



Появление суперсуббурь и суббурь на высоких широтах в зависимости от типов солнечного ветра



И.В. Дэспирак¹, А.А. Любчик¹,

Н.Г. Клейменова²



¹ Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

² Институт Физики Земли, Москва, Россия

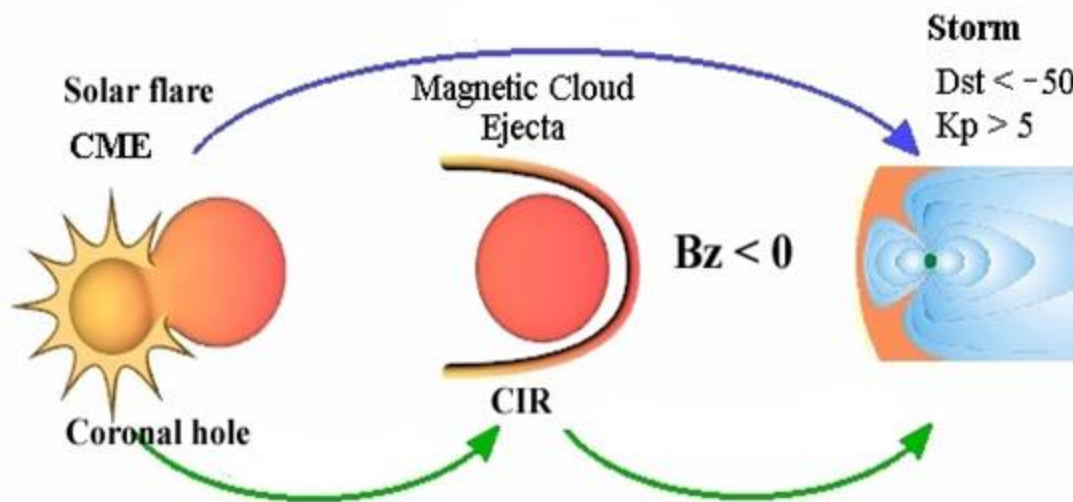
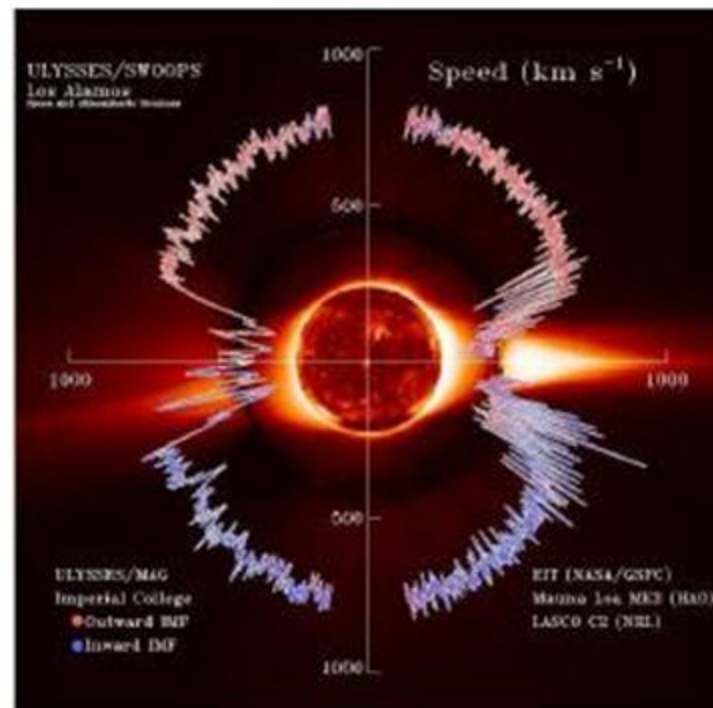
Сложные крупномасштабные структуры солнечного ветра можно разделить на три основных типа:

1) потоки, связанные с выбросами корональной массы Солнца (*ICME- interplanetary coronal mass ejection*)

2) рекуррентные высокоскоростные потоки (*HSS-high speed streams*) из корональных дыр

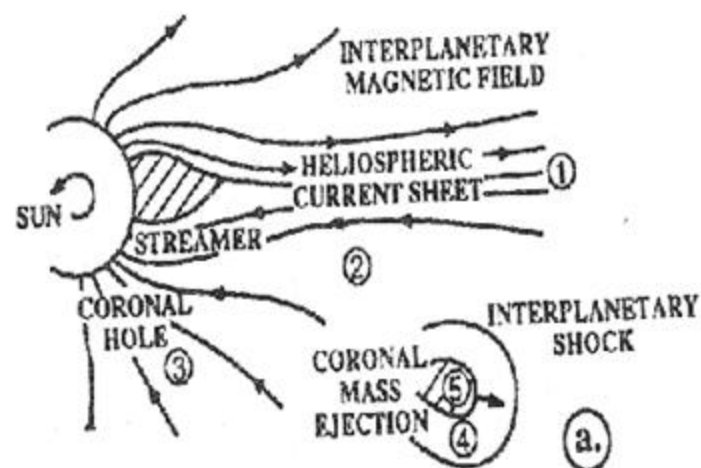
3) медленный солнечный ветер (*SSW - slow solar wind*).

Эти крупномасштабные типы солнечного ветра изменяются вместе с их источниками на Солнце и характеризуются различными параметрами плазмы и поля [Klein and Burlaga, 1982; Schwenn, 2006; Sheeley and Harvey, 1981; Cane and Richardson, 2003; Gopalswamy, 2006].



При этом внутри определенного типа потока солнечного ветра значения параметров плазмы и поля меняются слабо. В настоящее время разработаны классификации разных типов солнечного ветра [например, Иванов, 1996; Ермолаев и др., 2009].

Для определения типа солнечного ветра мы использовали каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/> и базу данных OMNI.



В каталоге крупномасштабных явлений выделено 3 квазистационарных типа солнечного ветра, 5 возмущенных типов и ударные волны, мы будем рассматривать только следующие типы:

SLOW – медленные течения плазмы, наблюдаемые над экваториальным стримерным поясом, $V < 450$ км/с; плотный и холодный солнечный ветер (2)

FAST – быстрое течение плазмы над полярными корональными дырами, $V > 450$ км/с; горячий, разреженный высокоскоростной поток (3)

CIR – область сжатия плазмы перед быстрым потоком (FAST) (4)

EJECTA – (Interplanetary CME) представляют собой крупномасштабные гелиосферные транзиенты, которые содержат магнитное поле в виде жгута, где магнитное давление выше, чем тепловое давление ($\beta \ll 1$) (5)

MC – Magnetic cloud, проявление ICME (является подклассом EJECTA но отличается более высоким и более регулярным магнитным полем); магнитное поле в виде жгута, магнитное давление преобладает над тепловым давлением ($\beta \ll 1$) (5)

SHEATH – турбулентная область сжатой плазмы, расположенная перед телом выброса, перед MC/EJECTA, плазма имеет повышенные значения плотности, температуры и величины поля, а $\beta > 1$; повышенное давление, большая изменчивость магнитного поля (4)

Три типа суббурь: два вида высокоширотных возмущений и суперсуббури

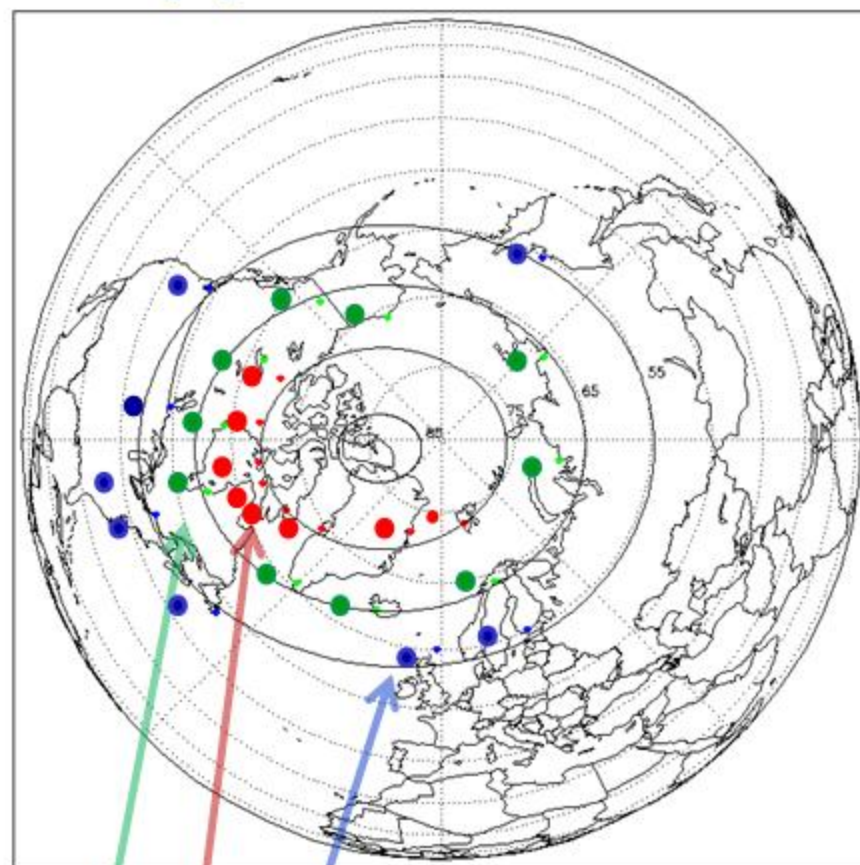
1) **«суперсуббури» (SSS)** представляют собой особенно интенсивные суббури ($SML < -2500$ нТл и $AL < -2500$ нТл).

Два вида высокоширотных суббуревых возмущений:

- 1) суббури, наблюдающиеся в спокойных условиях, когда авроральный овал сжат и сдвинут в высокие широты (суббури на сжатом овале или **«полярные»** суббури);
- 2) суббури, наблюдающиеся в возмущенных условиях, когда авроральный овал расширен (суббури на расширенном овале или **«расширенные»** суббури)

Первый тип- **«расширенные»** суббури, которые перемещаются из авроральных ($< 70^\circ$) в полярные ($> 70^\circ$) геомагнитные широты, второй тип- **«полярные»** суббури, которые наблюдаются только на широтах выше $\sim 70^\circ$ при отсутствии одновременных геомагнитных возмущений на широтах ниже $\sim 70^\circ$.

Авроральный овал :



красные точки – станции на сжатом овале

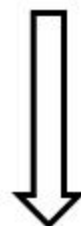
Зеленые точки – станции аврорального овала (нормального)

Синие точки – станции расширенного овала

Суперсуббури по данным сети магнитометров **SuperMAG**



SML индекс < - 2500 нТл



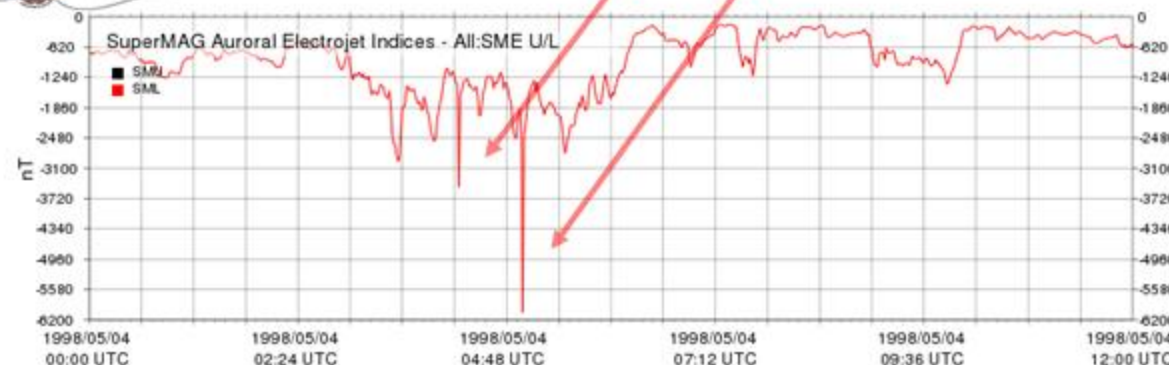
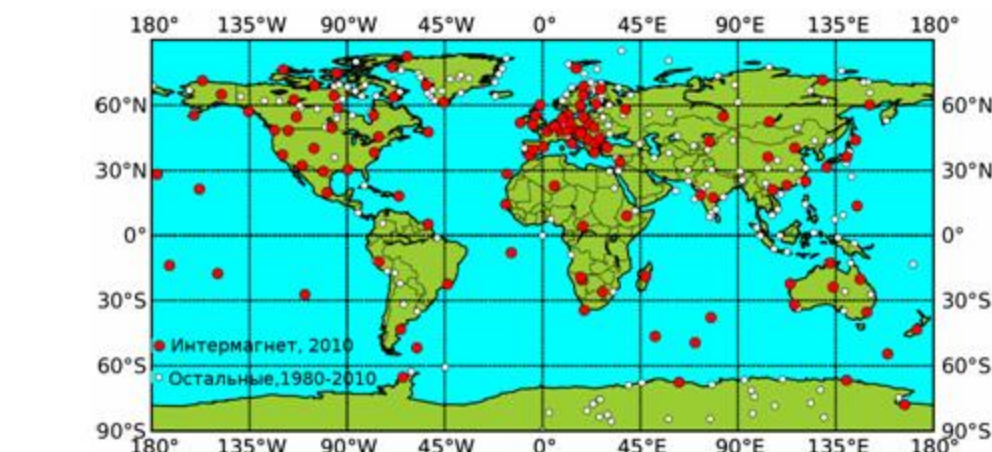
SSS

Исследование суперсуббурь проводилось по данным магнитных станций сети **SuperMAG** и скандинавского профиля **IMAGE**. Сеть **SuperMAG** состоит из более чем 300 наземных магнитометров, которые принадлежат разным организациям и национальным агентствам.

В настоящем исследовании суперсуббури определялись по значениям **SML** (< - 2500 нТл) и **AL** индексов (< - 2500 нТл).

За период 1998-2016 г. было найдено 157 случаев суперсуббурь (**SSS**), из них 131 случай – по сети **SuperMAG** и 26 случаев – по сети **IMAGE**.

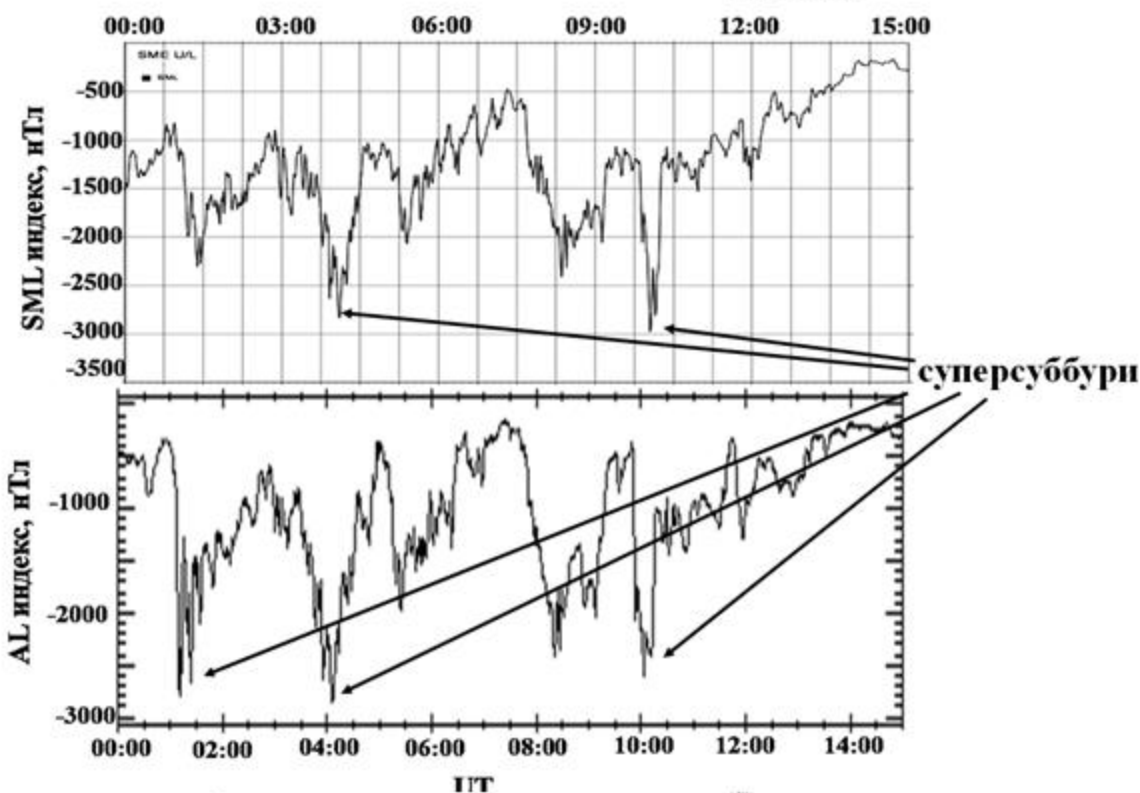
SuperMAG охватывает почти все долготы и широты, то есть фактически весь планетарный масштаб, а профиль **IMAGE** – только Скандинавию. Суперсуббуря будет зарегистрирована на профиле **IMAGE** только если попадет в его долготный сектор. Поэтому случаев **SSS** оказалось больше по сети **SuperMAG**, чем по сети **IMAGE**.



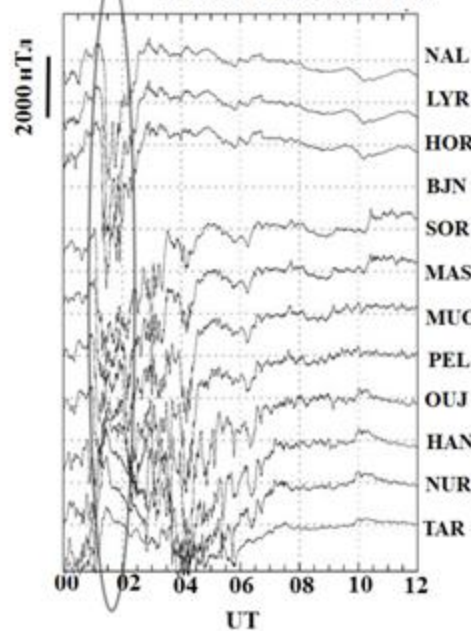
Карта станций **SuperMAG** и примеры суперсуббурь

Примеры наблюдения SSS

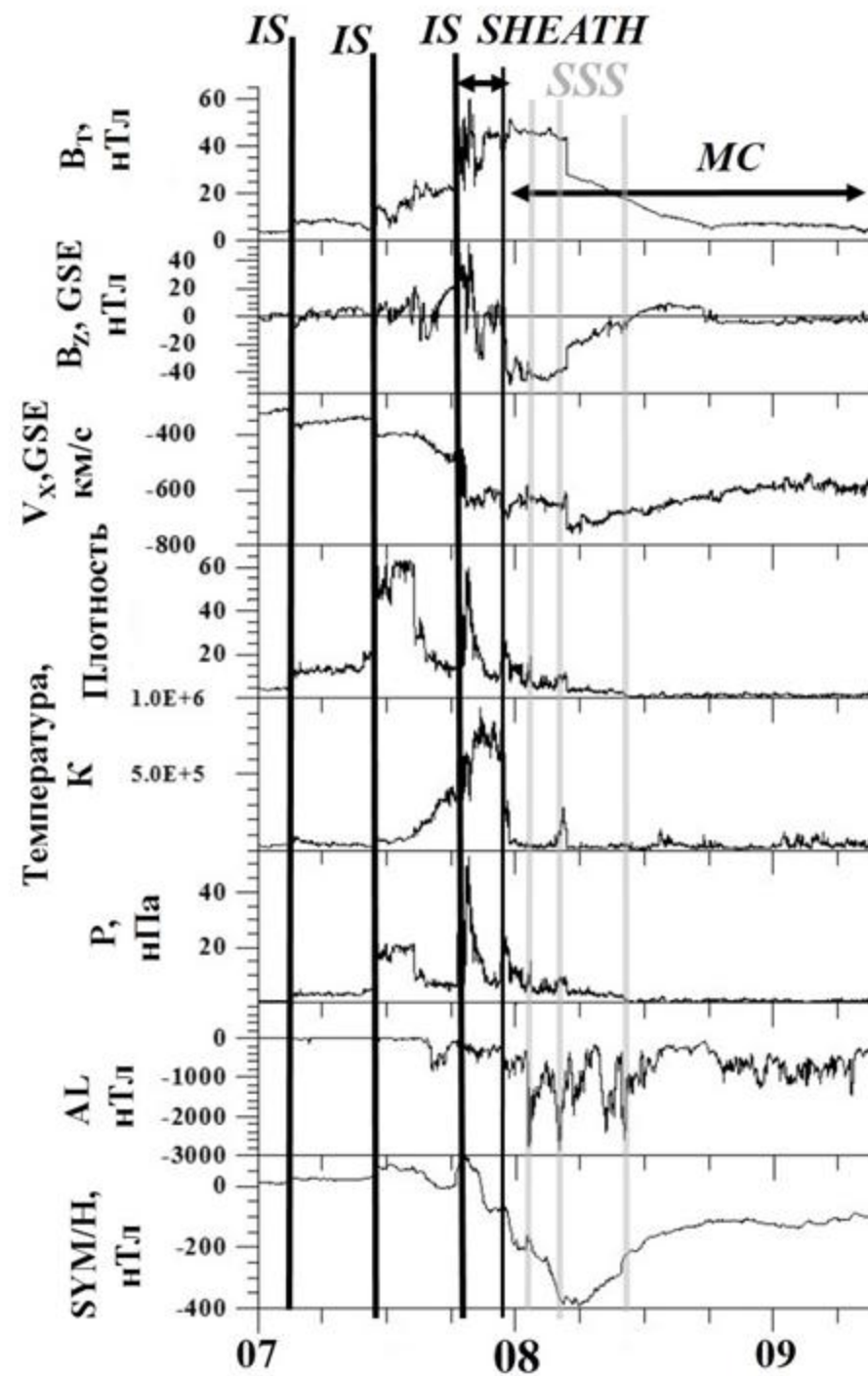
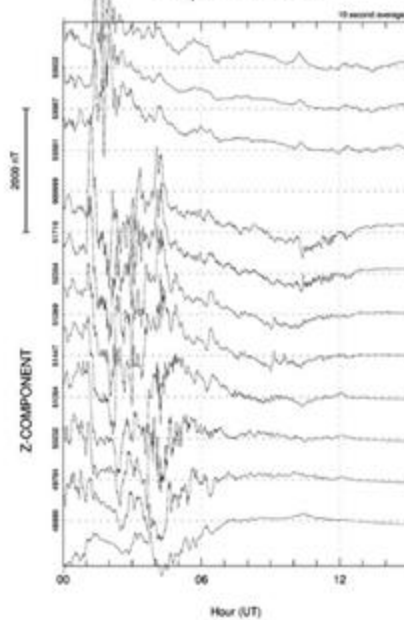
2004/11/08



X-компонента 2004-11-08



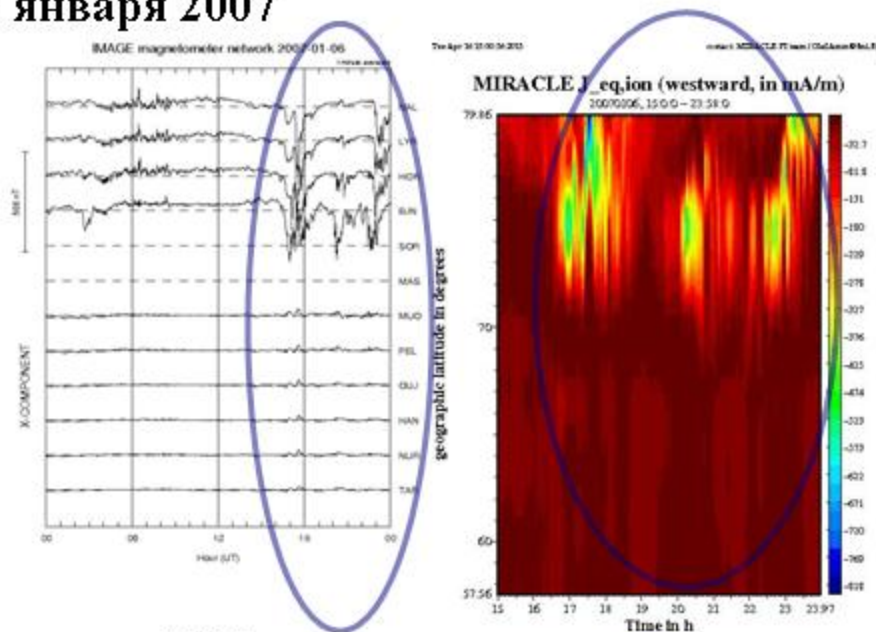
Z component 2004-11-08



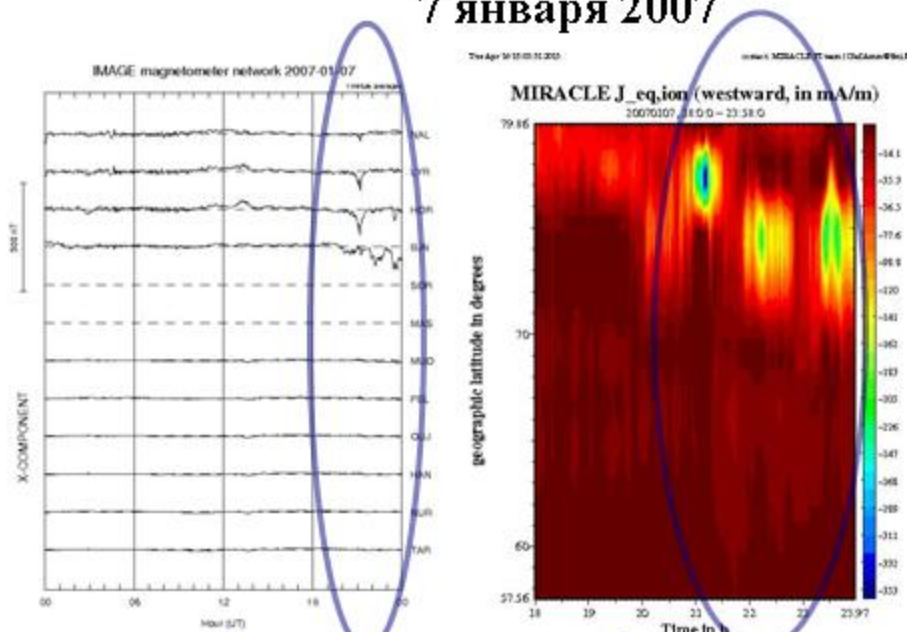
ноябрь 2004

Использовались данные сети магнитных станций *IMAGE* для периодов 1995, 1996, 1999 и 2000 годов, высокоширотные суббури идентифицировались с помощью меридиональной цепочки *TAR –NAL*. Было выбрано 186 случаев «полярных» суббурь и 202 случая «расширенных» суббурь.

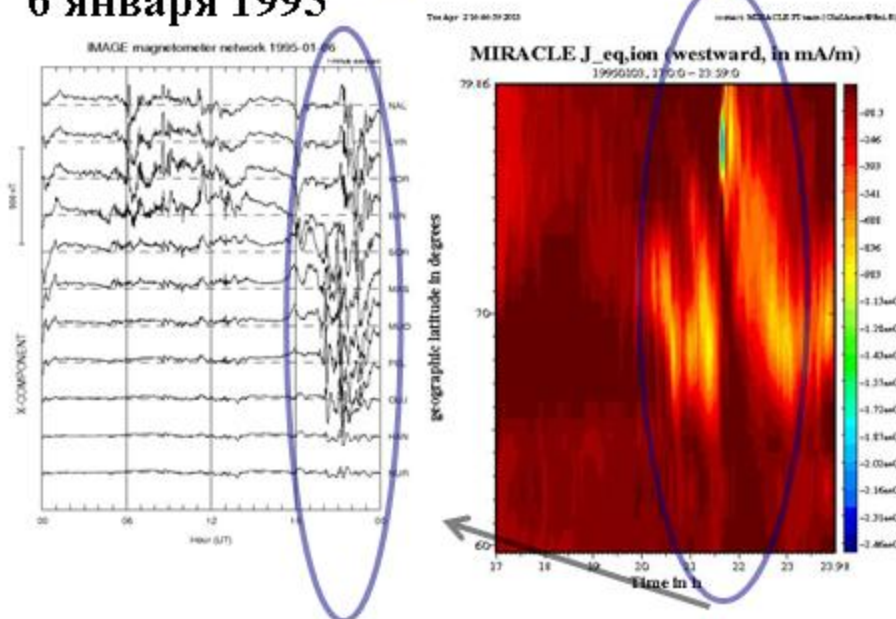
6 января 2007



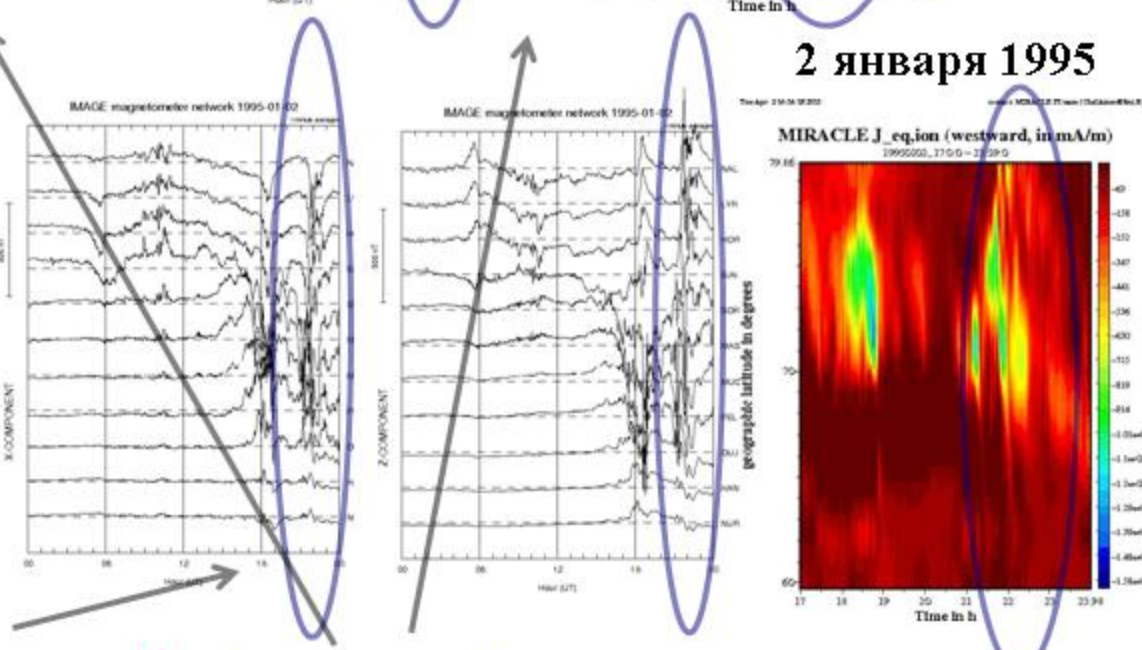
7 января 2007



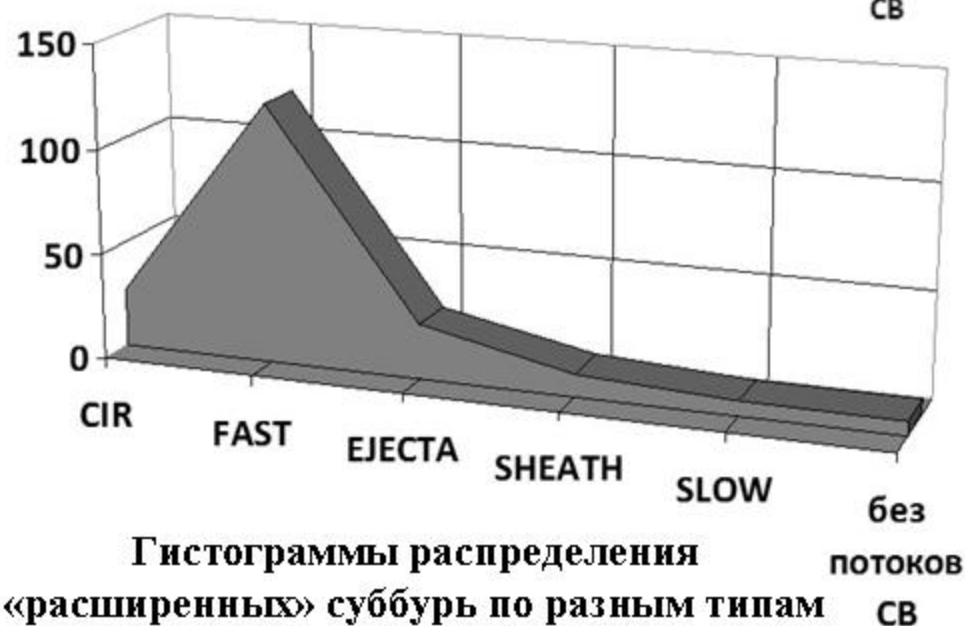
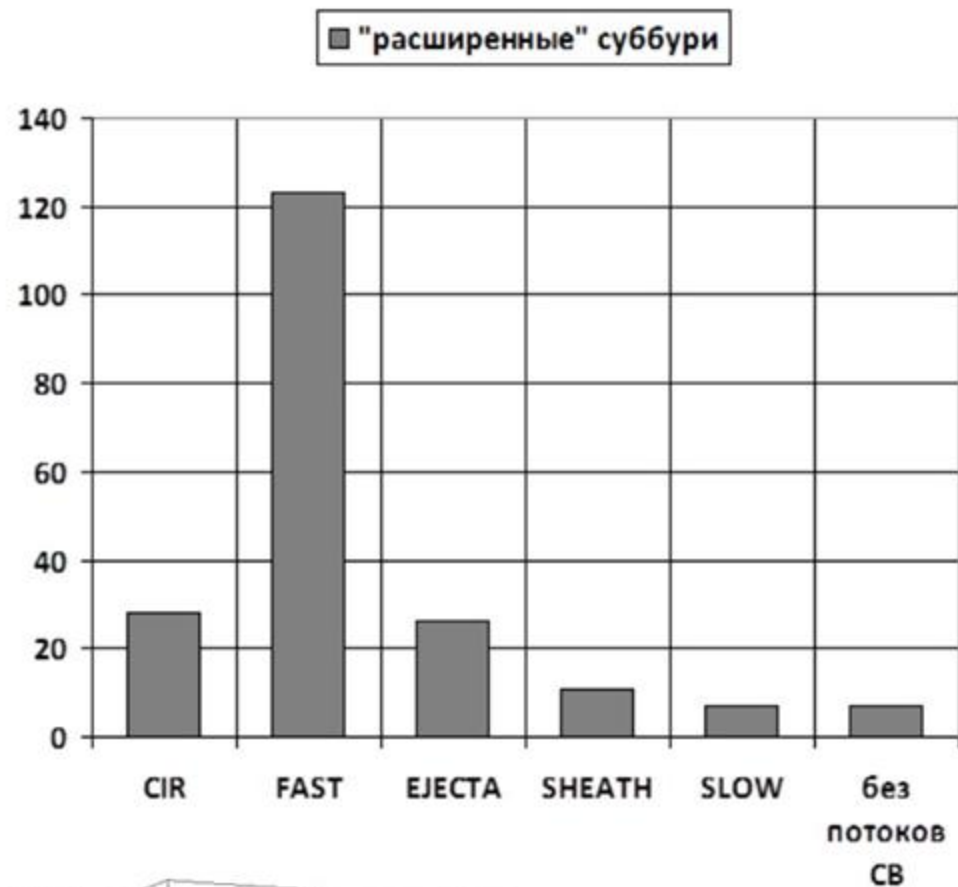
6 января 1995



2 января 1995

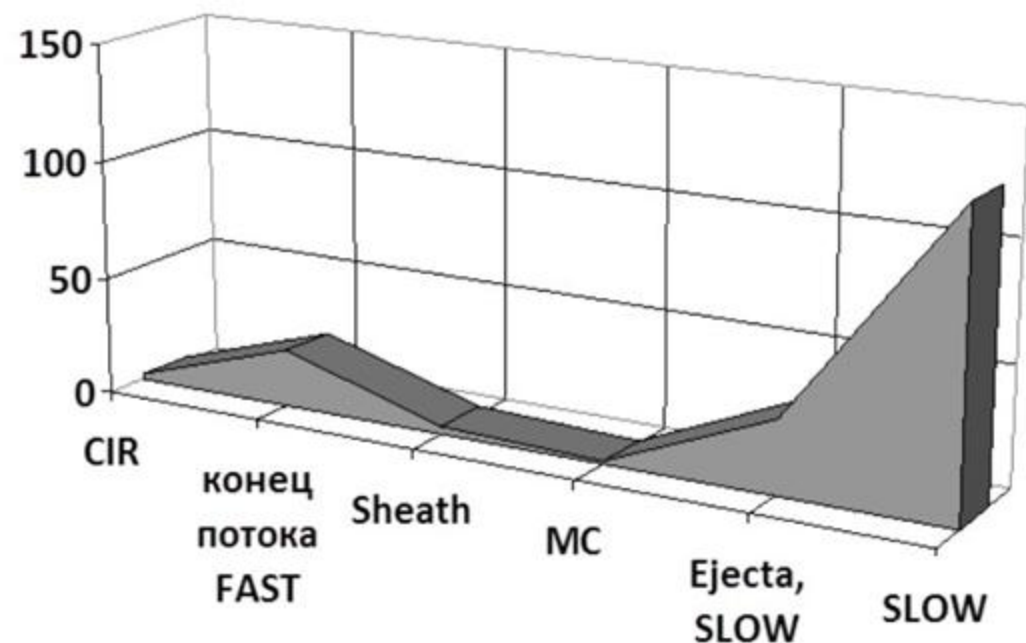
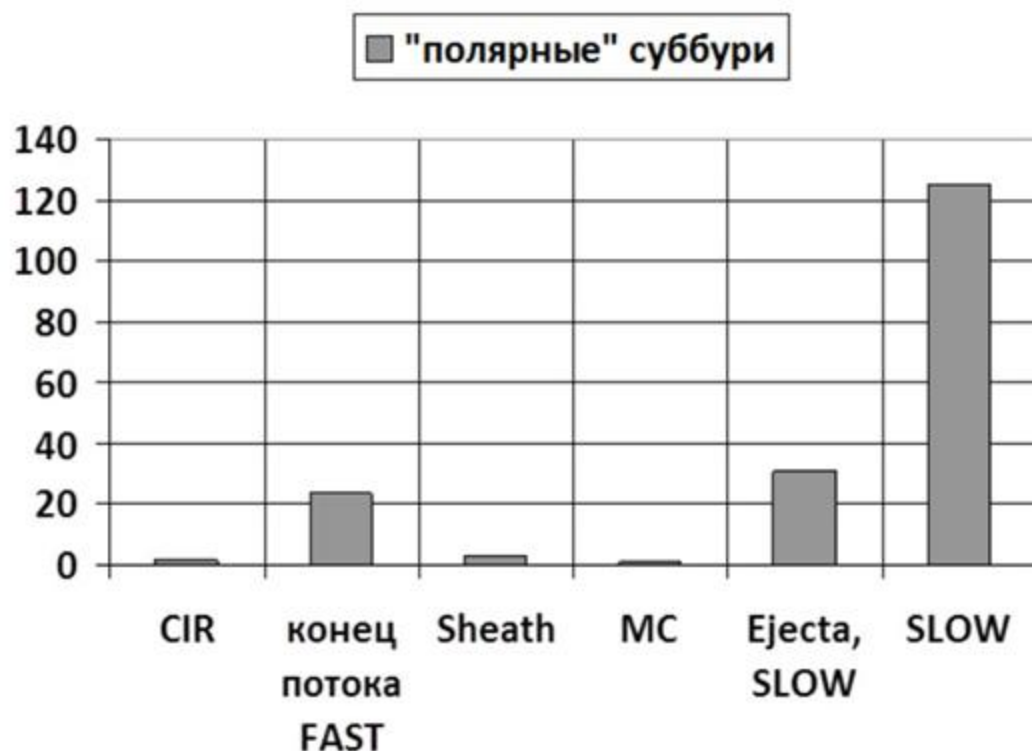


Примеры «расширенных» и «полярных» суббурь



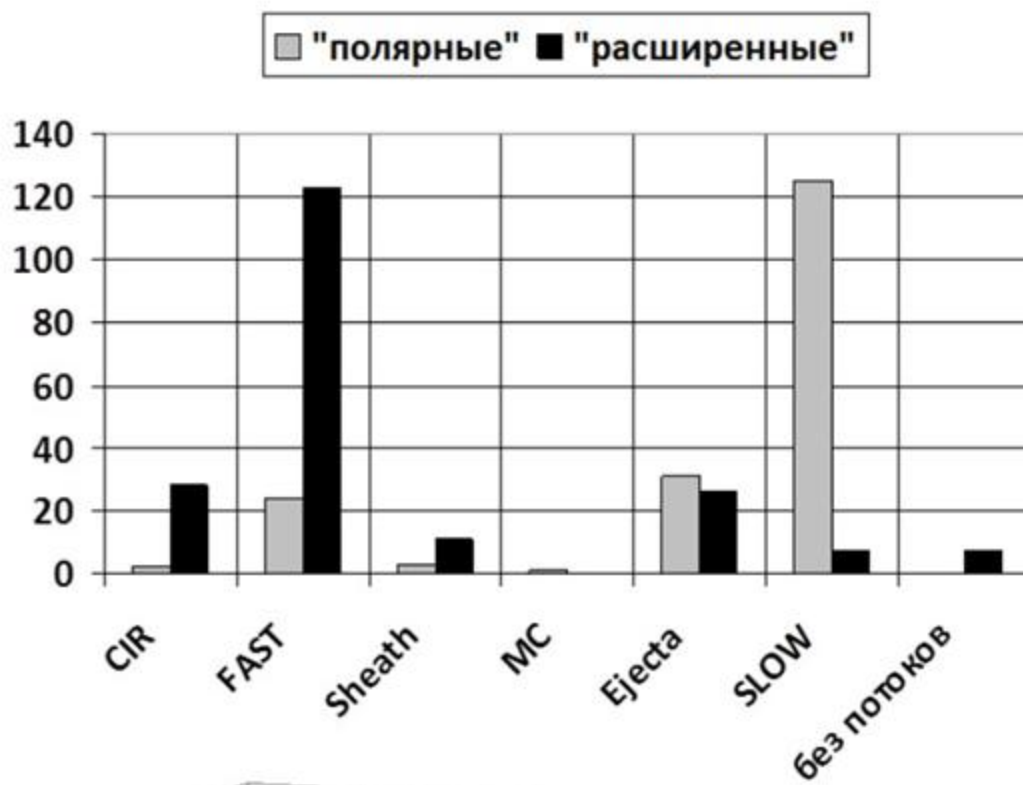
Гистограммы распределения
«расширенных» суббурь по разным типам
солнечного ветра.

- 1) «расширенные» суббури наблюдались главным образом во время высокоскоростных потоков (*FAST*) (~ 61 %).
- 2) во время проявлений межпланетных выбросов массы (*EJECTA*) (~13 %). Если учитывать скорость потока, на фоне которого происходило событие, то «расширенные» суббури наблюдались, как правило, на фоне высокоскоростного потока (*EJECTA, FAST*). Таких было 25 событий и только одна «расширенная» суббуря была зарегистрирована во время *EJECTA*, на фоне медленного потока (*EJECTA, SLOW*).
- 3) «расширенные» суббури наблюдались и во время областей сжатия перед потоками, *CIR* и *SHEATH* (~19 %). Для этих областей суббури могли наблюдаться как на фоне быстрого (*CIR, FAST; SHEATH, FAST*), так и на фоне медленного солнечного ветра (*CIR, SLOW; SHEATH, SLOW*). Этот факт свидетельствует в пользу того, что наряду с высокой скоростью, другие параметры такие, как высокие значения плотности, давления и температуры солнечного ветра, характеризующие области *CIR* и *SHEATH*, также являются благоприятными параметрами для появления «расширенных» суббурь.
- 4) мало событий (~ 3,5%) было зарегистрировано во время медленных потоков (*SLOW*),
- 5) некоторая часть событий (~ 3,5%) наблюдались без определенных потоков солнечного ветра.



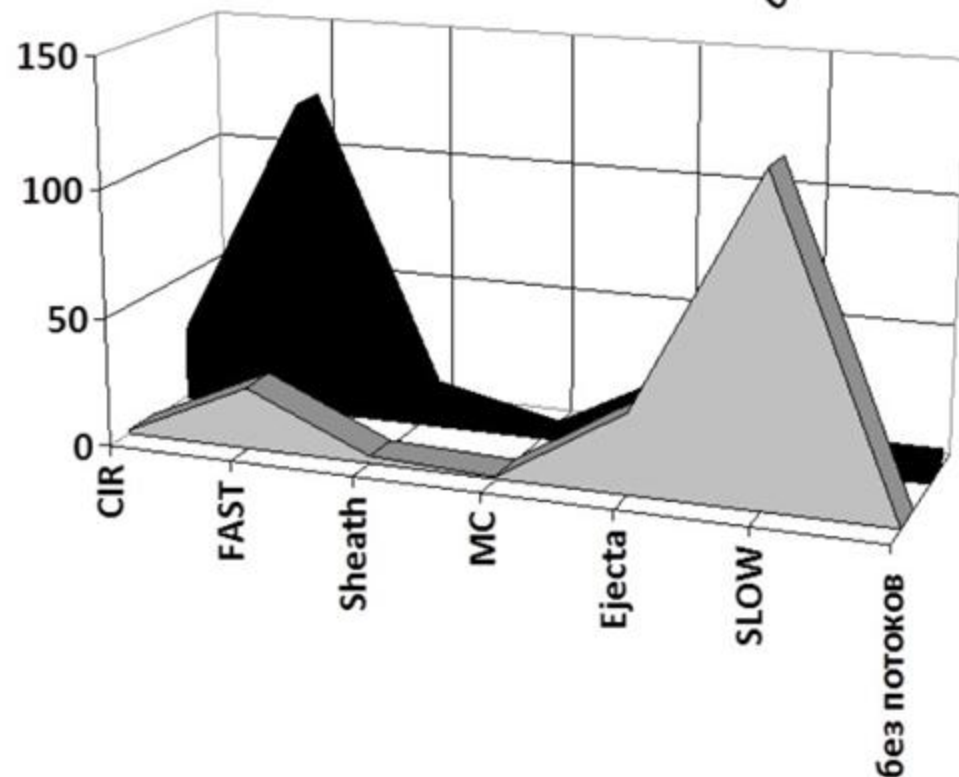
Гистограммы распределения «полярных» суббурь по разным типам солнечного ветра

- 1) во время медленных потоков солнечного ветра (*SLOW*) (67,2%). Примерно одна четверть этих событий – это суббури, наблюдавшиеся на фоне медленных потоков (*SLOW*) и гелиосферного токового слоя (*HCS*). Главной особенностью этих двух типов солнечного ветра являются низкие значения скорости солнечного ветра и, кроме того, одновременные изменения знаков B_X и B_Y ММП, а также высокая плотность солнечного ветра.
- 2) в конце или в начале высокоскоростного потока FAST (~12,9%). Но лишь одно событие было в начале потока, остальные 23 события были в конце потока FAST.
- 3) во время *EJECTA* (16,7%). Однако это было тогда, когда наблюдались *EJECTA* с низкой скоростью (*EJECTA, SLOW*), в отличие от «расширенных» суббурь, которые наблюдались во время *EJECTA* с высокой скоростью солнечного ветра (*EJECTA, FAST*).
- 4) фактически не наблюдались во время магнитных облаков (*MC*). Мы нашли только одну «полярную» суббурю, которая была зарегистрирована во время *MC*. И это было во время магнитного облака с низкой скоростью солнечного ветра, при этом «полярная» суббуря была зарегистрирована при положительных значениях B_Z ММП.



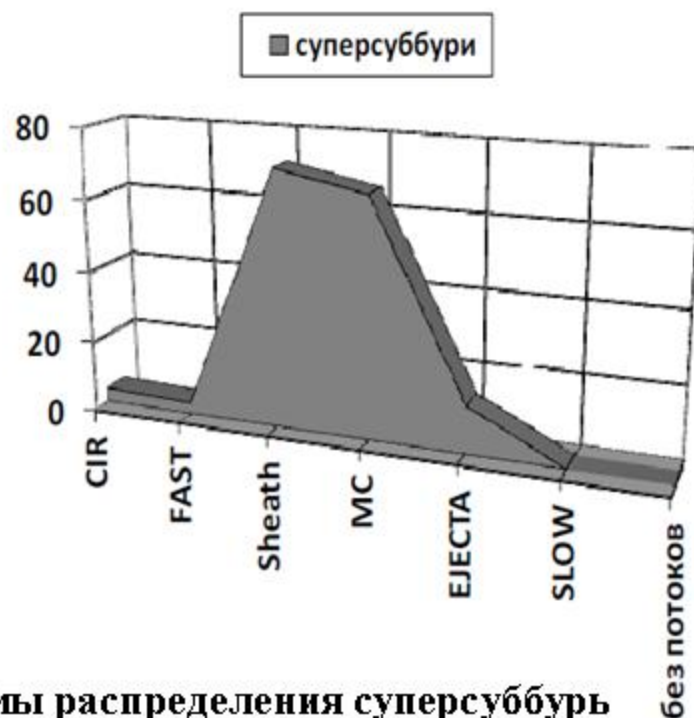
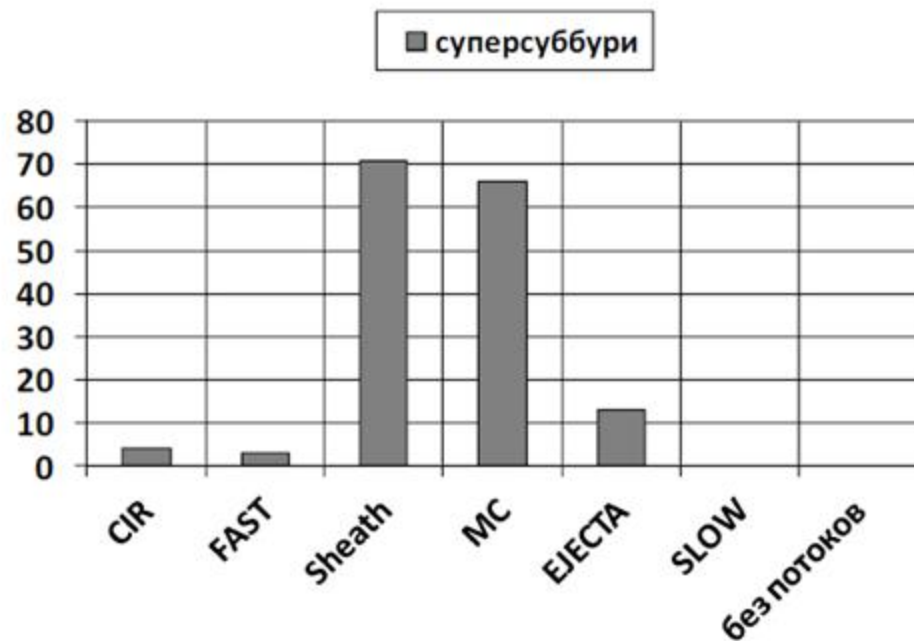
Сравнительные гистограммы распределения двух видов высокоширотных суббурь по разным типам солнечного ветра.

Верхняя панель- одномерная гистограмма,
нижняя- двумерная. Черным цветом показаны
«расширенные» суббури, серым цветом –
«полярные» суббури.



распределения этих суббурь резко
различаются, условия наблюдения
«полярных» и «расширенных» суббурь
практически противоположны.

Надо иметь ввиду, что один и тот же тип
солнечного ветра, указанный на рисунке, может
наблюдаться на фоне разных потоков (*SLOW* и
FAST).



Гистограммы распределения суперсуббурь по разным типам солнечного ветра.

- 1) магнитных облаков (*MC*, 42%),
- 2) во время областей сжатой плазмы *SHEATH* перед магнитными облаками или *EJECTA* (*SHEATH*, 45.2%)
- 3) иногда во время проявлений межпланетных выбросов массы (*EJECTA*) (~13 %).
- 4) очень редко *SSS* могут появляться во время областей сжатой плазмы перед высокоскоростным потоком (*CIR*, 2.5%)
- 5) во время высокоскоростного потока (*FAST*, 1.7%).

Отметим, что суперсуббури по природе своей не отличаются от классических суббурь, они лишь сильнее по интенсивности, по амплитуде. Возможно, к аномальному возрастанию интенсивности суббурь приводит определенная комбинация параметров СВ и ММП.

MC характеризуются высоким и регулярным магнитным полем ($B > 10 \text{ нТл}$), в них магнитное давление преобладает над тепловым давлением ($\beta < 0.5$), динамическое давление выше, чем в высокоскоростных потоках ($P > 5 \text{ нПа}$), и продолжительное время могут сохраняться высокие значения южной компоненты B_z ММП.

SHEATH характеризуются повышенной плотностью ($N > 3 \text{ #/см}^3$), динамическим давлением ($P > 5 \text{ нПа}$), повышенной температурой и высоким магнитным полем ($B > 5 \text{ нТл}$).

Кроме того, часто перед появлением *SSS* отмечались сильные скачки динамического давления и плотности солнечного ветра, которые наблюдались на фоне его высокой скорости.

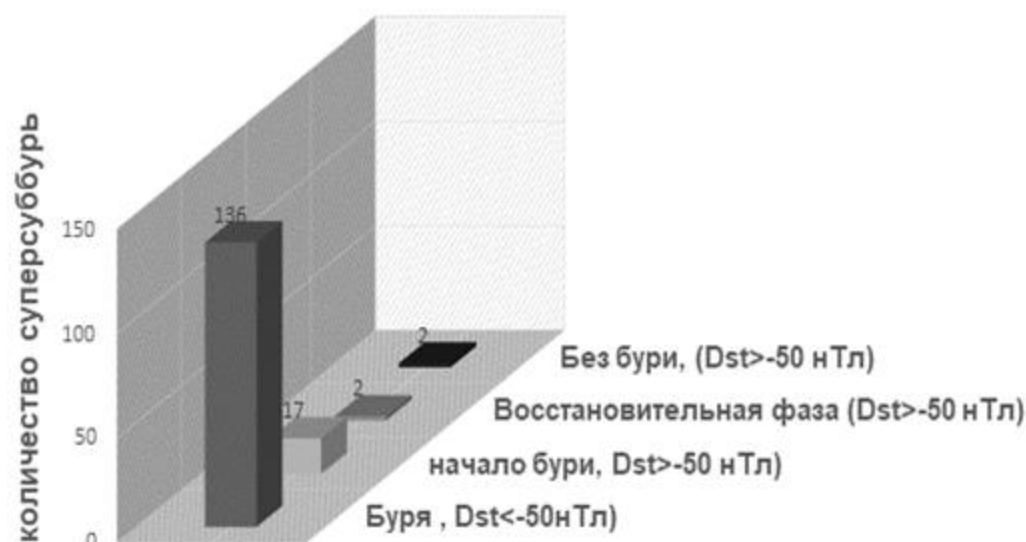
Геомагнитные условия	Тип условий	Число SSS	Всего, %	
Буря Dst < -50 нТл	Буря	136	86.6	
Не буревые условия Dst > -50 нТл	Начало бури, SSC	17	10.82	13.4
	Восстановительная фаза	2	1.27	
	Без бури	2	1.27	

В основном, SSS наблюдаются во время бурь (супербурь и интенсивных бурь) - **86.6%**

Но могут наблюдаться и в небуревых условиях (Dst > -50 нТл) - **13.4%**

Небуревые условия означают, чаще всего, самое начало бури (SSC) ~**11%** или восстановительную фазу бури ~**1.27%**. Только 2 события SSS было зарегистрировано в безбуревых условиях (**1.27%**)

геомагнитные условия



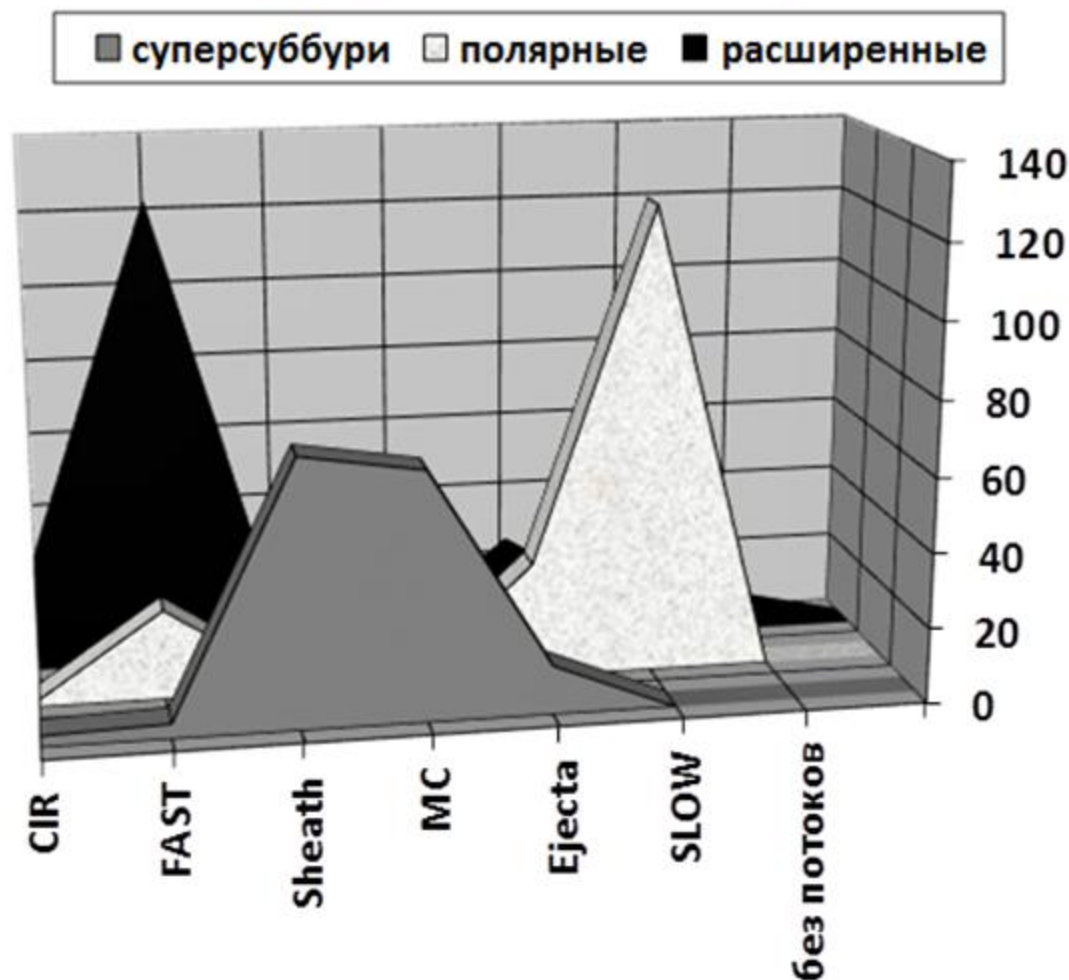
Гистограмма распределения случаев SSS в зависимости от буревых и небуревых условий

SSS во время поздней стадии восстановительной фазы бури, появились во время скачка скорости солнечного ветра, который наблюдался на фоне высоких значений скорости (от ~600 км/с до ~700 км/с и от ~750 км/с до ~1000 км/с), и одновременного скачка температуры, при повышенных значениях южной компоненты ММП, и плавном повышении давления солнечного ветра.

Мы считаем, что наиболее вероятным источником появления SSS может быть повышение скорости солнечного ветра, магнитуды магнитного поля, плотности и динамического давления солнечного ветра при южном направлении ММП

Выводы

В разных условиях космической погоды, определяемых крупномасштабной структурой солнечного ветра, на земной поверхности наблюдаются разные типы магнитных суббурь:



гистограммы распределений «полярных» и «расширенных» суббурь и суперсуббурь (SSS) по различным типам солнечного ветра

Серым цветом показаны суперсуббури, черным цветом - «расширенные» суббури, светло-серым цветом - «полярные» суббури.

- 1) *SSS* появляются, в основном, при межпланетных проявлениях корональных выбросов массы (*SHEATH, MC, EJECTA*);
- 2) «расширенные» суббури - при высокоскоростных потоках из корональных дыр (*FAST, CIR*) и областей сжатой плазмы *SHEATH* перед *EJECTA/MC*;
- 3) «полярные» суббури – при медленных потоках солнечного ветра (*SLOW*) и *EJECTA*, которые связаны с медленным потоком солнечного ветра, а также в конце или в начале высокоскоростного потока (*FAST*), когда скорость солнечного ветра уже или еще не достигает высоких значений.