

Geoeфекtivnost' vybraných slnečných energetických eventov modelovaná s využitím umelej neurónovej siete

Fridrich Valach¹, Josef Bochníček², Pavel Hejda²

¹Geomagnetické observatórium GFÚ SAV, Hurbanovo

²Geofyzikální ústav AV ČR, Praha

Výskumy slnečných energetických eventov v rokoch 1996-2004 ukazujú, že miera ich geoeфекtivnosti závisí na ich mohutnosti, a tiež na mieste ich výskytu na slnečnom disku. V práci sa zaoberáme analýzou geoeфекtivnosti rentgenových erupcií doprevádzaných rádiovým vzplanutím typu II a IV. Použili sme umelú neurónovú sieť na vytvorenie modelu, ktorý pre erupcie určuje pravdepodobnosť, s akou po erupcii nasleduje geomagnetická odozva. Do úvahy sme brali polohu erupcie na slnečnom disku, triedu erupcie a typ rádiového vzplanutia.

Geoeffectivness of selected solar energetic events modelled using artificial neural network

Investigation of solar energetic events in 1996-2004 shows that the degree of their geoeffectivness depends both on their size and their solar disc location. In the paper we deal with the analysis of the geoeffectivness of X-ray flares accompanied with RSP II and IV. In order to create the model which determines the probability of that a flare is followed by a geomagnetic response, an artificial neural network is employed. The solar disc location of the flare, its size and the type of RSP is taken into consideration.

ÚVOD

Jednou z uznávaných príčin vysokej geomagnetickej aktivity sú prudké výrony slnečnej hmoty, nazývané koronálnymi tranzientmi (angl. CME - Coronal Mass Ejection). Pôvod a vlastnosti koronálnych tranzientov doposiaľ nie sú celkom pochopené (Cliver, Hudson, 2002). Autori práce (Bochníček a kol., 2005) vykonali analýzu jednotlivých energetických slnečných eventov a ich geomagnetických odoziev. Dôležitým zistením ktoré sa dá využiť k predpovedi geomagnetických porúch, je poznatok o rentgenových erupciách doprevádzaných rádiovým vzplanutím typu II a IV (XRA & RSP II/IV). Ak sa tieto vyskytnú na slnečnom disku v oblasti (30°E - 30°W; 30°S - 30°N), bývajú geoeфекtivnými, a to v prípade erupcií triedy X, M, dokonca aj B až C. Pre tento druh erupcií sa dá odhadnúť aj miera geoeфекtivity jednotlivých tried (Bochníček a kol., 2005). Výskyt rádiového vzplanutia kombinovaného typu II-IV sa aj v starších zdrojoch (napr. Piddington, 1969) uvádza ako najznámejší indikátor geomagnetickej búrky zhruba 30-40 hodín pred začiatkom búrky. Predpoveď geomagnetickej aktivity, ktorú postavíme na

pozorovaní koronálnych tranzientov, by sme mohli nazvať "strednodobou" predpoveďou, na rozdiel od predpovedí, ktoré sa zakladajú na parametroch slnečného vetra, meraných družicami v blízkosti Zeme (napr. Boberg a kol., 2000; Valach a Prigancová in press) a sú prakticky predpovednými schémami v reálnom čase. (Z meraní družíc v libračnom bode L1 môžeme očakávanú búrku predpovedať len 30-60 minút vopred.) Srivastava (2005) sa pokúsil o strednodobú predpoveď geomagnetickej aktivity modelom, ktorý kombinoval slnečné vlastnosti geoeфекtivných koronálnych tranzientov (polohu na slnečnom disku, asociácie s erupciou alebo protuberanciou, asociáciu a tranzientovým halo, počiatočnú rýchlosť tranzientu) s parametrami slnečného vetra. Zaoberal sa len tými tranzientmi, ktoré sa ukázali byť geoeфекtivnými. Jeho predpovedná schéma mala tranzienty klasifikovať na tie, ktoré spôsobia superintenzívnu búrku ($Dst < -200$ nT) alebo "len" intenzívnu búrku ($-200 \text{ nT} < Dst < -100 \text{ nT}$). Intenzívne búrky sa mu podarilo klasifikovať dobre (V tréningovom súbore 97 % a vo validačnom súbore až 100 % úspešne kalsifikovaných intenzívnych búrok). Lenže pri klasifikovaní superintenzívnych búrok bola úspešnosť slabšia: 63 %-ná úspešnosť v tréningovom a len 50 % vo validačnom súbore.

Cieľom tejto práce bude využiť poznatok autorov Bochníček a kol. (2005) o geoeфекtivnosti XRA & RSP II/IV na navrhnutie schémy pre strednodobú predpoveď geomagnetickej aktivity. Bude sa skladať z dvoch krokov. V prvom kroku sa bude zisťovať, s akou pravdepodobnosťou je erupcia geoeфекtivná. V ďalšom sa potom pre geoeфекtívne erupcie určí, akú silnú geomagnetickú poruchu tranzient spôsobí (t. j. ak geomagnetická odozva bude, či bude silná).

MATERIÁL

V práci boli použité údaje z denných správ vydávaných NOAA, Space Environment Center Boulder, USA. Išlo o dáta, ktoré sa týkali rentgenových erupcií (XRA), pozorovaných v rokoch 1996 až 2004: heliografické šírky a heliografické dĺžky miesta, kde na slnečnom disku došlo k XRA, triedy erupcií (B až C, M, X), údaj o tom, či bola XRA doprevádzaná rádiovým vzplanutím typu II alebo IV.

Geoeфекtivity jednotlivých erupcií sme posudzovali podľa úrovne geomagnetickej odozvy vyjadrenej sledom geomagnetických indexov, rovnako ako to urobili autori Bochníček a kol. (2005). Porucha bola považovaná za silnú ("s"), ak v priebehu odozvy dosiahol index K_p aspoň 3-krát hodnotu 6. Pri strednej poruche ("m") dosiahol index K_p aspoň 3-krát hodnotu 5. Za slabú ("l") sme považovali poruchu vtedy, keď sa v priebehu odozvy aspoň raz vyskytlo K_p s hodnotou 5 a nasledovali aspoň dve hodnoty 4. V ostatných prípadoch bola odozva považovaná za bezvýznamnú.

METÓDA

Na nájdenie súvislosti medzi pravdepodobnosťou, že rentgenová erupcia bude geoeфекtivná, a vlastnosťami erupcie (poloha na slnečnom disku, trieda erupcie, typ

RSP) sme použili trojvrstvovú umelú neurónovú sieť (NS) s dopredným šírením (Gurney, 1996). (Za geoeфекtívnu považujeme erupciu, ktorá vyvolá odozvu "I" a viac.)

Slnčný disk sme rozdelili na políčka po 18 stupňoch (v heliografickej šírke aj dĺžke) a v jednotlivých políčkach sme vyčíslili pomer geoeфекtívnych XRA k celkovému počtu XRA v danom políčku. Stred každého políčka sme stotožnili s miestom, kde pravdepodobnosť, že tamojšia vzniknutá erupcia je geoeфекtívna, sa rovná vypočítanému pomeru.

To, že plochy políčok nie sú rovnako veľké, sme zohľadnili tým, že sme v procese tréningu neurónovej siete brali každú hodnotu s váhou, úmernou počtu erupcií, z ktorých boli hodnoty pomeru počítané.

(Zároveň musíme brať do úvahy aj fakt, že erupcie na okrajoch slnečného disku sú podľa (Bochniček a kol., 2005) zriedkavo geoeфекtívne.)

V druhom kroku, na klasifikovanie geoeфекtívnych XRA podľa toho, akú silnú geomagnetickú odozvu spôsobia, sme použili rovnaký typ neurónovej siete ako v prvom kroku. Vstupnými údajmi boli zase poloha erupcie na slnečnom disku, trieda erupcie a typ RSP. Výstup z neurónovej siete udáva, akú silnú geomagnetickú odozvu môžeme očakávať.

Pretože máme k dispozícii len obmedzené množstvo dát (napr. za skúmané obdobie bolo spolu len 93 geoeфекtívnych XRA), nerozdelili sme vzory na tréningové a validačné, čo je bežný prístup. Všetky údaje sme použili na tréning neurónovej siete. Optimálny počet skrytých neurónov sme potom odhadli tak, že je to hranica, za ktorou už ďalšie zvyšovanie počtu skrytých neurónov nemení podstatne výstupy z neurónovej siete. Počet skrytých neurónov odhadnutý v prvom kroku použijeme aj pre krok dva predpovedacej schémy.

Na tréning NS použijeme algoritmus BP, gradientovú metódu doplnenú tzv. zotrvačným členom (napr. Gurney, 1996). Výsledky by sa mohli mierne líšiť či už v závislosti na počiatocnom nástrele tzv. váh alebo na zvolených učiacich parametroch (rýchlosť učenia, zotrvačný člen). Preto sme pri každej úlohe trénovali deväť neurónových sietí a za výsledok sme brali medián z ich nezávislých deviatich výstupov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Optimálny počet neurónov v skrytej vrstve sme odhadli na päť. (Použitá architektúra siete je 4-5-1.)

Vyhodnotenie úspešnosti prvého kroku predpovedacej schémy, t. j. určenie toho, s akou pravdepodobnosťou bude rentgenová erupcia geoeфекtívna, je v tabuľkách 1 a 2. Vyhodnotenie je uskutočnené pre všetky XRA zo študovaného obdobia rokov 1996 až 2004. V predpovedi sme XRA prehlásili za geoeфекtívnu, keď výstup z NS dosiahol aspoň 0.5 (t. j. pravdepodobnosť výskytu odozvy ja aspoň 50 %).

Podľa očakávania vidíme, že s narastajúcou mohutnosťou rentgenovej erupcie sa zlepšuje úspešnosť predpovede výskytu geomagnetickej odozvy. Zároveň vidíme že prítomnosť rádiového vzplanutia typu IV (či už v kombinácii s typom II alebo

bez neho) výrazne zlepšuje úspešnosť predpovede v prvom kroku predpovedacej schémy.

Pre zvolenú triedu XRA a typ RSP môžeme na slnečnom disku znázorniť rozloženie pravdepodobnosti, s akou erupcia, ktorá vznikne v danom mieste na Slnku, spôsobí na Zemi geomagnetickú odozvu. Na obrázku 1 je pre ilustráciu takáto rozloženie znázornené pre XRA triedy M, doprevádzanú RSP IV.

V druhom kroku predpovedacej schémy sme sa pre geoeфекtívne XRA pokúsili predpovedať, či budú mať za následok silnú geomagnetickú poruchu ("s"). Zo 45 geomagnetických odoziev, ktoré boli pozorované ako silné, sa podarilo predpovedať 26 (t. j. 58 %). Pritom sme "vyhlásili" 15 falošných poplachov, keď sme očakávali odozvu "s", ale bola len odozva "m" alebo "I". Tento výsledok je porovnateľný s výsledkami Srivatsavu (2005), ktorý aj so zahrnutím údajov o slnečnom vetre dosiahol pre tréningové údaje úspešnosť 63 %.

Je možné, že bez zahrnutia nejakých nových poznatkov o mechanizme vzniku a šírenia sa koronálnych tranzientov v medziplanetárnom priestore nebude až ďalej možné výrazne zlepšiť strednodobú predpoveď (najmä pre obdobia slnečného maxima, keď koronálne tranzienty spôsobujú väčšinu geomagnetických búrok).

Tabuľka 1

Úspešnosť predpovede výskytu geomagnetickej odozvy - všetky XRA doprevádzané RSP II a/alebo IV.

Počet pozorovaných geomagnetických odoziev	Počet predpovedaných geomagnet. odoziev (%)	Počet falošných poplachov
93	37 (39,8 %)	14

Tabuľka 3

Úspešnosť predpovede výskytu geomagnetickej odozvy - roztriedené podľa RSP II a/alebo IV, doprevádzajúceho rentgenové erupcie.

Kombinácia RSP II/IV	Pozorovaných geomagn. odoziev	Predpovedaných odoziev (%)	Falošných poplachov
RSP II	40	6 (15 %)	2
RSP II&IV	41	23 (56 %)	7
RSP IV	12	8 (67 %)	5

LITERATÚRA

Boberg, F., Wintoft, P., Lundstedt, H., 2000: Real time Kp predictions from solar wind data using neural networks. Phys. Chem. Earth (C), Vol. 25, No. 4, pp. 275-280.

Bochníček, J., Hejda, P. a Horáček, J., 2005: Slněční energetické eventy v letech 1996-2004. Analýza jejich geoeфекtivity. Zb. ref. člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí.

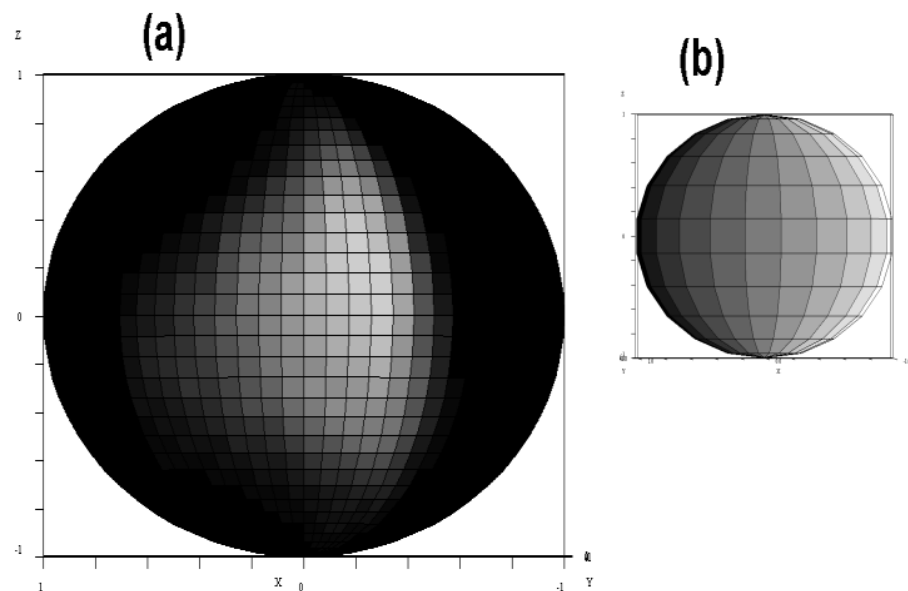
Cliver, E. W. and Hudson, H. S., 2002: How do the puzzle pieces fit together? J. Atmos. Terr. Phys. 64, 231-252.

Gurney, K., 1996: An Introduction to Neural Networks. UCL Press, London (Londýn).

Piddington, J. H., 1969: Cosmic Electrodynamics, John Wiley & Sons, New York.

Srivastava, N., 2005: A logistic regression model for predicting the occurrence of intense geomagnetic storms. Annales Geophysicae, 23, 2969-2974.

Valach, F., Prigancová, A., in press: Neural network model for Kp prediction based on one-hour averages of solar wind data. Contributions to Geophysics and Geodesy.



Obrázok 1

(a) Rozloženie pravdepodobnosti toho, že rentgenová erupcia triedy M doprevádzaná RSP IV (bez RSP II), ktorá vznikne na danom mieste na slnečnom disku, bude geoeфекtívna (t. j. geomagnetická odozva bude aspoň "1").

(b) Kódovanie hodnôt v odtieňoch sivej od 0 (napravo) do 1 (naľavo) s krokom 0.1.