

36

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ



Поведение скорости и температуры солнечного
ветра в межпланетных возмущениях,
создающих Форбуш-понижения

А. А. Мелкумян, А. В. Белов, М. А. Абунина, А. А. Абунин,
Е. А. Ерошенко, В. А. Оленева, В. Г. Янке

Введение

- ▶ Форбуш-понижения космических лучей (КЛ) обусловлены двумя типами солнечных источников: корональными дырами и корональными выбросами массы. В некоторых случаях **идентификация солнечного источника** с межпланетным возмущением, вызывающим Форбуш-понижение, **затруднена** и **требуется** тщательного и детального анализа характеристик солнечного ветра. В этих случаях **полезно сопоставить** поведение протонной температуры и скорости солнечного ветра. В данной работе такое сопоставление проводилось на основе **большого экспериментального материала**, объединенного в базы данных ИЗМИРАН

Цель работы

- ▶ На большом количественном материале **получить** **связь** между **температурой** и **скоростью** спокойного солнечного ветра и, на основе этой связи, **разработать** и **опробовать** метод **выделения межпланетных возмущений**, позволяющий получить дополнительные параметры для характеристики возмущений солнечного ветра, эффективно модулирующих космические лучи

Основная задача

- ▶ **Сконструировать** связанный с температурой числовой индекс, который **поможет идентифицировать** тип межпланетных возмущений, модулирующих КЛ

Используемые данные

- ▶ часовые значения **параметров межпланетной среды** (V_{SW} , N_{SW} , T_{SW} , B_{IMF}), взятые из базы OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>)
- ▶ часовые значения **вариаций плотности и анизотропии космических лучей**, рассчитанные по данным мировой сети нейтронных мониторов методом глобальной съемки для частиц жесткостью 10 ГВ
- ▶ с 1 июля 1965 г. по 31 декабря 2018 г.
- ▶ Количество часов с данными $N_{sum} = 332153$ ч

Структура работы

- ▶ Выделение спокойного СВ
- ▶ Построение регрессионных моделей зависимости протонной температуры T от скорости V для невозмущенного солнечного ветра
- ▶ Вычисление ожидаемых значений протонной температуры T_{exp} по наблюдаемым значениям скорости V для всего массива данных
- ▶ Вычисление почасовых значений температурного индекса $K_T = T_{\text{obs}}/T_{\text{exp}}$ для всего массива данных
- ▶ Анализ полученных значений температурного индекса для Форбуш-понижений (ФП), вызванных корональными выбросами массы или высокоскоростными потоками из корональных дыр

Параметры солнечного ветра, используемые для исключения возмущенных областей

№	Параметр солнечного ветра	Значения параметра в возмущенных областях
1	Индукция ММП	$B > 7$ нТл
2	Модуль вертикальной составляющей индукции ММП	$ B_z > 3.5$ нТл
3	Отклонение силовой линии ММП	$B_x B_y > 0$
4	Скорость солнечного ветра	$V > 900$ км/с
5	Модуль почасового изменения скорости солнечного ветра	$ \Delta V > 35$ км/с
6	Параметр бета (отношение давления плазмы к давлению магнитного поля)	$\beta < 0.1$

Зависимость температуры от скорости для невозмущенного солнечного ветра

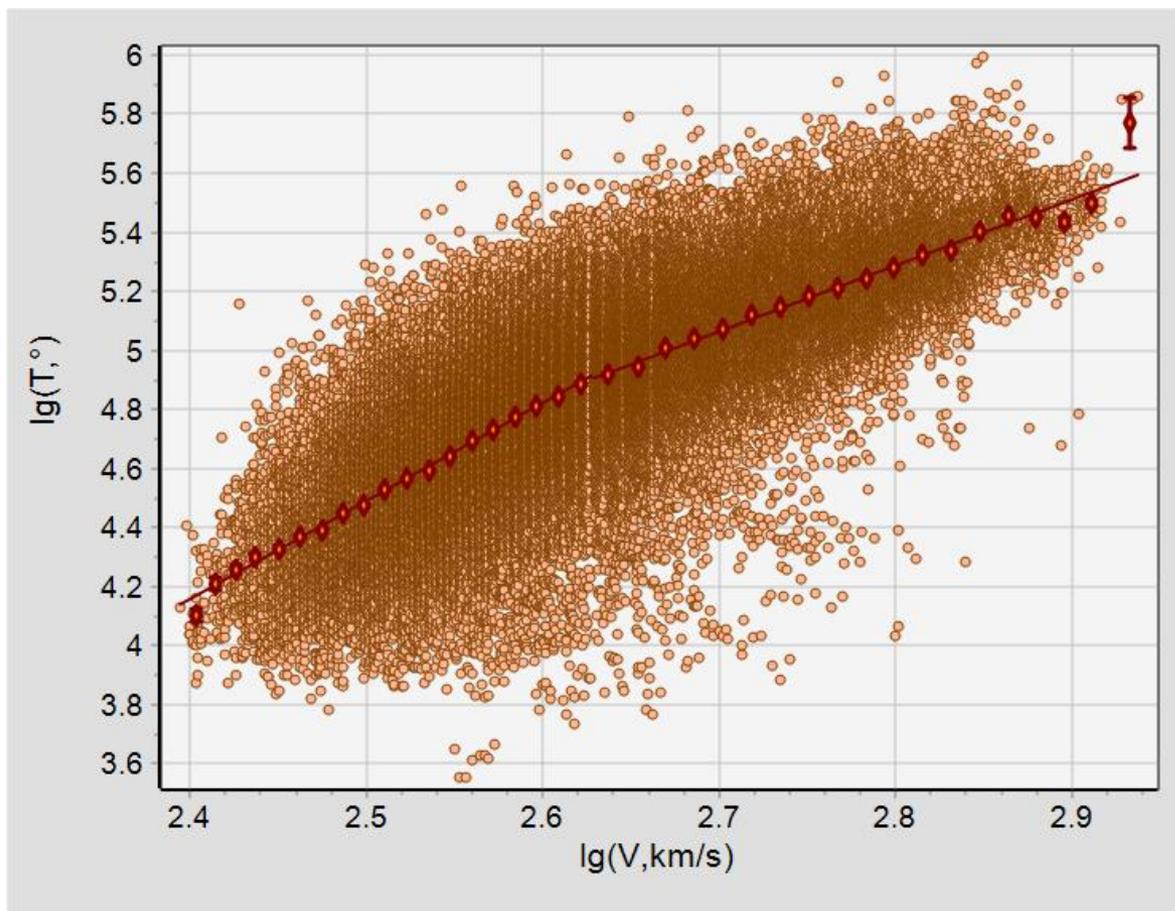


Диаграмма рассеяния протонной температуры T и скорости V невозмущенного солнечного ветра ($N = 74368$); линии регрессии для низкоскоростного ($V < 425$ км/с) и высокоскоростного ($V \geq 425$ км/с) солнечного ветра

Степенные модели зависимости протонной температуры от скорости для низкоскоростного и высокоскоростного невозмущенного солнечного ветра

Скорость солнечного ветра (км/с)	Модель	Количество наблюдений	Коэффициенты регрессии		Коэффициент корреляции
			a	b	
$V < 425$	$\lg T = a + b \lg V$	42956	-3.938 ± 0.001	3.37 ± 0.02	0.589 ± 0.003
$V \geq 425$	$\lg T = a + b \lg V$	31412	-0.889 ± 0.001	2.21 ± 0.02	0.617 ± 0.004

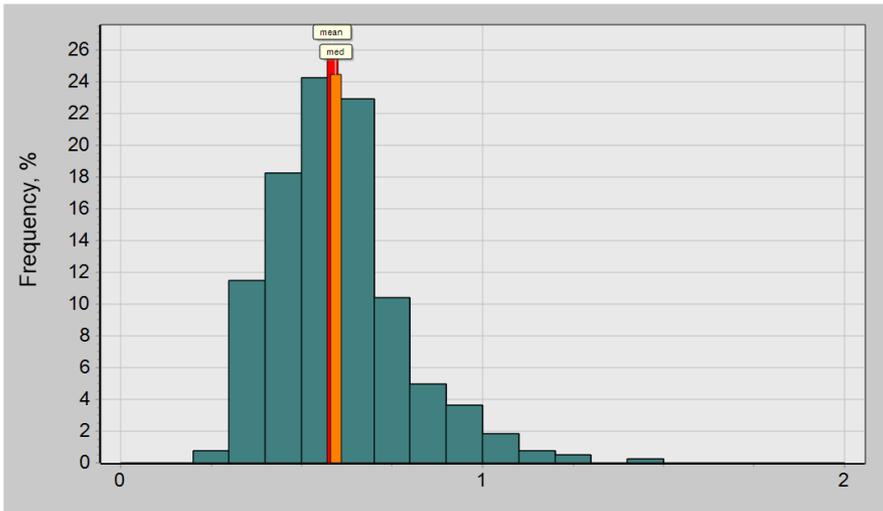
С использованием **моделей**, представленных в таблице, для исходного массива данных **по значениям скорости** солнечного ветра V были **рассчитаны** почасовые значения ожидаемой температуры T_{exp} и температурного индекса $K_T = T_{\text{obs}}/T_{\text{exp}}$



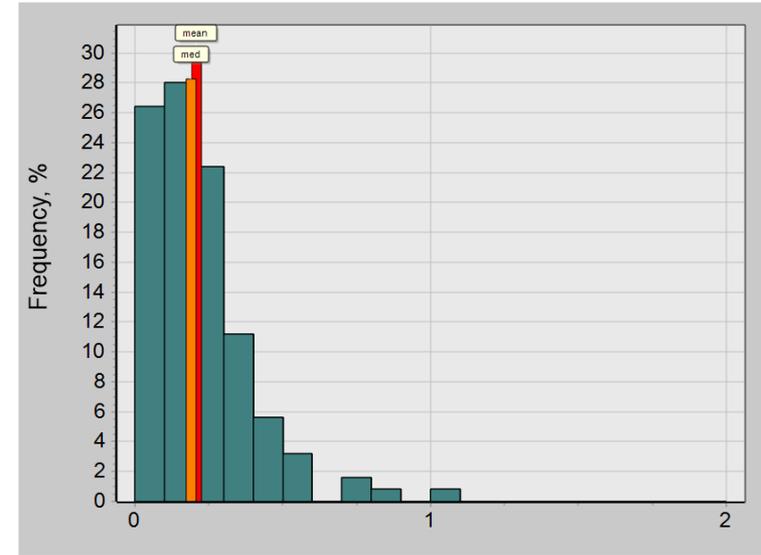
Гистограмма почасовых значений температурного индекса K_T ($N_{\text{sum}} = 332153$)

Типы солнечных источников

- ▶ Можно предположить, что часы с самыми низкими значениями температурного индекса соответствуют ICMEs, часы с наиболее высокими значениями – областям взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра



Значения K_T для ФП, вызванных высокоскоростными потоками из корональных дыр (Май 1996 – Июль 2016)

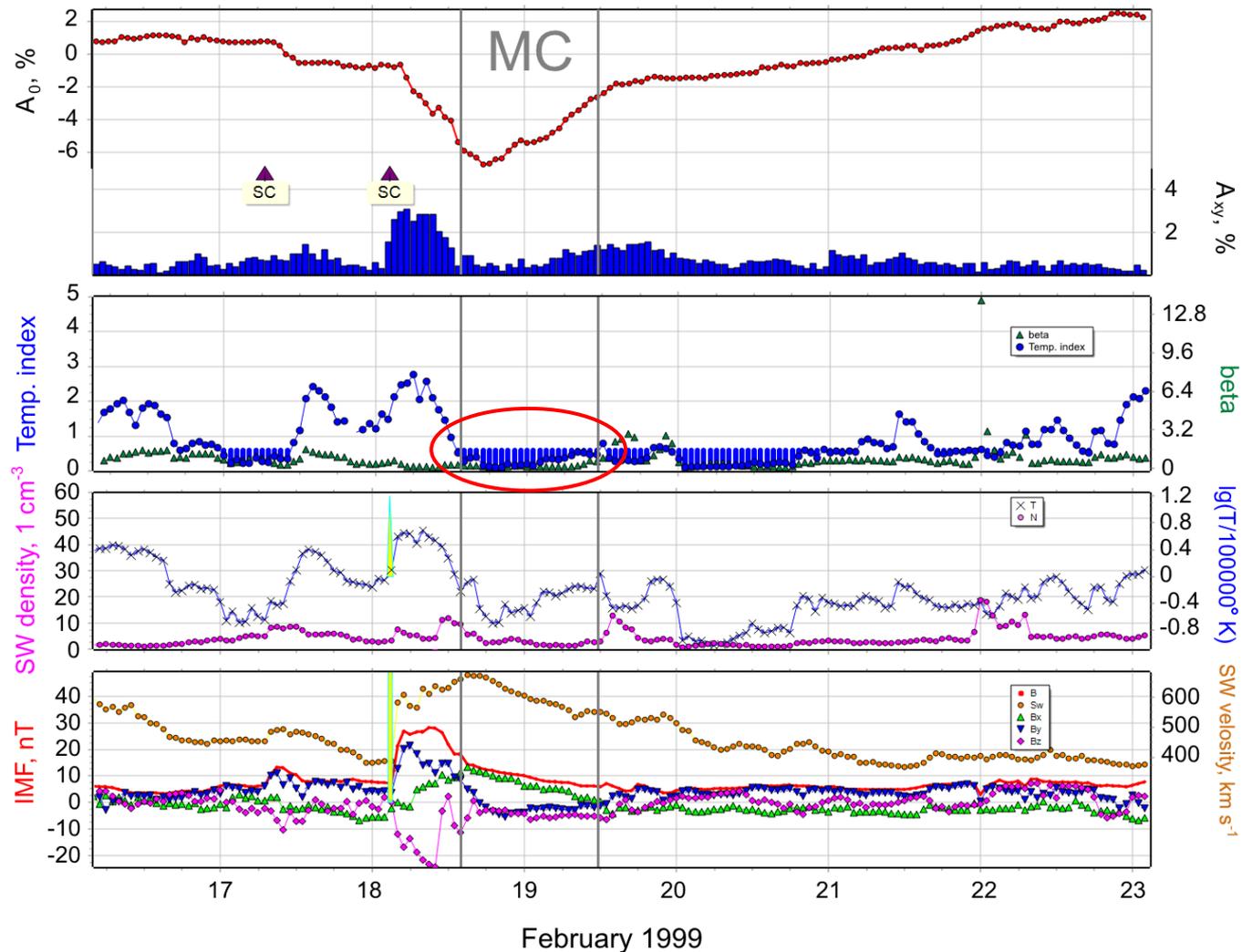


Значения K_T для ФП, вызванных МО (Май 1996 – Июль 2016)

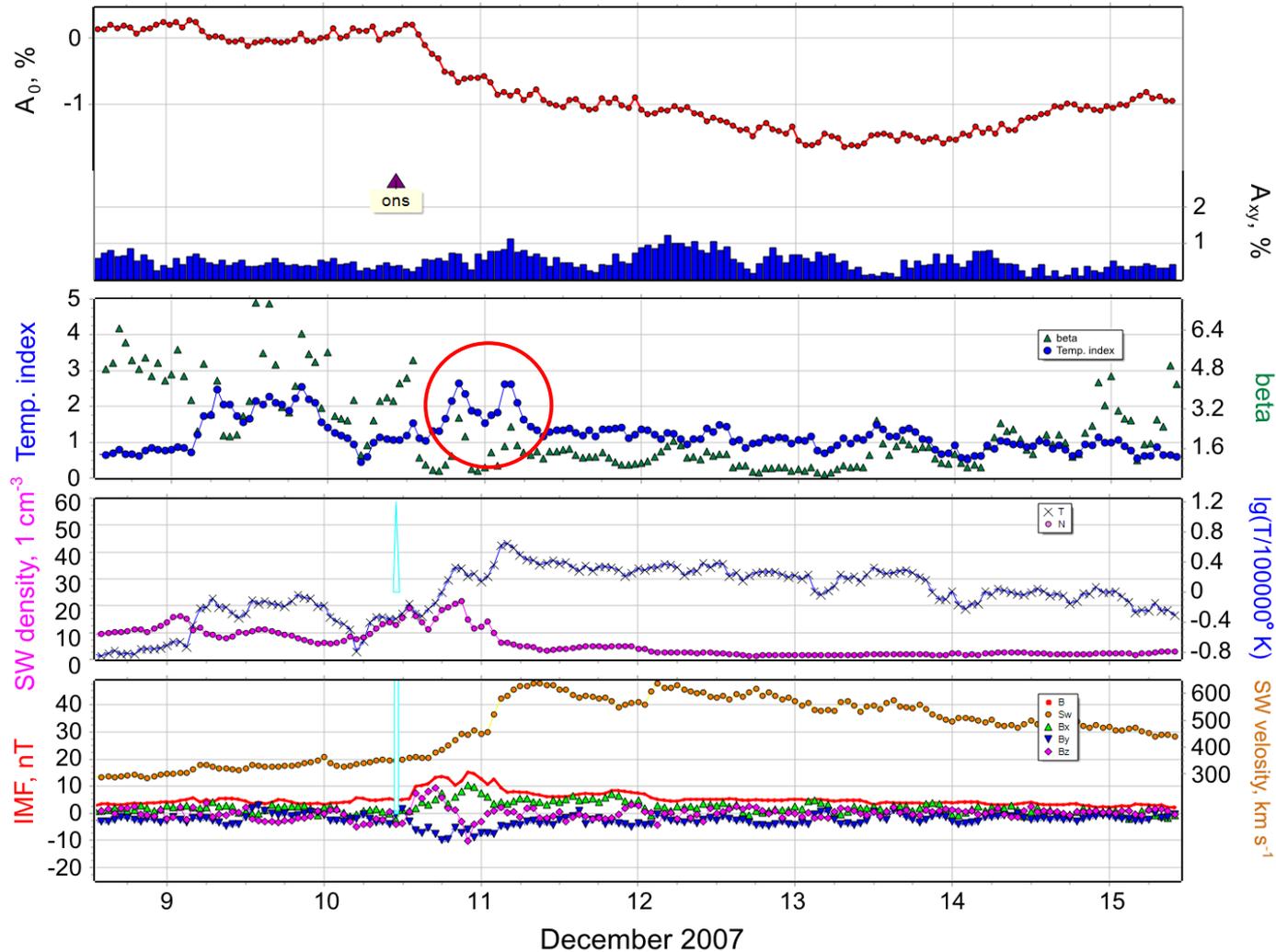
ФП	N	Mean	Med	Min	Max
Группа MC	117	0.189 ± 0.012	0.16	0.06	0.47
Группа CH	386	0.602 ± 0.010	0.58	0.28	2.10

Значения температурного индекса (K_T) для ФП, связанных с МО (группа MC) и КД (группа CH)

Пример ФП, причиной которого был выброс солнечного вещества



Пример ФП, причиной которого был высокоскоростной поток из корональной дыры



Выводы

- ▶ Получена связь протонной температуры (T) и скорости (V) солнечного ветра в спокойных условиях на большом экспериментальном материале
- ▶ Зависимость температуры от скорости для спокойного солнечного ветра хорошо описывает степенная модель с показателем степени $\gamma = 3.37 \pm 0.02$ в области низких скоростей ($V < 425$ км/с) и $\gamma = 2.21 \pm 0.02$ в области высоких скоростей ($V \geq 425$ км/с)
- ▶ Вычислены ожидаемая протонная температура T_{exp} и температурный индекс $K_T = T_{\text{obs}}/T_{\text{exp}}$ для каждого часа с 1965 по 2018 г., для которого есть данные о параметрах солнечного ветра
- ▶ Этот индекс, как правило, аномально велик в областях взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра и аномально мал внутри магнитных облаков
- ▶ Полученный индекс применим для идентификации солнечных источников Форбуш-понижений

Для более подробной информации смотрите: Мелкумян А.А., Белов А. В., Абунина М. А., Абунин А. А., Ерошенко Е. А., Оленева В. А., Янке В. Г. Поведение скорости и температуры солнечного ветра в межпланетных возмущениях, создающих Форбуш-понижения // Геомагнетизм и Аэрономия, 2020, том 60, № 5, с. 547-556