

# Исследование возможности создания методики классификации событий космической погоды



Научно-исследовательская лаборатория

**ФИЗИКИ  
СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ  
СВЯЗЕЙ**

Нижегородский государственный педагогический университет (ННГПУ)  
Нижний Новгород



Выполнил:  
студент 4 курса ФМИФ  
Додонова И.А.

Научные руководители:  
профессор каф. теор. физ.,  
доктор физ.-мат. наук  
Бархатов Н.А.

ассистент каф. теор. физ.  
Ревунов С.Е. Смирнова А.С.

# Задача исследования

В работе изучается возможность создания космической классификации уединенных геоэффективных событий в солнечном ветре (СВ) и установления причинно-следственной связи рассматриваемых околоземных возмущений с конкретным типом их источника на Солнце. В качестве таких источников, возмущающих спокойный СВ, рассматривались наиболее характерные проявления солнечной активности и их всевозможные сложные сочетания:

## "вспышки" (sf)

(концентрация протонов  $n=10^9-10^{11}$  см<sup>-3</sup>, скорость  $V$  до 1500 км/с, модуль магнитного поля  $B$  до 2-3 тыс. Гс, температура  $T=10^4-10^6$  К<sup>0</sup>).

- корональные "дыры" (CH)  
( $n=3$  см<sup>-3</sup>,  $V>400$  км/с,  $B=5$  нТл),
- активизировавшиеся "волокна" (протуберанцы) (SDF)  
( $n=10^{11}$  см<sup>-3</sup>,  $V=5-10$  км/с,  $B=5-10$  Гс,  $T=10^4$  К<sup>0</sup>),
- корональные (гелиосферные) стриммеры (HCS)  
( $n=10^9$  см<sup>-3</sup>,  $V=150-300$  км/с,  $B=10$  Гс,  $T=10^6$  К<sup>0</sup>).

Предлагаемая методика космической нейросетевой классификации геоэффективных возмущений в СВ позволяет создавать новые стандарты для описания явлений космической погоды.

# Цель, метод и данные исследования

Классификация выполняется **самообучающейся искусственной нейронной сетью (ИНС)** по типу слоя Кохонена, которая выполняет интеллектуальное разделение входных образов:

*концентрации СВ,  
скорости СВ,  
динамического давления СВ,  
компонент ММП*

на классы в интервалах рассматриваемых геомагнитных возмущений.

Анализировались **18 уединенных крупномасштабных событий 1979 года**, каждое продолжительностью 72 часа. Используются данные спутниковой системы OMNI.

## **1 численный эксперимент:**

Классификация уединенных возмущений в СВ с учетом параметров  $N$ ,  $V$ ,  $Bz$

## **2 численный эксперимент:**

Классификация уединенных возмущений в СВ на основе  $NV^2$

## **3 численный эксперимент:**

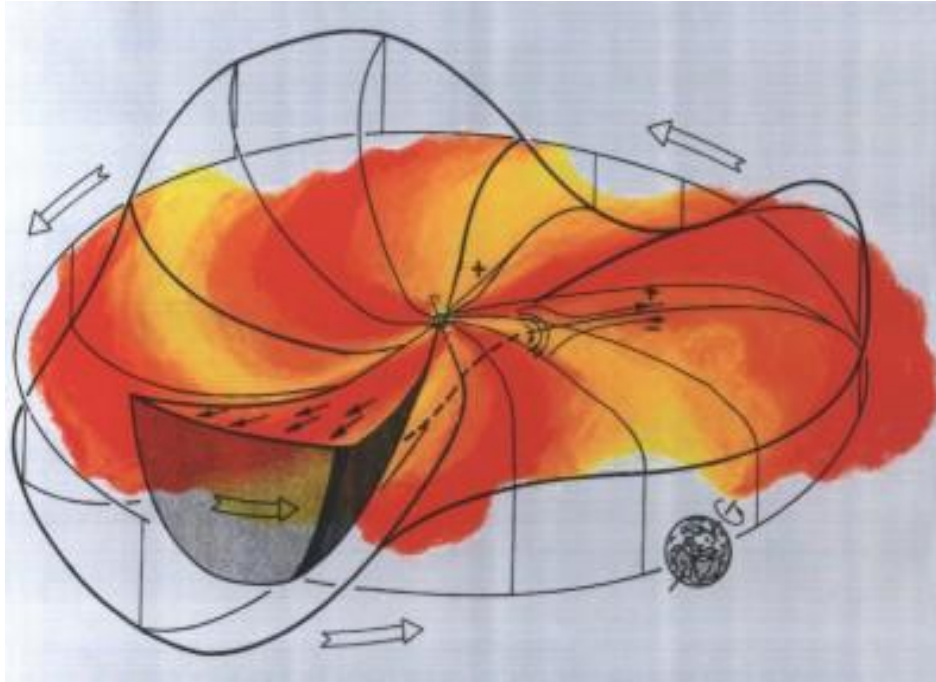
Классификация уединенных возмущений в СВ на основе параметров  $T$ ,  $N$ ,  $V$ ,  $B$  и  $T$ ,  $N$ ,  $V$

**Определение типов солнечных источников ответственных за разного вида геоэффективные возмущения в СВ, оценка качества созданной классификационной ИНС технологии:**

**Первый способ** — сопоставление полученных классов с результатами применения метода анализа данных по прямым солнечным наблюдениям. Данные для них взяты из Solar Geophysical Data, бюллетеней «Солнечные данные» и [King, 1983].

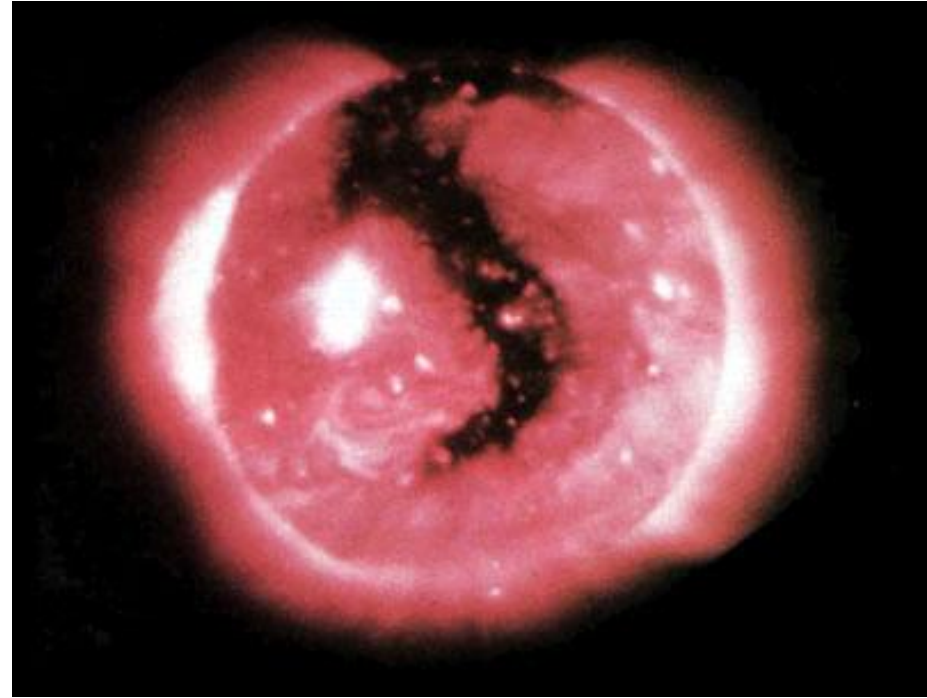
**Второй способ** — сопоставление с результатами полученными на основе статистической методики [Иванов, 1996] связанными с качественным анализом поведения профилей параметров СВ и ММП.

## Heliospheric Current Sheet (HCS)



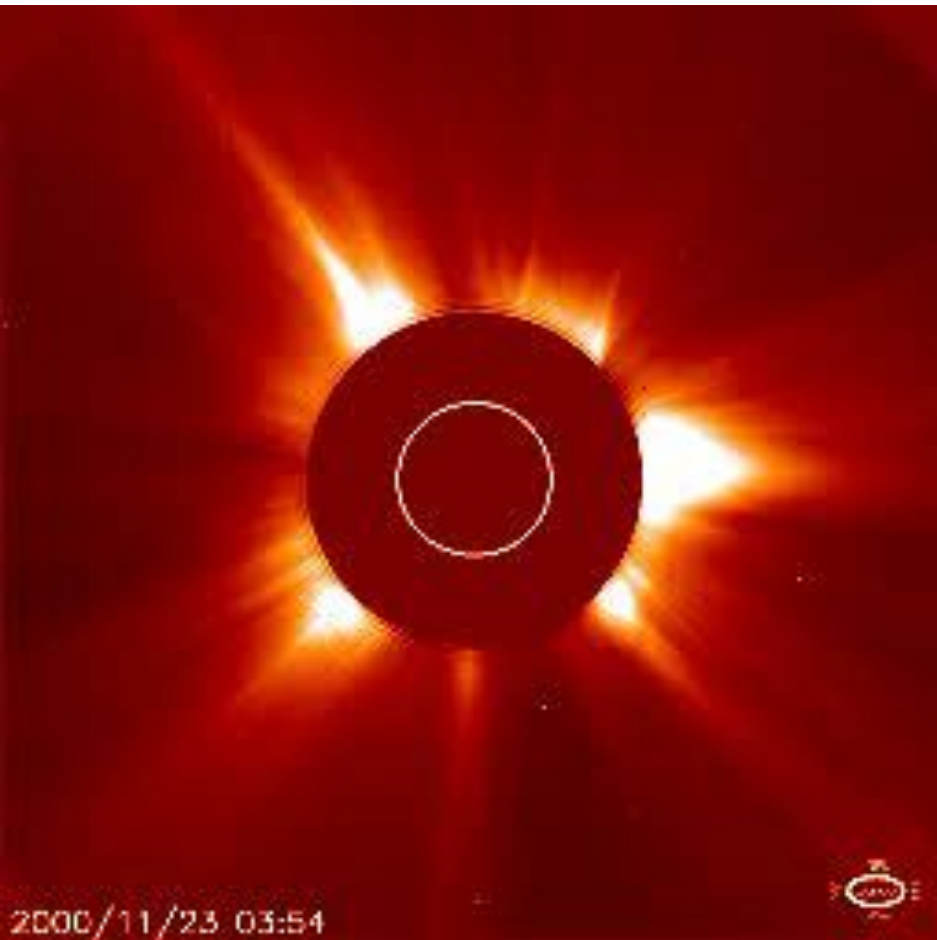
**Рис. 1.** Гелиосферный токовый слой опоясывает Солнце и является центральной частью гелиосферного плазменного слоя представляющего из себя пояс корональных лучей (стримеров).

## Coronal Hole (CH)



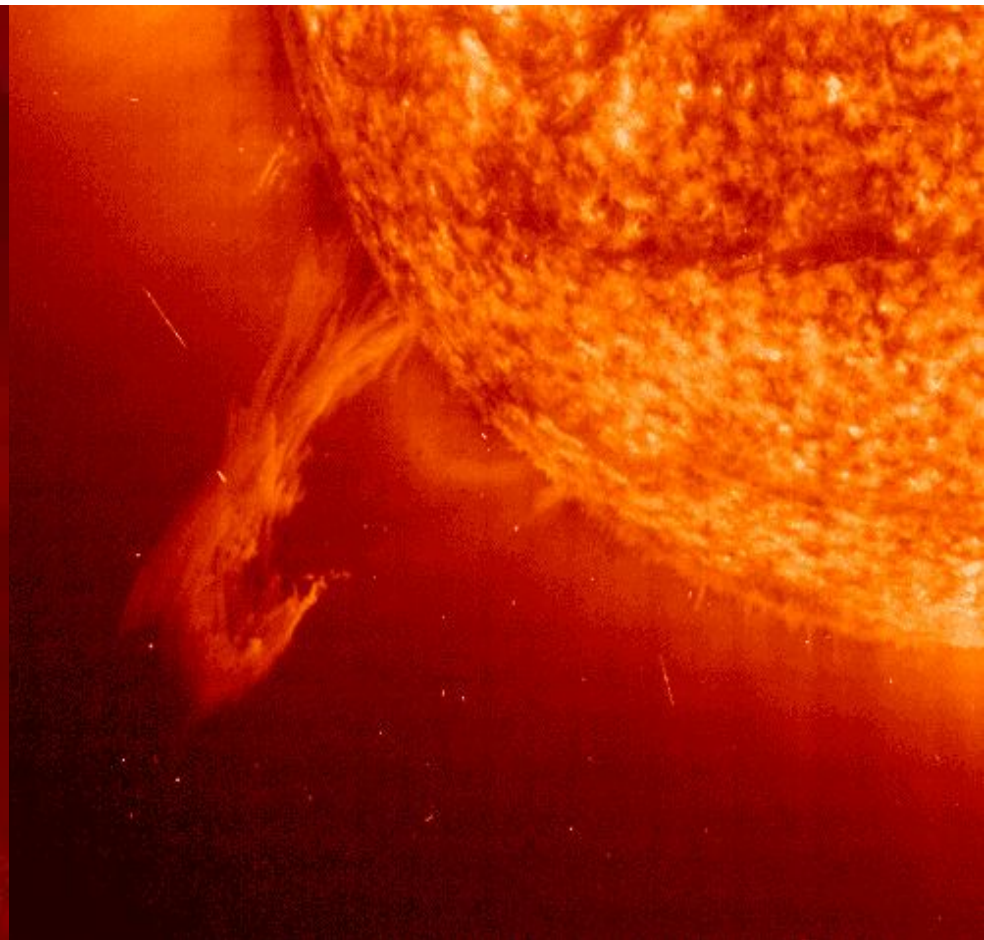
**Рис. 2.** Рентгеновский снимок Солнца в 1973 году. Во внутренней короне видна темная корональная «дыра».

## Solar Flare (Sf)



**Рис. 3.** Крупнейшая солнечная вспышка, зарегистрированная на SOHO 04.02.2001 (виден СМЕ).

## Волокно (SDF)

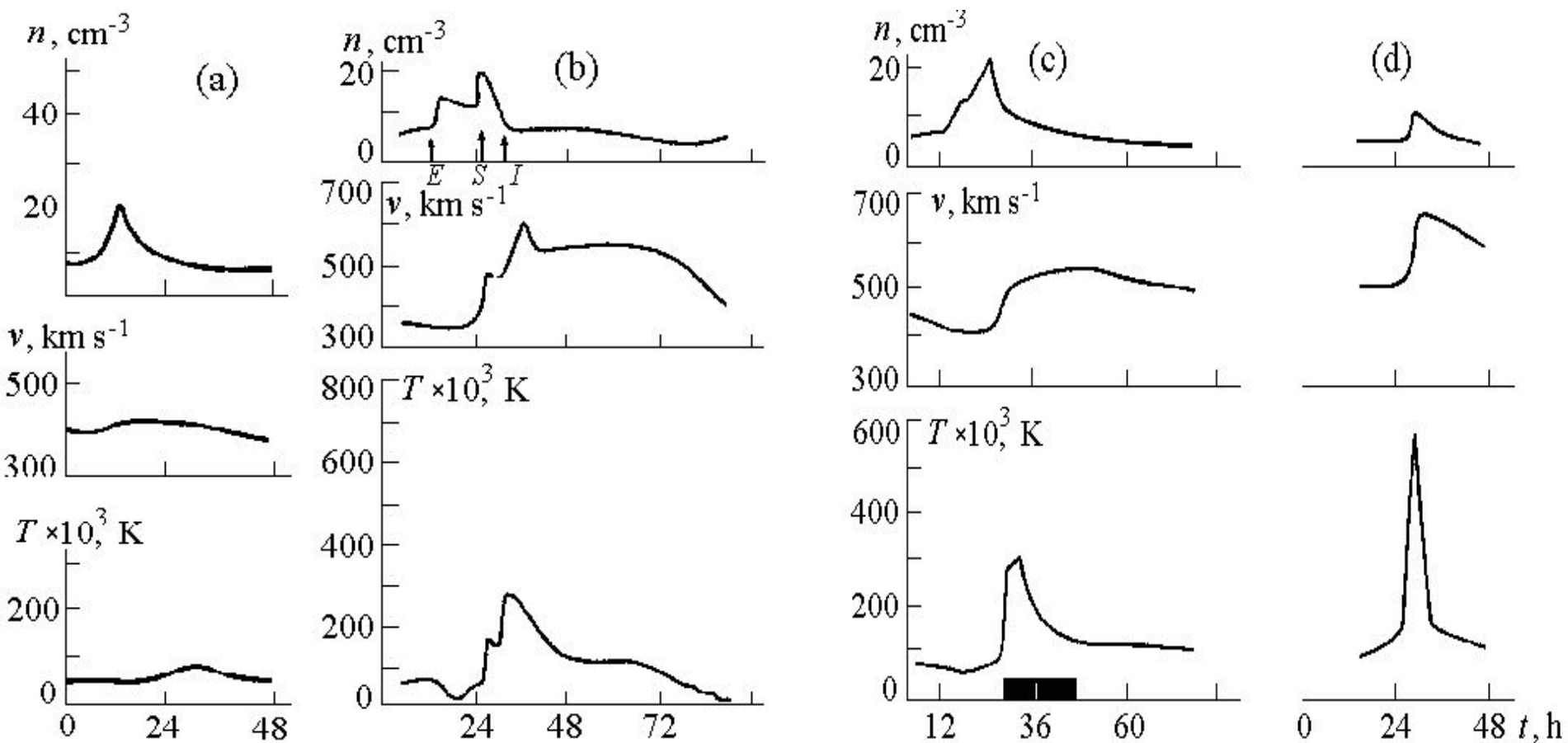


**Рис. 4.** Волокно. Часто связано с солнечными вспышками, составляет часть вспышечного процесса.

# Идентификация потоков межпланетной плазмы на орбите Земли на основе статистического анализа [Иванов, 1996].

- Изолированные SDF-потоки длятся около двух суток и состоят из головного уплотнения (собственно выброс) и последующего небольшого возрастания  $v$  и  $T$  (постэруптивное течение).
- Потоки из двух источников (кроме sf-CH-потока) отличаются от SDF-потока более или менее резким подъемом  $T$  к максимуму на спаде  $n$ . Это область разогрева (взаимодействия) двух потоков.
- Поток sf-CH выглядит, как типичная взрывная волна. Обычно он интерпретируется как изолированный sf-поток, распространяющийся в спокойном СВ. В предложенной классификации роль спокойного СВ играет поток из корональной дыры. Потоки sf-CH-HCS и sf-CH-SDF-HCS подобны sf-CH и также имеют форму взрывных волн и экстремальные  $n_{\max}$ ,  $v_{\max}$ ,  $T_{\max}$ .
- Форма потоков от трех источников более сложная, что выражается в появлении двух максимумов в  $n$ ,  $v$  и  $T$ , отождествляемых с волоконными выбросами, границами взаимодействия и ударными волнами.

# Типичное поведение параметров потоков на основе статистического анализа



**Рис.5.** Средние вариации концентрации ( $n$ ), скорости ( $v$ ) и температуры ( $T$ ) протонов у Земли: а – в SDF; б – в sf-CH-SDF, с – в CH-SDF, д – в sf-CH потоках.



# Выполнение численных классификационных экспериментов

Создана нейросетевая технология классификации уединенных крупномасштабных событий, зарегистрированных вблизи Земли. Для этого построена самообучающаяся искусственная нейронная сеть типа слоя Кохонена, выполняющая разделение на классы данных о возмущениях концентрации, скорости солнечного ветра и компонент межпланетного магнитного поля в интервалах рассматриваемых возмущений.

Интенсивность событий определялась по амплитуде индекса Dst:

- слабоинтенсивные - события с  $50 < Dst < 0$  нТл;
- среднеинтенсивные - события с  $-100 < Dst < 0$  нТл;
- интенсивные – события с  $-150 < Dst < 0$  нТл.

Качество разработанной в данном исследовании технологии определялась как процентное отношение количества событий доминирующего типа солнечного источника полученных по статистической методике или по методике прямых солнечных наблюдений, к общему числу событий в

# Результаты 1 численного эксперимента N, V, Vz.

	№ класса (ИНС)	Дата события	Интенсивность события по Dst	Результаты, полученные по методике [Иванов, 1996]		Данные прямых солнечных наблюдений [King, 1983]	
				Тип потока	Совпадение	Тип потока	Совпадение
Интенсивные события	1	18.02 05.04 13.08 29.08	сл. инт. ср. инт. инт.	sf-CH-HCS sf-CH sf-CH sf-CH	75%	sf-CH CH SDF-CH sf	75%
Малоинтенсивные события	2.1	20.10 28.10 14.12	сл. сл. сл	sf-CH-SDF CH-SDF-HCS CH-SDF-HCS	66%	SDF NCDE CH	–
	2.2	04.03 21.04 08.05 18.05 08.12	ср. инт. ср. инт. сл. сл. сл.	SDF CH-SDF CH-SDF-HCS CH-SDF CH-SDF-HCS	80%	SDF HTS-CH CH HTS-CH CH	80%
	2.3	09.01 04.02 26.06 03.09 18.09	сл. сл. сл. сл. инт.	sf-CH sf-CH sf-CH CH-SDF SDF	60%	SDF SDF SDF CH SDF	80%
	2.4	22.03	ср. инт.	sf-CH	–	sf	–

**Табл. 1.** Результаты классификации уединенных крупномасштабных возмущений в солнечном ветре на основе N, V, Vz.

## Результаты 2 численного эксперимента $P=NV^2$

	№ класса (ИНС)	Дата события	Интенсивность события по Dst	Результаты, полученные по методике [Иванов, 1996]		Данные прямых солнечных наблюдений [King, 1983]		
				Тип потока	Совпадение	Тип потока	Совпадение	
Интенсивные события	1	22.03	ср. инт.	sf-CH	100%	sf	50%	
		05.04	инт.	sf-CH		CH		
		13.08	ср. инт.	sf-CH		SDF-CH		
		29.08	инт.	sf-CH		sf		
Малоинтенсивные события	2.1	20.10	сл.	sf-CH-SDF	60%	SDF	—	
		28.10	сл.	CH-SDF-HCS		NCDE		
		14.12	сл.	CH-SDF-HCS		CH		
		03.09	сл.	CH-SDF		CH		
		26.06	сл.	sf-CH		SDF		
	2.2	04.03	ср. инт.	SDF	60%	SDF	80%	
		21.04	ср. инт.	CH-SDF		HTS-CH		
		08.05	сл.	CH-SDF-HCS		CH		
		18.05	сл.	CH-SDF		HTS-CH		
	2.3	2.3	18.02	сл.	sf-CH-SDF	75%	CH-sf	75%
			09.01	сл.	sf-CH		SDF	
			04.02	сл.	sf-CH		SDF	
18.09			инт.	SDF	SDF			
		08.12	сл.	CH-SDF-HCS		CH		

**Табл. 2.** Результаты классификации уединенных крупномасштабных возмущений в солнечном ветре на основе  $P=NV^2$ .

# Группа 1: интенсивные события

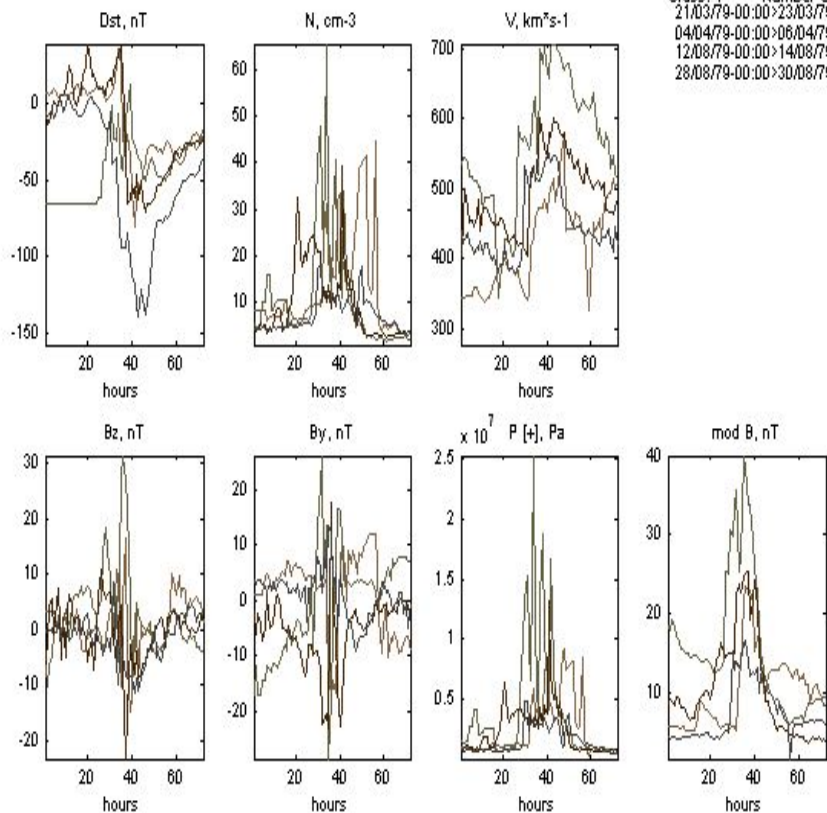


Рис. 6.

# Группа 2.1: Малоинтенсивные события.

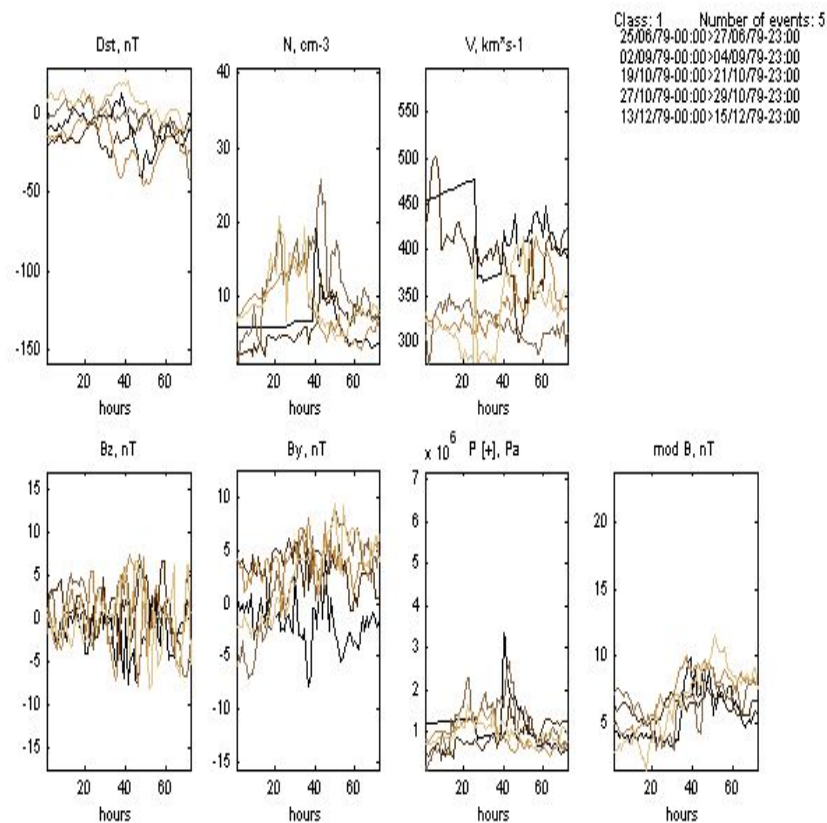


Рис. 7.

## Группа 2.2: Малоинтенсивные события.

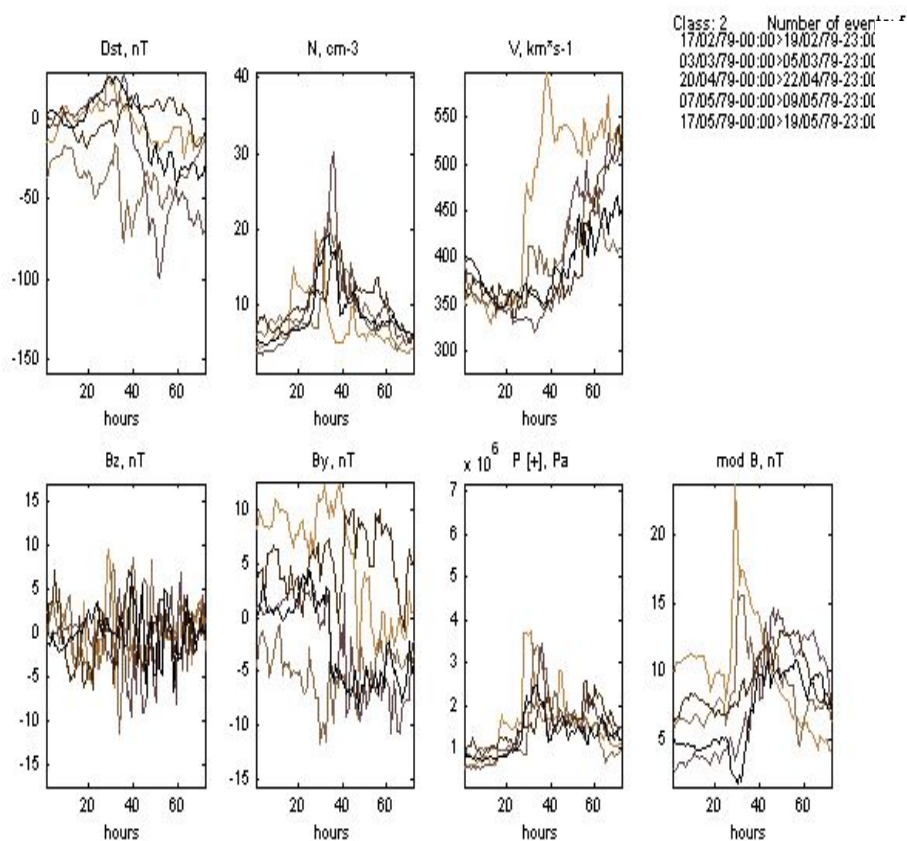


Рис. 8.

## Группа 2.3: Малоинтенсивные события.

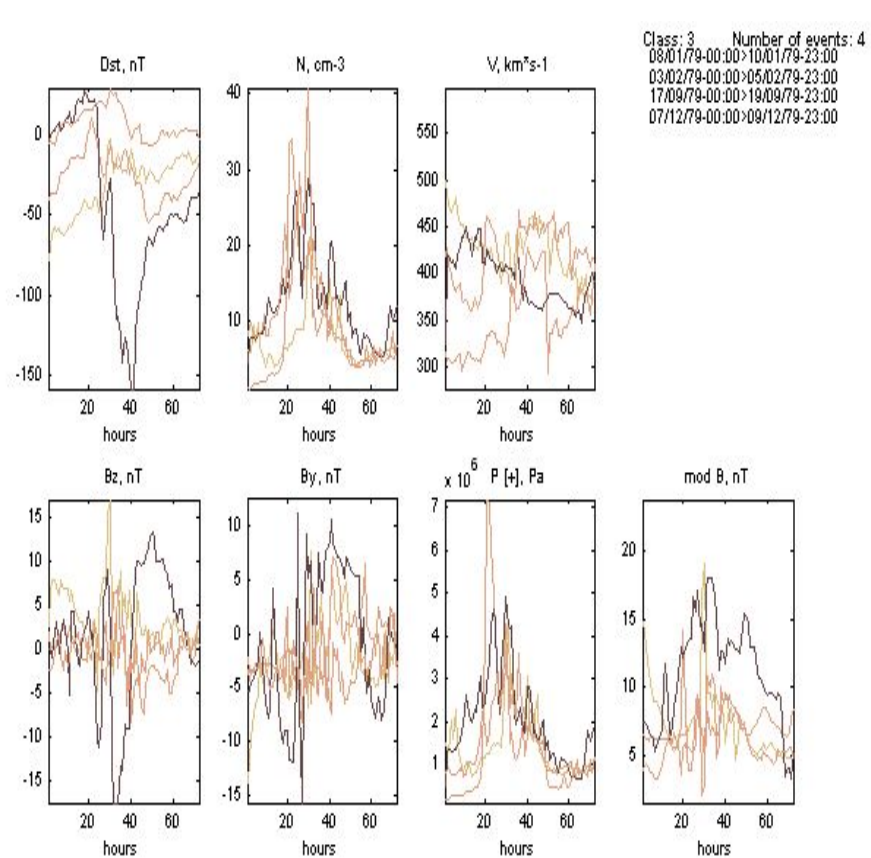


Рис. 9.

## Результаты 3 численного эксперимента T, N, V, B.

	№ класса (ИНС)	Дата события	Интенсивность события по Dst	Результаты, полученные по методике [Иванов,1996]		Данные прямых солнечных наблюдений [King, 1983]	
				Тип потока	Совпадение	Тип потока	Совпадение
<b>Интенсивные События</b>	<b>1.1</b>	18.02	сл.	sf-CH-HCS	100%	sf-CH	75%
		22.03	ср. инт.	sf-CH		sf	
13.08	ср. инт.	sf-CH	SDF-CH				
29.08	инт.	sf-CH	sf				
	<b>1.2</b>	05.04	инт.	sf-CH	–	CH	–
<b>Мало-интенсивные события</b>	<b>2.1</b>	09.01	сл.	sf-CH	60%	SDF	80%
		04.02	сл.	sf-CH		SDF	
		26.06	сл.	sf-CH		SDF	
		03.09	сл.	CH-SDF		CH	
		18.09	инт.	SDF		SDF	
	<b>2.2</b>	04.03	ср. инт.	SDF	75%	SDF	63%
		21.04	ср. инт.	CH-SDF		HTS-CH	
		08.05	сл.	CH-SDF-HCS		CH	
		18.05	сл.	CH-SDF		HTS-CH	
		08.12	сл.	CH-SDF-HCS		CH	
20.10	сл.	sf-CH-SDF	SDF				
28.10	сл.	CH-SDF-HCS	NCDE				
14.12	сл.	CH-SDF-HCS	CH				

**Табл. 3.** Результаты классификации уединенных крупномасштабных возмущений в солнечном ветре на основе T, N, V, B.

# Обобщенные итоги численных экспериментов

№ численного эксперимента	Эффективность классификации, %	
	Статистическая методика	Данные прямых солнечных наблюдений
1	71%	65%
2	73%	50%
3	76%	71%

Итогом работы специально созданной самообучающейся классификационной ИНС типа слоя Кохонена стало разделение рассматриваемых уединенных событий на следующие классы:

## Статистическая методика:

Класс 1 (1.1): среднеинтенсивные потоки типа sf-CH;

Класс 2 (1.2): интенсивные потоки типа sf-CH;

Класс 3 (2.1): слабоинтенсивные потоки типа sf-CH;

Класс 4 (2.2): среднеинтенсивные и слабоинтенсивные потоки типа CH-SDF.

Класс SDF при классификации с помощью статистической методики отдельно не выделился в связи со слабой интенсивностью данного типа возмущающих потоков и был отнесен ИНС к доминирующему классу потоков CH-SDF.

## Данные прямых солнечных наблюдений:

Класс 1: вспышки различной интенсивности;

Класс 2: интенсивные корональные дыры;

Класс 3: слабоинтенсивные волокна;

Класс 4: слабоинтенсивные корональные дыры.

# Основные выводы исследования

В работе с использованием технологии ИНС установлены типы возмущений параметров межпланетной среды, ответственные за разные виды уединенных крупномасштабных возмущений в СВ. Согласно работам [Иванов, 1996; Иванов и Ромашец, 2000] и данным прямых солнечных наблюдений удалось выстроить иерархию солнечных событий.

Предлагаемая классификация позволяет не только с высокой степенью эффективности (до 76%) классифицировать события космической погоды, зарегистрированные в околоземном пространстве, но и сделать предположение об энергичности начальных возмущающих солнечных потоков, вызывающих крупномасштабные возмущения в СВ.

Данная методика космической классификации геоэффективных возмущений позволит в будущем создать новый стандарт описания явлений космической погоды.