

Podsumowanie wyników

Celem tej pracy było wyjaśnienie efektów obserwowanych w strumieniach nisko-energetycznych elektronów (od $\sim 100 eV$ do $\sim 2 keV$), w czasie poprzedzającym i podczas zdarzeń typu: iniekcja gorętszej plazmy i rozerwanie prądu, w bliskiej warstwie plazmowej magnetosfery ziemskiej.

W tym celu, jako podstawowe źródło danych wykorzystano obserwacje satelity Interball Tail. Analiza zjawisk geofizycznych związanych z subburzami magnetycznymi była częścią pracy o zasadniczym znaczeniu. Dotyczyła ona selekcji i interpretacji obserwacji z wielu stacji naziemnych oraz pochodzących z innych satelitów. Po analizie i wyborze przypadków z czterech miesięcy (od Października 1995 do Stycznia 1996) możliwe było zidentyfikowanie typowych, wielkoskalowych cech wybranej klasy zdarzeń.

Badano makroskopowe własności elektronowego składnika plazmy jak też mikroskopowe cechy jego funkcji rozkładu. Aby lepiej uwzględnić te własności, zastosowano między innymi podejście polegające na (nieliniowym) dopasowaniu modelowych funkcji do obserwowanych rozkładów mikroskopowych.

Główne wyniki tej pracy mogą być podsumowane następująco

- i Efekty obserwowane w podłużnych strumieniach nisko-energetycznych elektronów można przypisać dodatkowej populacji elektronów, chłodniejszej niż typowa dla warstwy plazmowej (temperatura poniżej $\sim 200 eV$) i uformowanej w przeciwbieżne wiązki wzdłuż pola magnetycznego. Zakres parametrów i występowanie czynią te elektrony potencjalnym magnetosferycznym odpowiednikiem dla “Rozbłysków Nadtermicznych Elektronów” (*ang. SupraThermal Electron Burst, STEB*) obserwowanych często poniżej rejonu przyspieszenia w strefie zorzowej (na wysokościach $\sim 1 - 3$ promieni ziemskich).
- ii Zaobserwowano oscylacje niskich częstotliwości typu Pc5 występujące w podłużnym strumieniu elektronów w czasie fazy wzrostu i począwszy od późnej fazy ekspansji subburzy. Chłodna populacja zanikała wraz z rozwojem fluktuacji pola magnetycznego w zakresie pulsacji Pi2 - Pc3. Następnie pojawiał się przejściowy i silniejszy (w przypadku subburzy), podłużny strumień energii kinetycznej skierowany do Ziemi. Oscylacje w zakresie Pc5 znaleziono również w danych magnetycznych. Identyfikacja oscylacji typu Pc5 w których uczestniczy populacja niskoenergetycznych elektronów w warstwie plazmowej jest nowym wynikiem, ważnym przy rozpatrywaniu przyspieszenia cząstek wzdłuż zorzowych linii pola magnetycznego.
- iii Pokazano, że nisko energetyczne elektrony poruszające się wzdłuż pola \vec{B} są w stanie modyfikować w pewnym zakresie (quasistatyczne) relacje prądowo-napięciowe w magnetosferycznym segmencie zorzowego obwodu prądowego (na wysokościach powyżej około 3 – 3.5 promieni ziemskich). Jest to quasistatyczny odpowiednik mechanizmu rozerwania prądu podłużnego poprzez fale Alfvéna generowane prądowo (zaproponowanego przez Perraut i in. 2000a, [143]). Mimo że mało znaczący w porównaniu z silnym przyspieszającym potencjałem na niskich wysokościach, efekt ten może być istotny w magnetosferze dla oscylacji o dużym okresie oraz dla generacji nadtermicznych elektronów (STEB) obserwowanych na niskich wysokościach na skrajach owalu zorzowego (np. Lotko i in. 1998, [103]; Ivchenko i in. 2002, [71], [72]).

iv Przedstawione obserwacje są ważne dla modelowania rozwoju subburz. Przede wszystkim, zidentyfikowane zjawiska magnetosferyczne odpowiadają bezpośrednio chwilom rozpoczęcia subburz, widzianych na Ziemi w tym samym sektorze czasu lokalnego. Po drugie, trwające przez 3 do 5 minut przejściowe strumienie energii, niesionej w kierunku Ziemi przez elektrony o energiach powyżej $\sim 1 \text{ keV}$, towarzyszą wzmożonej turbulencji pola magnetycznego w zakresie częstości Pi2 - Pc3, będącej oznaką rozerwania warstwy prądowej i/lub prądu podłużnego. Przejściowe strumienie odpowiadają zjawisku konwekcyjnego napływu gorącej plazmy (*ang. Convection Surge*), towarzyszącemu dipolaryzacji pola magnetycznego. Wreszcie, zanikanie nisko-energetycznych strumieni elektronów, podtrzymujących oscylacje Pc5, wydaje się odpowiadać za lokalną destabilizację systemu prądów. Może to spowodować rozerwanie prądu poprzecznego w ogonie magnetosfery, prowadząc do rozpoczęcia subburzy. Obserwowana sekwencja zmian podłużnego strumienia elektronów i fluktuacji magnetycznych jest więc podobna do rozpoczęcia subburzy wskutek niestabilności modu typu “ballooning” (Roux i in. 1991, [160]; Erickson i in. 2000, [44]), mimo że obserwowane tu oscylacje Pc5 są powolniejsze i raczej związane z rezonansami linii pola magnetycznego (*ang. Field Line Resonances*; również obserwowanymi dla jednego ze wspomnianych przypadków - Holter i in. 1995). Oznacza to konieczność dokładniejszego uwzględnienia własności elektronów w modelowaniu rozwoju subburz.

v Innym nowym wynikiem jest wykazanie, że energia intensywnych fluktuacji niskich częstości (ULF) jest przekazywana do magnetosferycznej (gorętszej) populacji elektronów głównie poprzez turbulentne przyśpieszanie a nie poprzez grzanie, przynajmniej w przypadku zaobserwowanych subburz. Temperatura po iniekcji nie zmieniła się drastycznie. W przeciwieństwie do tego, wraz ze wzmożonymi fluktuacjami magnetycznymi typu Pi2 - Pc3, rozwijał się niemaxwellowski “ogon” w wysokoenergetycznej części funkcji rozkładu. Tego typu efekt jest “cząsteczkową” oznaką zachodzących procesów turbulencyjnych, widocznych w polu magnetycznym i jest dalszym potwierdzeniem wpływu turbulencji niskich częstości na przyśpieszanie elektronów wzdłuż zorzowych linii pola magnetycznego.

Podsumowując, wyniki tej pracy wykazują że elektrony o niskich energiach (od $\sim 100 \text{ eV}$ do kilku keV) pełnią ważną rolę w dynamice bliskiej magnetosfery ziemskiej podczas subburz.