

УДК 523.62–726

КАТАЛОГИ ТИПОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ИХ РОЛЬ В СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКЕ

© 2025 г. И. Г. Лодкина*, Ю. И. Ермолаев**, А. А. Хохлачев

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

**e-mail: irina-priem@mail.ru*

***e-mail: yermol@iki.rssi.ru*

Поступила в редакцию 06.02.2024 г.

После доработки 01.04.2024 г.

Принята к публикации 24.04.2024 г.

Реакция магнитосферы на межпланетные драйверы зависит от их вида. Надежность их идентификации влияет на выводы анализа связей между солнечным ветром и магнитосферой. В настоящей работе анализируется список умеренных и сильных геомагнитных бурь и их межпланетных источников за период 2009–2019 гг., представленных в работе Qiu S. et al, 2022. Показано, что часть событий в этом списке была определена неправильно, и их интерпретация отличается в ~20 % случаев от каталога (<http://www.iki.rssi.ru/pub/omni/>), разработанного в ИКИ РАН, для типов солнечного ветра Sheath, ICME и CIR (публикация Yermolaev Yu. I., 2009), и в ~28 % случаев от каталога Richardson and Cane для ICME. Использование нескорректированного списка Qiu S. et al. может приводить к неправильной идентификации межпланетных драйверов магнитных бурь и ошибочным выводам. Рекомендуется использовать классификацию межпланетных событий из каталогов событий, принятых научным сообществом в качестве эталонных.

DOI: 10.31857/S0023420625020022, EDN: GOLEGY

1. ВВЕДЕНИЕ

Солнечно-земная физика включает изучение всех возможных взаимодействий гелио- и геофизических явлений [1, 2]. Открытие связи магнитосферных возмущений с появлением южной (southward) компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) было одним из фундаментальных результатов в этой области, полученным в самом начале космической эры [3–7] и определившим основное направление исследований на последующие десятилетия. Так как в стационарном солнечном ветре (СВ) ММП лежит в плоскости эклиптики (т.е. нормальная к плоскости эклиптики компонента ММП отсутствует), то стационарный солнечный ветер не приводит к возмущениям магнитосферы, а все магнитосферные возмущения связаны с возмущенными типами солнечного ветра (так называемыми межпланетными драйверами): 1) телом выброса корональной массы (ICME), включая магнитные облака (magnetic cloud, MC) и выбросы (Ejecta)); 2) областью сжатия перед быстрым ICME

(sheath) и 3) областью сжатия перед быстрым потоком из корональной дыры (CIR) [8–12].

Согласно последующим исследованиям, реакция магнитосферы на южную компоненту ММП отличается в различных типах драйверов, т.е. реакция магнитосферы дополнительно зависит от типа драйвера (см., например, [13–23] и ссылки в них).

1. Эффективность генерации магнитных бурь по критерию “выход / вход”, где под “входом” понимается параметр межпланетного драйвера, а под “выходом” — геомагнитный индекс; самая высокая наблюдается в области сжатия перед быстрым ICME (sheath), а самая низкая — в выбросах (Ejecta).

2. Оба типа сжатия, CIR и sheath, похожи друг на друга, но степень сжатия в sheath, как правило, более высокая.

3. Оба типа корональных выбросов ICME — MC и Ejecta — имеют близкие параметры, но в MC наблюдается более высокое ММП.

Отмеченное выше свойство солнечно-земных связей делает весьма перспективным изучение реакции магнитосферы на вариации межпланетных условий в различных типах солнечного ветра, так как позволяет исследовать реакцию магнитосферы для нескольких наборов специфических условий, характерных для возмущенных типов солнечного ветра. Помимо задач по исследованию генерации солнечным ветром различных магнитосферно-ионосферных возмущений Земли идентификация типов солнечного ветра также широко применяется в задачах по физике Солнца и физике гелиосферы. За прошедший с начала космической эры период собран большой статистический материал по измерениям параметров солнечного ветра в околоземном пространстве (см. <http://omniweb.gsfc.nasa.gov> и статью [24]) и опубликовано большое количество результатов исследований.

Как показал анализ публикаций, в исследованиях по определению типов солнечного ветра обнаруживаются серьезные методические проблемы. В большинстве работ, как правило, используется достаточно ограниченный набор событий без подробного описания номенклатуры и процедур идентификации типов солнечного ветра. Это зачастую не позволяет верифицировать анализируемые наборы межпланетных драйверов и сделать надежные, подтвержденные несколькими работами выводы. В части исследований используются некорректные наборы данных или некорректные методы их анализа. Некоторый обзор наиболее распространенных ошибок с примерами содержится в ранее вышедшей статье [23] и в приведенных в ней ссылках. В настоящей работе лишь кратко упомянем, что помимо тех статей, авторы которых используют очевидно некорректные, отличные от общепринятых, критерии идентификации межпланетных драйверов (например, [25]), существует класс работ, в которых такие ошибки неочевидны. Они, как правило, связаны, либо с использованием неверных данных из ранее опубликованных работ (например, исследование [26], в котором используются ошибочные данные по идентификации типов СВ из списка Shen et al. [27] или работа [28], в которой использовались результаты неверной идентификации, содержащиеся в списке статьи [29]); либо с рассмотрением так называемого “CME-driven” события. Как было указано выше, CME, наблюдаемое у Солнца, на орбите Земли может порождать два геоэффективных события: выброс (Ejecta/МС) и область сжатия перед ним (sheath), которые имеют разные характеристики [11, 23, 30] и, как следствие,

разную реакцию магнитосферы [19, 23]. При рассмотрении CME-driven событий (без их селекции на выброс Ejecta/МС и область сжатия sheath) изучается некоторое несуществующее в природе “усредненное явление” с неизвестным вкладом от этих двух различных драйверов. Представляется, что полученные таким образом результаты не имеют физического смысла, так как характеризуют лишь некоторый “средний” ход параметров для конкретного набора различных событий, который может отличаться от любого подобного набора из-за различающихся вкладов от Ejecta/МС и sheath, — т.е. результаты оказываются зависящими от используемой выборки событий и носят случайный характер.

Сказанное выше указывает на то, что методические ошибки данного подхода не связаны с объектом исследования, а носят исключительно субъективный характер, так как авторы исследований (и рецензенты соответствующих статей) не уделяют достаточного внимания методическим вопросам исследований, в результате чего лавинообразно нарастает число публикаций, в которых отсутствуют научные выводы. Как показано в работе [23], данная проблема решается введением в научный оборот каталогов событий СВ, принятых научным сообществом в качестве эталонных. Однако в настоящее время отсутствует организационная и финансовая поддержка этого предложения. В то же время существуют по крайней мере два каталога, охватывающие по времени несколько солнечных циклов и имеющие более сотни ссылок в литературе, которые могли бы лечь в основу такого, согласованного научным сообществом, реестра.

1. Каталог крупномасштабных типов солнечного ветра, который разрабатывается более четверти века в ИКИ РАН (<http://www.iki.rssi.ru/pub/omni/> [31]), включает одночасовые данные с 1976 г. за все время обновления базы OMNI NASA (с “задержкой” на 3–6 мес) и интервалы 7 крупномасштабных ($>10^6$ км) типов солнечного ветра. Квазистационарные типы: 1) гелиосферный токовый слой (Heliospheric current sheet), HCS; 2) медленные потоки из области корональных стримеров, Slow; 3) быстрые течения из области корональных дыр, Fast. Возмущенные типы: 4) области сжатия между медленным и быстрым типами течения — коротирующие области взаимодействия (corotating interaction regions) CIR; 5) области сжатия между медленным типом течения и быстрыми проявлениями CME (ICME), Sheath; 6), 7) два варианта ICME — Ejecta и magnetic cloud, который

по сравнению с Ejecta отличаются более высоким и регулярным межпланетным магнитным полем. Используемая классификация явлений солнечного ветра представляет собой общепринятую (подробнее см. [23]). Метод идентификации типов подробно описан в работе [31].

2. Katalog Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections, I.G. Richardson and H.V. Cane (<https://izw1.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm>) включает данные об измерениях ICME с 1996 г. Благодаря тому, что в нем помимо межпланетных данных о СВ включена солнечная информация о CME, полученная с помощью измерений коронографа, каталог очень популярен для задач физики Солнца и гелиосферы, но он имеет ограниченное применение для задач геофизики. Это связано с тем, что в нем нет данных о важном межпланетном драйвере магнитосферных возмущений — CIR. Кроме того, в качестве ICME здесь рассматривается составное явление CME-driven, включающее ударную волну, Ejecta/МС и sheath. Как было отмечено выше, для получения строгого научного результата по геофизике необходимо проводить дополнительную селекцию таких “ICME” на их две геоэффективные части: Ejecta/МС и sheath.

Для отдельных наборов событий была проведена работа по селекции явлений из каталога Richardson and Cane и сравнению с результатами каталога ИКИ РАН (см., например, работы [23, 30] и ссылки в них). Совпадение данных обоих каталогов составляет около 13 %. Необходимо отметить, что специальная задача по систематическому сравнению двух каталогов авторами не ставилась. Такая работа выполнялась при оценке надежности идентификации межпланетных драйверов и выводов в некоторых опубликованных исследованиях, авторы которых пренебрегали подробным описанием методических вопросов. В качестве иллюстрации приведем одну из недавних подобных работ, проведем сравнение с данными двух упомянутых каталогов и дадим заключение о надежности идентификации драйверов и сделанных авторами выводов.

В работе [32] авторы изучают возбуждение на Земле 149 магнитных бурь (МБ) с $Dst_{min} \leq -50$ нТл различными межпланетными драйверами за период 24 солнечного цикла (2009–2019 гг.). Однако данная работа имеет недостатки. Как следует из текста статьи, авторам известно о двух широко используемых базах типов солнечного ветра: каталоге I.G. Richardson and H.V. Cane и каталоге ИКИ РАН. Хотя в этих базах данные о типах драйверов были представлены для указанных

интервалов на момент подготовки рукописи, авторы предпочли не использовать их, а провести собственную идентификацию драйверов. Количественного сравнения результатов собственного анализа с результатами других аналогичных исследований в работе [32] нет. По поводу различий с указанными выше базами авторы ограничились следующими словами: “Хотя эти несоответствия неизбежны, они практически не влияют на наши результаты” (“Although these inconsistencies are ineluctable but they put little to no effect on our findings”) (не содержат количественных характеристик). В работе [32] и в поддерживаемой в ней ссылке на методику [33] описаны качественные критерии ICME (тело CME, sheath в статье [33] не упоминается), которые не позволяют воспроизвести анализ исходных данных и верифицировать список событий.

Целью настоящей работы является сравнение результатов идентификации межпланетных драйверов, представленных в работе [32], с идентификацией тех же событий по базам I.G. Richardson and H.V. Cane и ИКИ РАН, и получение количественных оценок степени совпадения идентификации драйверов этих баз и надежности данных базы, используемой в статье [32].

2. МЕТОДИКА

В настоящей работе анализируются три разных источника данных, в которых представлены результаты идентификации типов СВ и межпланетных драйверов для того же интервала времени (2009–2019 гг.), что и в работе [32].

1. Результаты идентификации межпланетных драйверов магнитных бурь (МБ) с $Dst < -50$ нТл в период 2009–2019 гг. в списке Qiu et al. (см. табл. 1 в работе [32]).

2. Данные каталога [31] межпланетных явлений, который включает результаты идентификации крупномасштабных типов СВ — Sheath, ICME (раздельно МС или Ejecta) и CIR для периода 1976–2022 гг. Каталог находится в свободном доступе.

3. Данные каталога [34] для явлений ICME, включающих в себя как тело CME, так и область сжатия перед ним Sheath.

Методика идентификации явлений СВ в настоящей работе построена на основе экспериментальных данных, показавших, 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 [24]) и идентификация 8 типов СВ описаны в работе [31]. Для анализа используем интервалы для следующих типов и подтипов:

IS/Sheath/Ejecta — интервалы Sheath, сопровождающиеся предшествующей ударной волной и последующим интервалом Ejecta;

Sheath/Ejecta — интервалы Sheath без предшествующей ударной волны и с последующим интервалом Ejecta;

Ejecta — интервалы Ejecta без предшествующего интервала Sheath;

IS/Sheath/MC — интервалы Sheath, сопровождающиеся предшествующей ударной волной и последующим интервалом MC;

Sheath/MC — интервалы Sheath без предшествующей ударной волны и с последующим интервалом MC;

MC — интервалы MC без предшествующего интервала Sheath;

CIR — интервалы CIR без предшествующей ударной волны;

IS/CIR — интервалы CIR с предшествующей ударной волной.

Годовые списки интервалов различных типов СВ в виде текстовых файлов, содержащих время начала и окончания интервалов, размещены в каталоге [31]. Результаты анализа событий представлены в графическом и цифровом виде и находятся в свободном доступе на сайте ИКИ РАН (<http://www.iki.rssi.ru/pub/omni/>). Была также использована методика, описанная в статье [30]. 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 [36, 35], т.е. сравнивались не только величины параметров, но и их динамика во времени.

Было проведено сравнение результатов идентификации типов событий СВ из списка [32] с идентификацией в каталоге [31] и каталоге [34]. Поскольку в последнем отсутствуют данные об CIR, то при сравнении с этим каталогом анализировались только данные из работы [32], отнесенные авторами к типам ICME и Sheath.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Приведем статистические результаты сравнения идентификации типов событий СВ в списке [32] и в каталогах [31] и [34]. Далее более подробно рассмотрим некоторые события, которые имеют различную идентификацию по этим трем каталогам.

Статистика сравнения каталогов

В колонке 2 табл. 1 представлена информация о 149 умеренных и сильных геомагнитных бурях и их межпланетных источниках за период 2009–2019 гг., генерированных различными типами СВ (ICME, CIR, SH = Sheath, а также типы СВ Complex и Unknown), согласно списку [32]. В следующих двух колонках показано сравнение с каталогом [31] для тех же интервалов: в колонке 3 “+” и “–” означают совпадение или не совпадение драйверов, в колонке 4 указана идентификация драйверов в каталоге [31] (MC — магнитное облако, MC_{SH} — магнитное облако после области сжатия Sheath, EJ — поршень Ejecta, EJ_{SH} — поршень Ejecta после области сжатия Sheath, SH_{EJ} — область сжатия перед быстрым Ejecta, SH_{MC} — область сжатия перед быстрым MC, SW — невозмущенный СВ). В столбце 5 отмечено наличие (“+”) или отсутствие (“–”) события из списка [31] в каталоге [34], который включает события только типа ICME и Sheath, а в столбце 6 — совпадение идентификации событий в каталогах [31] и [34] (так как последний содержит только события ICME, данные по каталогу [31] были предварительно “загрублены” до номенклатуры каталога [34], т.е. включали только события ICME и не относящиеся к ICME).

Анализ событий, представленный в табл. 1, показывает заметное расхождение идентификации драйверов с данными каталога [31], которое составляет 19.5 % случаев (из 149 событий 29 имеют расхождения в идентификации). В табл. 2 содержатся ссылки на рисунки каталога [31] для 29 событий, имеющих различия в сравнении со списком [32] (см. табл. 1), обозначения типов драйверов в ней используются такие же.

В списке [32] из 81 события, которые помечены авторами как ICME или Sheath, 23 события отсутствуют в каталоге [34], т.е. в ~28 % случаев этого каталога они не идентифицируются как Sheath или ICME. Номенклатура типов СВ в каталогах [31] и [34] различается, различия идентификации по этим каталогам можно оценить приближенно как 13 %.

Таблица 1. Статистика сравнения данных каталогов [31] и [34]

№ события <i>1</i>	Список из работы [32] <i>2</i> Дата, время, Dst_{min} , тип СВ	Каталог [31]		Каталог [34]	
		<i>3</i> Срав. [32]	<i>4</i> Идентиф.	<i>5</i> Срав. [32]	<i>6</i> Срав. [31]
1	22.VII.2009 07:00 – 83 CIR	+	CIR	–	+
2	16.II.2010 00:00 – 59 ICME	–	SW	–	+
3	6.IV.2010 16:00 – 81 ICME	+	MCsh	+	+
4	12.IV.2010 02:00 – 67 SH	+	SH/Ejsh	+	+
5	2.V.2010 19:00 – 71 CIR	+	CIR	–	+
6	29.V.2010 13:00 – 80 ICME	+	MCsh	+	+
7	4.VIII.2010 02:00 – 74 SH	+	SH	+	+
8	11.X.2010 20:00 – 75 CIR	+	CIR	–	+
9	4.II.2011 22:00 – 63 CIR	+	CIR	–	+
10	1.III.2011 15:00 – 88 CIR	+	CIR	–	+
11	11.III.2011 06:00 – 83 CIR	–	EJsh	–	–
12	6.IV.2011 20:00 – 60 SH	–	SW	–	+
13	28.V.2011 15:00 – 80 ICME	+	MCsh	+	+
14	5.VII.2011 01:00 – 59 Complex	+	SW	–	+
15	6.VIII.2011 04:00 – 115 SH	+	CIR	+	–
16	10.IX.2011 05:00 – 75 CIR	–	MCsh	+	+
17	17.IX.2011 16:00 – 72 SH+ICME	+	MCsh	+	+
18	27.IX.2011 00:00 – 118 SH	+	MCsh	+	+
19	25.X.2011 02:00 – 147 SH+ICME	+	MCsh	+	+
20	1.XI.2011 16:00 – 66 ICME	–	SW	+	–
21	22.I.2012 22:00 – 70 SH	+	SHmc	–	–
22	25.I.2012 11:00 – 75 SH	–	CIR	–	+
23	15.II.2012 18:00 – 67 SH+ICME	+	EJsh	+	+
24	19.II.2012 05:00 – 63 CIR	+	CIR	–	+
25	27.II.2012 20:00 – 57 SH+ICME	+	SHmc	+	+
26	4.III.2012 03:00 – 50 ICME	+	EJ	+	+
27	7.III.2012 10:00 – 88 CIR	+	CIR	–	+
28	9.III.2012 09:00 – 145 SH+ICME	+	MCsh	+	+
29	12.III.2012 17:00 – 64 SH	+	SH	–	+
30	15.III.2012 21:00 – 88 SH	+	SH	+	+
31	28.III.2012 05:00 – 68 CIR	+	CIR	–	+
32	5.IV.2012 08:00 – 64 ICME	–	SW	–	+
33	13.IV.2012 06:00 – 60 CIR	+	CIR	–	+
34	24.IV.2012 05:00 – 120 ICME	+	MCsh	+	+
35	12.VI.2012 02:00 – 67 ICME	+	EJ	–	–
36	17.VI.2012 14:00 – 86 ICME	+	MCsh	+	+

Таблица 1. Продолжение

№ события <i>1</i>	Список из работы [32] <i>2</i> Дата, время, Dst_{min} , тип СВ	Каталог [31]		Каталог [34]	
		<i>3</i> Срав. [32]	<i>4</i> Идентиф.	<i>5</i> Срав. [32]	<i>6</i> Срав. [31]
37	9.VII.2012 13:00 – 78 ICME	+	EJsh	+	+
38	15.VII.2012 17:00 – 139 SH+ICME	+	MCsh	+	+
39	3.IX.2012 11:00 – 69 ICME	–	SHej	+	+
40	5.IX.2012 06:00 – 64 Complex	+	SHej/EJ	+	+
41	1.X.2012 05:00 – 122 ICME	+	MCsh	+	+
42	9.X.2012 09:00 – 109 SH+ICME	+	MCsh	+	+
43	13.X.2012 08:00 – 90 ICME	+	EJsh	+	+
44	1.XI.2012 21:00 – 65 ICME	+	MCsh	+	+
45	14.XI.2012 08:00 – 108 ICME	–	SHej	+	+
46	18.I.2013 01:00 – 52 ICME	+	EJsh	+	+
47	26.I.2013 23:00 – 51 CIR	+	CIR	–	+
48	1.III.2013 11:00 – 55 CIR	+	CIR	–	+
49	17.III.2013 21:00 – 132 SH+ICME	+	EJsh	+	+
50	29.III.2013 18:00 – 59 CIR	+	CIR	–	+
51	1.V.2013 19:00 – 72 ICME	+	SW	+	+
52	18.V.2013 04:00 – 61 SH	+	SHej	–	–
53	25.V.2013 07:00 – 59 SH	+	SHej	–	–
54	1.VI.2013 09:00 – 124 CIR	+	CIR	–	+
55	7.VI.2013 06:00 – 78 ICME	+	MC	+	+
56	29.VI.2013 07:00 – 102 ICME	+	EJsh	+	+
57	6.VII.2013 19:00 – 87 ICME	+	EJsh	+	+
58	10.VII.2013 22:00 – 56 SH	–	EJ	–	–
59	14.VII.2013 23:00 – 81 ICME	+	EJsh	+	+
60	5.VIII.2013 03:00 – 50 CIR	+	CIR	–	+
61	27.VIII.2013 22:00 – 59 CIR	+	CIR	–	+
62	2.X.2013 08:00 – 72 SH	+	SHmc	+	+
63	9.X.2013 02:00 – 69 Unknown	–	SHej	+	+
64	31.X.2013 00:00 – 56 Complex	+	SW	–	+
65	7.XI.2013 13:00 – 50 SH	–	SW	–	+
66	9.XI.2013 09:00 – 80 CIR	–	SHej	+	+
67	11.XI.2013 08:00 – 68 SH	+	SHej	–	–
68	8.XII.2013 09:00 – 66 CIR	+	CIR	–	+
69	19.II.2014 09:00 – 119 ICME	+	EJsh	–	–
70	20.II.2014 13:00 – 95 SH	–	SW	–	+
71	22.II.2014 02:00 – 64 ICME	+	EJ	+	+
72	23.II.2014 20:00 – 55 Complex	+	SW	–	+
73	28.II.2014 00:00 – 97 SH	–	CIR	–	+

Таблица 1. Продолжение

№ события <i>1</i>	Список из работы [32] <i>2</i> Дата, время, Dst_{min} , тип СВ	Каталог [31]		Каталог [34]	
		<i>3</i> Срав. [32]	<i>4</i> Идентиф.	<i>5</i> Срав. [32]	<i>6</i> Срав. [31]
74	12.IV.2014 10:00 – 87 ICME	+	EJ	+	+
75	30.IV.2014 10:00 – 67 ICME	+	EJsh	+	+
76	27.VIII.2014 19:00 – 79 ICME	+	MC	–	–
77	13.IX.2014 00:00 – 88 ICME	+	MCsh	+	+
78	9.X.2014 08:00 – 51 Complex	+	SW	–	+
79	28.X.2014 02:00 – 57 Unknown	+	SW	–	+
80	10.XI.2014 18:00 – 65 Unknown	+	SW	–	+
81	16.XI.2014 08:00 – 59 Unknown	+	SW	–	+
82	12.XII.2014 17:00 – 53 Unknown	–	CIR	–	+
83	22.XII.2014 07:00 – 71 ICME	+	MCsh	+	+
84	24.XII.2014 01:00 – 57 SH	–	SW	–	+
85	4.I.2015 22:00 – 71 ICME	–	CIR	–	+
86	7.I.2015 12:00 – 99 ICME	+	MC	+	+
87	18.II.2015 01:00 – 64 CIR	+	CIR	–	+
88	8.II.2015 08:00 – 56 CIR	+	CIR	–	+
89	2.III.2015 09:00 – 55 CIR	–	SHej	–	–
90	17.III.2015 23:00 – 222 SH+ICME	+	MCsh	+	+
91	11.IV.2015 11:00 – 75 ICME	+	MCsh	+	+
92	17.IV.2015 00:00 – 79 CIR	+	CIR	–	+
93	11.V.2015 05:00 – 51 ICME	+	MCsh	+	+
94	13.V.2015 07:00 – 76 CIR	+	CIR	–	+
95	8.VI.2015 09:00 – 73 CIR	+	CIR	–	+
96	23.VI.2015 05:00 – 204 SH+ICME	+	MCsh	+	+
97	25.VI.2015 20:00 – 86 ICME	+	MCsh	+	+
98	7.V.2015 06:00 – 67 CIR	+	CIR	–	+
99	13.VII.2015 16:00 – 61 ICME	+	EJsh	+	+
100	23.VII.2015 09:00 – 63 Complex	–	CIR	–	+
101	16.VIII.2015 08:00 – 84 SH+ICME	+	MCsh	+	+
102	19.VIII.2015 07:00 – 50 Complex	+	SW	–	+
103	27.VIII.2015 21:00 – 92 ICME	+	EJsh	+	+
104	7.IX.2015 21:00 – 70 SH	+	SH/MCsh	–	–
105	9.IX.2015 13:00 – 98 ICME	+	MCsh	+	+
106	11.IX.2015 15:00 – 81 CIR	+	CIR	–	+
107	20.IX.2015 16:00 – 75 SH	+	SHej	–	–
108	7.X.2015 23:00 – 124 CIR	+	CIR	–	+
109	4.XI.2015 13:00 – 60 CIR	–	EJsh	+	+
110	7.XI.2015 07:00 – 89 SH	+	SH/MCsh	+	+

Таблица 1. Продолжение

№ события <i>1</i>	Список из работы [32] <i>2</i> Дата, время, Dst_{min} , тип СВ	Каталог [31]		Каталог [34]	
		<i>3</i> Срав. [32]	<i>4</i> Идентиф.	<i>5</i> Срав. [32]	<i>6</i> Срав. [31]
111	10.XI.2015 14:00 – 58 CIR	+	CIR	–	+
112	20.XII.2015 23:00 – 155 ICME	+	MCsh	+	+
113	1.I.2016 01:00 – 110 SH+ICME	+	EJsh	–	–
114	20.I.2016 17:00 – 93 ICME	–	SW	+	–
115	3.II.2016 03:00 – 53 CIR	–	EJsh	–	–
116	16.II.2016 20:00 – 57 CIR	+	CIR	–	+
117	6.III.2016 22:00 – 98 CIR	+	CIR	–	+
118	3.IV.2016 00:00 – 56 CIR	+	CIR	–	+
119	8.IV.2016 01:00 – 60 ICME	+	EJsh	–	–
120	13.IV.2016 06:00 – 55 CIR	+	CIR	–	+
121	14.IV.2016 21:00 – 59 ICME	+	EJ	+	+
122	8.IV.2016 09:00 – 88 CIR	+	CIR	–	+
123	3.VIII.2016 11:00 – 52 SH	–	CIR2	–	+
124	23.VIII.2016 22:00 – 74 CIR	+	CIR	–	+
125	1.IX.2016 10:00 – 59 CIR	+	CIR	–	+
126	14.X.2016 00:00 – 104 ICME	+	MCsh	+	+
127	25.X.2016 18:00 – 59 CIR	+	CIR	–	+
128	29.X.2016 04:00 – 64 CIR	+	CIR	–	+
129	1.III.2017 22:00 – 61 CIR	+	CIR	–	+
130	27.III.2017 15:00 – 74 CIR	+	CIR	–	+
131	22.IV.2017 17:00 – 50 CIR	+	CIR/ SW	–	+
132	28.V.2017 08:00 – 125 ICME	+	MCsh	+	+
133	16.VII.2017 16:00 – 72 SH	+	SHmc	+	+
134	31.VIII.2017 12:00 – 50 CIR	–	EJsh	–	–
135	8.IX.2017 02:00 – 124 ICME	–	SHmc	+	+
136	28.IX.2017 07:00 – 55 CIR	+	CIR	–	+
137	14.X.2017 06:00 – 52 CIR	–	SW	–	+
138	8.XI.2017 02:00 – 74 CIR	+	CIR	–	+
139	18.III.2018 22:00 – 50 CIR	+	CIR	–	+
140	20.IV.2018 10:00 – 66 CIR	+	CIR	–	+
141	6.V.2018 02:00 – 56 CIR	+	CIR	–	+
142	26.VIII.2018 07:00 – 174 ICME	+	MCsh	+	+
143	11.IX.2018 11:00 – 60 CIR	–	SHej	–	–
144	7.X.2018 22:00 – 53 CIR	+	CIR	–	+
145	5.XI.2018 06:00 – 53 CIR	+	CIR	–	+
146	11.V.2019 22:00 – 51 SH+ICME	+	MC	+	+
147	14.V.2019 08:00 – 65 SH+ICME	+	SHmc	+	+

Таблица 1. Окончание

№ события <i>I</i>	Список из работы [32]	Каталог [31]		Каталог [34]	
	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
	Дата, время, Dst_{min} , тип СВ	Срав. [32]	Идентиф.	Срав. [32]	Срав. [31]
148	5.VIII.2019 21:00 – 53 CIR	+	CIR	–	+
149	1.IX.2019 07:00 – 52 CIR	–	SW	–	+

Примечание. *I* – номер события; *2* – дата и время событий в формате день–месяц–год час–мин (UT), значение Dst -индекса в минимуме МБ, тип СВ в минимуме МБ списка [32] (ICME – межпланетные выбросы корональной массы (Ejecta, MC), SH – оболочка Sheath, SH+ICME – сочетание оболочек и межпланетных выбросов корональной массы, CIR – коротирующие области взаимодействия, Complex – сложные конструкции, Unknown – недостающие данные или низкое качество данных); *3* – идентификатор совпадения (“+”) или несовпадения (“–”) типа СВ в списке [32] и каталоге [31]; *4* – тип (идентификатор) СВ по каталогу [31] в минимуме МБ, время которого указано в столбце 2; *5* – наличие события в списке [34] (“+” и “–” означают присутствие или отсутствие события ICME); *6* – совпадение события по каталогам [31] и [34]. Так как каталог [34] содержит только события ICME, то данные каталогу [31] предварительно были «загружены» до номенклатуры каталога [34], т.е. включали только ICME-события и не относящиеся к ICME.

Таблица 2. Ссылки на рисунки каталога [31] для событий из списка [32], имеющих различия в идентификации (см. табл. 1)

№ <i>I</i>	Список событий [32] <i>2</i>	Тип СВ <i>3</i>	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/ <i>4</i>	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/ <i>5</i>
11	11.III.2011 06.00 –83 CIR	EJsh	2011/20110226c.jpg	2011/20110305jpg
16	10.IX.2011 05.00 –75 CIR	MCsh	2011/20110910c.jpg	2011/20110903.jpg 2011/20110910.jpg
109	4.XI.2015 13.00 –60 CIR	EJsh	2015/20151008c.jpg	2015/20151029.jpg
115	3.II.2016 03.00 –53 CIR	EJsh	2016/20160129c.jpg	2016/20160129.jpg
134	31.VIII.2017 12.00 –50 CIR	EJsh	2017/20170813c.jpg	2017/20170827.jpg
66	9.XI.2013 09.00 –80 CIR	SHej	2013/20131105c.jpg	2013/20111053.jpg
89	3.VI.2015 09.00 –55 CIR	SHej	2015/20150226c.jpg	2015/20150226.jpg
143	11.IX.2018 11.00 –60 CIR	SHej	2018/20180910c.jpg	2018/20180910.jpg
137	14.X.2017 06.00 –52 CIR	SW	2017/20171008c.jpg	2017/20171008.jpg
149	1.IX.2019 07.00 –52 CIR	SW	2019/20190813c.jpg	2019/20190827.jpg
58	10.VII.2013 22.00 –56 SH	EJ	2013/20130618c.jpg	2013/20130709c.jpg
39	3.IX.2012 11.00 –69 ICME	SHej	2012/20120812c.jpg	2012/20120902.jpg
45	14.XI.2012 08.00 –108 ICME	SHej	2012/20121108c.jpg	2012/20121111.jpg
63	9.X.2013 02.00 –69 Unknown	SHej	2013/20131008c.jpg	2013/20131008.jpg
135	8.IX.2017 02.00 –124 ICME	SHej	2017/20170715c.jpg	2017/20170903.jpg
22	25.I.2012 11.00 –75 SH	CIR	2012/20120101c.jpg	2012/20120122.jpg
73	28.II.2014 00.00 –97 SH	CIR	2014/20140226c.jpg	2014/20140226.jpg
82	12.XII.2014 17.00 –53Unknown	CIR	2014/20141203c.jpg	2014/20141210.jpg
85	4.I.2015 22.00 –71 ICME	CIR	2015/20150101c.jpg	2015/20150101.jpg
100	23.VII.2015 09.00 –63 Complex	CIR	2015/20150716c.jpg	2015/20150723.jpg
123	3.VIII.2016 11.00 –52 SH	CIR	2016/20160715c.jpg	2016/20160729.jpg

Таблица 2. Окончание

№ 1	Список событий [32] 2	Тип СВ 3	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/ catalog/ 4	ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/ omni/ 5
2	16.II.2010 00.00 –59 ICME	SW	2010/20100129c.jpg	2010/20100216.jpg
12	6.IV.2011 20.00 –60 SH	SW	2011/20110326c.jpg	2011/20110402.jpg
20	1.XI.2011 16.00 –66 ICME	SW	2011/20111008c.jpg	2011/20111029.jpg
32	5.IV.2012 08.00 –64 ICME	SW	2012/20120325c.jpg	2012/20120401.jpg
65	7.XI.2013 13.00 –50 SH	SW	2013/20131105c.jpg	2013/20131105.jpg
70	20.II.2014 13.00 –95 SH	SW	2014/20140129c.jpg	2014/20140219.jpg
84	24.XII.2014 01.00 –57 SH	SW	2014/20141203c.jpg	2014/20141224.jpg
114	20.I.2016 17.00 –93 ICME	SW	2016/20160101c.jpg	2016/20160115.jpg

Примечание: 1, 2 – аналогично формату в табл. 1; 3 – тип СВ событий по каталогу [31]; 4, 5 – имя файла рисунков в каталоге [31].

Таким образом, анализ данных трех каталогов типов СВ показывает, что существенное число идентифицированных событий из списка [32] отличается как от каталога [31], так и от каталога [34].

Интерпретация событий, имеющих расхождения в событиях списка Qiu S. et al.

В списке [32] 55 событий из 149 отмечены авторами как тип СВ CIR (см. табл. 1). В данных каталога [31] 10 событий имеют следующие различия:

- 5 событий (№ 11, 16, 109, 115, 134) идентифицированы как ICME с предшествующими событиями Sheath;
- 3 события (№ 66, 89, 143) идентифицированы как Sheath с последующим ICME;
- 2 события (№ 137 и 149) из списка [32] попадают на SW (невозмущенный СВ).

Рассмотрим событие № 134, отмеченное в списке [32] как CIR со временем 31.VIII.2017 12:00 UT (здесь и далее время мировое). Данное событие является минимумом МБ с $Dst = -50$ нТл, идентифицированного в каталоге ИКИ РАН как Ejecta с предшествующим Sheath с ударной волной (см. рис. 1 и табл. 2).

На рис. 1–5 показан временной ход параметров, размещенных на семи панелях (сверху вниз), с выделением вертикальными линиями границ события:

1 панель: β -параметр – отношение теплового давления к магнитному давлению (закрашенные кружки), $T/T_{\text{ср}}$ – относительная температура протонов СВ (крестики), NkT – те-

пловое давление СВ (незакрашенные ромбы), Na/Np – отношение концентраций альфа-частиц к протонам (незакрашенные треугольники);

2 панель: B – величина ММП (закрашенные кружки), B_z – компонента ММП (крестики), B_x – компонента ММП (незакрашенные треугольники), DB – градиент (приращение) величины ММП на интервале 6 ч (не закрашенные ромбы);

3 панель: T – температура плазмы протонов (закрашенные кружки), $T_{\text{ср}}$ – ожидаемая средняя температура при измеренной скорости СВ (крестики);

4 панель: N – концентрация СВ (закрашенные кружки), mnV^2 – кинетическое давление СВ (крестики), DN – градиент (приращение) концентрации плазмы на интервале 6 ч (не закрашенные ромбы);

5 панель: V – скорость СВ (закрашенные кружки), DV_6 – градиент (приращение) величины скорости на интервале 6 ч (крестики).

6 панель: Kp – индекс (сплошная линия), E_y – 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 . Такое поведение параметров характерно для областей сжатия CIR и Sheath [37, 38], но так как после этой области наблюдается тип СВ Ejecta (снижение значений параметров: величина магнитного поля B , тепловое значение солнечного ветра

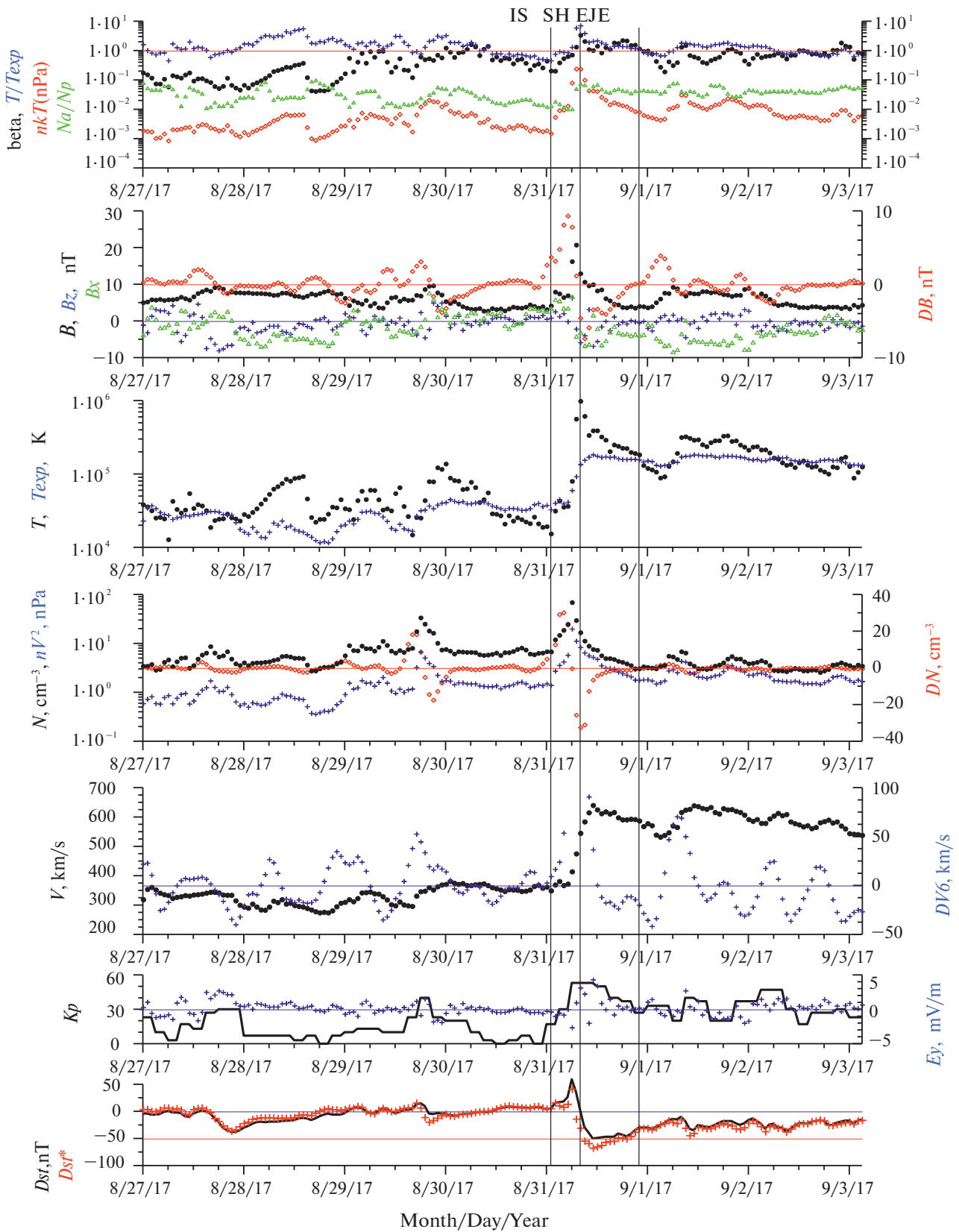


Рис. 1. Временной ход параметров межпланетной среды и магнитосферных индексов с 27 августа по 3 сентября 2017 г. (см. описание в тексте). Событие № 134 из списка [32], с минимумом в 31.VIII.2017 12:00 с $Dst = -50$ нТл, по каталогу [31] попадает на интервал Ejecta

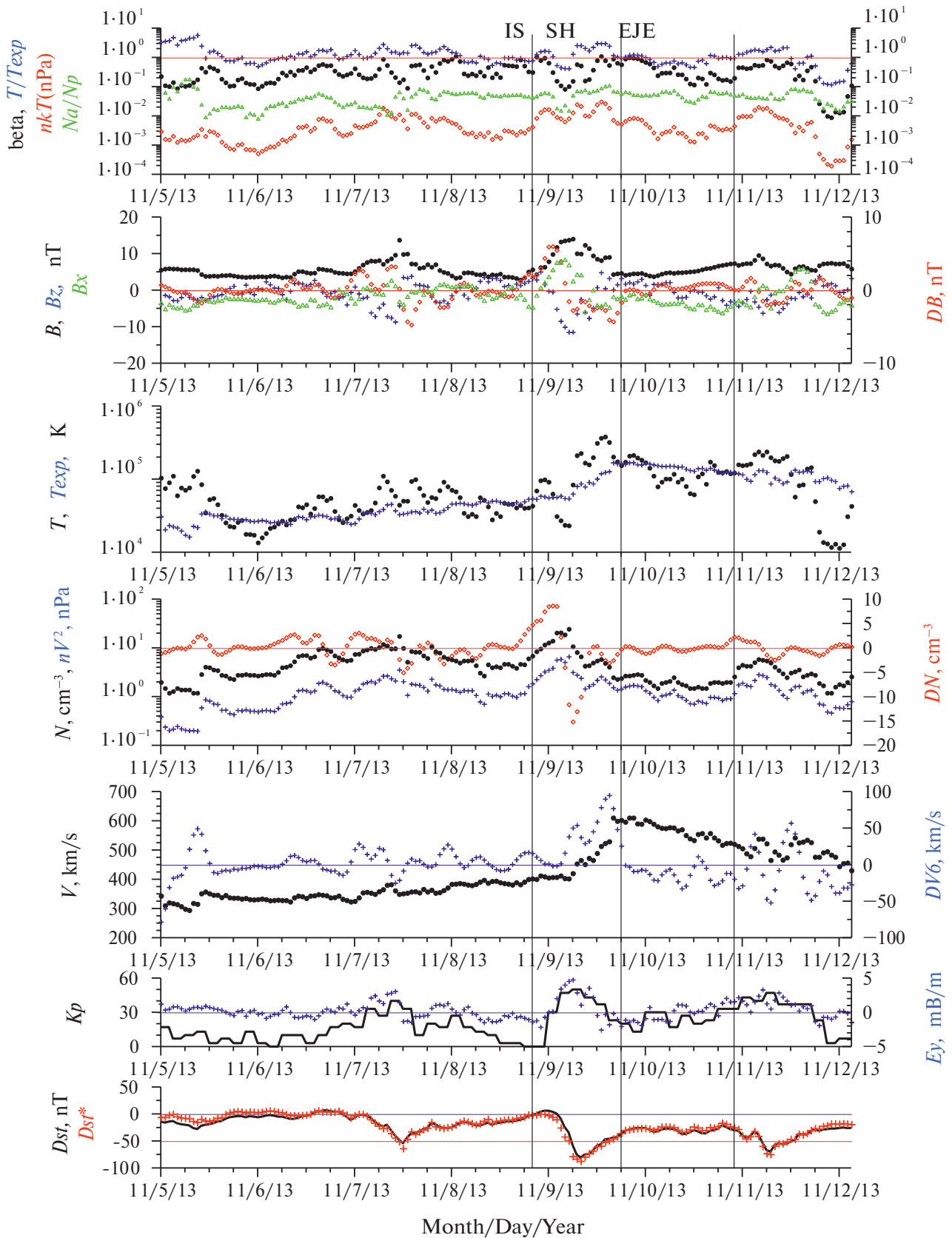


Рис. 2. То же, что и на рис. 1. Событие № 66 списка [32], с минимумом в 09.XI.2013 09:00 с $Dst = -80$ нТл, по каталогу [31] попадает на интервал Sheath

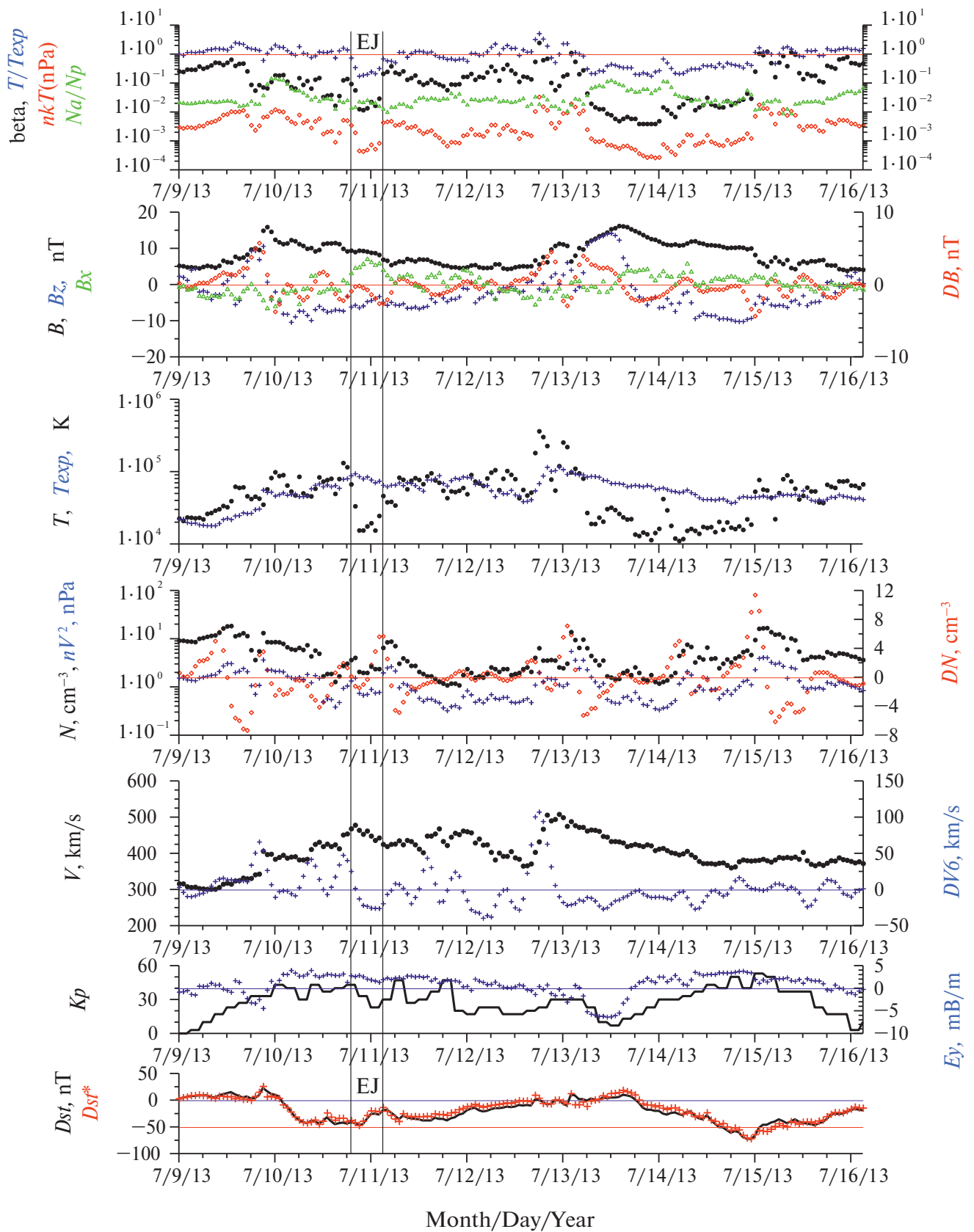


Рис. 3. То же, что и на рис. 1. Событие № 58 списка [32], с минимумом МБ в 10.VII.2013 22:00 с $Dst = -56$ нТл, по каталогу [31] попадает на интервал Еjecta

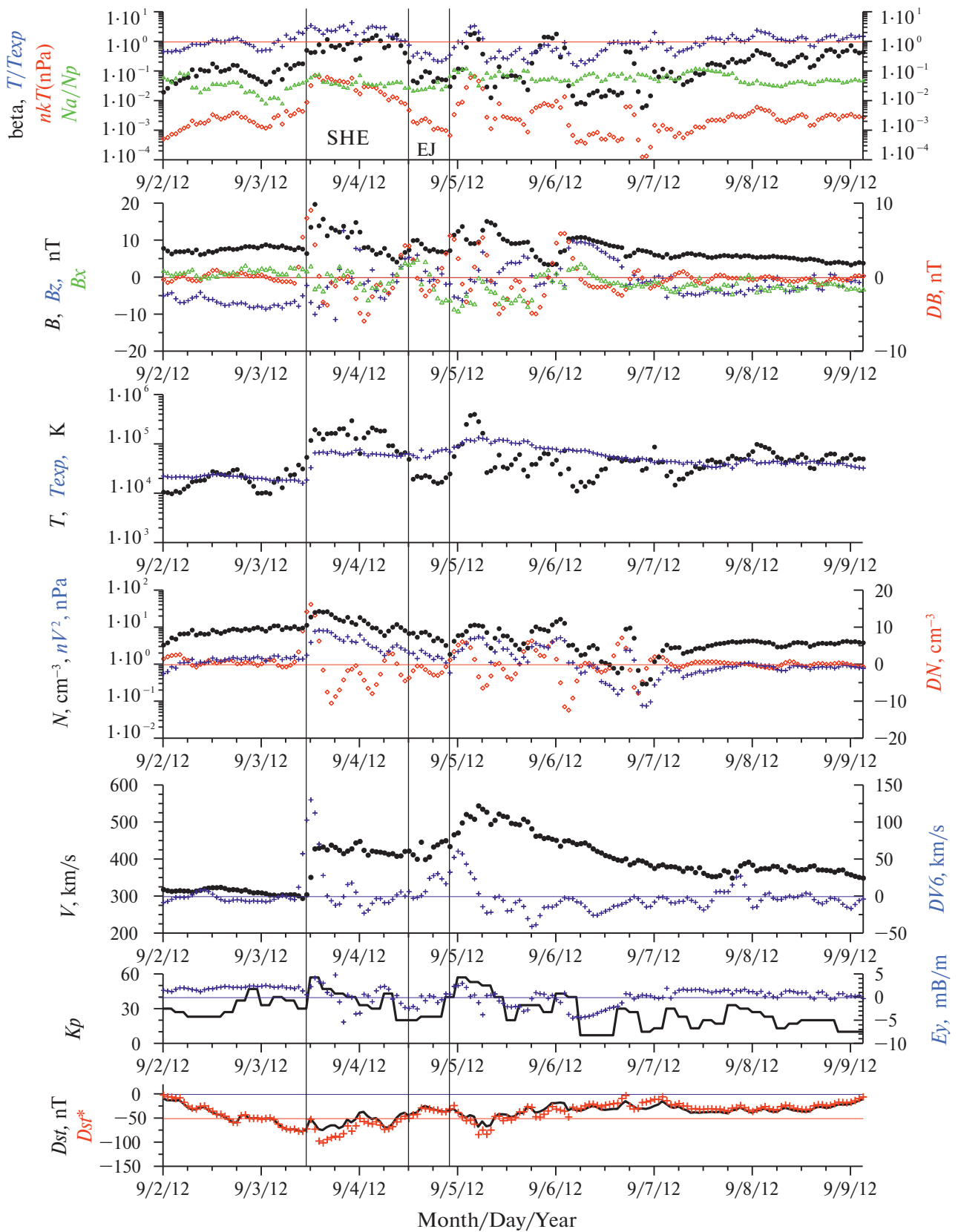


Рис. 4. То же, что и на рис. 1. Событие № 39 списка [32], с минимумом МБ в 3.IX.2012 11:00 с $Dst = -69$ нТл, по каталогу [31] попадает на интервал Sheath

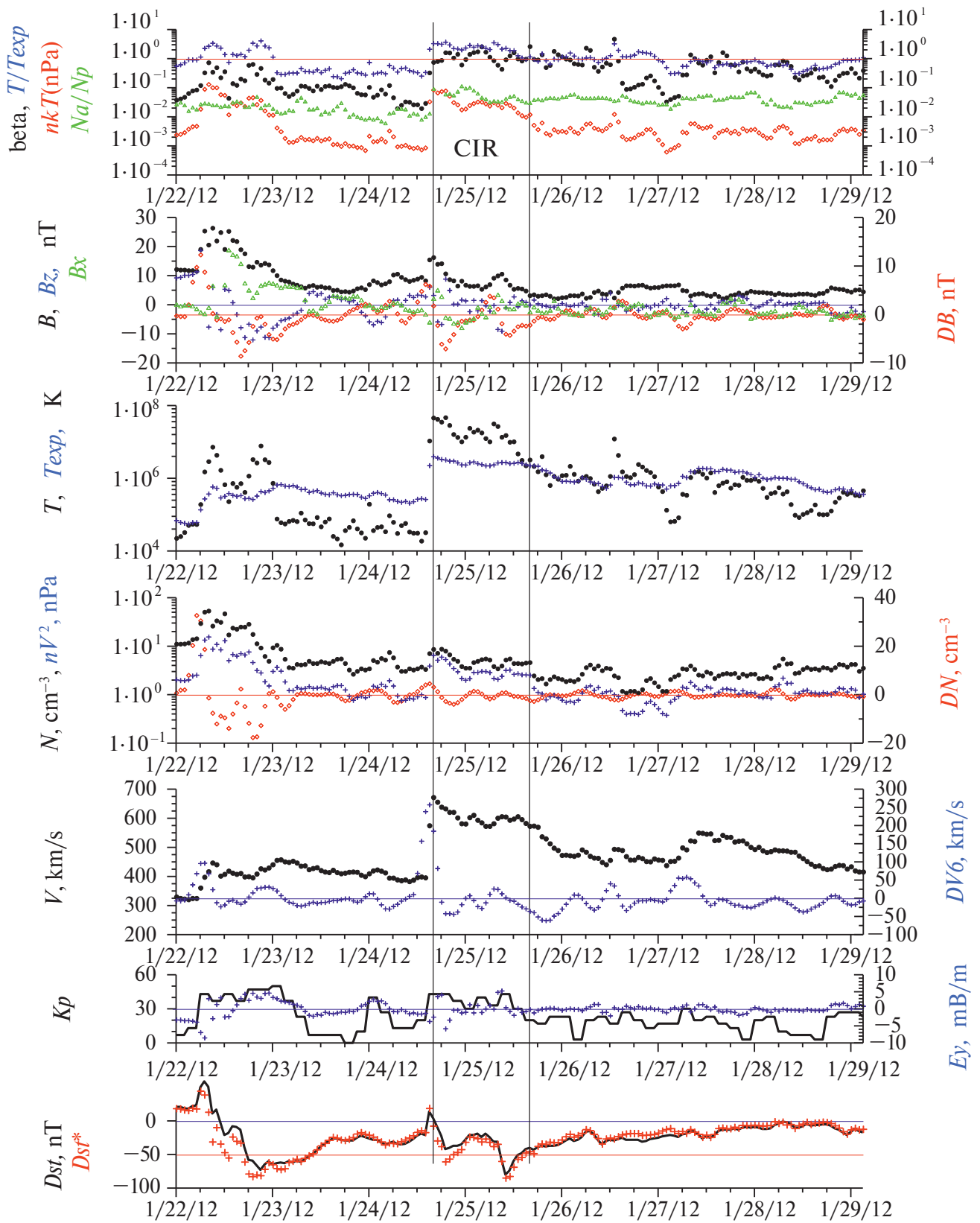


Рис. 5. То же, что и на рис. 1. Событие № 22 списка [32], с минимумом МБ в 25.I.2012 11:00 с $Dst = -75$ нТл, по каталогу [31] попадает на интервал CIR

NkT , плотность плазмы N , скорости V), то данное событие идентифицируется как Sheath. Минимум МБ с минимумом $Dst = -50$ нТл и датой 31.VIII.2017 12:00 находится внутри этого интервала Ejecta.

Аналогичным образом события № 11, 16, 109 и 115 по каталогу наблюдаются внутри интервалов ICME, с предшествующим Sheath и с ударной волной (табл. 2), а не внутри интервалов CIR. События № 66, 89, и 143 из списка [32] (табл. 1), отмеченные как CIR, по каталогу [31] идентифицируются как Sheath с последующим ICME.

Подробно рассмотрим событие № 66 со временем минимума МБ 09.XI.2013 09:00 и $Dst = -80$ нТл. На рис. 2 выделен интервал, на котором минимум МБ приходится на Sheath (сопровождающийся ростом значений T , N , плазменного β -параметра, B , NkT и mnV^2). Как уже отмечалось выше, такое поведение параметров характерно для этого типа СВ и наблюдается перед Ejecta (снижение значений параметров B , NkT , V , N).

Для событий № 66, 89, 143 в табл. 2 содержится информация о рисунках в каталоге [31].

События № 137 и 149 из списка [32] (табл. 1) по каталогу ИКИ РАН попадают на SW (невозмущенный СВ). Интервал CIR для события № 137 закончился за 50 ч до минимума МБ (14.X.2017 06:00 с $Dst = -52$ нТл), а для события № 149 за 17 ч до минимума МБ (01.IX.2019 07:00 с $Dst = -52$ нТл).

В каталоге [34] события № 16, 109, 66 идентифицируются как ICME, а не CIR.

Событие № 58 по интерпретации [32] попадает на Sheath, а по каталогу [31] — на Ejecta (см. рис. 3 и табл. 2), так как этот интервал характеризуется спадающей скоростью, умеренной величиной магнитного поля и низкими значениями температуры, концентрации и бета-параметра. Следует отметить, что область Ejecta наблюдалась приблизительно через сутки после прихода межпланетной ударной волны, но вопрос о том, связана ли эта ударная волна с Ejecta (т.е. предшествует ли Ejecta область Sheath подобно тому, как это наблюдается на рис. 4) или нет, требует дополнительного исследования и выходит за пределы содержания настоящей статьи.

События № 39, 45, 63, 135 списка [32], согласно интерпретации его авторов, находятся в ICME, а по каталогу [31] они наблюдаются в интервале Sheath.

Подробно рассмотрим событие № 39 с минимумом в 3.IX.2012 11:00 и $Dst = -69$ нТл. Согласно рис. 4 (см. табл. 2) минимум МБ попадает на Sheath, для которого характерен рост скорости V на ударной волне в начале интервала, сопровождающийся ростом температуры T , плотности N , плазменного β -параметра, модуля магнитного поля B , а также теплового NkT и кинетических mnV^2 давлений на протяжении всего интервала.

Все четыре события (№ 39, 45, 63, 135) приведены в каталоге [34].

События № 22, 73, 82, 85, 100, 123 по каталогу [31] наблюдаются в интервалах, соответствующих типу CIR, а по интерпретации [32] — в иных типах СВ.

Рассмотрим подробнее событие № 22 (см. рис. 5 и табл. 2) с минимумом МБ в 25.I.2012 11:00 и $Dst = -75$ нТл. По каталогу [31] минимум МБ попадает на CIR, так как удовлетворяет характерному поведению параметров в областях сжатия, но его нельзя отнести к Sheath, так как после выделенного интервала следует высокоскоростной поток СВ, а не ICME.

Все шесть событий (№ 22, 73, 82, 85, 100, 123) отсутствуют в каталоге [34].

События № 2, 12, 20, 32, 65, 70, 84, 114 по каталогу [31] попадают на невозмущенный СВ (SW). Ссылки на рисунки из этого каталога см. в табл. 2.

События № 20 и 114 приведены в каталоге [34].

Таким образом, 29 событий списка [32], которые имеют расхождения с каталогом [31], имеют следующее распределение (по [31]):

- 7 событий (№ 66, 89, 143, 39, 45, 63, 135) имеют минимум МБ в Sheath;
- 6 событий (№ 11, 16, 109, 115, 134, 58) — в ICME;
- 6 событий (№ 22, 73, 82, 85, 100, 123) — в CIR;
- 10 событий (№ 137, 144, 2, 12, 20, 32, 65, 70, 84, 114) — в SW.

В каталоге [34] есть только 9 событий из 29 (№ 16, 109, 66, 39, 45, 63, 135, 20, 114).

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В настоящей работе рассмотрены результаты идентификации всех межпланетных драйверов магнитных бурь, представленных в списке [32]. С целью оценки надежности предложенной идентификации межпланетных драйверов

проведено сравнение этих результатов с идентификацией таких интервалов в каталогах [31] и [34]. Рассмотрены события, которые, согласно нашей методике, идентифицированы ошибочно. В табл. 1 и 2, представлены результаты анализа. После сравнения всех представленных в списке [32] событий, содержащихся в табл. 1 настоящей работы, с данными из каталогов [31] и [34], можно сделать следующие выводы.

1. Из 149 приведенных в списке [32] событий, по данным каталога [31], 29 имеют различия в идентификации и только 9 из 29 событий есть в каталоге [34].

2. В списке [32] из 81 события, помеченного как ICME или Sheath, в каталоге [34] отсутствуют 23 события.

3. При определенных предположениях различия идентификации драйверов в каталогах [31] и [34] можно оценить как 20 из 149 событий. Эта величина согласуется с ранее полученной для этих каталогов оценкой различий около 13 %.

Таким образом, отличия идентификации типов межпланетных драйверов в списке [32], от идентификации в каталоге [31] составляют 19 % событий и в каталоге [34] – примерно 28 % событий. Различия в идентификации драйверов представляются существенными, и использование результатов списка [32] без объяснений авторов может привести к ложным выводам в задачах по изучению связей между межпланетными и магнитосферными явлениями. Данная проблема устраняется, если использовать идентификацию межпланетных событий из каталогов событий, принятых научным сообществом в качестве эталонных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны создателям базы OMNI и каталога ICME за возможность использования данных. Данные OMNI получены из GSFC/SPDF OMNIWeb interface (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>), данные каталога ICME взяты с сайта <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm/>.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 22-12-00227.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленый Л.М., Веселовский И.С. Плазменная гелиогеофизика. М.: Физ-матлит, 2008. Т. 1. 672 с.; Т. 2. 560 с.
2. Зеленый Л.М., Петрукович А.А., Веселовский И.С. Современные достижения в плазменной гелиогеофизике. М.: ИКИ РАН, 2016. 672 с.
3. Dungey J.W. Interplanetary Magnetic Field and the Auroral Zones // *Phys. Rev. Lett.* 1961. V. 6. P. 47–48.
4. Fairfield D.H., Cahill L.J. The transition region magnetic field and polar magnetic disturbances // *J. Geophys. Res.* 1966. V. 71. P. 155–169.
5. Rostoker G., Falthammar C.-G. Relationship between changes in the interplanetary magnetic field and variations in the magnetic field at the Earth's surface // *J. Geophys. Res.* 1967. V. 72. P. 5853–5863.
6. Russell C.T., McPherron R.L., Burton R.K. On the cause of magnetic storms // *J. Geophys. Res.* 1974. V. 79. P. 1105–1109.
7. 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.
8. Tsurutani B.T., Gonzalez W.D. The interplanetary Causes of Magnetic Storms: A Review // *Magnetic Storms* / Eds. Tsurutani B.T., Gonzalez W.D., Kamide Y. Washington: American Geophysical Union Press, 1997. P. 77–89.
9. Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clua de Gonzalez A.L. Interplanetary origin of geomagnetic storms // *Space Sci. Rev.* 1999. V. 88. P. 529–562.
10. Yermolaev Y.I., Yermolaev M.Y., Zastenker G.N. et al. Statistical studies of geomagnetic storm dependencies on solar and interplanetary events: A review // *Planet. Space Sci.* 2005. V. 53. P. 189–196.
11. Yermolaev Y.I., Yermolaev M.Y. Solar and Interplanetary Sources of Geomagnetic Storms: Space Weather Aspects // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics.* 2010. V. 46. Iss. 7. P. 799–819.
12. Temmer M. Space weather: The solar perspective // *Living Rev. Sol. Phys.* 2021. V. 18. Iss. 4.
13. Eselevich V.G., Fainshtein V.G. An investigation of the relationship between the magnetic storm Dst indexes and different types of solar wind streams // *Ann. Geophys.* 1993. V. 11. P. 678–684.
14. Huttunen K.E.J., Koskinen H.E.J., Schwenn R. Variability of magnetospheric storms driven by different solar wind perturbations // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107.
15. Borovsky J.E., Denton M.H. Differences between CME-driven storms and CIR-driven storms // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Iss. A7. Art. ID. A07S08.
16. Pulkkinen T.I., Partamies N., Huttunen K.E.J. et al. Differences in geomagnetic storms driven by magnetic clouds and ICME sheath regions // *Geophys. Res. Lett.* 2007. V. 34. Iss. 2. L02105.

17. Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G. et al. Relative occurrence rate and geoeffectiveness of large-scale types of the solar wind // *Cosm. Res.* 2010. V. 48. P. 1–30.
18. Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G. et al. Specific interplanetary conditions for CIR-induced, Sheath-induced, and ICME-induced geomagnetic storms obtained by double superposed epoch analysis // *Ann. Geophys.* 2010. V. 28. P. 2177–2186.
19. Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G. et al. Geoeffectiveness and efficiency of CIR, sheath, and ICME in generation of magnetic storms // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. Art. ID. A00L007.
20. Nikolaeva N., Yermolaev Y., Lodkina I. Predicted dependence of the cross polar cap potential saturation on the type of solar wind stream // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56. P. 1366–1373.
21. Despirak I.V., Lyubchich A.A., Kleimenova N.G. Solar Wind Streams of Different Types and High-Latitude Substorms // *Geomagn. Aeron.* 2019. V. 59. P. 1–6.
22. Dremukhina L.A., Yermolaev Y.I., Lodkina I.G. Dynamics of Interplanetary Parameters and Geomagnetic Indices during Magnetic Storms Induced by Different Types of Solar Wind // *Geomagn. Aeron.* 2019. V. 59. P. 639–650.
23. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Dremukhina L.A. et al. What Solar–Terrestrial Link Researchers Should Know about Interplanetary Drivers // *Universe.* 2021. V. 7. Iss. 5. Art. ID. 138. <https://doi.org/10.3390/universe7050138>
24. 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. Iss. A2. Art. ID. A02209. <https://doi.org/10.1029/2004JA010804>
25. 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. Art. ID. A09211. <https://doi.org/10.1029/2011JA016463>
26. 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. <https://doi.org/10.1029/2019JA026771>
27. 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>
28. Ogawa Y., Seki K., Keika K. et al. Characteristics of CME- and CIR-driven ion upflows in the polar ionosphere // *JGR Space Physics.* 2019. V. 124. P. 3637–3649.
29. Kataoka R., Miyoshi Y. Flux enhancement of radiation belt electrons during geomagnetic storms driven by coronal mass ejections and corotating interaction regions // *Space Weather.* 2006. V. 4. S09004. <https://doi.org/10.1029/2005SW000211>
30. Yermolaev Yu.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S. et al. Some problems of identifying types of large-scale solar wind and their role in the physics of the magnetosphere // *Cosmic Res.* 2017. V. 55. Iss. 3. P. 178–189.
31. Yermolaev Yu.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G. et al. Catalog of Large-Scale Solar Wind Phenomena during 1976–2000 // *Cosm. Res.* 2009. V. 47. P. 81–94.
32. Qiu S., Zhang Z., Yousof H. et al. The interplanetary origins of geomagnetic storm with $Dst_{min} \leq -50$ nT during solar cycle 24 (2009–2019) // *Advances in Space Research.* 2022. V. 70. Iss. 7. P. 2047–2057. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.06.025>
33. Shen C.Y., Wang Z., Pan B. et al. Full-halo coronal mass ejections: Arrival at the Earth // *J. Geophys. Res. Space Physics.* 2014. V. 119. P. 5107–5116. <https://doi.org/10.1002/2014JA020001>
34. Richardson I.G., Cane H.V. Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections During Solar Cycle 23 (1996–2009): Catalog and Summary of Properties // *Sol. Phys.* 2010. V. 264. P. 189–237. <https://doi.org/10.1007/s11207-010-9568-6>
35. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S. et al. Dynamics of large-scale solar-wind streams obtained by the double superposed epoch analysis: 2. Comparisons of CIR vs. Sheath and MC vs. Ejecta // *Sol. Phys.* 2017. V. 292. 193. <https://doi.org/10.1007/s11207-017-1205-1>
36. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S. et al. Dynamics of large-scale solar wind streams obtained by the double superposed epoch analysis // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2015. V. 120. Iss. 9. P. 7094–7106. <https://doi.org/10.1002/2015JA021274>
37. Nikolaeva N., Yermolaev Y., Lodkina I. Modeling the time behavior of the D_{st} index during the main phase of magnetic storms generated by various types of solar wind // *Adv. Space Res.* 2013. V. 6. P. 401–412. <https://doi.org/10.1134/S0010952513060038>
38. 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>

CATALOGS OF SOLAR WIND TYPES AND THEIR ROLE IN SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS

© 2025 I. G. Lodkina*, Yu. I. Yermolaev**, A. A. Khokhlachev

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: irina-priem@mail.ru*

***e-mail: yermol@iki.rssi.ru*

The magnetosphere response to interplanetary drivers depends on their type. The reliability of their identification affects the conclusions based on the analysis of the relationships between the solar wind and the magnetosphere. In this paper, we analyze the list of moderate and strong geomagnetic storms and their interplanetary sources for the period 2009–2019 presented by Qiu S. et al. It is shown that some of the events in this list were defined incorrectly, and their interpretation differs in ~20 % of cases from our catalog by Yermolaev et al. (<http://www.iki.rssi.ru/omni/>) for the solar wind types Sheath, ICME, and CIR, and in ~28 % of cases from the Richardson and Cane catalog for ICME. Using the uncorrected list of Qiu S. et al. can lead to incorrect identification of interplanetary drivers of magnetic storms and false conclusions. It is recommended to use the classification of interplanetary drivers from catalogs of events accepted by the scientific community as reference ones.