

Ширяев А.О.^{1,2}, Капорцева К.Б.^{1,3}, Шугай Ю.С.¹, Бобровников С.А.¹, Калегаяев В.В.^{1,3}

¹НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова

²Брянский государственный технический университет, факультет информационных технологий

³Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет

email: anton.o.shiryaev@gmail.com

Абстракт

Корональные выбросы массы (КВМ) – мощные события солнечной активности, наблюдаемые в коронографе в короне Солнца в видимом свете. КВМ, идентифицированные в межпланетном пространстве, называются межпланетными КВМ (МКВМ). Изучение МКВМ и прогнозирование их прибытия являются важной задачей космической погоды.

Каталоги МКВМ составляются различными научными группами и используются в дальнейшем для верификации моделей прогнозирования КВМ. Из-за расхождений в критериях идентификации МКВМ информация в различных каталогах может значительно варьироваться.

В работе предложен алгоритм объединения каталогов для создания более полной базы МКВМ, зарегистрированных у Земли, и построен объединённый каталог.

Каталог опубликован на сайте центра космической погоды НИИЯФ МГУ:

https://swx.sinp.msu.ru/tools/icme_list.php

Исходные данные

Для объединения каталогов и поиска совпадающих событий используются следующие временные характеристики МКВМ:

- T_{source} (время наблюдения источника события в короне)
- T_{shock} (время регистрации прибытия ударной волны)
- T_{start} (время начала наблюдения тела МКВМ).

В настоящей работе рассмотрен каталог МКВМ Richardson & Cane, список МКВМ, используемый сервисом CSMC CME Scoreboard для верификации моделей КВМ, и каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра ИКИ РАН за 2010–2022 годы.

Каталоги Richardson & Cane и CSMC CME Scoreboard предоставляют списки обнаруженных событий, в то время как каталог ИКИ РАН разбивает весь временной ряд на типы солнечного ветра. Поэтому для сопоставления с другими каталогами в каталоге ИКИ РАН как МКВМ выделены следующие последовательности типов солнечного ветра:

- EJE/MC
- IS+EJE/MC
- IS+SHE+EJE/MC,

где IS – ударная волна, SHE – область сжатия, EJE – выброс масс (эджекта) и MC – магнитное облако.

Каждый из каталогов предоставляет различную информацию о параметрах МКВМ (табл. 1). Алгоритм объединения каталогов отображён на рис. 3. События из различных исходных каталогов считались одним и тем же событием в случае совпадения временных параметров с определённым допуском. Используемые на различных этапах объединения допуски приведены на рис. 1.

	R&C [1]	CSMC [2]	ИКИ РАН [3]
Период времени, гг	2010-2022	2013-2022	2010-2022
T_{source}	±	+	–
T_{shock}	+	+	±
T_{start}	+	–	+
Тип тела	+	–	+

Табл. 1 Информация о рассматриваемых каталогах. Период времени – рассматриваемый при объединении диапазон дат. “±” обозначает наличие информации только для части событий.

Цели работы

- Формулирование алгоритма объединения трёх каталогов
- Построение объединённого каталога и его размещение в открытом доступе на сайте https://swx.sinp.msu.ru/tools/icme_list.php
- Анализ количества и продолжительности событий объединённого каталога, точности объединения событий и совпадений определения магнитных облаков в рассмотренных каталогах. Дополнение данных объединённого каталога о событиях данными из каталога OMNI для анализа скорости и геоэффективности событий.

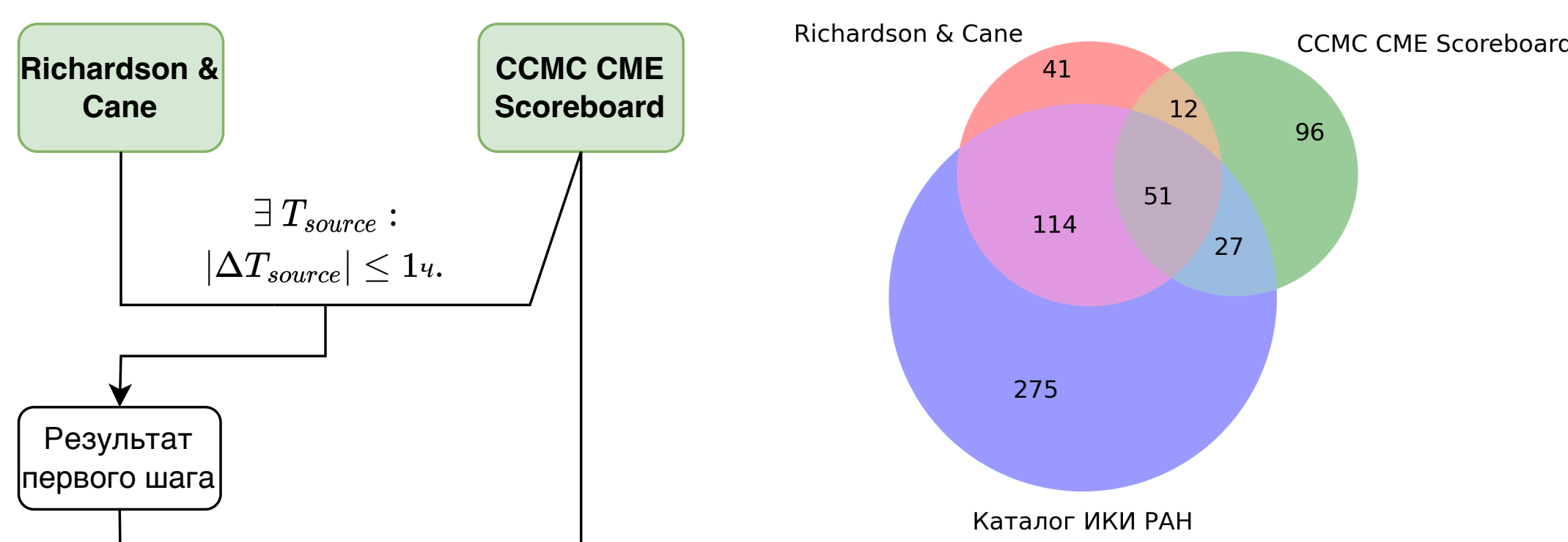
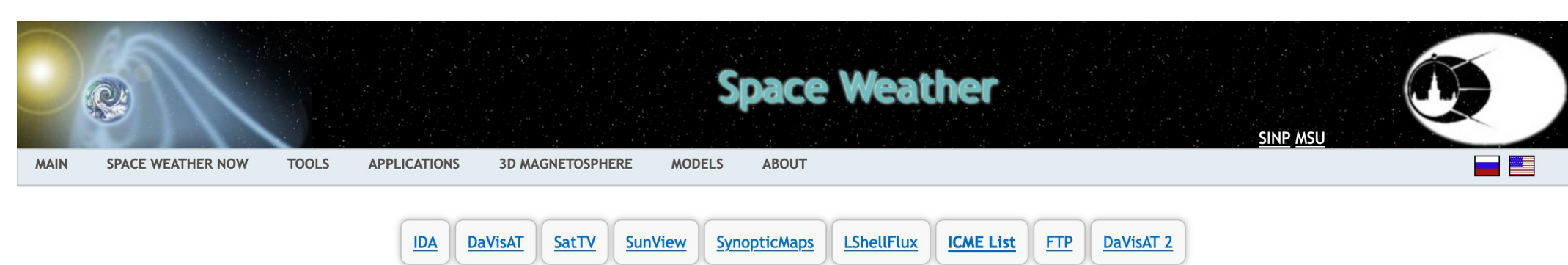


Рис. 2 Состав объединённого каталога

Выборка событий	< t >
Все события, вошедшие в объединённый каталог	19.9 ч
События, присутствующие в двух или трёх каталогах	24.7 ч
События, присутствующие в трёх каталогах	30.7 ч
События каталога Richardson & Cane	24.1 ч
События каталога CSMC CME Scoreboard	
События каталога ИКИ РАН	19.8 ч

Рис. 1 Алгоритм построения объединённого каталога

Табл. 2 Средняя продолжительность событий МКВМ



T_source	Shock_Time	Start_Time	End_Time	cat	v_max_omni_body	v_average_omni_body	dst_min_omni_body
2010-01-01 22:00	2010-01-01 22:00	2010-01-03 18:00	2010-01-03 18:00	3	384	288	-11
2010-01-13 00:00	2010-01-13 00:00	2010-01-13 05:00	2010-01-13 05:00	3	433	430	-8
2010-01-14 07:00	2010-01-14 07:00	2010-01-14 15:00	2010-01-14 15:00	3	456	470	-14
2010-01-19 01:00	2010-01-19 01:00	2010-01-19 12:00	2010-01-19 12:00	3	342	332	-3
2010-01-20 02:00	2010-01-20 02:00	2010-01-20 09:00	2010-01-20 09:00	3	323	389	-5
2010-01-22 11:00	2010-01-22 11:00	2010-01-22 03:00	2010-01-22 03:00	3	431	379	-19
2010-01-23 11:00	2010-01-23 11:00	2010-01-24 04:00	2010-01-24 04:00	3	370	349	-19
2010-02-07 03:54	2010-02-07 17:00	2010-02-07 18:00	2010-02-08 22:00	13	483	387	-23
2010-02-11 00:00	2010-02-11 00:00	2010-02-12 03:00	2010-02-12 03:00	13	372	359	-19
2010-02-14 00:00	2010-02-14 00:00	2010-02-14 11:00	2010-02-14 11:00	3	314	308	-19
2010-02-19 15:00	2010-02-19 15:00	2010-02-20 18:00	2010-02-20 18:00	13	496	439	-9
2010-02-21 00:00	2010-02-21 00:00	2010-02-22 00:00	2010-02-22 00:00	13	398	368	-5
2010-02-22 13:00	2010-02-22 13:00	2010-02-22 22:00	2010-02-22 22:00	13	371	361	-18
2010-02-25 14:00	2010-02-25 14:00	2010-02-25 18:00	2010-02-25 18:00	3	362	359	-1
2010-03-05 05:00	2010-03-05 05:00	2010-03-05 03:00	2010-03-05 03:00	3	386	364	-5
2010-03-14 12:00	2010-03-14 12:00	2010-03-15 12:00	2010-03-15 12:00	3	435	379	-13
2010-03-21 14:00	2010-03-21 14:00	2010-03-22 23:00	2010-03-22 23:00	3	384	332	-2
2010-03-22 00:00	2010-03-22 00:00	2010-03-24 03:00	2010-03-24 03:00	3	385	287	1
2010-04-03 18:33	2010-04-05 08:26	2010-04-05 12:00	2010-04-06 14:00	13	783	632	-81
2010-04-09 18:00	2010-04-09 18:00	2010-04-10 16:00	2010-04-10 16:00	13	468	411	-19
2010-04-11 03:00	2010-04-11 03:00	2010-04-11 06:00	2010-04-11 06:00	3	381	374	-8
2010-04-08 04:54	2010-04-11 13:04	2010-04-12 01:00	2010-04-12 15:00	13	429	411	-51
2010-04-18 05:00	2010-04-18 05:00	2010-04-19 00:00	2010-04-19 00:00	3	382	357	-7
2010-04-21 14:00	2010-04-22 05:00	2010-04-22 13:00	2010-04-22 13:00	3	489	399	-6
2010-04-22 14:00	2010-04-23 00:00	2010-04-23 02:00	2010-04-23 02:00	3	448	423	-21
2010-04-27 16:00	2010-04-27 16:00	2010-04-28 06:00	2010-04-28 06:00	3	360	347	3

Рис. 3 Интерфейс объединённого каталога.

Название столбца	Описание
T_source	Время наблюдения источника МКВМ
Shock_Time	Время регистрации прибытия ударной волны
Start_Time	Время начала регистрации тела МКВМ
End_Time	Время окончания регистрации тела МКВМ
cat	Происхождение события. 1 означает присутствие события в каталоге Richardson & Cane, 2 - CSMC CME Scoreboard, 3 - каталоге ИКИ РАН.
v_max_omni_body	Максимальная v солнечного ветра за интервал регистрации тела события
v_average_omni_body	Средняя v солнечного ветра за интервал регистрации тела события
dst_min_omni_body	Минимум индекса D _{st} за интервал регистрации тела события

Табл. 3 Описание столбцов объединённого каталога в интерфейсе

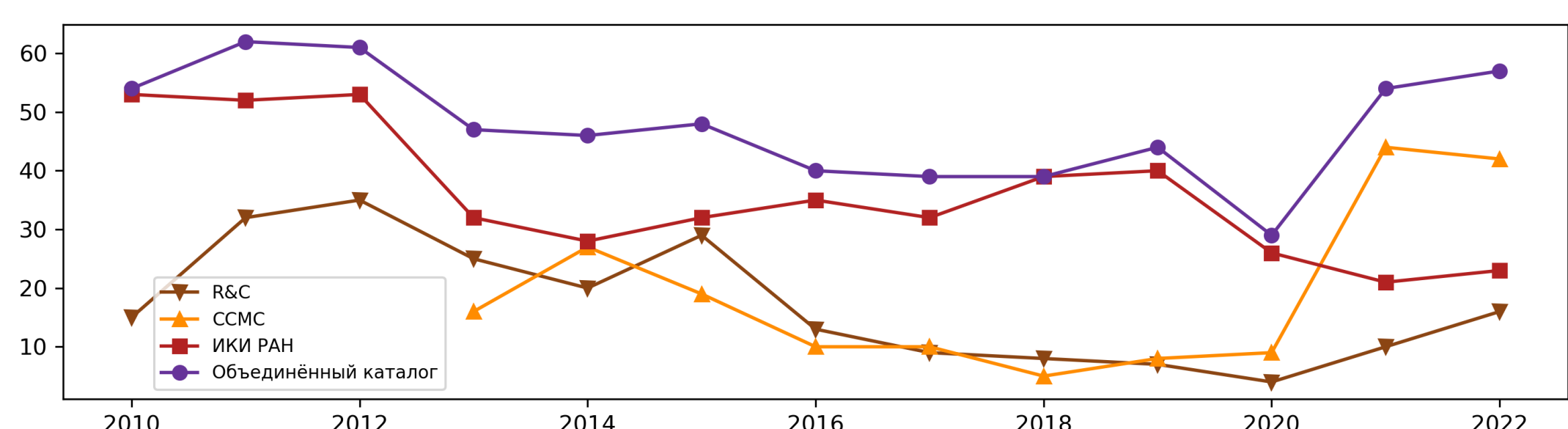


Рис. 4 Распределение количества событий в исходных и объединённом каталогах по годам

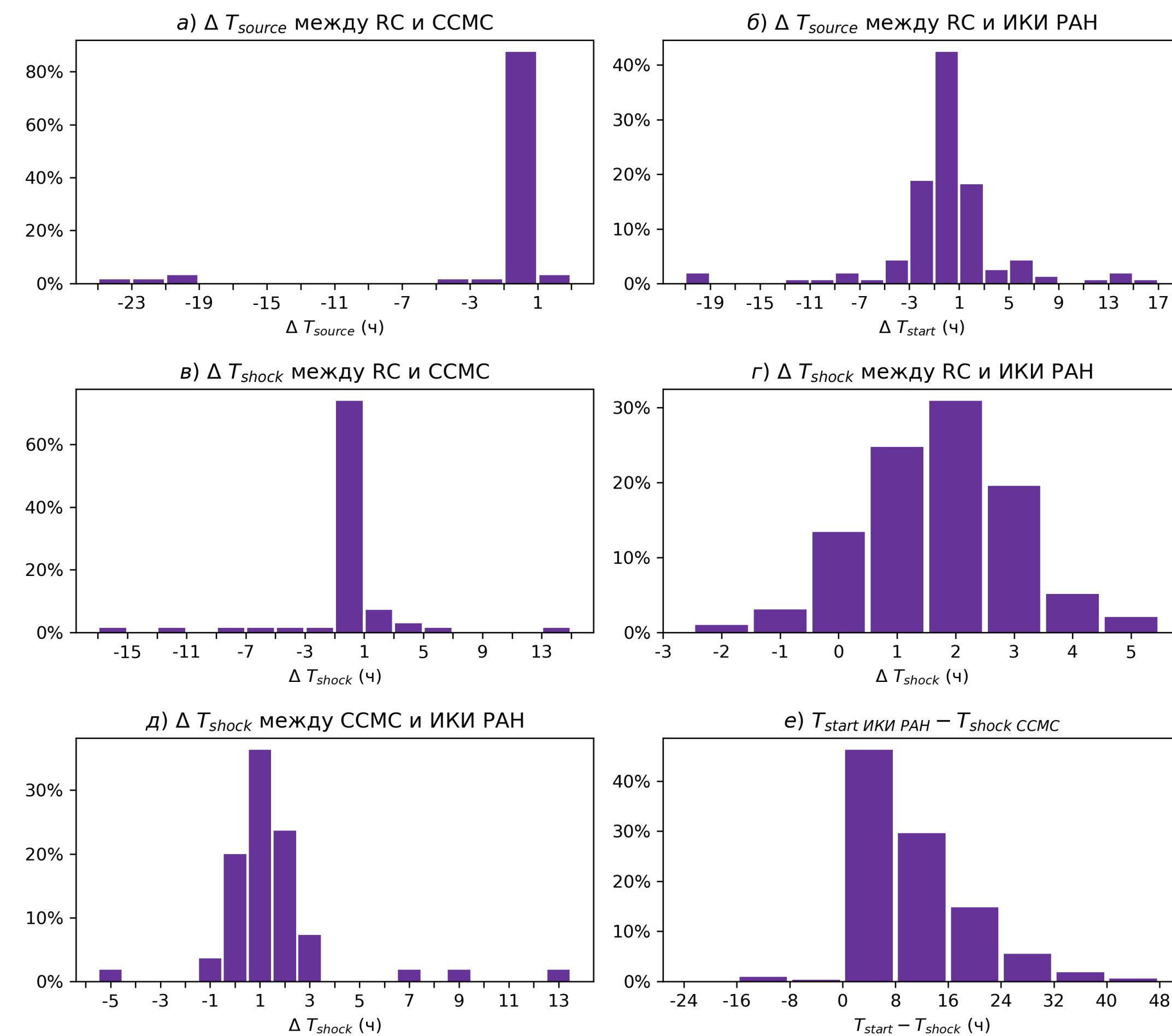


Рис. 5 Разница а) во времени наблюдения источника между объединёнными событиями из Richardson & Cane и CSMC CME Scoreboard б) во времени начала события между Richardson & Cane и каталогом крупномасштабных событий солнечного ветра ИКИ РАН в-д) во времени регистрации прибытия ударной волны е) между временем начала регистрации тела МКВМ и временем регистрации прибытия ударной волны. Значения допусков при объединении по различным параметрам указаны на рис. 3

Каталог ИКИ РАН		Richardson & Cane	
MC	EJE	MC	poor MC
43 (-73 нТл)	36 (-47 нТл)	MC	
8 (-84 нТл)	44 (-33 нТл)	poor MC	
5 (-52 нТл)	29 (-27 нТл)	EJE	

Табл. 4 Количество событий с различным определением типа тела МКВМ и соответствующее среднее значение индекса D_{st} в каталогах ИКИ РАН и Richardson & Cane (см. табл. 1).

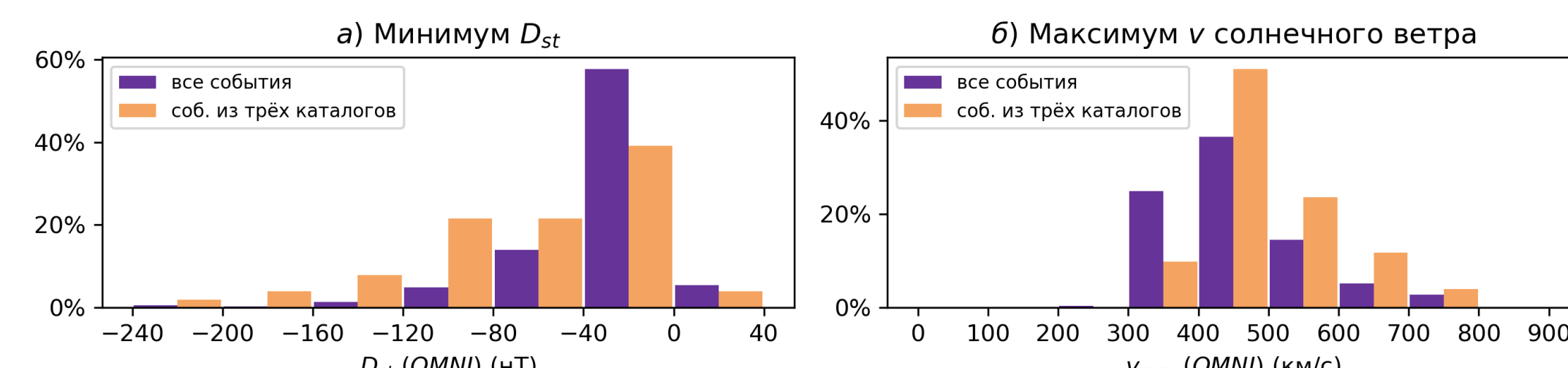


Рис. 6 Плотность распределения минимума D_{st} и максимума v за время регистрации тела события для всех событий и событий, определённых во всех трёх исходных каталогах

Результаты

Предложен алгоритм объединения каталогов МКВМ (рис. 1) и построен соответствующий объединённый каталог (рис. 3, табл. 2), который содержит 623 события, из которых 204 объединены хотя бы по двум каталогам и 51 объединено по всем трём (рис. 2).

Продемонстрировано, что различные каталоги отражают различную динамику количества определённых событий в фазе пониженной солнечной активности. На фазе минимума солнечного цикла (2018–2019 гг.) в каталогах Richardson & Cane и CSMC CME Scoreboard наблюдается спад количества регистрируемых событий более, чем в два раза, не отражающийся в каталоге ИКИ РАН (рис. 4).

Был произведён анализ параметров объединённых событий из различных рассмотренных каталогов. Для объединённых между каталогами событий расхождение по временному параметру, по которому производится определение, как правило, значительно меньше установленного допуском объединения максимума (рис. 5).

Произведено дополнение объединённого каталога данными о скорости солнечного ветра и индексе D_{st} из базы OMNI. События, определённые во всех трёх каталогах, в среднем имеют большую скорость (v > 400 км/с для 90% против 58% всех событий), большую продолжительность (30.7 ч против 24.7 ч всех событий) и приводят к более сильным возмущениям магнитосферы Земли (D_{st} < -75 нТл для 35% против 8% всех событий), чем остальные события объединённого каталога (рис. 6).

Показано, что события типа магнитное облако (MC) хотя бы одним рассмотренным каталогом в среднем имеют меньшее значение индекса D_{st} (-53 нТл против -31 нТл) (табл. 4). Обнаружены значительные разногласия между типом тела определённым каталогом Richardson & Cane и каталогом ИКИ РАН (тип не совпадает у 51% объединённых событий).

Использование объединённого каталога для валидации моделей предсказания прибытия МКВМ позволит повысить точность работы модели применительно к менее геоэффективным событиям или в периоды низкой солнечной активности.

При построении объединённого каталога рассмотрены каталоги, описанные в следующих работах:

- [1] I. G. Richardson and H. V. Cane // Solar Physics. 264. P. 189–237. 2010.
- [2] P. Riley et al // Space Weather. 16. P. 1245–1260. 2018.
- [3] Y. I. Yermolaev, et al // Cosmic Research. 47. P. 81–94. 2009

Использовались данные из БД OMNI:

- [4] J. H. King and N. E. Papitashvili // Journal of Geophysical Research. Space Physics. 110. P. 2104. 2005.