдаваното Dst -пресметнато = -20 и -40 nT съответно. Отклоненията са в границите на допустимото.



Фиг. 3

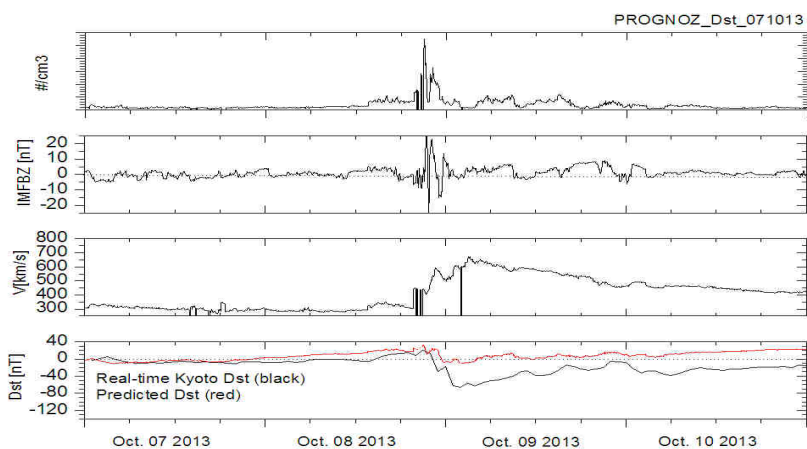
5 Подценяване на апроксимираното Dst, общо 4 случая (показани 2)

24–27 октомври 2011 г. (Фигура 4) Илюстрирана е **силна магнитна буря**. Същата е асоциирана със слънчево избухване и подобно на СМЕ явление с малки размери и поради това световните центрове за прогноза предсказваха слаба магнитна буря. Изненадващо настъпва силна магнитна буря.



Фиг. 4

07–10 октомври 2013 (Фигура 5) В почти спокойния период преди началото на магнитната буря има забележително съответствие меж-

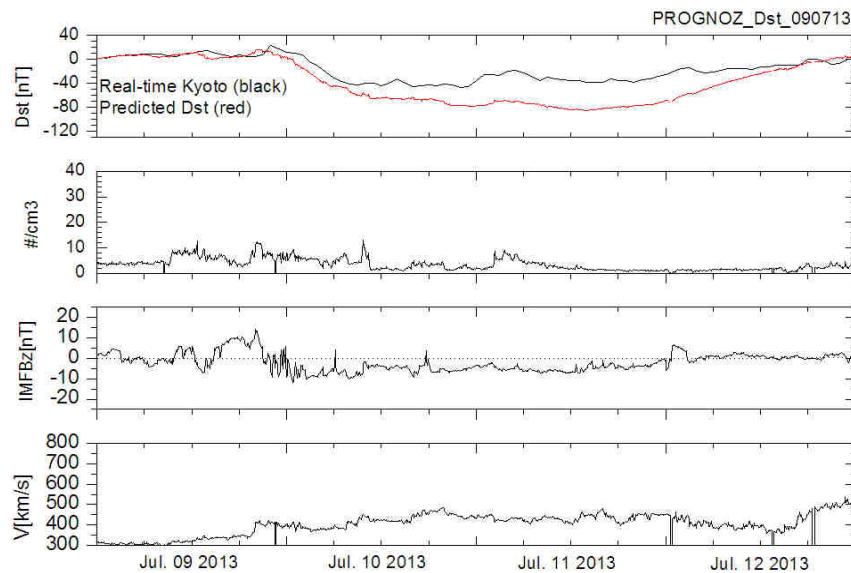


Фиг. 5

ду Dst -реално и Dst -пресметнато. В случая подценяването на Dst -реално ($= -70$ nT) е едно от най-значителните.

6 Надценяване на апроксимираното Dst , общо 2 магнитни бури

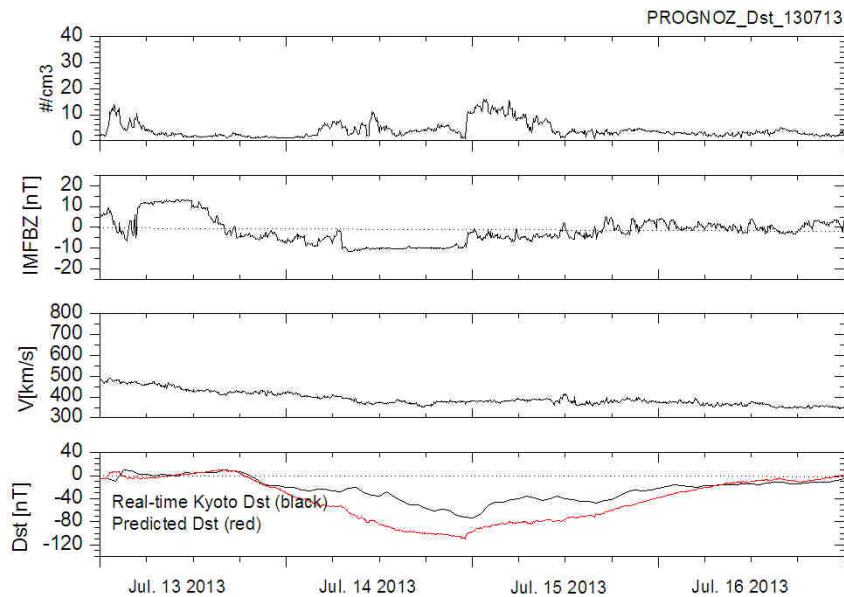
9–16 юли 2013 г. (Фигура 6) На първата диаграми, юли 09 – 12, илюстрираме случай на слаба магнитна буря, но с голяма продължителност - 2 денонощия. От 00 UT на 10 юли магнитосферата е под въздействието на МО с B_z IMF = $-7 - 5$ nT, което остава такова продължително време – две денонощия. Възниква слаба магнитна буря, която се отличава с широк екстремум, Dst -реално = -40 nT. Примерът представлява един фрапиращ случай на значително “провисване” на Dst -пресметнато = -80 nT. Поради голямата продължителност на такова голямо отклонение (спрямо Dst -реално) поставяме случая в тази категория.



Фиг. 6

Втората диаграма 13–16 юли 2013 г. (Фигура 7) е непосредствено продължение на първата и представлява подобна картина. Отново магнитосферата е под продължителното въздействие на МО с B_z IMF = $-7 - 5$ nT в началото, като по-нататък се оформя едно широко стъпало с B_z IMF = -10 nT, следвано от бавно отслабване на B_z IMF. Магнитната буря е умерена, отличава се с широк екстремум, Dst -реално = -70 nT. Също случай на “провисване”, Dst -

Analysis of Quality Forecasts from Physical Representation of



Фиг. 7

пресметнато = -100 nT. Поради голямата продължителност на отклонението (спрямо Dst -реално) поставяме случая в тази категория.

7 Изводи

При случаите с добра апроксимация е характерно, че структурите на B_z IMF < 0 са едромасабни: продължителността на отделните структури на компонентата е от няколко часа до едно денонощие, а интензивността им обикновено е висока B_z IMF = -10 nT. Такъв тип явленията запазват основните си характеристики от точката на наблюдението L1 до достигане на магнитосферата на Земята (Paularena, K. I., et al., 1997).

Случаите на подценяване обясняваме с преждевременно прекратяване на притока на енергия (електрическото поле). За случаите е характерно, че при въртенето на B_z IMF от южно към северно, когато стане B_z IMF = 0, електрическото поле става нула $E_y = 0$ и процесът на енергизация се прекратява според заложената формулировка. Задейства се функцията на възстановяването. Оформя се един плитък островърх минимум на Dst -пресметнато. Наблюдаваният минимум на Dst е плосък с продължителност около 6 часа и показва по-интензивна магнитна буря. Изводът е, че при поява на такива особености на B_z в IMF трябва да очакваме, че Dst -пресметнато ще

бъде с около 40 nT по-слабо, отколкото *Dst*-реално. Ние сме изненадани, че групата случаи “*Dst*-пресметнато по-слабо от *Dst*-реално” е доста голяма.

Случаите на надценяване срещнахме при слабо южно насочено поле B_z IMF = -5 nT, което има дълга продължителност (около две денонощия). При това електричното поле насочено от изгрев към залез е положително и съответно функцията на енергизация добавя нови порции енергия, особено когато има кратковремени слаби структури с южно B_z в IMF, които правят *Dst*-пресметнато все отрицателно.

8 Заключение

Изследването показва, че в повечето от половината случаи (около 61%) апроксимацията на *Dst*-индекса може да се приеме за добра. В 22% от случаите методът подценява *Dst*-индекса. В 17% от случаите се получава надценяване на представянето, т.е. 40% от случаите са със сравнително лоша апроксимация на *Dst*-индекса и е необходимо подобрение на заложените физически закономерности и процеси.

Литература

- Aguado, J., et. al., Hyperbolic decay of the Dst index during the recovery phase of intense geomagnetic storms. J. Geophys. Res., vol. 115, A07220, doi:10.1029/2009JA014658, 2010
- Бобров, М. С., Вариации поля кольцевого тока во время нахождения земли в высокоскоростном солнечном ветре. Геом. Аэр., том 21, № 6, 1981.
- Burton, R.K., R.L. McPerron, C.T. Russell, An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst, J. Geophys. Res., 80, No 31, 4202-4214, 1975.
- Feldstein, Y.I., et al., Ring current simulation in connection with interplanetary space conditions. Planet. Space Sci., 975-984, 1984.
- Fenrich, F.R., J.G. Luhmann, Geomagnetic response to magnetic clouds of different polarity. Geophys. Res. Lett., vol. 25, 2999-3002, 1998.
- Murayama, T., Coupling function between solar wind parameters and geomagnetic indices. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 623-629, 1982.
- O'Brien, T.P., R.L. McPherron, An empirical phase-space analysis of ring current Dynamics: solar wind control of injection and decay. J. Geophys. Res. (in press) 1999?
- Patra, S., E. Spencer, W. Norton, Sojka, Study of Dst/ ring current recovery times using the WINDMI model. J. Geophys. Res., 116, A02212, doi: 10.1029/2010JA015824.

Analysis of Quality Forecasts from Physical Representation of

- Spencer, E., P. Kasturi, S. Patra et al., Influence of solar wind-magnetosphere coupling functions on Dst index. J. Geophys. Res., 116, A12235, doi:10.1029/2011JA016780, 2011.
- Temerin, M., Xinlin Li, Dst model for 1995-2002. J. Geophys. Res., 111, No A4, A0422110.1029/2005JA011257, 2006
- Turner, N.E., D.N. Baker, T.I. Pulkkinen, R.L. McPerron, Evaluation of the tail current contribution to Dst. J. Geophys. Res., 105, No A3, pg. 5431-5439, 2000.
- Иванова, П., К., Н. Г. Клейменова, Максимальное значение Dst в главную фазу больших магнитных бурь и параметры ММП. Геом. Аэр., т. 34, 4, 67-72, 1994.