УДК 523.62-726

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ИХ РОЛИ В ФИЗИКЕ МАГНИТОСФЕРЫ. 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПУБЛИКОВАННЫХ НЕКОРРЕКТНЫХ ДАННЫХ

© 2020 г. И. Г. Лодкина^{1, *}, Ю. И. Ермолаев^{1, **}, М. Ю. Ермолаев¹, М. О. Рязанцева¹, А. А. Хохлачев¹

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

irina-priem@mail.ru* *yermol@iki.rssi.ru* Поступила в редакцию 02.09.2019 г. После доработки 06.02.2020 г. Принята к публикации 05.03.2020 г.

Настоящая работа является продолжением наших работ [1, 2], в которых мы обсудили некоторые некорректные подходы в идентификации крупномасштабных типов солнечного ветра и связанные с ними неправильные выводы при анализе данных по солнечно-земной физике. В данной работе мы анализируем наборы "CME-induced", "CIR-induced" и многоступенчатых (multistep) магнитных бурь за период 1996–2004 гг. из списка Kataoka and Miyoshi [3]. Показано, что заметная часть событий в этом списке была идентифицирована неправильно, и их интерпретация отличается, как от нашего каталога Ермолаев и др. [4] (ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/) для Sheath, ICME и CIR, так и от каталога Richardson and Cane [5] для ICME. Использование нескорректированного списка Kataoka and Miyoshi приводит к неправильной идентификации межпланетных драйверов магнитных бурь и ошибочным выводам, например в работе [6].

DOI: 10.31857/S0023420620050076

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений исследования реакции магнитосферы Земли на вариации солнечного ветра (СВ) является использование различных типов явлений СВ в качестве своеобразных межпланетных трассеров, что позволяет из многообразия взаимодействий выделить несколько наиболее часто повторяющихся сценариев и установить для них возможные закономерности. Основными крупномасштабными межпланетными типами СВ, которые могут содержать южную компоненту межпланетного магнитного поля (ММП) и возбуждать магнитосферные возмущения (см., например, [7]), являются 4 явления: (1) область сжатия на границе медленного и быстрого потоков CB – Corotating Interaction Region (CIR); (2, 3) межпланетные проявления выбросов корональной массы ІСМЕ – магнитные облака (magnetic cloud – MC) и Ejecta; (4) области сжатия перед быстрыми ICME – Sheath, а также их обычные комбинации с прямыми и обратными ударными волнами (см. подробнее характеристики этих явлений, например, в работах [8, 9]). Такой подход позволил получить новые и интересные результаты (см. например, некоторые недавние работы [10-13].

В то же время в литературе растет количество случаев некорректных идентификаций типов СВ. В ряде случаев такие неправильные идентификации межпланетных драйверов могут привести к некорректной интерпретации данных и к ошибочным выводам [1, 2]. Некорректные идентификации можно условно разделить на две группы. В первой группе работ используются некорректные критерии, и ошибочность интерпретации таких случаев достаточно очевидна (например. [14]). Во второй группе рассматриваются так называемые "CME-индуцированные" (CME-induced) явления, и авторами этих работ игнорируется известный факт, что образовавшийся на Солнце СМЕ на орбите Земли может генерировать два геомагнитных драйвера: Sheath и ICME, характеристики которых сильно отличаются (см. примеры из предыдущих наших работ [1, 2]).

Проблема некорректных идентификаций явлений СВ остается актуальной и на сегодняшний день, так как продолжают публиковаться работы с некорректной идентификацией (см., например, недавние работы [15, 16]). Кроме того, недавно мы столкнулись с новым классом некорректных работ, в которых авторы используют некорректные идентификации в ранее опубликованных статьях. Хотя авторы таких работ формально правы, так как опираются на, казалось бы, прошедшие экспертизу данные, их результаты остаются ошибочными, а источники ошибки оказываются более трудно обнаруживаемыми, чем в первом случае. Упомянем две такие работы. В недавней нашей работе [2] мы подробно рассмотрели результаты идентификации, представленные в списке Shen et al. [17] и показали, что из 28 приведенных в этом списке событий "СМЕ-индуцированных бурь" 16 магнитных бурь (МБ) были генерированы Sheath, 2 события – МС, 4 события – Ејесtа, 2 – CIR, 4 – невозмущенным CB с ударными волнами, а из приведенного авторами 31 "CIR-индуцированного" события, согласно нашему каталогу, 25 событий относится к CIR, 2 события к Sheath, 4 события к невозмущенному СВ, кроме того идентификация в списке Shen et al. отличается и от данных каталога Richardson and Cane. Однако, недавно была опубликована работа Pandya et al. [18], в которой используются данные по идентификации типов CB из списка Shen et al., т.е. уже описанная нами в работе [2] неверная идентификация межпланетных драйверов¹. Во-вторых, в недавней работе Ogawa et al. [6] использовались результаты неверной идентификации, содержащиеся в списке Kataoka and Miyoshi. Таким образом, имеет место повторение в новых публикациях ранее опубликованных ошибок. Свои замечания по идентификации в списке Shen et al. мы уже опубликовали. В настоящей статье мы выскажем свои замечания по идентификации типов СВ в списке Kataoka and Miyoshi.

Целью настоящей работы является сравнение событий списка Kataoka and Miyoshi с результатами идентификаций типов CB из нашего каталога и каталога Richardson and Cane, а так же анализ полученных результатов.

2. МЕТОДИКА

Мы анализируем 3 разных источника данных.

(1) Данные нашего каталога межпланетных явлений, который включает результаты идентификации крупномасштабных типов CB Sheath, ICME (раздельно MC или Ejecta) и CIR для периода 1976—2017 гг.

(2) Результаты идентификации межпланетных драйверов магнитных бурь (MБ) с Dst < -100 нТл в период 1996—2004 гг. в списке Kataoka and Miyoshi, которые разделены на 3 типа: "CME-driven" бури (табл. 1, 49 событий типа A), "CIR- driven" бури (табл. 2, 6 событий типа B) и остальные MБ с Dst < -100 нТл (табл. 3, 23 события типа C). Каtaoka and Miyoshi не анализировали природу

событий третьей группы, так как они имеют сложный характер (в 20 случаев это были многоступенчатые (Multiple) бури), и, как показывают данные нашего каталога и каталога Richardson and Cane, к ним, в частности, относятся события, которые включают взаимодействующие комплексы явлений "ударная волна/Sheath/ICME" (например, широко обсуждаемые в литературе события октября—ноября 2003 г. и ноября 2004 г. в работах [19–21]).

(3) Данные каталога Richardson and Cane для явлений "ICME", включающие в себя как тело СМЕ, так и область сжатия перед ним Sheath.

Методика нашей идентификации явлений СВ построена на основании экспериментальных данных, которые показали, что области сжатия Sheath и CIR характеризуются возрастанием скорости, плотности, температуры и плазменного β -параметра, в то время как в ICME эти параметры уменьшаются. Подробно процедура анализа данных баз OMNI и OMNI2 (см. http://omniweb. gsfc.nasa.gov и статью [22]) и идентификация 8 типов СВ описана в работе [4]. Результаты представлены в графическом и цифровом виде, находятся в свободном доступе на сайте ИКИ РАН ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/. Была также использована методика, описанная в нашей предыдущей статье [1]. При использовании этого метода временной ход параметров для выбранного события сопоставлялся с ходом этих параметров, усредненных по совокупности того или иного типа СВ за 25 лет [8], т.е. сравнивались не только величины параметров, но и их динамика во времени.

В списке Kataoka and Miyoshi не приводится подробное описание методики идентификации межпланетных драйверов, а даются лишь краткие описания: "In this paper, "CME-associated storms" are defined by the existence of interplanetary shocks followed by extremely low temperatures less than a half of the empirically expected, while "CIR-associated storms" are defined by the existence of a stream interface and a trailing high-speed coronal hole stream". Поскольку авторы выбирают в качестве начального времени события для "CME-driven" бурь межпланетную ударную волну, то естественно предположить, что они, прежде всего, ориентируются в идентификации не на тело СМЕ, которое характеризуется уменьшением скорости, температуры и плотности, а на область сжатия перед ним, т.е. Sheath с предшествующей ударной волной. Анализируя межпланетные характеристики CIR-driven бурь, Kataoka and Miyoshi берут за начало драйвера не начало CIR, которое так же, как и Sheath, часто начинается с ударной волны, а так называемый "интерфейс между потоками" (stream interface), который располагается внутри CIR.

В каталоге Richardson and Cane (http://www.srl. caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm)

¹ В приложении приводятся результаты сравнения событий из работ Shen et al. [17] и Pandya et al. [18] с данными нашего каталога ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТИПОВ

379

Список Kataoka and Miyoshi				Каталог Ермолаев и др.		Каталог Richardson and Cane
№ события	Дата и время события	<i>DT,</i> час	Dst, нТл	Тип СВ события	Тип СВ в минимуме МБ	Наличие ICME
Al	15.V.1997 01.00	11	-115	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A2	10.X.1997 15.00	12	-130	IS EJ	EJ	+
A3	6.XI.1997 22.00	6	-110	IS SH _{MC}	SH _{MC}	+
A4	22.XI.1997 09.00	21	-108	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A5	3.V.1998 17.00	12	-205	IS SH _{EJ}	SH _{EJ}	+
A6	25.VI.1998 16.00	12	-101	IS EJ _{SH}	EJ _{SH}	+
A7	6.VIII.1998 07.00	4	-138	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A8	26.VIII.1998 06.00	27	-155	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A9	24.IX.1998 23.00	10	-207	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A10	18.X.1998 19.00	20	-112	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A11	12.XI.1998 06.00	39	-131	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A12	13.I.1999 10.00	13	-112	IS CIR	CIR	+
A13	18.II.1999 02.00	15	-123	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A14	22.IX.1999 11.00	12	-173	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A15	21.X.1999 01.00	29	-237	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A16	13.11.1999 12.00	10	-106	IS EJ	EJ	+
A17	11.II.2000 23.00	12	-133	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A18	6.IV.2000 16.00	8	-288	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A19	23.V.2000 23.00	9	-147	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A20	15.VII.2000 13.00	11	-301	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A21	17.IX.2000 15.00	8	-201	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A22	5.X.2000 02.00	11	-182	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A23	12.X.2000 21.00	41	-107	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A24	28.X.2000 06.00	21	-127	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A25	6.XI.2000 09.00	12	-159	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A26	28.XI.2000 04.00	33	-119	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A27	19.III.2001 10.00	27	-149	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A28	31.III.2001 00.00	8	-387	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A29	11.IV.2001 13.00	10	-271	IS SH _{EJ}	SH _{EJ}	+
A30	18.IV.2001 00.00	6	-114	IS SH _{EJ}	SH _{EJ}	+
A31	21.IV.2001 15.00	24	-102	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A32	17.VIII.2001 10.00	11	-105	IS SH _{EJ}	SH _{EJ}	+
A33	25.IX.2001 20.00	5	-102	IS SH _{EJ}	SH _{FJ}	+
A34	21.X.2001 16.00	5	-187	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A35	28.X.2001 02.00	9	-157	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A36	6.XI.2001 01.00	5	-292	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A37	24.XI.2001 05.00	11	-221	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A38	23.III.2002 11.00	22	-100	IS SH _{EI}	EJ _{SH}	+
A39	11.V.2002 09.00	10	-110	IS CIR	CIR	+

Таблица 1. Список изолированных "CME-induced" магнитных бурь в [3, 4, 5]

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ том 58 № 5

lo 5 2020

Список Kataoka and Miyoshi				Каталог Ермолаев и др.		Каталог Richardson and Cane
№ события	Дата и время события	<i>DT,</i> час	<i>Dst</i> , нТл	Тип СВ события	Тип СВ в минимуме МБ	Наличие ІСМЕ
A40	23.V.2002 10.00	7	-109	IS CIR	CIR	+
A41	1.VIII.2002 22.00	7	-102	IS SH _{EJ}	EJ _{SH}	+
A42	20.VIII.2002 13.00	7	-106	IS SH _{MC}	EJ _{SH}	+
A43	29.V.2003 18.00	8	-131	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A44	18.VI.2003 04.00	5	-145	IS CIR	CIR	+
A45	17.VIII.2003 13.00	26	-168	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A46	20.XI.2003 07.00	12	-472	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A47	22.I.2004 00.00	13	-149	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A48	3.IV.2004 09.00	15	-112	IS SH _{MC}	MC _{SH}	+
A49	29.VIII.2004 09.00	37	-126	IS SH_{MC}	MC _{SH}	+

Таблица 1. Окончание

Примечание. DT – длительность между прохождением ударной волны и минимумом МБ в часах; *Dst* – значение индекса в минимуме МБ; "+" или "–" означают присутствие или отсутствие события "ICME").

В табл. 1–3, 7 также используются следующие сокращения: IS – ударная волна, MC_{SH} – магнитное облако (MC) после области сжатия Sheath, EJ_{SH} – поршень Ejecta после области сжатия Sheath, SH_{EJ} – область сжатия перед быстрым Ejecta, SH_{MC} – область сжатия перед быстрым MC, SW – невозмущенный CB.

Таблица 2. Список изолированных "CIR-induced" магнитных бурь в [3, 4, 5]

Список Kataoka and Miyoshi				Каталог Еј	Kаталог Richardson and Cane	
№ события	Дата и время события	<i>DT,</i> час	<i>Dst</i> , нТл	Тип СВ события	Тип СВ в минимуме МБ	Наличие ICME
B1	22.X.1996 19.00	9	-105	CIR	CIR	_
B2	10.III.1998 12.00	8	-116	CIR	CIR	—
B3	14.X.2002 13.00	0	-100	CIR	CIR	—
B4	21.XI.2002 06.00	4	-128	CIR	CIR	—
A5	11.VII.2003 19.00	10	-118(-105)	CIR	CIR	—
B6	12.II.2004 02.00	-9	-109 (-93)	CIR	CIR	_

приводятся интервалы так называемого типа "ICME", под которым авторы понимают не только тело СМЕ (МС или Ejecta), но и Sheath с предшествующей ударной волной, если последние имеются в рассматриваемом случае. Таким образом, и списки Kataoka and Miyoshi и Shen et al., и каталог Richardson and Cane получены в отсутствие селекции составного явления "ICME" на ударную волну, Sheath и тело СМЕ. С учетом различий в определении можно отметить, что авторы каталога Richardson and Cane применяют общепринятые критерии для идентификации типов CB, и наш каталог, и каталог Richardson and Cane имеют высокую степень совпадений при идентификации комплексного явления "ICME".

С учетом сказанного выше мы провели сравнение результатов идентификации типов событий CB из списка Kataoka and Mivoshi с идентификацией в нашем каталоге и каталоге Richardson and Cane. Подробно результаты обсуждаются в следующем разделе. В табл. 1, 2 и 3 содержатся данные для событий, приведенных в соответствующих таблицах списка Kataoka and Miyoshi, дополненные результатами интерпретации этих событий по данным нашего каталога и каталога Richardson and Cane. В качестве иллюстраций в журнальной версии данной статьи мы используем черно-белые варианты цветных рисунков из нашего каталога, с отмеченными временами событий из списка Kataoka and Miyoshi. Цветные рисунки для иллюстраций в данной статье и для остальных обсуждаемых событий могут быть взяты из нашего каталога на сайте ftp://ftp.iki.rssi. ru/pub/omni/ (см. ссылки на рисунки из нашего каталога в табл. 4 и 5).

Список Kataoka and Miyoshi			Каталог Richard	lson and Cane	Каталог Ермолаев и др.		
№ события	Дата и время события	<i>Dst</i> , нТл	Примечания	Наличие ICME	Тип СВ	Тип CB в начале главной фазы МБ	
C01	21.IV.1997 23.00	-107	No shock	+	MC _{SH}	SH _{MC}	
C02	18.II.1998 00.00	-100	No shock	+	SW	EJ	
C03	8.XI.1998 06.00	-149	Multi	+	EJ _{SH}	$IS SH_{Ej}$	
C04	9.XI.1998 17.00	-142	Multi	+	EJ _{SH}	IS SH _{Ej}	
C05	11.VIII.2000 06.00	-106	Multi	+	EJ _{SH}	IS SH _{Ej}	
C06	12.VIII.2000 09.00	-235	Multi	+	EJ _{SH}	IS SH _{Ej}	
C07	1.X.2001 08.00	-148	Multi	+	SH _{EJ}	IS SH _{Ej}	
C08	3.X.2001 14.00	-166	Multi	+	IS EJ	IS EJ	
C09	18.IV.2002 07.00	-127	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C10	20.IV.2002 08.00	-149	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C 11	4.IX.2002 05.00	-109	Multi	_	CIR	IS CIR	
C 12	8.IX.2002 00.00	-181	Multi	+	SH _{EJ}	IS SH _{Ej}	
C 13	1.X.2002 16.00	-176	Multi	+	SH _{EJ}	IS EJ _{SH}	
C 14	4.X.2002 08.00	-146	Multi	+	EJ _{SH}	IS EJ	
C 15	7.X.2002 07.00	-115	Multi	_	SW	SW	
C 16	16.VII.2003 12.00	-117	CHS	—	CIR	IS CIR	
C 17	30.X.2003 00.00	-363	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C 18	30.X.2003 22.00	-401	Multi	+	SH _{MC}	IS SH _{MC}	
C 19	23.VII.2004 02.00	-101	Multi	+	EJ _{SH}	IS SH _{Ej}	
C 20	25.VII.2004 11.00	-148	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C 21	27.VII.2004 13.00	-197	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C 22	8.XI.2004 06.00	-373	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	
C 23	10.XI.2004 09.00	-289	Multi	+	MC _{SH}	IS SH _{MC}	

Таблица 3. Список многоступенчатых (multistep) магнитных бурь в [3, 4, 5]

Примечание. Описание МБ: отсутствие ударной волны (no shock), многократное появление МБ в течение 4 дней (multi), МБ связанные с CHS (Coronal Hole Stream); тип СВ – идентификация событий в точке минимума МБ.

Таблица 4.	Ссылки на рисунки катало	а Ермолаев и др	., идентифицированные	е как CIR,	для событий из табл. 1 и	а З
	A 7		· · · ·	,		

№ события	Дата и время	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/
A12	13.I.1999 10.00	1999/19990108c.jpg	1999/19990108.jpg
A39	11.V.2002 09.00	2002/20020507c.jpg	2002/20020507.jpg
A40	23.V.2002 10.00	2002/20020521c.jpg	2002/20020521.jpg
A44	18.VI.2003 04.00	2003/20030618c.jpg	2003/20030618.jpg
C11	4.IX.2002 05.00	2002/20020903c.jpg	2002/20020813.jpg
C16	16.VII.2003 12.00	2003/20030716c.jpg	2003/20030716.jpg

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты нашего анализа суммированы в табл. 1–3, в которых представленные события соответствуют событиям, содержащимся в табл. 1–3 списка Kataoka and Miyoshi, и дополненные результатами анализа. Наш анализ событий табл. 2, которая включает 6 изолированных МБ, связанных с CIR, показал отсутствие расхождений с данными нашего каталога. В каталоге "ICME" Richardson and Cane эти шесть событий отсутствуют, т.е. в этом каталоге они не идентифицируются, как Sheath или ICME.

ЛОДКИНА и др.

№ события	Дата и время	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/
A03	6.XI.1997 22.00	1997/19971105c.jpg	1997/19971105.jpg
A05	3.V.1998 17.00	1998/19980430c.jpg	1998/19980430.jpg
A29	11.IV.2001 13.00	2001/20010326c.jpg	2001/20010409.jpg
A30	18.IV.2001 00.00	2001/20010326c.jpg	2001/20010416.jpg
A32	17.VIII.2001 10.00	2001/20010813c.jpg	2001/20010813.jpg
A33	25.IX.2001 20.00	2001/20010910c.jpg	2001/20010924.jpg
C07	01.X.2001 08.00	2001/20010910c.jpg	2001/20010924.jpg
			2001/20011001,jpg
C12	8.IX.2002 00.00	2002/20020813c.jpg	2002/20020903c.jpg
C13	1.X.2002 16.00	2002/20020910c.jpg	2002/20021001.jpg
C18?	30.X.2003 22.00	2003/20031008c.jpg	2003/20031029.jpg

Таблица 5. Ссылки на рисунки каталога Ермолаев и др., идентифицированные как Sheath, для событий из табл. 1 и 3

Дата и время в табл. 4 и 5 – аналогично табл. 1, но для событий типа "A" это время относится к прохождению ударной волны, а к типу "C" к минимуму MБ.

Поэтому можно сделать вывод, что приведенные в табл. 2 списка Kataoka and Miyoshi данные верны.

Табл. 1 и 3 в настоящей работе содержат списки межпланетных драйверов MБ с Dst < -100 нТл за период с января 1996 по декабрь 2004 г., идентифицированных в списке Каtaoka and Miyoshi. В табл. 1 содержится 49 изолированных MБ с Dst < -100 нТл, связанные с СМЕ и сопровождающими их ударными волнами, а табл. 3 содержит 23 многоступенчатых MБ с Dst < -100 нТл. Результаты анализа идентификаций событий табл. 1 и 3, представленные в различных каталогах, демонстрируют заметные отличия, которые подробно обсуждаются ниже.

3.1. Интерпретация событий CIR, как СМЕ (ICME) в табл. 1 и 3

В списке Kataoka and Miyoshi (табл. 1) представлены 49 изолированных МБ, генерированных ICME ("СМЕ-индуцированные") и сопровождающихся ударными волнами, время прохождения которых является маркером события и указано в 2 м столбце табл. 1. По данным нашего каталога драйверы 4 событий за номерами A12, A39, A40 и A44 идентифицированы, как CIR.

Рассмотрим событие, отмеченное в списке Kataoka and Miyoshi под номером A12 со временем 13.I.1999 10.00 UT (здесь и далее время мировое). Данное событие (время прохождения ударной волны) предшествует началу интервала 13.I.1999 11.00–14.I.1999 12.00, идентифицированного в нашем каталоге, как CIR (см. рис. 1 и табл. 4).

На рис. 1 (и далее на рис. 8–9) показан временной ход параметров, размещенных на 7 панелях (сверху вниз), с выделением вертикальными линиями границ события A12 (в случае цветных картинок обозначения параметров смотреть на рисунках):

1 панель: β-параметр — отношение теплового давления к магнитному давлению (закрашенные ромбы), *T*/*Texp* — относительная температура протонов CB (крестики),

NkT – тепловое давление CB (не закрашенные ромбы), *Na/Np* – отношение концентраций альфа частиц к протонам (закрашенные треугольники).

2 панель: B — величина ММП (закрашенные ромбы), Bz — компонента ММП (крестики), Bx — компонента ММП (треугольники), DB — градиент (приращение) величины ММП на интервале 6 часов (не закрашенные ромбы).

3 панель: *Т* – температура плазмы (протонов) (закрашенные ромбы), *Техр* – ожидаемая средняя температура при измеренной скорости СВ (крестики).

4 панель: N – концентрация CB (закрашенные ромбы), mnV^2 (на рисунке обозначено как nV^2) – кинетическое давление CB (крестики), DN – градиент (приращение) концентрации плазмы на интервале 6 часов (не закрашенные ромбы)

5 панель – *V* – скорость CB (закрашенные кружки), *DV6* – градиент (приращение) величины скорости на интервале 6 часов (крестики).

6 панель: *Кр* — индекс (сплошная линия), *Еу* — электрическое поле (крестики).

7 панель: *Dst* – индекс (черная линия), *Dst** – скорректированный *Dst* индекс (крестики).

На вышеуказанном интервале наблюдается рост *V*, сопровождающийся ростом *T*, *N*, плазменного β -параметра, *B*, *NkT* и *mnV*² (*nV*²). Такое поведение параметров характерно для областей сжатия CIR и Sheath [9, 26], но так как после этой области наблюдается высокоскоростной CB, то эта область идентифицируется, как CIR. Ближайшая MБ с минимумом *Dst* = -112 нТл и датой 13.I.1999 23.00 находится внутри этого интервала CIR.

Аналогичным образом события А39, А40 и А44 со временами, соответственно, 11.V.2002 09.00, 23.V.2002 10.00 и 11.V.2002 09.00 предшествуют интервалам CIR по нашему каталогу (11.V.2002



Рис. 1. Временной ход параметров межпланетной среды и магнитосферных индексов с 8 по 14.1.1999. Левая вертикальная линия соответствует событию A12 в списке Kataoka and Miyoshi.

10.00–12.V.2002 01.00, 23.V.2002 11.00–23.V.2002 19.00 и 18.VI.2003 05.00–18.VI.2003 22.00, см. табл. 4), а ближайшие к ним МБ *Dst* = –110, 109 и 141 нТл наблюдаются внутри соответствующих интервалов 11.V.2002 в 19.00, 23.V.2002 17.00 и 18.VI.2003 09.00.

Поведение параметров для всех 4х случаев имеет такие же характерные признаки области

сжатия (CIR), что и на рис. 1, а по каталогу Richardson and Cane идентифицируются как ICME.

Событие под номером C11 со временем 4.IX.2002 05.00 (минимум МБ) попадает на интервал 3.IX.2002 10.00–4.IX.2002 18.00, идентифицированного в нашем каталоге, как CIR, с предшествующей ударной волной (см. рис. 2 и табл. 4),

имеет такие же характерные признаки области сжатия, что и на рис. 1.

Аналогичный анализ показывает, что событие C16 со временем 16.VII.2003 12.00 (минимум MБ), отнесенное авторами Kataoka and Miyoshi к CHS (coronal hole stream) согласно нашему каталогу, находится на интервале CIR (см. рис. 3 и табл. 4).

Рассмотренные 2 события (С11, С16), представленные в табл. 3 работы Kataoka and Miyoshi, не содержатся в каталоге "ICME" Richardson and Cane.

3.2. Интерпретация событий Sheath, как ICME в табл. 1 и 3

Kataoka and Miyoshi определяют события табл. 1 следующим образом: "isolated storms with Dst <<-100 нТл accompanied by Shocks" ("изолированные бури с Dst < -100 нТл, сопровождающиеся ударными волнами"). Однако событие из этой таблицы, отмеченное авторами списка Kataoka and Miyoshi под номером A05 со временем 3.V.1998 17.00, нельзя считать событием указанного типа, так как данное событие является многоступенчатой (multistep) бурей с двумя ярко выраженными минимумами Dst и генерируется разными частями сложной последовательности межпланетных явлений. Эта последовательность начинается с ударной волны 1.V.1998 22.00, затем идет область Sheath, которая продолжается магнитным облаком 2.V.1998 04.00-3.V.1998 15.00. Затем наблюдается ударная волна 3.V.1998 17.00, за которой следует CB. Далее в 4.V.1998 00.00 начинается ударная волна с последующим интервалом Sheath 4.V.1998 03.00-4.V.1998 08.00. После этого интервала идет интервал Ejecta 4.V.1998 09.00-7.V.1998 08.00. Временное изменение параметров представлено на рис. 4 (см. табл. 5). Таким образом, последовательность межпланетных явлений имеет следующую структуру "IS|Sheath|MC|IS|SW|IS|Sheath|Ejecta". Первая ступень МБ генерируется МС и достигает локальный минимум Dst менее -50 нTл, вторая ступень (абсолютный минимум Dst = -205 нТл достигается в 4.V.1998 05.00) генерируется вторым Sheath. Указанное в списке Kataoka and Miyoshi время 3.V.1998 17.00 приходится на начало этапа восстановления между первой и второй ступенью бури в интервале невозмущенного СВ и не может служить причиной второй ступени бури. Согласно нашему каталогу именно ударная волна со временем начала 4.V.1998 02.00 и последующая область Sheath связаны с МБ в минимуме 4.V.1998 05.00, а не ударная волна, указанная в списке Kataoka and Miyoshi для событии A05 со временем 3.V.1998 17.00.

Событие А33, из списка Kataoka and Miyoshi со временем 25.IX.2001 20.00 отмечено в нашем каталоге, как ударная волна с последующим интервалом Sheath (25.IX.2001 21.00–26.IX.2001 10.00) и Ejecta (26.IX.2001 11.00–26.IX.2001 15.00). Ближайшая МБ с минимумом Dst = -102 нТл наблюдается в 26.IX.2001 01.00 внутри интервала Sheath. Временное изменение параметров на рис. 5 (см. табл. 5) имеет такие же характерные признаки области сжатия, что и на рис. 1. Наблюдается рост *V*, *B*, *N*, *mnV*², *NkT*, *T*/*Texp* и *T*, плазменного β-параметра. Так как за этим интервалом идет Ejecta, то в отличие от рис. 1 этот интервал мы идентифицируем, как Sheath.

Для событий A03, A29, A30 и A32 межпланетные параметры меняются аналогичным образом, и согласно нашему каталогу, в этих событиях минимум МБ попадает в интервалы Sheath (см. табл. 5).

Далее рассмотрим события из табл. 3, которые интерпретируются по нашему каталогу как Sheath.

Событие, отмеченное в списке Каtaoka and Miyoshi под номером C07 со временем 1.Х.2001 08.00 (время минимума MБ с Dst = -149 нТл), в нашем каталоге попадает на интервал Sheath с ударной волной и с последующим интервалом Ејесta. Временное изменение параметров показано на рис. 6 (см. табл. 5) и оно соответствует области сжатия.

Аналогичная ситуация для события C12, C13, C18 (см. табл. 5). Необходимо отметить, что как отмечалось в работе [19], из-за сбоев работы приборов на космических аппаратах во время событий 30 октября 2003 г. на отдельных интервалах отсутствуют надежные измерения ключевых параметров CB, и поэтому наша интерпретация события C18, как области сжатия Sheath, была сделана при определенных допущениях (см. рис. 7).

Анализ показывает, что из 49 событий табл. 1. отнесенных Kataoka and Miyoshi к CME, согласно нашему каталогу, в 6-ти событиях (А03, А05, А29, АЗО, АЗ2, АЗЗ) минимум МБ попадает на интервалы Sheath, с последующим ICME. В остальных 39 событиях (А01, А02, А04, А06-А11, А13-А28, А31, А34-А37, А38, А41-А43, А45-А49) минимум МБ попадает на интервалы ІСМЕ. Однако, учитывая, что средняя длительность главной фазы МБ составляет около 7-8 часов, значительная часть этих бурь начиналась в области Sheath, т.е. они имели комбинированный межпланетный драйвер, включающий Sheath и ICME. Все события списке Kataoka and Miyoshi, представленных в табл. 1, присутствуют в каталоге "ICME" Richardson and Cane.

Из 23 событий списка Kataoka and Miyoshi в табл. 3, согласно нашему каталогу в событиях (С07, С12, С13, С18) минимум МБ попадает на Sheath.

3.3. Интерпретация интервалов СВ как драйвера бурь табл. 3

В событиях C02, C15 табл. 3 по данным нашего каталога минимум МБ попадает на CB с предшествующей ударной волной.



Рис. 2. То же что и рис. 1. Средняя вертикальная линия соответствует событию С11.

Событие, отмеченное в списке Kataoka and Miyoshi под номером C02 со временем 18.11.1998 00.00 идентифицировано в нашем каталоге, как ударная волна на фоне CB после интервала Ejecta 16.11.1998 06.00–17.11.1998 19.00. Временное изменение параметров показано на рис. 8. Наблюдаемые на этом интервале межпланетные параметры (в частности, T/Texp > 1 и N > 10 см⁻³) не позволяют идентифицировать это событие как ICME.

Аналогичное событие С15 со временем 7.Х.2002 07.00 в нашем каталоге идентифицирова-



Рис. 3. То же что и рис. 1. Средняя вертикальная линия соответствует событию С16.

но тоже как невозмущенный СВ. Временное изменение параметров показано на рис. 9. Данные не позволяют предположить на этом интервале событие ICME, так как T/Texp > 1, N > 10 см⁻³. Этого события нет в каталоге "ICME" Richardson and Cane. 3.4. Расхождения во времени и в значениях минимума магнитных бурь, представленных в табл. 1 и 3

При анализе событий представленных в табл. 1 и 3 мы обнаружили несовпадения, как во времени



Рис. 4. То же что и рис. 1. Средняя вертикальная линия соответствует событию А05.

минимума МБ, так и в значениях минимума *Dst* (см. табл. 6). Эти несовпадения относятся к 2002, 2003 и 2004 гг. Небольшие расхождения в значе-

ниях минимума *Dst* индекса можно отнести на использование различных версий базы данных по геомагнитным индексам (см. события A44, A45,



Рис. 5. То же что и рис. 1. Левая вертикальная линия соответствует событию АЗЗ.

А47—А49, С17—С19, С21, С22 в табл. 6). Расхождение по времени на несколько часов может быть связано с ошибочной интерпретацией данных (см. события А42, А43, А46, С16, С20, С23 в табл. 6). По каталогу Richardson and Cane значения *Dst* индекса в минимуме МБ указанных в табл. 6 соответствуют нашим данным, полученным из данных базы OMNI2.



Рис. 6. То же что и рис. 1. Левая вертикальная линия соответствует событию С07.

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В настоящей работе мы рассмотрели результаты идентификации всех межпланетных событий, представленных в списке Kataoka and Miyoshi. Мы сравнили эти результаты с идентификацией этих интервалов нашего каталога и данными каталога Richardson and Cane. В разделах 3.1–3.3 мы подробно рассмотрели события, которые согласно нашей методике идентифицированы ошибоч-



Рис. 7. То же что и рис. 1. Вертикальная линия соответствует событию С18.

но. В п. 3.1 мы рассмотрели события табл. 1 и табл. 3, которые интерпретируются у нас как CIR, а не ICME. В п. 3.2 рассмотрели события табл. 1 и табл. 3, которые интерпретируются у нас как Sheath, а не ICME. В п. 3.3 события табл. 3, кото-

рые интерпретируются у нас как ударная волна и невозмущенный СВ. По результатам анализа всех представленных в списке Kataoka and Miyoshi событий, содержащихся в табл. 1 и 3 настоящей работы, и сравнения их с данными из ката-



Рис. 8. То же что и рис. 1. Вертикальная линия соответствует событию С02.

лога Richardson and Cane мы делаем следующее заключение.

Из 49 приведенных в списке Kataoka and Miyoshi событий СМЕ-индуцированных изолированных бурь (см. табл. 1) по данным нашего каталога 42 события связаны с интервалом Sheath и предшествующими ударными волнами. Из них 6 имеют минимум MБ в Sheath, а 36 – в ICME. 4 события связаны с интервалом CIR с предшествующими ударными волнами, и минимумы MБ так



Рис. 9. То же что и рис. 1. Вертикальная линия соответствует событию С15.

же приходятся на интервалы CIR. 3 события связаны с ICME и имеют минимумом МБ в ICME.

В представленных в списке Kataoka and Miyoshi событиях, содержащихся в табл. 1, в каталоге Richardson and Cane мы нашли все 49 событий СМЕ-индуцированных бурь. По данным нашего каталога из 23 приведенных в списке Kataoka and Miyoshi событий с неотожествленными источниками бурь (см. табл. 3), в 15 событиях минимум МБ относится к ICME, в 4х событиях минимум МБ относится к Sheath, 2 события относятся к CIR, 2 события к ударной волне с по-

		·					
	Список Kataoka and M	liyoshi	OMNI2				
№ события	Дата и время минимума МБ	<i>Dst,</i> нТл в минимуме МБ	<i>Dst,</i> нТл в минимуме МБ	Дата и время минимума МБ	<i>Dst,</i> нТл в минимуме МБ		
A42	20.VIII.2002 13.00+07.00	-106	-54	20.VIII.200213.00+17.00	-106		
A43	29.V.2003 18.00+08.00	-131	-135	29.V.2003 18.00+05.00	-144		
A44	18.VI.2003 04.00+05.00	-145	-141	То же как [3]	-141		
A45	17.VIII.2003 13.00+26.00	-168	-148	То же как [3]	-148		
A46	20.XI.2003 07.00+12.00	-472	-413	20.XI.2003 07.00+13.00	-422		
A47	22.I.2004 00.00+13.00	-149	-130	То же как [3]	-130		
A48	3.IV.2004 09.00+15.00	-112	-117	То же как [3]	-117		
A49	29.VIII.2004 09.00+37.00	-126	-129	То же как [3]	-129		
C16	16.VII.2003 12.00	-117	-84	16.VII.2003 13.00	-90		
C17	30.X.2003 00.00	-363	-353	То же как [3]	-353		
C18	30.X.2003 22.00	-401	-383	То же как [3]	-383		
C19	23.VII.2004 02.00	-101	-99	То же как [3]	-99		
C20	25.VII.2004 11.00	-148	-126	25.VII.2004 16.00	-136		
C21	27.VII.2004 13.00	-197	-170	То же как [3]	-170		
C22	8.XI.2004 06.00	-373	-374	То же как [3]	-374		
C23	10.XI.2004 09.00	-289	-258	10.XI.2004 10.00	-263		

Таблица 6. События из списка Kataoka and Miyoshi, в которых есть расхождения во времени и в значениях *Dst* индекса минимума магнитных бурь, с данными базы OMNI2 по состоянию на 2019 год

следующим CB. В каталоге Richardson and Cane, который представляет интервалы "ICME", нет только 3-х событий, совпадающих с событиями CIR, представленными в списке Kataoka and Miyoshi в табл. 3.

Из приведенного в списке Kataoka and Miyoshi (см. табл. 2) из 6 изолированных МБ связанных с CIR расхождений с нашим каталогом нет.

Таким образом, из 72 событий (49 из табл. 1 и 23 из табл. 3) представленных в работе [3] 10 бурь имеют минимум Dst в областях сжатия Sheath, a около половины бурь начинаются в областях сжатия Sheath, но имеют минимум Dst в ICME. Как было показано в наших работах [11, 23–25] области сжатия Sheath имеют более высокую эффективность генерации МБ: при одинаковых значениях южной компоненты ММП (или электрического поля $Ey = V^*Bz$) в межпланетных драйверах области сжатия Sheath генерируют МБ в ~1.5 раза сильнее, чем ICME. Поэтому оба списка Kataoka and Mivoshi включает в себя различные межпланетные драйверы с различными механизмами (и эффективностью) генерации МБ. Использование в исследовании таких разнородных по составу драйверов списков может привести к неправильным выводам. Это необходимо учитывать тем, кто эти списки применяет в своих исследованиях, как например, в работе [6].

Авторы благодарны создателям базы OMNI и каталога ICME Richardson and Cane за возможность использовать данные. Данные OMNI получены из GSFC/SPDF OMNIWeb interface на сайте http://omniweb.gsfc.nasa.gov, данные каталога ICME – на сайте http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm/. Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 16-12-10062.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Как отмечалось во Введении, в работе Pandya et al. указывается, что авторы используют в своей работе результаты идентификации типов СВ в списке Shen et al., критике которых была посвящена наша работа [2]. В данном приложении в табл. 7 приводятся результаты сравнения данных этих двух работ с нашим каталогом ftp://ftp.iki.rssi. ru/pub/omni/. Прежде всего, обращает на себя внимание тот факт. что Pandva et al. добавили существенное количество событий по сравнению со списком Shen et al. Сравнение с нашим каталогом показывает, что в табл. 7 из 27 "СМЕ-индуцированных" МБ 2 события (номера 3 и 8) относятся к Sheath, 2 события (19, 26) к CIR, 23 относятся к СМЕ. 12 событий, отмеченных в табл. 7 как т1 или т2 есть в таблицах работы [17]. Из 28 "CIR-

ЛОДКИНА и др.

	Список Pandya et al.		Каталог Ермолаев и др.		Список Pandya et al.		Каталог Ермолаев и др.	Список
№ события	Дата и время CME Driven storms	Sym-H, нТл	Тип СВ	Shen et al.	Дата и время CIR Driven Storms	Sym-H, нТл	Тип СВ	Shen et al.
1	1.X.2012 03.52	-138	MC _{SH}		26.I.2013 22.19	-62	CIR	
2	9.X.2012 02.10	-116	MC _{SH}		1.III.2013 10.12	-76	CIR	т2
3	14.XI.2012 07.27	-118	SH _{EJ}		29.III.2013 16.17	-64	CIR	
4	17.III.2013 20.28	-132	EJ _{SH}		27.VIII.2013 21.43	-64	CIR	т2
5	1.VI.2013 07.48	-137	CIR		30.X.2013 23.20	-57	SW	
6	29.VI.2013 06.36	-111	EJ/CIR	т1	8.XII.2013 08.30	-72	CIR	т2
7	6.VII.2013 08.33	-80	EJ _{SH}		8.VI.2014 06.50	-72	SH _{MC}	
8	2.X.2013 06.19	-90	SH _{MC}	т1	17.II.2015 23.55	-70	CIR	т2
9	19.II.2014 08.23	-127	EJ _{SH}	т1	24.II.2015 03.36	-76	CIR	т2
10	27.II.2014 23.24	-101	CIR	т1	2.III.2015 08.51	-70	SH _{EJ}	
11	12.IV.2014 08.32	-92	EJ		16.IV.2015 23.29	-88	SW	
12	30.IV.2014 09.10	-76	EJ _{SH}		13.V.2015 06.59	-98	CIR	т2
13	27.VIII.2014 18.18	-90	MC		8.VI.2015 07.45	-105	CIR	т2
14	12.IX.2014 23.03	-97	MC _{SH}	т1	5.VII.2015 04.52	-58	CIR	т2
15	22.XII.2014 05.25	-65	MC _{SH}	т1	13.VII.2015 10.54	-71	EJ _{SH}	
16	7.I.2015 11.00	-135	MC	т1	7.X.2015 22.23	-124	CIR	
17	17.III. 2015 22.47	-234	MC _{SH}	т1	20.1.2016 16.42	-95	CIR	
18	23.VI.2015 04.24	-208	MC _{SH}	т1	3.II.2016 02.52	-60	EJ/CIR	т2
19	23.VII.2015 07.28	-83	CIR	т2	18.II.2016 00.28	-60	SW/CIR	т2
20	2015-08-16 07.37	-94	MC		6.III.2016 21.20	-110	CIR	т2
21	27.VIII.2015 20.32	-101	EJ _{SH}		8.V.2016 08.15	-105	CIR	т2
22	9.IX.2015 08.03	-113	MC _{SH}		25.VII.2016 17.17	-51	SW	
23	7.XI.2015 06.05	-106	MC _{SH}	т1	3.VIII.2016 06.49	-63	CIR	
24	20.XII.2015 22.49	-170	MC _{SH}	т1	23.VIII.2016 21.13	-83	CIR	
25	31.XII.2015 23.56	-99	EJ _{SH}	т1	2.IX.2016 01.53	-74	CIR	
26	6.III.2016 21:20	-110	CIR	т2	29.IX.2016 09.32	-64	SW	
27	13.X.2016 23:45	-114	MC _{SH}		1.III.2017 22.17	-74	SW/CIR	
28					27.III.2017 14.45	-86	CIR	

Таблица 7. Результаты сравнения магнитных бурь в списках Pandya et al., Shen et al. и каталога Ермолаев и др.

Примечание. Наличие события в списках Shen et al.: "т1" – событие есть в списке СМЕ индуцированных бурь табл. 1 ([2, 18]), "т2" – событие есть в списке CIR индуцированных бурь табл. 2 ([2, 18]), пробел означает отсутствие событий.

индуцированных" МБ 2 события (7, 10) относятся к Sheath, 2 события (15, 18) к ICME, 4 события (5, 11, 22, 26) к невозмущенному CB, 21 событие к CIR. 12 событий, отмеченные в табл. 7 как т2, есть в табл. 2 списка Shen et al.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Николаева Н.С. и др. Некоторые вопросы идентификации крупномасштабных типов солнечного ветра и их роли в физике магнитосферы // Космич. исслед. 2017. Т. 55. № 3. С. 189–200. (Cosmic Research. Р. 178–189).

- 2. Лодкина И.Г., Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. Рязанцева М.О. Некоторые вопросы идентификации крупномасштабных типов солнечного ветра и их роли в физике магнитосферы. 2 // Космич. исслед. 2018. Т. 56. № 5. С. 300–309. (Cosmic Research. P. 370–381).
- 3. *Kataoka, R., Miyoshi Y.* Flux enhancement of radiation belt electrons during geomagnetic storms driven by coro-

nal mass ejections and corotating interaction regions // Space weather. 2006. V. 4. S09004. https://doi.org/10.1029/2005SW000211

- 4. Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976–2000 гг. // Космич. исслед. 2009. Т. 47. № 2. С. 99–113. (Cosmic Research. P. 81–94).
- Richardson I.G., Cane H.V. Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections During// Sol. Phys. 2010. V. 264: 189.

https://doi.org/10.1007/s11207-010-9568-6

6. Ogawa Y., Seki K., Keika K., Ebihara Y. Characteristics of CME- and CIR-driven ion upflows in the polar ionosphere // JGR Space Physics. 2019. V. 124. P. 3637– 3649.

https://doi.org/10.1029/2018JA025870

- Burton R.K., McPherron R.L., Russell C.T. An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. P. 4204–4214.
- Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S., Yermolaev M.Y. Dynamics of large-scale solar wind streams obtained by the double superposed epoch analysis // J. Geophys. Res. 2015. V. 120(9). P. 7094–7106, https://doi.org/10.1002/2015JA021274
- Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S. et al. Statistic study of the geoeffectiveness of compression regions CIRs and Sheaths // Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2018. T. 180. C. 52–59. https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.01.027
- 10. *Boroyev R.N., Vasiliev M.S.* Substorm activity during the main phase of magnetic storms induced by the CIR and ICME events. // Adv. Space Res. 2018. V. 61. P. 348–354.

https://doi.org/10.1117/12.2503109

- 11. Дремухина Л.А., Лодкина И.Г., Ермолаев Ю.И. Связь параметров солнечного ветра разных типов с индексами геомагнитной активности // Космич. исслед. 2018. Т. 56. № 6. https://doi.org/10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.34-37
- 12. Дэспирак И.В., Любчич А.А., Клейменова Н.Г. Разные типы потоков солнечного ветра и суббури в высоких широтах // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 1. С. 3–94. https://doi.org/10.1134/S001679401901005X
- Andreeva V.A., Tsyganenko N.A. Empirical modeling of the geomagnetosphere for SIR and CME-driven magnetic storms // JGR Space Physics. 2019. V. 124. P. 5641–5662.

https://doi.org/10.1029/2018JA026008

- Hutchinson J.A., Wright D.M., Milan S.E. Geomagnetic storms over the last solar cycle: A superposed epoch analysis // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. A09211. https://doi.org/10.1029/2011JA016463
- Bingham S.T., Mouikis C.G., Kistler L.M. et al. The Outer Radiation Belt Response to the Storm Time Development of Seed Electrons and Chorus Wave Activity During CME and CIR Driven Storms // JGR Space Physics. 2018. V. 123. P. 10.139–10.157. https://doi.org/10.1029/2018JA025963

- Bingham S.T., Mouikis C.G., Kistler L.M. et al. The storm-time development of source electrons and chorus wave activity during CME- and CIR-driven storms // JGR Space Physics. 2019. V. 124. P. 5641–5662. https://doi.org/10.1029/2019JA026689
- Shen X.-C., Hudson M.K., Jaynes A. et al. Statistical study of the storm time radiation belt evolution during Van Allen Probes era: CME-versus CIR-driven storms // J. Geophys. Res. Space Physics. 2017. V. 122. P. 8327– 8339.

https://doi.org/10.1002/2017JA024100

- Pandya M., Veenadhar B., Ebihara Y. et al. Variation of Radiation belt electron flux during CME and CIR driven geomagnetic storms: Van Allen Probes observations // JGR Space Physics. 2019. V. 124. P. 6524–6540. https://doi.org/10.1029/2019JA026771
- Веселовский И.С., Панасюк М.И., Авдюшин С.И. Солнечные и гелиосферные явления в октябре– ноябре 2003г.: причины и следствия // Космич. исслед. 2004. Т. 42. №. 5. С. 455–508. https://doi.org/10.1023/B:COSM.0000046229.24716.02
- Ермолаев Ю.И., Зеленый Л.М., Застенкер Г.Н., Петрукович А.А и др. Год спустя: Солнечные, гелиосферные и магнитосферные возмущения в ноябре 2004 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45. № 6. С. 723–763.
- 21. *Yermolaev Y.I., Yermolaev M.Y.* Comment on "Interplanetary origin of intense geomagnetic storms (*Ds t* < < -100 nT) during solar cycle 23" by WD Gonzalez et al. // Geophys. Res. Lett. 2008. T. 35. № 1. C. L01101. https://doi.org/10.1029/2007GL030281
- King J.H., Papitashvili N.E. Solar wind spatial scales in and comparisons of hourly wind and ACE plasma and magnetic field data // J. Geophys. Res. 2004. V. 110(A2). P. A02209. https://doi.org/10.1029/2004JA010804
- 23. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Моделирование временного хода Dst индекса на главной фазе магнитных бурь, генерированных разными типами солнечного ветра // Космич. исслед. 2013. Т. 51. № 6. С. 443–454. (Cosmic Research. P. 401). https://doi.org/10.7868/S0023420613060034
- 24. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Моделирование временного хода корректированного *Dst**-индекса на главной фазе магнитных бурь, генерированных разными типами солнечного ветра // Космич. исслед. 2015. Т. 53. № 2. С. 126–135. (Cosmic Research. P. 119). https://doi.org/10.7868/S0023420615020077
- 25. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. Зависит ли генерация магнитной бури от типа солнечного ветра? // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57. № 5. С. 555–561. https://doi.org/10.7868/S0016794017050169
- 26. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S., Yermolaev M.Y. Dynamics of Large-Scale Solar-Wind Streams Obtained by the Double Superposed Epoch Analysis: 2. Comparisons of CIR vs. Sheath and MC vs. Ejecta // Solar Physics. 2016. V. 292. https://doi.org/10.1007/s11207-017-1205-1