

Badania aktywności Słońca

Kosmiczna pogoda



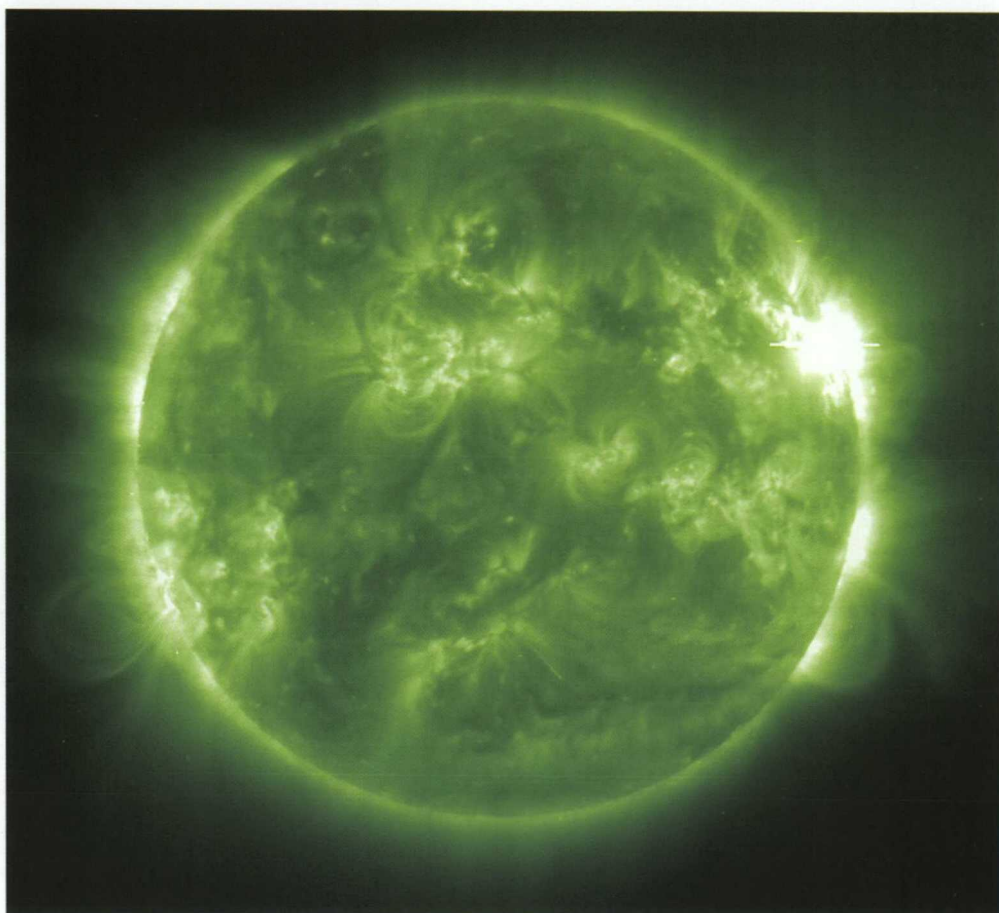
IWONA STANISŁAWSKA
 Centrum Badań Kosmicznych
 Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
 stanis@cbk.waw.pl

Doc. dr hab. Iwona Stanisławska pracuje w Centrum Badań Kosmicznych PAN. Kieruje Pracownią Prognoz Hellogeofizycznych oraz Regionalnym Centrum Ostrzegawczym RWC Warszawa, organizacji International Space Environment Service

Choć czasami potrafi spowodować wielkie zamieszanie, energia słoneczna jest jednym z głównych czynników podtrzymujących życie na Ziemi. Jednym z ośrodków zajmujących się obserwowaniem i przewidywaniem kosmicznej pogody jest Centrum Badań Kosmicznych PAN

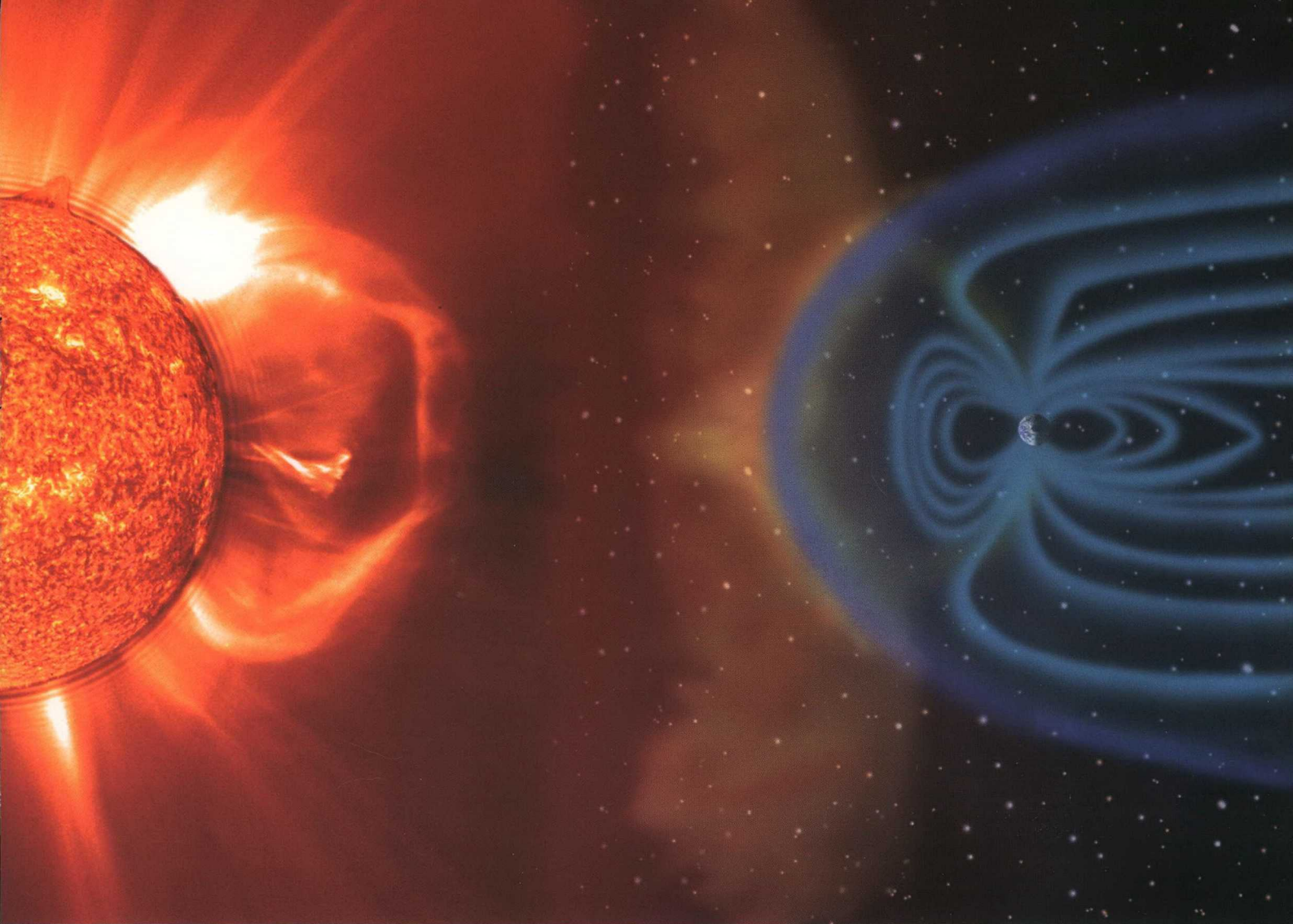
Monitorowanie wszelkich przejawów pogody kosmicznej ma ogromne znaczenie nie tylko dla poznania zjawisk astronomicznych,

ich wzajemnych powiązań i relacji, ale i dla ich prognozowania, a więc i zapobiegania ich ujemnym skutkiem. Wywołane wybuchem słonecznym wariacje pola geomagnetycznego indukują prądy elektryczne w Ziemi i we wszelkich sieciach przewodników, takich jak linie przesyłowe wysokiego napięcia, rurociągi, gazociągi, czy nawet stary kabel łączności telefonicznej leżący na dnie Atlantyku. Prądy indukowane geomagnetycznie (GIC) są na tyle silne, by zakłócić działanie takich sieci. Od czasu spektakularnego spalenia transformatora w 1989 roku w systemie mocy Quebecu prądy te są monitorowane. Tak więc, po właścicielach sztucznych satelitów i sieci telekomunikacyjnych pojawił się nowy użytkownik serwisów pogody kosmicznej. Ich wykorzystanie pozwala na odpowiednie przygotowa-



SOHO (ESA & NASA)

Olbrzymi rozbłysk słoneczny, widoczny na północno-zachodniej krawędzi tarczy gwiazdy, wyrzucił z niej miliardy ton rozżarzonego gazu z prędkością 7,2 mln km/s



NASA Marshall Space Flight Center (NASA-MSFC)

nie sieci energetycznej na nadchodzące zaburzenia magnetyczne. Niedawnym przejawem takich zakłóceń, wynikających z dużej aktywności Słońca, była seria słonecznych wybuchów z końca 2003 roku.

Dwa ostatnie tygodnie października i początek listopada 2003 roku obfitowały w serię wielkich zaburzeń słonecznych, które spowodowały nadzwyczajny wzrost intensywności strumieni cząstek energetycznych w przestrzeni międzyplanetarnej. W związku z tym na Ziemi zarejestrowano szereg silnych następujących po sobie, lub wręcz nakładających się, burz magnetycznych. Obserwacje wskazywały na wyjątkową intensywność powodowanych na Ziemi zakłóceń; od zniszczenia przyrządów satelitarnych, do wyłączeń linii przesyłowych sieci energetycznych.

Na początku października 2003 roku nic jeszcze nie zapowiadało zbliżającego się zagrożenia. Aktywność słoneczna była raczej niska. Na dysku słonecznym było tylko kilka stabilnych centrów aktywnych. Ale już pod koniec drugiego tygodnia w obserwatorium słonecznym w Sacramento Peak zaobserwowano bardzo silną emisję słonecznych linii

koronalnych (Fe XIV, Ca XV, Fe X) świadczących o tym, że na niewidocznej części dysku słonecznego występują silne erupcje. Potem scenariusz zmieniał się jak w kalejdoskopie. Godzina po godzinie, dzień po dniu aktywność Słońca wzrastała do niespotykanego od wielu lat poziomu. Zaobserwowano 11 silnych rozbłysków promieniowania rentgenowskiego o intensywności przekraczającej zakresy przyrządów obserwacyjnych. Satelity obserwowały wyrzucanie w przestrzeń międzyplanetarną ogromnej ilości materii słonecznej, silne strumienie energetycznych cząstek przemierzały przestrzeń kosmiczną. Niestety Ziemia była na ich linii. Trzy najbardziej geofektywne rozbłyски satelity GEOS zaobserwowały 22, 28 i 29 października. Należały one do najsilniejszych wybuchów kiedykolwiek zaobserwowanych przez człowieka. Powstała po wybuchu 28 października fala uderzeniowa dotarła do Ziemi w rekordowo krótkim czasie 19 godzin. Po drodze spowodowała, że satelity ACE i Wind utraciły zdolność obserwacyjną plazmy, a przyrządy pomiarowe satelitów GOES weszły w stan nasycenia. Kilka satelitów wyłączyło automatycznie swoje działanie i odnaleziono je dopiero po kilku dniach. Inne satelity automatycz-

Magnetosfera Ziemi – obszar, w którym zachowaniem cząstek naładowanych rządzi jej pole magnetyczne, rozciąga się na odległość 66 tys. km po słonecznej stronie planety i wielokrotnie dalej w pozostałych kierunkach. Gdy wpadają w nią z prędkością tysięcy kilometrów na sekundę wyrzucone w czasie słonecznej eksplozji cząstki zjonizowanego gazu, mogą one wywołać zaburzenia komunikacji satelitarnej, a także zagrożenie zdrowiu przyszłych astronautów poruszających się poza magnetosferą

Badania aktywności Słońca

ACE team, NASA



Zorza polarna obserwowana z satelity ACE. Zielone zorze powstają na wysokości 100–250 km w pobliżu biegunów magnetycznych Ziemi

nie resetowały komputery. Wszystkie natomiast ustawiły swoje panele słoneczne tak, by były jak najmniej narażone na silny strumień słonecznych cząstek. Komunikacja z satelitami została ograniczona do niezbędnego minimum, by nie narażać ich na bardzo prawdopodobne w takiej sytuacji błędne jej zrozumienie; większość z nich postawiono w dryf.

W sumie wybuchy te spowodowały mniejsze lub większe problemy dla 28 satelitów, tych na orbicie ziemskiej, ale i tych przebywających daleko w przestrzeni kosmicznej. Przyrząd MARIE na pokładzie Mars Odyssey nigdy nie został już przywrócony do działania. Słoneczne wybuchy niosły ze sobą nie tylko zagrożenie dla satelitów. Związany z nimi niespotykany wzrost promieniowania zagrażał ludziom. Astronauci przebywający w Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ze względu na swoje bezpieczeństwo przeszli do modułu serwisowego. Ale zagrożenie zeszło i niżej – na poziom wysokich lotów samolotowych. FAA po raz pierwszy w swojej historii wysłała ostrzeżenie dla pasażerów i załóg samolotów przebywających na wysokościach powyżej 7,8 km. o potencjalnym zagrożeniu wynikającym z dużej dawki promieniowania. Na Ziemi natomiast rozwijała się najsilniejsza od 1932 roku burza magnetyczna. Rejestracje zmian pola magnetycznego zarówno w Boulder, jak i w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym PAN w Belsku wyglądały bardzo nienaturalnie: była to pionowa prosta przekraczająca zakres rejestracyjny. Byliśmy też świadkami spektakularnych zórz polarnych (również w Polsce, w tym nawet w Bieszczadach) się-

gających po południową Francję i południowy Teksas. Cała ziemską magnetosferę i jonosferę została poddana gwałtownym zmianom. Zmiana koncentracji elektronowej w jonosferze była tak wielka, że radioamatorzy korzystający zwykle z łączności na falach krótkich ze zdumieniem odnotowali przypadki korzystania z pasm 20 razy przekraczających dostępne dotąd zakresy częstotliwości. W Szwecji intensywność indukowanych prądów wzbudzanych geomagnetycznie była tak wysoka, że 30 października 2003 roku nastąpiła awaria w systemie przesyłowym linii wysokiego napięcia.

Osservatorio Astrofisico di Arcetri



Linie pola magnetycznego mogą wynurzać się ze słonecznej fotosfery i chromosfery. Uwieszone w nich cząstki naładowane tworzą olbrzymie pętle lub łuki

ACE team, NASA



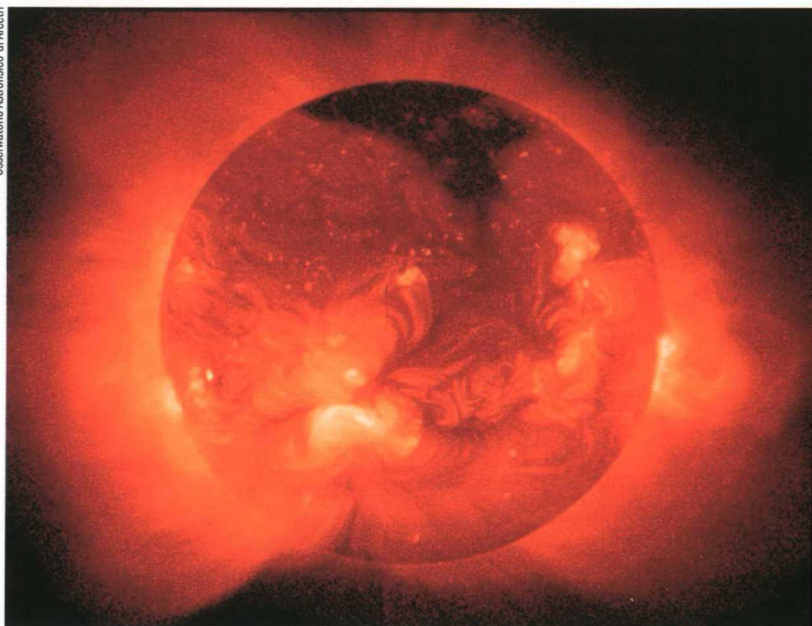
Obserwujący zaburzenia kosmicznej pogody ACE może ostrzegać o nadejściu sztormu geomagnetycznego z godzinnym wyprzedzeniem

Straty spowodowane w październiku 2003 roku niewątpliwie przyczyniły się do tego, że drugi, niewiele słabszy wzrost aktywności słonecznej, który wystąpił w listopadzie 2004 roku, nie spowodował już tak wielu spustoszeń. Naukowcy i odpowiednie służby były już lepiej przygotowane. Groźne słoneczne centrum aktywne zostało zaobserwowane na skraju dysku 1 listopada, i szybko się rozwijało. Między 2 i 10 listopada wyprodukowało 16 silnych, choć nie tak silnych jak w 2003 roku, rozbłysków. Fale uderzeniowe powstałe przy tych wybuchach nakładały się na siebie i do Ziemi dochodziły w postaci wyjątkowo silnych zaburzeń wiatru słonecznego. Już 7 listopada rozpoczęła się na Ziemi potężna burza magnetyczna. Intensywne zaburzenia jonosferyczne zaobserwowano na wszystkich kontynentach. Skład chemiczny jonosfery został przebudowany i koncentracja elektronowa w jonosferze drastycznie wzrosła. Zanim nastąpiło uspokojenie pojawiło się następne zaburzenie i przez kilka dni sytuacja się powtarzała. Wszystko to spowodowało, że większość dostępnych dotąd częstotliwości radiowych stała się bezużyteczna. Przebudowana jonosfera zmieniła warunki rozchodzenia się nie tylko fal naziemnych, ale i transjonosferycznych.

Choć słonecznym wybuchom nie można zapobiec, ograniczenie ich niekorzystnych skutków jest możliwe - wymaga jednak trafnych prognoz. Służby serwisowe, przygotowujące serwisy pogody kosmicznej, w tym także alerty i ostrzeżenia o nadchodzących zagrożeniach, korzystają z obserwacji w czasie rzeczywistym prowadzonych przy pomocy satelitów SOHO, ACE, serii satelitów GOES, a także badań naziemnych. Są one prowadzone przez obserwatoria słoneczne, magnetyczne i jonosferyczne. Jedno z takich centrów zajmujących się stanem pogody kosmicznej i jego prognozowaniem działa od wielu lat w Centrum Badań Kosmicznych PAN (<http://www.cbk.waw.pl/rwc>, <ftp://www.cbk.waw.pl/rwc>). Należy ono do międzynarodowej sieci ISES (International Space Environment Service). Do CBK PAN napływają dane pomiarowe z całego świata, bezpośrednio z obserwatoriów i za pośrednictwem Centrów sieci ISES. Działa tu także Europejskie Centrum Przekazu Danych Jonosferycznych (IDCE), które na

bieżąco udostępnia dane pomiarowe z około 30 stacji jonosferycznych, katalogi zaburzeń jonosferycznych, czy jonosferycznych dni spokojnych i zaburzonych. Na bieżąco można śledzić stan jonosfery i prognozy na najbliższy okres. Wydawane przez ISES komunikaty dotyczą nie tylko stanu jonosfery, ale i aktywności Słońca oraz stanu całej przestrzeni okołozemskiej. Centrum pracuje także na potrzeby operacyjnych służb łączności, dostarczając niezbędne przeglą-

Osservatorio Astronomico di Arcetri



Słońce, obserwowane w świetle rentgenowskim

dy i prognozy krótko- i długoterminowe. Tu opracowywane są narzędzia potrzebne do takiej pracy, a więc modele, algorytmy i techniki prognostyczne. Współpracując ściśle z naukowcami i podobnymi służbami w wielu międzynarodowych i europejskich organizacjach i programach badawczych Centrum ma swój udział w integracji europejskiej nauki i techniki oraz przyczynia się do wzrostu konkurencyjności europejskiej nauki i szeroko pojętej gospodarki.

Chcesz wiedzieć więcej?

- Webb D.F., Allen J.H., (2004). Spacecraft and Ground Anomalies Related to the October-November 2003 Solar Activity. *Space Weather*, Vol. 1, 6-8.
- Barbieri L.P., Mahmot R.E., (2004). October-November 2003's space weather and operations lessons learned, *Space Weather*, Vol. 2, 15-29.
- Trichtchenko L., Stanisławska I., i inni, November 2004 Space Weather Events: Real-Time Observations and Forecast, *Space Weather* (w druku).