

D. Sc. Milan Radovanović\*  
ing. Milan Števančević\*\*  
Dragoljub Štrbac\*

Зборник радова књ. 52  
Географски институт "Јован Цвијић" САНУ  
Collection of Papers № 52  
Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA

## ПРИЛОГ ПРОУЧАВАЊУ УТИЦАЈА ЕНЕРГИЈЕ СУНЧЕВОГ ВЕТРА НА АТМОСФЕРСКЕ ПРОЦЕСЕ

### A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ENERGY OF SOLAR WIND UPON THE ATMOSPHERIC PROCESSES

На основу сателитских осматрања параметара сунчевог ветра, као и увидом у развој одређених временских стања, уочено је да њихове интерактивне везе могу имати важну улогу на развој атмосферских процеса. У раду је дат приказ једне такве ситуације. Покушали смо да укажемо на изузетан значај, колико нам је познато, новог методолошког приступа, у разумевању развоја метеоролошких услова. Истраживања утицаја сунчевог ветра на промене стања у атмосфери могу се развијати у више праваца, али у сваком случају, за наредне кораке неопходан је мултидисциплинарни приступ. *Karen Labitske in Germany has done a lot of research in this area. The physics is still highly speculative at this point though*\*\*\*.

According to the satellite observing of solar wind, and as well according the development of certain weather conditions it is realized that their interactive connections could have important role on the development of atmospheric processes. In this paper is given several of such situations. We have tried to point to a very important significance of new methodological approach in understanding development of meteorological conditions. Researching the influence of the solar wind on the changes of conditions in the atmosphere could develop in several ways but in any case for the further steps a multidiscipline approach is needed. *"Karen Labitske in Germany has done a lot of research in this area. The physics is still highly speculative at this point though"*\*\*\*.

#### Увод

По добијању првих резултата сателитских мерења параметара сунчевог ветра (Solar wind - SW), запажено је да у одређеним условима, он може имати битног утицаја на атмосферске процесе, односно на кретање ваздушних маса. Сателитска визуелна и инфрацрвена осматрања, као и електромагнетна мерења, показала су да кре-

#### Introduction

After obtaining the first results of the satellite measurements of the parameters of solar wind (SW), it has been noticed that in certain conditions, SW can exert decisive influence upon the atmospheric processes, namely, upon the movements of air masses. Satellite observations in the visible (optic, visual) and also in the infrared wavelengths,

\* Geographical Institute "Jovan Cvijić", Serbian Academy of Sciences and Arts, Dure Jakišića 9, 11000 Belgrade, tel: + 381 11 636 594, fax: + 381 11 637 597, E-mail: [rmilan@net.yu](mailto:rmilan@net.yu), [gljicsanu@eunet.yu](mailto:gljicsanu@eunet.yu)

\*\* Sindelićeva 7, 11000 Belgrade, tel: +381 11 3443 916, Ex Federal Ministry of Telecommunication, E-mail: [milan37@ptt.yu](mailto:milan37@ptt.yu)

\*\*\* <http://www.sec.noaa.gov/info/FAQ.html>



тање земаљских ветрова, подлежу и законима деловања магнетног поља Земље. Да би се истражиле могуће везе наведених процеса и резултата добијених визуелним сателитским и инфрацрвеним мерењима, спроведена је метролошка и теоретска провера, утицаја енергије SW на атмосферске процесе. Добијени резултати сугеришу да је SW, један од изузетно важних модификатора, који нема одговарајући третман пре свега у синоптичкој метеорологији. Чини се готово невероватним да је расположива литература из ове области јако оскудна, тако да су за овај рад, у највећој мери коришћени одговарајући линкови са интернета. На једном од њих, чији се садржај у извесној мери односи и на ову тематику, стоји да: "The physics is still highly speculative at this point though".

### Отварање магнетосфере

Као што је познато, пристизање SW је сталан процес, али се његови параметри у различитим временским интервалима мењају. Када високо енергетске честице SW, створене процесима на Сунцу, допру до магнетосфере Земље, оне са собом носе и знатну количину енергије. У случају да интерпланетарно магнетно поље има смер који је супротан смеру геомагнетног поља, долази до њиховог спајања, односно магнетске риконекције. Приликом њиховог спајања, тј. магнетске риконекције отвара се магнетосфера и омогућава улазак честица SW у атмосферу. Тада је вектор магнетске индукције интерпланетарног магнетног поља усмерен према југу и супротан је вектору магнетске индукције Земље. Места уласка SW у атмосферу Земље, налазе се најчешће на висини од 120 до 150 km, приближно изнад 65. степена магнетосферске ширине.

За време мирног магнетног поља и "ниске" активности Сунца, центар западних врата има приближне географске

and also the measurements of electromagnetism, have demonstrated that the movement of winds on Earth is influenced by the Earth's magnetic field. To explore the possible links of these processes with the satellite optical and infrared measurements, a metrological and theoretical verification (checking) has been undertaken, to see how SW could influence the atmospheric processes. The results, acquired thereby, suggest to us that SW is one of the very important modifiers, which, however, is not treated accordingly in human science, particularly not in synoptic meteorology. It seems almost incredible that the available literature about this field is so meager; for our paper, we had to rely on the appropriate links found on the Internet. On one such link, whose contents are related partly to our topic, there is a comment: "The physics is still highly speculative at this point though".

### Opening of the Magnetosphere

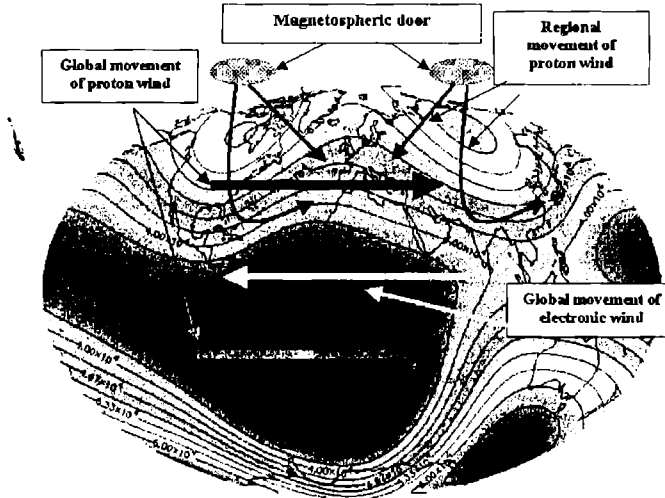
As is well-known, the arrival of incoming SW is a continuous process, but its parameters change in various time intervals. When the particles of SW, created by the processes in the Sun, arrive at the magnetosphere of Earth, they carry with them a considerable amount of energy. If the interplanetary magnetic field has the direction opposite to the direction of the geomagnetic field, the two fields link up, which is known as magnetic reconnection. At such time, the magnetosphere opens, allowing an entrance of SW particles into the atmosphere. Then the vector of magnetic induction of the interplanetary magnetic field is aimed to the south, opposite to the vector of the Earth's magnetic induction. The places where the SW penetrates the Earth's atmosphere are, generally, at altitudes between 120 and 150 km, and generally above the 65 degrees of magnetospheric latitude.

In the times of quiet magnetic field and low solar activity, the centre of the western door has approximate geographical co-

координате  $100^{\circ}$  W и  $65^{\circ}$  N док се центар источних магнетосферских врата, приближно налази на координатама  $80^{\circ}$  E и  $70^{\circ}$  N (сл. 1).

ordinates  $100^{\circ}$  W and  $65^{\circ}$  N, while the centre of the eastern magnetospheric door is found at approximately the coordinates:  $80^{\circ}$  E and  $70^{\circ}$  N (Figure 1).

**Figure 1.** The map of most frequent positions of magnetospheric doors and paths of global and regional SWs



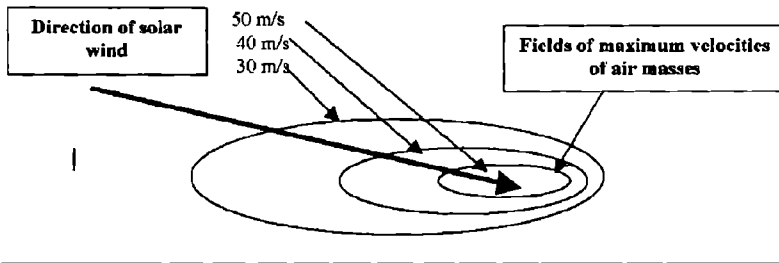
За време магнетних бура и снажних SW долази до промене локација магнетосферских врата. Степен њиховог отварања контролише геомагнетно поље, а интерпланетарно магнетно поље, одређује место и време њиховог отварања. SW улази у атмосферу Земље, у облику струјног млаза и креће се дуж геомагнетних линија, од магнетног пола према магнетосферском екватору. Да би геомагнетно поље деловало на кретање ветрова, неопходно је постојање слободног електричног оптерећења у ваздушним масама, које су захваћене ветровима. Кинетичка енергија SW одређује до које ће магнетосферске ширине допрети њене честице. На кретање струјног млаза дејствују две силе, и то гравитациона сила и магнетно поље Земље. Уласком у гушће слојеве атмосфере,

But during the times of magnetic storms and stronger SWs, locations of magnetospheric doors change. The degree of their opening is controlled by the geomagnetic field, while the interplanetary magnetic field determines when and where they will open. The SW, in the form of a jet stream (a jet flow) of particles, enters Earth's atmosphere, and advances along the geomagnetic lines, from the magnetic pole to the magnetospheric equator. For the geomagnetic field to affect the movement of winds, the moving air masses must possess free electric charges (must be electrically charged). Kinetic energy of SW determines to which magnetospheric latitude the particles will reach. Motion of the jet stream is influenced by two forces, namely: Earth's gravity and Earth's magnetic field. When the jet-stream of particles enters

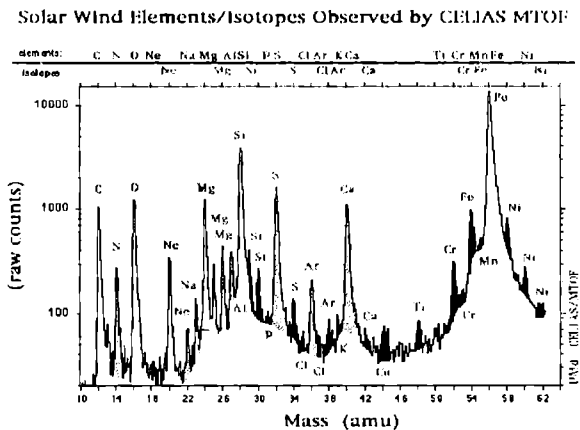
струјни млаз захвата ваздушне масе и ствара "земаљске" ветрове. Место уласка SW увек је обележено пољем максималне брзине.

the denser strata of the atmosphere, it (the stream) affects the air masses, creating "Earthy" winds. The point of entry of SW is always marked by the field of maximum velocity.

**Figure 2.** A representation of SW direction, and of the field of maximum velocity of air masses in the upper layers of the atmosphere



**Figure 3.** Example of chemical composition of SW



## Магнетосфера Земље и глобално кретање ваздушних маса

Уласком у магнетосферу, честице SW се крећу у облику струјног млаза. Опадањем кинетичке енергије и услед деловања гравитационе силе, SW се спушта према површини Земље. Глобално кретање ваздушних маса, врши се под дејством честица SW, малог енергетског оптерећења, мале масе и велике брзине, при чему је центар вртљивости магнетни пол. У појединим случајевима, таква кретања досежу до геомагнетне екваторијалне равни. Постоје две врсте глобалних кретања ваздушних маса и то кретање под дејством протонског и кретање под дејством електронског SW. Ова два глобална ветра су супротних смерова. Смер кретања, одређен је електричним оптерећењем ваздушних маса и тренутном поларизацијом геомагнетног поља. Правац глобалног кретања ваздушних маса, које су захваћене честицама протонског SW, има смер од запада према истоку и представља западно струјање у магнетосферским координатама. Правац глобалног кретања ваздушних маса, које су захваћене честицама електронског SW, доминантан је у екваторијалном појасу и има супротан смер, односно од истока према западу. Сателитска осматрања су показала, да на северној хемисфери, девијације ветрова подлежу закону леве завојнице, што указује да је електрично оптерећење ваздушних маса протонског карактера. На јужној хемисфери, девијације ветрова имају смер десне завојнице. Смерови девијације ветрова на одговарајућим полулоптама, представљају фундаменталан доказ о електричном оптерећењу ветрова и утицају геомагнетног поља на њихово кретање. Без обзира да ли се ради о пољима ниског или високог ваздушног притиска, глобално кретање ваздушних маса је, у принципу, увек од запада према истоку, под дејством кинетичке енергије глобалног протонског SW. У геомагнетној екваторијалној равни земаљске магнетосфере, кретање ваздушних маса

## Earth's Magnetosphere, and Global Movement of Air Masses

When they enter the magnetosphere, SW particles move as a jet stream of particles. As they gradually lose their kinetic energy, and are affected more and more by gravity, the SW descends towards the surface of the Earth. Global motion of air masses is influenced by the SW particles; these particles possess (each one of them) small amounts of energy, small mass, but high speed, and the center of their whirlpool motion is the magnetic pole. Occasionally, their motion will reach the geomagnetic equatorial plane. There are two kinds of global motions of air masses, namely: under the influence of protonic, and, under the influence of electronic SW. These two global winds go in opposite directions. The direction of movement of air is determined by the electric charge of the air, and, by the polarity of the geomagnetic field at the moment. The direction of the global movement of air masses, when influenced by the protons of the SW, is from west to east, so it constitutes a western stream in the magnetospheric coordinates. But when influenced by the electrons in the SW, which will be dominant in the equatorial belt, the air masses will go in the opposite direction, from east to west. Satellite observations have shown that, on the northern hemisphere, deviations of winds are controlled by the law of the left spiral (left helix), which suggests that the electric charge of the air masses is of protonic character. On the southern hemisphere, though, the deviations of winds are in the direction of right-hand spiral. These two directions of wind deviations on the two hemispheres are a fundamental proof about the electric charge of winds, and about the influence of the geomagnetic field on their motion. Regardless of air pressure (high, or low), the global motion of air masses is, generally, from west to east, because of the kinetic energy of the global protonic SW. In the geomagnetic equatorial plane of Earth's magnetosphere, the motion of air masses is, always, generally, from east to west, because

увек је, у принципу, од истока према западу, под дејством електронског млаза SW. У географским координатама, на територији Европе, по среди је југозападно кретање (због тога што се магнетосферска координатна мрежа не поклапа са географском).

### **Регионално кретање ваздушних маса под утицајем SW**

При снажним струјним млазевима SW, долази до регионалног отварања магнетосфере. Ови струјни млазеви, такође имају вртложни карактер, а смер девијације, у инерцијалном систему референције, одређен је, као што је то већ речено, енергетским оптерећењем честица SW и поларизацијом магнетног поља. Због велике масе честица разних хемијских елемената, брзина SW брже опада, него код глобалног струјног млаза, са све дубљим продромом према површини Земље.

Регионална отварања магнетосфере, могу утицати на нагле промене синоптичких ситуација, као што се то догодило 27. октобра 2002. г. Тада је под дејством релативно брзог SW, дошло до отварања магнетосфере на локацији изнад Исланда, да би се касније отварање проширило 31. октобра изнад Европе, дуж 65 степена северне магнетосферске ширине (сл. 4). На истом месту, отварање магнетосфере догодило се и 30. новембра 2002. г.

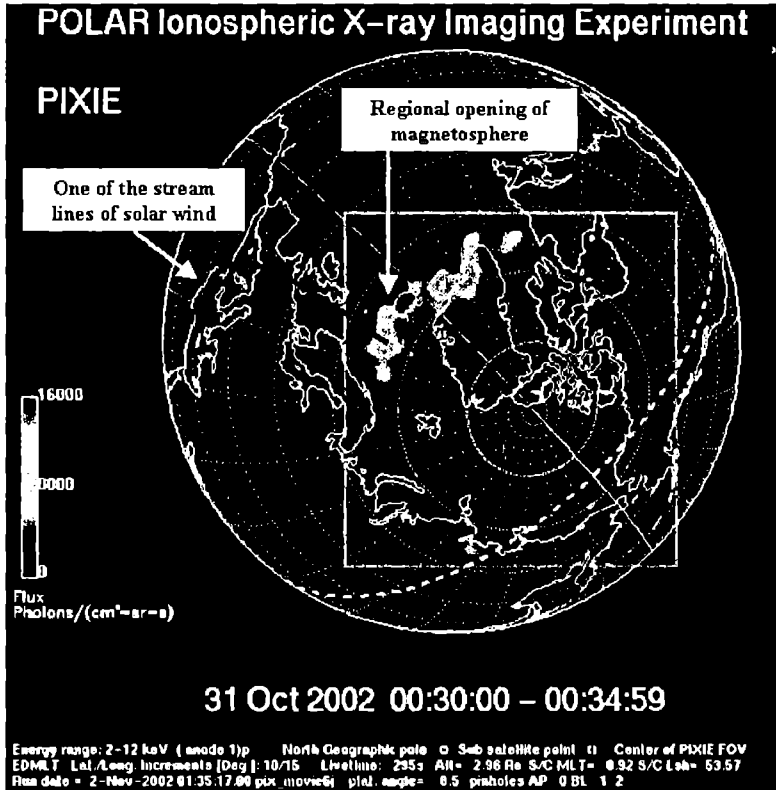
se of the jet of SW electrons. In European geographic latitudes and longitudes, the general movement of air masses is south-western (because the magnetospheric grid of coordinates does not coincide with the geographic grid of coordinates).

### **Regional Motion of Air Masses under the Influence of SW**

When the jet streams of particles of SW are strong, there will be a regional opening of the magnetosphere. These jet streams also have a whirlpool (vortex) character, and the direction of the deviation, in an inertial system of reference, will be determined, as we already mentioned, by the load of energy that the particles carry, and by the polarity of the magnetic field. Because particles of various chemical elements in Earth's atmosphere are much heavier, the speed of SW (the more it penetrates toward the surface of the Earth) decreases more quickly than the speed of the global jet-stream.

Regional openings of the magnetosphere may be the cause of sudden changes of the synoptical situation, as, for instance, happened on the 27<sup>th</sup> October of the year 2002. That day, under the influence of a relatively fast SW, the magnetosphere opened on a location over Iceland, and by the 31<sup>st</sup> October the opening had spread to over Europe, along the 65<sup>th</sup> degree of northern magnetospheric latitude (Figure 4). At the same location, the opening of the magnetosphere happened on 30<sup>th</sup> November 2002.

Figure 4. Image of one magnetospheric door where SW entered the Earth's atmosphere



Уласком у атмосферу, SW захвата хладне поларне ваздушне масе и потискује их према југу, стварајући нагле промене временских стања. Својим хидродинамичким притиском и великом кинетичком енергијом, SW је преко Француске, доспео до Средоземног мора, где је под дејством магнетног поља скренуо према истоку.

Међутим, 9. новембра 2002. г. долази са Сунца следећи талас SW, који је био таквог карактера, да је изненада затворио магнетно поље. Од тог тренутка, престало је дејство северних хладних ваздушних маса, а у Европи се створила нова синоптичка ситуација. Затварање магнетног поља било је тако нагло (интер-

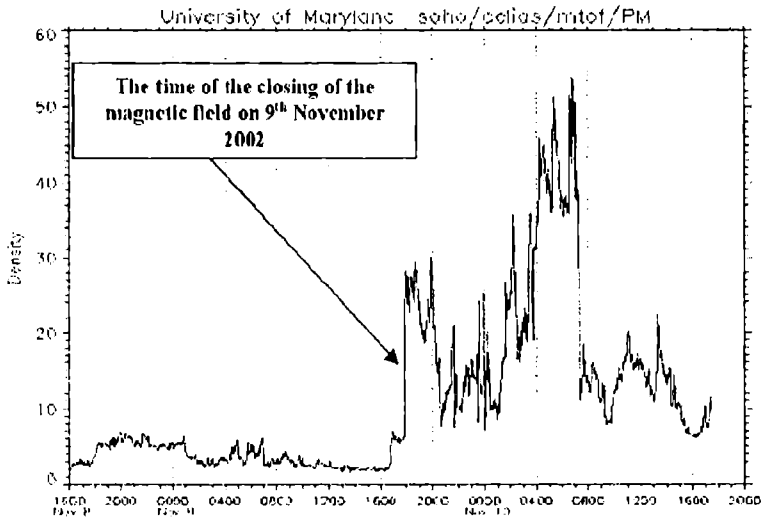
Entering the atmosphere, SW attacks the cold polar air masses, pushing them southwards, which will cause sudden shifts in weather. By its hydrodynamic pressure, and also by its great kinetic energy, SW advanced over France, and reached the Mediterranean, where, under the influence of the magnetic field, it turned eastwards.

However, on 9<sup>th</sup> November 2002, from the Sun arrives the next wave of SW, but, of such nature that it suddenly shut the magnetic field. From that moment, the action of cold northern air masses stopped, and in Europe a new synoptic situation was created. The dosing of the magnetic field was so sudden (the interplanetary magnetic field was

планетарно магнетно поље је имало смер према северу), да је тренутно прекинуло улазак SW на просторе изнад северне Европе. Дијаграм 5. и 6. показују карактеристике SW. Престанком улажења SW, престаје кретање ваздушних маса са севера. За то време, на читавој северној хемисфери остају само "полуотворена" магнетосферска врата изнад Канаде, која се никада не затварају у потпуности, без обзира на степен затварања магнетног поља. Кроз западна магнетосферска врата, почиње да улази SW великих брзина, али мале енергије и мале масе. У тренутку затварања магнетосферских врата, SW је повећао брзину са 360 на 400 km/s. Такође, повећала се енергија протонског SW.

directed northwards), that it instantly cut off the entry of SW into the regions over Northern Europe. Diagrams (Figures) 5 and 6 show some characteristics of this SW. When it stopped, the influx of cold air from the north stopped. In that period of time, on the entire northern hemisphere only one magnetospheric door remained, and even that one was only "half-open": the door over Canada. This one door never closes completely, regardless of the degree of closing of the magnetic field. Through the western magnetospheric door, SW of great speeds (but low mass and energy) began to come in. At the moment when the magnetospheric door shut, the velocity (speed) of SW increased from 360 to 400 km/s. Also, the energy of the proton SW increased.

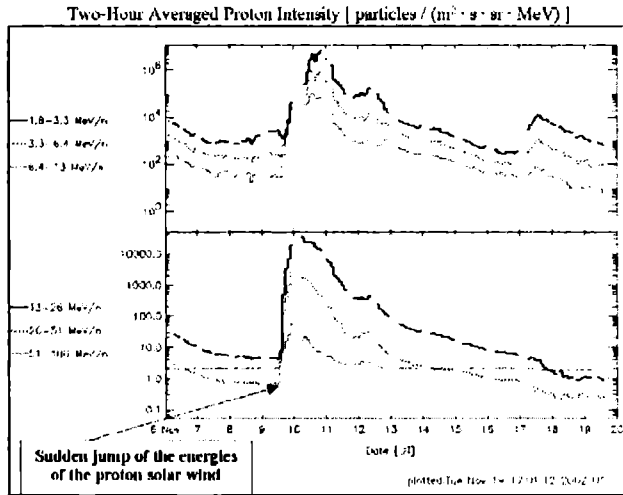
Figure 5. SW density diagram\*



\*Results got from CELIAS/MTOF Proton Monitor on the SOHO Spacecraft. The Proton Monitor (PM) is one of the scientific sensors on the SOHO spacecraft



**Figure 6.** Diagram of two hours average values of protons in the SW



Дијаграм 6. показује енергетско оптерећење честица SW.

Од магнетосферских врата па до уласка у горње слојеве атмосфере, брзина SW се нагло смањује. На основу података добијених са METEOSAT-7 WIND, запажено је да се на месту уласка струјног млаза честица SW, ствара ваздушно поље великих брзина. На просторима изнад Атлантика, на висини од 13.7 km, SW је захватио ваздушне масе и произвео ветар, чија је брзина на месту уласка у горње слојеве атмосфере, износила 193 km/h. Због велике брзине досеже до екваторијалног појаса, где захвата тропске ваздушне масе и усмерава их према Европи. На Балкану се тада појављују "изненадно" топли ветрови, који дижу температуре на неубичајено висок ниво за ово доба године. Кретање енергетских честица SW у горњим слојевима атмосфере, било је у виду две реке (сл. 7). Једна је "текла" од запада према истоку (B), а друга од Атлантског океана до Балканског полуострва (A). У општем случају, брзина и дужина реке зависи од кинетичке енергије SW. Након опадања кинетичке енергије,

Figure 6. shows the energy load of SW particles.

From the magnetospheric door, to the point of entry into the upper layers of atmosphere, the velocity of SW is rapidly decreasing. On the basis of the data obtained from the METEOSAT-7 WIND, we notice that at the point of entry of the jet-stream of SW particles, an air stream, very fast, is created. Above the Atlantic, at the altitude of 13.7 km, the SW attacked the air masses and produced a wind whose speed, where it entered the upper layers of atmosphere, was 193 km/h. Because of this great speed, the wind reached equatorial belt, influenced the tropical air masses, and directed them towards Europe. Then, in the Balkans, "suddenly" the warm winds began, raising the air temperatures to the levels unusual for that part of the year. The motion of the SW particles in the upper layers of the atmosphere had the form of two rivers (Figure 7). One "river" flowed from west to east (B) and another "river" flowed from the Atlantic ocean to the Balkan Peninsula (A). Generally, the velocity and length of such a river depends from the kinetic energy of SW. As the jet-stream of

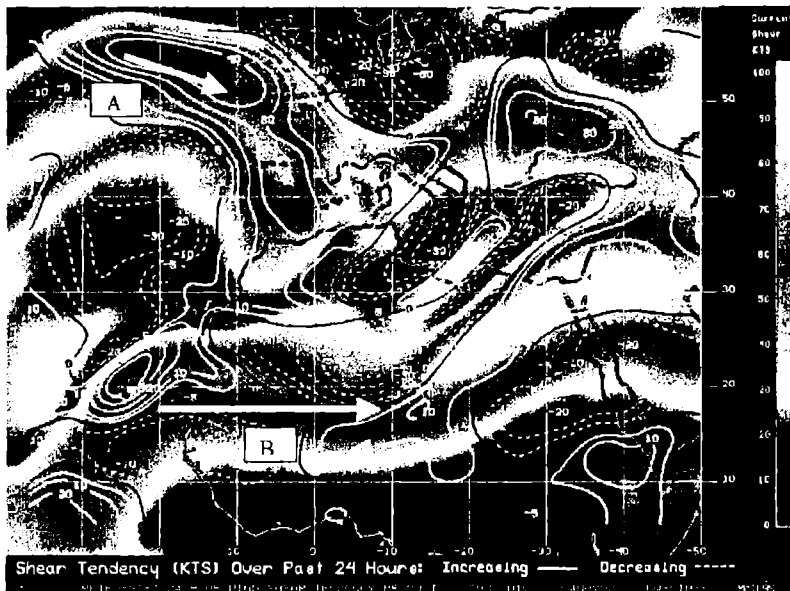
струјни млаз честица SW под дејством гравитационе силе и закона магнетног поља, спушта се према површини Земље. Трајекторију спуштања представља завојница у облику левка, чији је шири крај окренут према горе.

Узимајући у обзир, да се долазак SW може предвидети са велком тачношћу, то је познавање параметара интерпланетарног поља, од изузетне важности за давање временских прогноза. Тако су сателитска осматрања од 24. новембра 2002. године, указала да постоји могућност поновног отварања магнетног поља. У овом случају, на Сунцу је уочена коронарна рупа, а математички прорачуни су показали, да ће се наћи у геоэффективној позицији, између 27 и 28. новембра, када ће се упутити ка Земљи релативно брзи SW.

SW particles loses its kinetic energy, and, controlled by gravitational force and by the laws of magnetic fields, descends to Earth, its trajectory of descent is a funnel-shaped spiral, with the wider part turned upwards.

We can predict the arrival of SW very accurately. For this reason, knowledge of the parameters of interplanetary field is very important for weather prognosis. For instance, the satellite observations on 24<sup>th</sup> November 2002 suggested that the magnetic door might open again. Namely, a coronal hole was noticed on the Sun, and the mathematical calculations showed that it would enter a geoeffective position between 27<sup>th</sup> and 28<sup>th</sup> November, when a relatively fast SW would start its journey to Earth.

**Figure 7.** Directions of movement of SW particles the upper atmosphere\*  
White arrows symbolize the northern and the southern atmospheric "rivers".



\* METEOSAT - 7

**Figure 8.** Sun photographed by a special electronic camera which uses extreme ultraviolet wavelengths,  $284 \text{ \AA}^*$



Добијени резултати су указивали, да ће се отварање магнетног поља догодити изнад Исланда, али да ће се касније проширити изнад читаве 65. европске магнетосферске ширине. То је наговестило долазак хладних поларних ваздушних маса и нагло захлађење, после топлог ми-хољског лета, које је трајало од 9. новембра, до када је магнетно поље изнад Европе, било потпуно затворено. После периода релативно дугог затвореног магнетног поља, прорачуни су показали, да отварање магнетног поља треба очекива-

The results indicated that the opening of the magnetic field will happen over Iceland, but will later spread over the entire European 65<sup>th</sup> degree of magnetospheric latitude. This meant the arrival of cold polar air masses, and a sudden drop in temperature, after a warm "Indian summer" which existed since 9<sup>th</sup> November (when the magnetic field over Europe closed completely). Calculations showed that, after a relatively long period of closed magnetic field, an opening should be expected on 30<sup>th</sup> November, in the early morning hours.

\* Processed SOHO EIT 284 Image at 01:06 UTC on November 29.

ти у раним јутарњим часовима 30. новембра.

Активност коронарне рупе осмотрена је 27. новембра. Брзи SW избачен са Сунца, кренуо је према Земљи у раним јутарњим часовима 28. новембра 2002. године (сл. 8). Брзина SW кретала се од 466 до 562 km/s. Први уласци честица SW у атмосферу Земље, јавили су се, као што је и очекивано, у раним јутарњим часовима 30. новембра, а максимум је достигнут око 21 час истог дана. Уласком у магнетосферу, дошло је до регионалног отварања магнетног поља, северно од Исланда. SW који је продро кроз ова регионална магнетосферска врата, започео је своје кретање према југу, где је пресекао северну атмосферску реку SW изнад Француске и наставио да се креће према Средоземном мору. Ту је "пресекао" и јужну атмосферску реку, која је доносила дуго топло време. Достигавши до северних обала Африке, скренуо је према истоку, стварајући леву вртложност у Средоземном мору. У исто време, отворила су се источна и западна магнетосферска врата. SW који је продро кроз западна магнетосферска врата, захватио је атлантске ваздушне масе и створио велику облачност изнад Енглеске и Шпаније. Спустајући се са висине од око 120 km изнад територије Канаде, ушао је у горње слојеве атмосфере, изнад Атлантског океана, где је на висини од 13,7 km изазвао повећање брзине ваздушних маса од 36 m/s. Међутим, пресецањем северне и јужне атмосферске реке, престао је сваки утицај западних магнетосферских врата на време на Балкану. Источна магнетосферска врата, која су се отворила мање него западна, имала су знатног утицаја на температуре у североисточном делу Европе. Ту је дошло до спуштања температура, које су далеко испод месечног просека. SW који је ушао кроз источна врата, захватио је хладне поларне ваздушне масе и усмерио их према Европи, доносећи велико захлађење.

И поред тога што је магнетна енергија овог SW била веома мала, па је и

The activity of the coronal hole was spotted on 27<sup>th</sup> November. Fast SW, ejected from the Sun, started on its journey to Earth in the early morning hours of 28<sup>th</sup> November 2002 (Figure 8). The velocity of SW was between 466 and 562 km/s. The first entries of SW particles into the Earth atmosphere happened, as expected, in the early morning hours of 30<sup>th</sup> November, and the maximum was reached around 21 hours that day. As this SW penetrated the Earth's atmosphere, a regional opening of the magnetic field happened, to the north of Iceland. The SW pushed in, through this regional magnetospheric door, and started moving south, where it cut through the northern atmospheric river over France, and proceeded to the Mediterranean. There it also "severed" the southern atmospheric SW river, which was bringing warm weather for such a long time, and, reaching the northern coast of Africa, turned east, creating a left-directed vortex over the Mediterranean. At the same time, the eastern and the western magnetospheric doors opened. The SW which penetrated through the western magnetospheric door began to influence the air masses over the Atlantic, creating thick cloud-cover over England and Spain. Descending from an altitude of approximately 120 km over the territory of Canada, it entered the upper layers of the atmosphere, over the Atlantic ocean, where at an altitude of about 13.7 km it caused the air masses to increase their velocity to 36 m/s. However, because the northern and southern atmospheric rivers were cut, the western magnetospheric door lost any possibility of influencing weather in the Balkans. The eastern magnetospheric door, having opened less than the western door did, continued to influence weather over north-eastern Europe strongly. Temperatures fell, in that geographical region, to levels far below the November average there. This was because the SW that entered through the eastern door pushed the cold polar air masses southwards, to Europe, producing a great fall in temperature.

Although the magnetic energy of this SW was very small, so that the European re-

Европско регионално отварање магнетног поља било слабо, ипак се може рећи, да је то прво јаче регионално отварање магнетног поља од 9. новембра 2002. године, које је пресекло токове обе атмосферске реке. Са научног становишта, значај овог регионалног отварања је у томе, што се у периоду од 9. до 30. новембра, после прецизно дефинисаних синоптичких ситуација у земаљском и интерпланетарном простору, могла јасно сагледати повезаност, односно међузависност земаљске од интерпланетарне синоптичке ситуације.

Да би се SW могао појавити као један од основних модификатора развоја временских стања, неопходно је наведена претпоставка, доказати са довољно репрезентативним низом понављања наведених узрочно – последичних веза. У овом тренутку, расположиви статистички материјал, као и сателитска осматрања, сугеришу на релативно честу зависност развоја атмосферских процеса од SW.

### Математичка и електромагнетна разматрања

Као мерило за одређивање степена отварања магнетосфере, користи се поларни угао и интензитет  $B_z$  компоненте интерпланетарног магнетног поља у GSM систему.

National Oceanic and Atmospheric Administration у свом билтену Space Weather Now даје свакодневно стање интерпланетарног магнетног поља, у коме поред осталог износи и објашњење компонената интерпланетарног магнетног поља, као и њихов значај за могућност отварања геомагнетног поља и појава магнетних бура. Мерне резултате интерпланетарног магнетног поља и SW, могуће је добити у сваком тренутку, у форми која је приказана у таб. 1.

gional opening of the magnetic field was small also, we see that it was the first significant opening of the regional magnetic field since 9<sup>th</sup> November 2002, and the flow of both the atmospheric rivers was cut by SW. From the scientific point of view, the importance of this one regional opening is, that in the period between 9<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> November, after defining precisely the synoptic situations on Earth and in the interplanetary space, it was possible to see clearly the link (the interdependence) of the two synoptical situations: the Earthly one and the interplanetary one.

If we are to show SW as one of the main modifiers of weather, the above-described assumptions must be proved by a sufficiently representative series of repetitions of such causal links. At the time of writing of this paper, the now-available statistical material, and the current satellite observations, suggest that such a dependence of atmospheric processes from SW occurs rather often.

### Mathematical and Electromagnetic Considerations

As a measure for determining the degree of magnetosphere's opening, we use the polar angle and intensity of the  $B_z$  component of the interplanetary magnetic field in the GSM system.

National Oceanic and Atmospheric Administration provides each day, in its bulletin Space Weather Now, the status of the interplanetary magnetic field, with, among other data, also the explanation of the components of the interplanetary magnetic field, and explanation of their importance for the possible openings in the geomagnetic field, and also of magnetic storms. It is possible to obtain, at any moment, the measurements of the interplanetary magnetic field and of SW, in the form shown in Table 1.

Tab. 1. Quantitative parameters of SW on 7<sup>th</sup> December 2002<sup>\*</sup>

Magnetic Field (Based on GSM coordinates)	Plasma
Total Field, $B$ : 9.1 nT	Speed, $V$ : 584 km s <sup>-1</sup>
Field in x-direction, $B_x$ : 6.9 nT	Temperature, $T$ : 2.5e+05 k
Field in y-direction, $B_y$ : -5.5 nT	Density, $n$ : 9.1 particles cm <sup>-3</sup>
Field in z-direction, $B_z$ : -2.4 nT	Pressure, $P$ : 5.2 nPa
Latitude angle, $\beta$ : -15.2°	
Angle, $\theta$ : 105.2°	

Када компоненте  $B_z$  интерпланетарног магнетног поља има негативну вредност, тада су интерпланетарно и геомагнетно поље супротних смерова. Поларни угао  $\Phi$  је угао, између вектора магнетне индукције интерпланетарног магнетног поља и осе геомагнетног поља. Када Поларни угао достигне вредност већу од 90 степени, започиње отварање магнетосфере Земље. Тада долази до спајања интерпланетарног и геомагнетног поља, тј. магнетске риконекције. Вектор магнетске индукције интерпланетарног магнетног поља, у том случају, је усмерен према југу и супротан је вектору магнетске индукције Земље.

Претпоставимо да SW има електрично оптерећење  $q$  и масу  $m$  и да је брзина са којом улази у атмосферу Земље  $V$ . Означимо магнетну индукцију Земље са  $B$ . Размотримо два екстремна случаја и то, када је брзина SW  $V$  паралелна са вектором магнетне индукције  $B$  и други, када је брзина SW  $V$ , нормална на вектор магнетне индукције Земље. Када је брзина SW паралелна са вектором магнетне индукције, електромагнетна сила која делује на SW је

$$F = q V \times B = 0$$

Тада је кретање SW праволинијско

When the component  $B_z$  of the interplanetary magnetic field has negative value, then the interplanetary field and the geomagnetic field are of opposite directions. Polar angle  $\Phi$  is the angle between the vector of magnetic induction of the interplanetary magnetic field, and the axis of the geomagnetic field. When this polar angle attains value greater than 90 degrees, the magnetosphere of Earth begins to open. Then the interplanetary and the geomagnetic field begin to unite: a magnetic reconnection starts. The vector of the magnetic induction of the interplanetary magnetic field will, in that case, be directed south, opposite of the vector of the Earth's magnetic induction.

Let us assume that SW has the electric load  $q$  and mass  $m$  and that the speed with which the SW arrives into Earth's atmosphere is  $V$ . Let us denote the Earth's magnetic induction with  $B$ . We will now consider two extreme cases, namely: when the speed of SW,  $V$ , is parallel with the vector of the magnetic induction  $B$  and the other case, when the speed of SW,  $V$ , is perpendicular (at the right angle) to the vector of Earth's magnetic induction. In the first case, the electromagnetic force acting upon SW will be:

$$F = q V \times B = 0$$

Then the motion of SW is linear, de-

<sup>\*</sup>Latest Solar Wind Values Created: 2002 Dec 07 1048 UTC. The data are the Real-Time Solar Wind data broadcast from NASA's ACE satellite.

и поред присуства магнетног поља Земље. У другом екстремном случају, када је вектор брзине SW нормалан на линије магнетног поља Земље, електромагнетна сила која делује на честице SW је

$$F = q V \times B$$

Електромагнетна сила, тежи да савије трајекторију честица SW. Ако претпоставимо да је  $r$  тренутни полупречник трајекторије честица SW, онда је

$$m V^2/r = q V B$$

а полупречник трајекторије SW је

$$r = mV/qB$$

Одавде се види, да када је вектор брзине SW нормалан на линије магнетног поља Земље, трајекторија честица SW је круг. У природи, овакво кретање честица SW, може се јавити само у тропским крајевима око екватора, где је магнетно поље најслабије. Да би дошло од продора струјног млаза честица SW на екватору, није потребан услов, да постоји магнетна риконекција интерпланетарног и геомагнетног поља. Овде се јасно уочава висока математичка прецизност центра вртложности и површине круга, као и изразита симетричност спиралног облика. Тренутни полупречник трајекторије свих вртложних тропских ветрова је:

$$r = mV/Qb .$$

У Европи, самим тим и на простори-ма Балканског полуострва, SW улази у атмосферу Земље увек под неким углом  $\theta_{sw}$ , а то је угао који заклапа брзина  $V$  са

spite the presence of the Earth's magnetic field.

In the other extreme case, when the vector of the speed of SW is perpendicular to the lines of the Earth's magnetic field, the electromagnetic force acting upon the SW particles will be:

$$F = q V \times B$$

The electromagnetic force is trying to bend the trajectory of the particles of SW. Assuming that  $r$  is, at this moment, the radius of the trajectory of the SW particles, we see that

$$m V^2/r = q V B$$

while the radius of the trajectory of SW is

$$r = mV/qB$$

From this we see, that when the vector of the SW speed is perpendicular to the lines of Earth's magnetic force, the trajectory of the particles will be a circle. In Nature, such motion of the SW particles will be possible only in tropical regions, near the equator, where the magnetic field is the weakest. Penetration of jet-stream of particles of SW at the equator can happen even without the magnetic reconnection between the interplanetary field and the geomagnetic field. (Thus such a reconnection is not a necessary condition.) Here we clearly see the high mathematical precision of the center of the vortex, and the surface of the circle, and, also, we see the strong symmetry of the spiral form. The momentary radius of the trajectory of all vortex-like tropical winds is:

$$r = mV/qB .$$

In Europe, and consequently in all parts of the Balkan Peninsula, SW penetrates the Earth's atmosphere always at some angle  $\theta_{sw}$ , which is the angle that the speed  $V$

вектором магнетне индукције  $B$ . Брзину  $V$  можемо раставити на компоненту  $V \cos \theta_{sw}$  у правцу магнетног поља и компоненту  $V \sin \theta_{sw}$ , нормалну на правац магнетног поља. Тада се добија, да је трајекторија  $SW$ , тј. честица  $SW$  завојница, где тренутни полупречник цилиндра, око кога се завија  $SW$

$$r = mV \sin \theta_{sw} / qB,$$

а корак трајекторије  $SW$

$$d = 2 \pi r / V \sin \theta_{sw} \times V \cos \theta_{sw} = 2 \pi m V \cos \theta_{sw} / qB$$

Међутим, приликом кретања облака честица  $SW$  кроз атмосферу, долази до успоравања и смањења брзине  $V$ , а с тим и до смањења полупречника  $r$ . Зато трајекторија  $SW$ , код кога се смањује брзина, није цилиндар, већ се  $SW$  завија око левка, чији је шири крај, као што је већ речено, окренут према Сунцу.

## ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног, може се закључити, да би изучавање енергија честица  $SW$  и магнетног поља Земље, могла представљати нов научни приступ и кључ за разумевање одређених кретања и енергија у атмосфери Земље. Основа за теоријско и математичко разматрање о кинетичкој енергији честица  $SW$ , као енергији одређених ваздушних струјања на Земљи, базира се на отварању магнетосфере под дејством интерпланетарног магнетног поља, којим се омогућава улазак честица  $SW$  у атмосферу Земље и законима геомагнетског поља. Истраживања су показала, да се кретање ваздушних маса врше или на рачун кинетичке енергије честица

makes with the vector of the magnetic induction  $B$ . We can separate the speed  $V$  into one component,  $V \cos \theta_{sw}$ , in the direction of the magnetic field, and the other component,  $V \sin \theta_{sw}$ , perpendicular to the direction of the magnetic field. Then the result will be, that the trajectory of  $SW$  (which is, the trajectory of the  $SW$  particles), is a spiral (helix), where the momentary diameter of the cylinder around which the  $SW$  is spiraling, is

$$r = mV \sin \theta_{sw} / qB,$$

while the step of the trajectory  $SW$  is:

$$d = 2 \pi r / V \sin \theta_{sw} \times V \cos \theta_{sw} = 2 \pi m V \cos \theta_{sw} / qB$$

However, when a cloud of  $SW$  particles is moving through the atmosphere, the speed  $V$  is gradually reduced (which means: the particles are slowing down), and, consequently, the radius  $r$  becomes smaller. For this reason, the trajectory of  $SW$ , the speed being less and less, is not a cylinder, but rather a funnel, and the  $SW$  is winding itself around this funnel, whose wider end, as we mentioned, is turned towards the Sun.

## CONCLUSION

On the basis of the above, we may conclude, that a study of the energies of the  $SW$  particles, and of the Earth's magnetic field, could be a new scientific approach and key to the understanding of certain motions and energies in the Earth's atmosphere. The basis for the theoretical and mathematical discussion about the kinetic energy of the  $SW$  particles (solar wind particles), and also about certain air currents on Earth, will be the opening of the magnetosphere under the influence of the interplanetary magnetic field, which (opening) allows the entry of  $SW$  particles into the Earth's atmosphere, in accordance with the laws of the geomagnetic field. Research has shown, that motion of air masses is



SW или на рачун разлике енергија ваздушних маса. При отварању магнетосферских врата, брзина ветрова у атмосфери Земље расте са порастом висине и директно је пропорционална повећању енергије честица SW. Добијени резултати, базирају се на следећим матичким, електромагнетним и метеоролошким са знањима:

1. Центар вртложности глобалних ветрова је магнетни пол, а центар вртложности регионалног ветра је додирна тачка трајекторије SW са површином Земље;

2. Магнетосферске координате могу представљати основ за примену математичких једначина, које описују трајекторије кретања ваздушних маса;

3. Смер кретања ваздушних маса одређен је поларизацијом магнетних полова Земље и поларизацијом енергетских честица SW у зависности од електричног оптерећења. Сви ветрови створени дејством честица SW, било да су глобални или регионални, имају вртложни карактер. На северној хемисфери, кретање ветрова који су створени на рачун енергије честица протонског SW, је са смером у лево, а на јужној хемисфери, смер кретања је увек у десно, у инерцијалном систему референције;

4. Кретање ваздушних маса у атмосфери Земље, које су захваћене струјним млазом честица SW, подлеже законима магнетног поља и врши се на рачун енергија честица струјног млаза.

Битно је напоменути, да постоји практично неограничен број могућих развоја временских стања, у зависности од карактера SW, као и постојеће синоптичке ситуације. Стиче се утисак, да је заправо неопходно установити колико често је наведена појава присутна током појединих месеци, као и колико је математички јака веза између SW и поремећаја у атмосфери. За сада нам је познато, да је број таквих поремећаја од 6 - 10 у току једног месеца. У свим случајевима (у зависности од карактера SW) долази до не-

done either at the expense of the SW particles' kinetic energy, or at the expense of the difference in the energies of air masses themselves. When a magnetospheric door opens, the speed of winds in Earth's atmosphere increases, at higher altitudes the more, and is directly proportional to the increase of the SW particles' energy. The acquired results are based on the following mathematical, electromagnetic, and meteorological knowledge:

1. Centre of vortex motion of global winds is a magnetic pole, while the centre of vortex motion of a regional wind is the contact point of the SW trajectory with the surface of the Earth;

2. Magnetospheric coordinates may be the basis for the application of mathematical equations by which will be described the trajectories of movement of air masses;

3. Direction of motion of air masses is determined by the polarity of magnetic poles of Earth and also by the polarity of the SW particles, depending on their electric charge. All the winds (global, or regional) produced by the action of SW particles, will have a vortex character. On the northern hemisphere, motion of winds created at the expense of the energy of SW protons will be directed left, and on the southern hemisphere, this same motion will be directed always to the right, in an inertial referential system;

4. Motion of air masses in Earth's atmosphere, when caught by a jet-stream of particles of solar wind, will be subject to the laws of magnetic field, and will be carried out at the expense of the energies of the particles in that jet-stream.

It is essential to remark that there is a practically unlimited number of possible developments of weather, depending on the character of SW and on the previous synoptic situation. We get an impression that there is a need to establish with certainty, how many times a month the above-described phenomena happen in each month of the year, and how mathematically firm is the link between SW and disturbances in the atmosphere. For now, we know that there sho-

БИБЛИОТЕКА  
ГЕОГРАФСКОГ ИНСТИТУТА  
„ЈОВАН ЦВИЈИЋ“

ENERGY OF SOLAR WIND

И. Број \_\_\_\_\_

миновних (мањих или већих) ревизија одговарајућих синоптичких карата. Посебно је питање, колико су дуго (у погледу трајања) оне имале утицај на поднебље. Дакле, изложени материјал, указује да се добијени закључци не изводе само на основу једног примера, већ да постоје уверљиве индикације, да се ради заправо о посебном модификатору, који није нашао задовољавајући третман у метеорологији и климатологији. Такође, расположиви материјал намеће закључак, да када дође до отварања магнетосферских врата, снага SW је готово по правилу таква, да диктира нове временске услове, без обзира о каквој постојећој синоптичкој ситуацији се тренутно ради. Мишљења смо да мултидисциплинарни приступ, заснован пре свега на анализи комплексних сателитских мерења, може дати далеко више конкретних доказа о утицају SW на атмосферске процесе, него што је то било до сада.

uld be 6 to 10 such disturbances each month. In all cases (depending on the character of SW), there will be, inevitably, some revision (more or less intense) of the synoptic maps. A separate issue is, how long (in the sense of duration) such phenomena influenced a climate. Our material here presented, therefore, suggests that conclusions should not be made on the strength of only one example; and, in fact, we do have convincing indications that SW is a special modifier, not adequately treated until now in meteorology and climatology. Also, the available material points irresistibly to a firm conclusion, that when a magnetospheric door is opened, the force of SW will, almost always, dictate some new weather conditions, whatever the synoptic situation may have been previously. We think that a multidisciplinary approach, based primarily on a analysis of complex satellite measurements, may give a much greater quantity of concrete proofs (solid evidence) about the influence of SW on weather processes than was available until now.

#### REFERENCES

- NOYES, R. W. 1982. *The Sun, Our Star*. Harvard University Press.
- EDDY, J. 1979. *A New Sun: The Solar Results from Skylab*, NASA SP-402.
- LANZEROTTI, L. J. 1979. "Impacts of ionospheric/magnetospheric process on terrestrial science and technology". In *Solar System Plasma Physics, III*, L. J. Lanzerotti, C. F. Kennel, and E.N. Parker, eds. North Holland Publishing Co. New York.
- GARRETT, H. B., C. P. Pike, eds. 1980. *Space Systems and Their Interactions with Earth's Space Environment*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. New York.
- JOSELYN, J. A. 1992. "The impact of solar flares and magnetic storms on humans". EOS, 73 (7): 81, 84-85.
- FRIEDBERG, W., L. SNYDER, D. N. FAUKNER. 1992. *Radiation Exposure of Air Carrier Crewmembers II*. Civil Aeromedical Institute. Oklahoma city. pp 16.
- EDDY, J. 1979. *A New Sun: The Solar Results from Skylab*, NASA SP-402.