

ремещениями, величина которых соизмерима с ранее зафиксированными на аналогичных сооружениях на территории РС(Я).

На глубине заложения газопровода температура стенки трубы не опускается ниже температуры вязкохрупкого перехода ($-10\div-15$ °С) и распространение быстрых трещин исключается. На основании результатов мониторинга, проведенного на газопроводе, следует, что для труб с внутренним и внешним слоями из ПЭ100, у которых в диапазоне температур от -15 °С до -20 °С разрушения происходят вязко, глубина заложения может быть существенно уменьшена. При этом величина заглупления должна определяться результатами геокриологических изысканий из условия превышения температурой грунта температуры вязкохрупкого перехода $-5\div 0$ °С для труб из ПЭ80 и $-15\div-20$ °С для ПЭ100, определенным по результатам ранее проведенных исследований [4].

Литература

1. *Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления*, ст.69

(утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.10.2010 № 870, вступил в силу 08.11.2011).

2. Демчук В.Ю., Доронин М.С., Тригорлый С.В., Петров Д.А. О разработке системы мониторинга факторов, влияющих на техническое состояние объектов газораспределения // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Материалы научно-практической конференции, 23 мая 2012 г. Уфа, 2012. С. 328–329.

3. Бабенко Ф.И., Федоров Ю.Ю., Саввина А.В. Температурные ограничения по применению армированных полиэтиленовых труб для газопроводов в условиях холодного климата // Инженерный вестник Дона. 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102.

4. Саввина А.В., Бабенко Ф.И., Федоров Ю.Ю. Исследование эксплуатационной надежности армированных полиэтиленовых труб в условиях низких климатических температур // IV Евразийский симпозиум по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 2013.

Поступила в редакцию 22.07.2016

УДК 523.62

Связь между индексами геомагнитной активности на главной фазе магнитной бури для различных типов солнечного ветра

Р.Н. Бороев, М.С. Васильев

Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Исследована связь между скоростью развития магнитной бури на главной фазе $|\Delta Dst|/\Delta T$ и средней величиной АЕ индекса (AE_{cp}) за время главной фазы (ΔT). Были рассмотрены бури, инициированные высокоскоростными потоками CIR (36 событий) и межпланетными проявлениями корональных выбросов ICME, включающие магнитные облака и Ejecta (36 событий). Показано, что для CIR событий величина среднего значения АЕ индекса увеличивается с ростом скорости развития магнитной бури. Для ICME событий линейная связь между AE_{cp} и скоростью развития магнитной бури отсутствует ($r < 0,5$). Анализ АЕ индекса на главной фазе магнитной бури в зависимости от электрического поля солнечного ветра показал, что для CIR событий величина AE_{cp} коррелирует со средним значением электрического поля. Для ICME событий величина AE_{cp} слабо зависит от электрического поля.

Ключевые слова: магнитная буря, АЕ индекс, Dst индекс, солнечный ветер, электрическое поле.

БОРОЕВ Роман Николаевич – к.ф.-м.н., с.н.с., boroyev@ikfia.ysn.ru; ВАСИЛЬЕВ Михаил Семенович – м.н.с., m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru.

Relationship between Indexes of Geomagnetic Activity on the Main Phase of a Magnetic Storm for Various Types of Solar Wind

R.N. Borojev, M.S. Vasiliev

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk

In this paper the relationship between the speed of a magnetic storm $|\Delta Dst|/\Delta T$ and average value of AE index (AEave) for the main phase (ΔT) is investigated. Magnetic storms initiated by high-speed streams CIR and interplanetary coronal mass ejections ICME, including magnetic clouds and Ejecta (36 events) are considered. It is shown, that for CIR events amplification of auroral activity (AEave) increase with the increase of speed of a magnetic storm development. For ICME events a linear relation between AEave and the speed of development of a magnetic storm is absent ($r < 0,5$). The analysis of AE index for the main phase of a magnetic storm depending on electric field of a solar wind has shown that for CIR events AEave value is correlated with the average value of an electric field. For ICME events AEave value weakly depends on the electric field of the solar wind.

Key words: magnetic storm, AE-index, Dst-index, solar wind, electric field.

Введение

Исследование причин генерации и особенностей развития, крупномасштабных магнитосферно-ионосферных возмущений (магнитная буря и суббура), а также их прогнозирование являются ключевыми задачами солнечно-земной физики. Известно, что интенсивность магнитосферно-ионосферных возмущений (МИВ), определяемая индексами геомагнитной активности (AE и Dst), зависит от скорости солнечного ветра (CB) и вертикальной компоненты (B_z) межпланетного магнитного поля (ММП). Основной вклад в развитие возмущений вносит южно направленная B_z ММП, эффективность, которой связывают с воздействием электрического поля CB, $E = V \times B_z$ [1–3]. Однако интенсивность МИВ также зависит и от типа CB. В настоящее время выделяют следующие типы CB: межпланетные проявления корональных выбросов ICME, включающие магнитные облака (MC) и поршни (Ejecta), высокоскоростные потоки (CIR), а также области сжатия перед CIR и ICME (Sheath). Анализ между параметрами CB для разных типов течений и индексами геомагнитной активности (AE и Dst) показал [4–8], что во время магнитных бурь минимальное значение по модулю Dst индекса ($|Dst_{min}|$) увеличивается с ростом электрического поля CB (E_{sw}) для всех типов течений. Но для событий ICME (MC + Ejecta) величина $|Dst_{min}|$ индекса выходит на насыщение при больших значениях E_{sw} . В отличие от Dst индекса величина AE индекса на главной фазе магнитной бури не зависит от величины электрического поля E_{sw} почти для всех течений, кроме MC. Наблюдается нелинейная зависимость AE индекса от E_{sw} CB в событиях MC. Однако, как связаны между собой индексы геомагнитной активности для разных типов CB – вопрос остается открытым.

Целью данной работы является исследование корреляционной связи между AE и Dst индексами на главной фазе магнитной бури для различных типов солнечного ветра.

Экспериментальные данные

В работе были использованы среднесуточные значения параметров CB и ММП (<http://www.omniweb.com/>). Геомагнитная активность оценивалась индексами AE и Dst. Высокоширотный индекс AE определяет интенсивность аврорального тока и является индикатором суббуревой активности [9]. Низкоширотный индекс Dst используется для оценки интенсивности кольцевого тока во время магнитных бурь и является мерой геоэффективности межпланетных возмущений [1, 10]. Значения индексов геомагнитной активности (AE и Dst) были взяты с сайта <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>.

За период 1976–2000 гг. было отобрано 72 магнитные бури, индуцированные CIR и ICME (MC + Ejecta) событиями, из базы данных [11]. Магнитные бури, вызванные областью сжатия перед CIR и ICME (Sheath), в данной работе не рассматривались. Из-за разных временных масштабов развития суббуревых и буревых возмущений для каждого события были вычислены скорость развития магнитной бури на главной фазе ($|\Delta Dst|/\Delta T$) и среднее значение AE индекса за время главной фазы ($\Sigma AE/\Delta T$) (где ΣAE – суммарное значение AE индекса за время главной фазы магнитной бури). Длительность главной фазы (ΔT) определялась как временной интервал от момента резкого уменьшения Dst индекса (Dst_0) до минимального значения Dst_{min} , значение $|\Delta Dst|$ вычислялось по формуле $|\Delta Dst| = |Dst_{min} - Dst_0|$.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлена зависимость средней величины АЕ индекса (AE_{cp}) от скорости развития магнитной бури для бурь, инициированных CIR и ICME событиями. В табл. 1 показаны уравнения линейных регрессий между величиной AE_{cp} и скоростью развития магнитной бури для двух типов СВ, а также представлены коэффициенты корреляции и вероятности для связи AE_{cp} с величиной $|Dst_{min}|$. Из рис. 1 видно, что значение AE_{cp} монотонно возрастает для разных типов СВ с ростом скорости развития магнитной бури. Однако результаты анализа показывают (табл. 1), что связь между AE_{cp} и $|\Delta Dst|/\Delta T$ статистически значима для бурь, индуцированных CIR ($r=0,71$), чем для событий ICME ($r=0,33$). Таким образом, средняя величина АЕ индекса коррелирует со скоростью развития магнитной бури только для CIR событий. Для разных типов СВ низкие коэффициенты корреляции указывают на отсутствие связи между AE_{cp} и модулем минимального значения Dst индекса ($|Dst_{min}|$).

Таблица 1

Количество бурь, коэффициенты корреляции r , вероятности P и уравнения линейной регрессии между AE_{cp} и скоростью магнитной бури, параметром $|Dst_{min}|$ для CIR и ICME индуцированных бурь

Тип СВ	N	$ \Delta Dst /\Delta T$			$ Dst_{min} $	
		r	P	аппроксимация	r	P
CIR	36	0,71	0,99	$\ln y = 0,42 \ln x + 2,43$	0,32	0,95
ICME	36	0,33	0,97	$\ln y = 0,14 \ln x + 2,66$	0,26	0,88

Известно, что вариация Dst индекса ($d|Dst|/dt$) на главной фазе магнитной бури обусловлена электрическим полем СВ [12–14]. Если принять, что вариации Dst индекса связаны с величиной $|\Delta Dst|/\Delta T$, то тогда скорость развития магнитной бури $|\Delta Dst|/\Delta T$ будет определяться средней величиной электрического поля СВ [14]. Следовательно, возможно, что AE_{cp} коррелирует со средней величиной электрического поля СВ (E_{cp}) на главной фазе магнитной бури для CIR событий.

На рис. 2 представлена зависимость средней величины АЕ индекса от E_{cp} для магнитных бурь, инициированных CIR и ICME событиями. Из-за отсутствия в некоторых событиях данных об электрическом поле СВ на рис. 2 приведено меньшее количество событий, чем на рис. 1. В

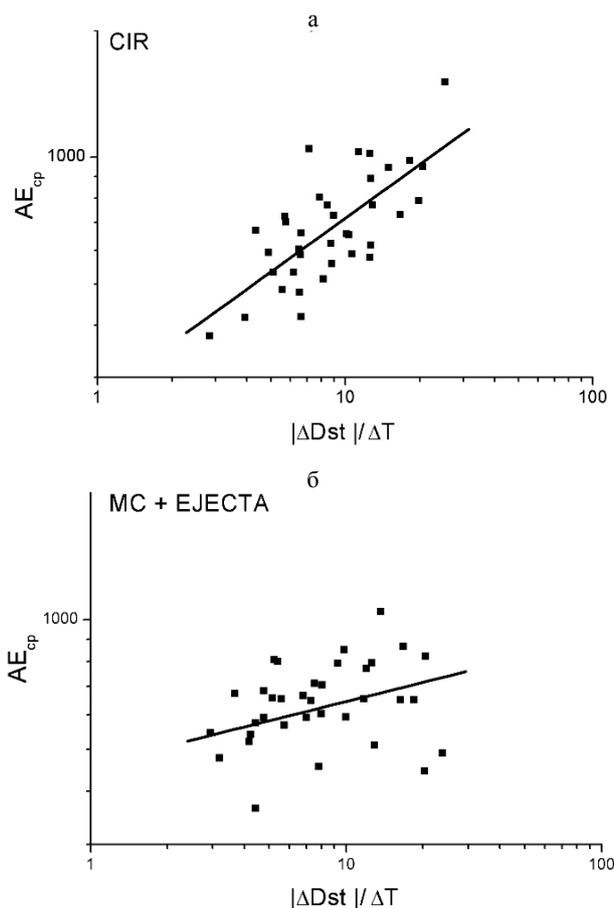


Рис. 1. Зависимость величины AE_{cp} от скорости развития магнитной бури ($|\Delta Dst|/\Delta T$) для бурь, индуцированных CIR – (а) и ICME (MC + Ejecta) – (б) событиями. Черные квадраты со сплошной заливкой – отдельные магнитные бури; прямые линии – линейная аппроксимация

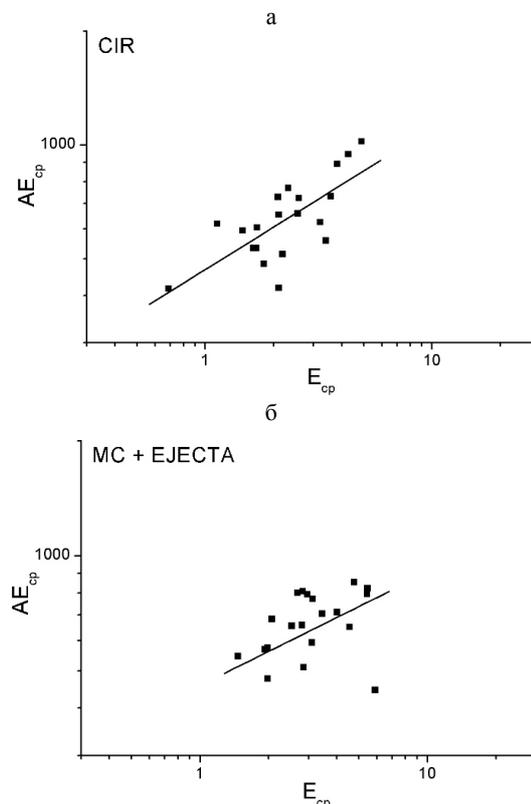


Рис. 2. Зависимость величины AE_{cp} от электрического поля СВ для бурь, индуцированных CIR – (а) и ICME (MC + Ejecta) – (б) событиями. Усл. обозначения те же, что и на рис. 1

табл. 2 показаны вероятности, коэффициенты корреляции, а также уравнения линейных регрессий между величиной $AE_{\text{ср}}$ и средним значением электрического поля СВ на главной фазе магнитной бури для двух типов СВ. Видно (рис. 2), что $AE_{\text{ср}}$ индекс линейно зависит от $E_{\text{ср}}$ СВ только для магнитных бурь, индуцированных CIR событиями (табл. 2). Данный факт вполне согласуется с вышеописанным предположением.

Таблица 2

Количество бурь, коэффициенты корреляции r , вероятности P и уравнения линейной регрессии между $AE_{\text{ср}}$ и средним значением электрического поля СВ для CIR и ICME индуцированных бурь

Тип СВ	N	$E_{\text{ср}}$		
		r	P	аппроксимация
CIR	20	0,72	0,99	$\ln y = 0,37 \ln x + 2,67$
ICME	20	0,44	0,96	$\ln y = 0,29 \ln x + 2,66$

Заключение

Таким образом, в данной работе проведено исследование корреляционной связи между AE и Dst индексами на главной фазе магнитной бури для CIR и ICME событий СВ. Показано, что для CIR событий величина среднего значения AE индекса ($AE_{\text{ср}}$) увеличивается с ростом скорости развития магнитной бури. Для ICME событий линейная связь между $AE_{\text{ср}}$ и скоростью развития магнитной бури отсутствует ($r < 0,5$). Анализ AE индекса на главной фазе магнитной бури в зависимости от электрического поля СВ показал, что для CIR событий величина $AE_{\text{ср}}$ коррелирует со средним значением электрического поля. Для ICME событий величина $AE_{\text{ср}}$ слабо зависит от электрического поля СВ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-45-05090.

Литература

- 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.
- Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y. et al. What is a geomagnetic storm? // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. P. 5771–5792.
- Kane R.P. How good is the relationship of solar and interplanetary plasma parameters with geomagnetic storms? // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. doi:10.1029/2004JA010799.
- Plotnikov I.Ya., Barkova E.S. Advances in space research nonlinear dependence of Dst and AE indices on the electric field of magnetic clouds // *Adv. Space Res.* 2007. V.40. P. 1858–1862.
- Yermolaev Yu.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G., Yermolaev M.Yu. Specific interplanetary conditions for CIR-, Sheath-, and ICME- induced geomagnetic storms obtained by double superposed epoch analysis // *Ann. Geophysicae.* 2010. V. 28. P. 2177–2186.
- Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G., Yermolaev M.Y. Geoeffectiveness and efficiency of CIR, sheath, and ICME in generation of magnetic storms // *J. Geophys. Res.* 2012a. V. 117. doi: 10.1029/2011JA017139.
- Liemohn M.W., Katus R. Is the storm time response of the inner magnetospheric hot ions universally similar or driver dependent? // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 117. doi: 10.1029/2011JA017389.
- Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Моделирование временного хода Dst индекса на главной фазе магнитных бурь, генерированных разными типами солнечного ветра // *Космические исследования.* 2013. Т. 51, № 6. С. 443–454.
- Davis T.N., Sugiura M. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations // *J. Geophys. Res.* 1966. 71. P. 785–801.
- Sugiura M. Hourly Values of the Equatorial Dst for IGY, *Annales of the International Geophysical Year 35*, Pergamon Press, Oxford, 1964. P. 945–948.
- Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976–2000 гг. // *Космические исследования.* 2009. Т. 47, № 2. С. 99–113.
- Kane R.P. Scatter in the plots of $Dst(\text{min})$ versus $Bz(\text{min})$ // *Planetary and Space Science.* 2010. V. 58. P. 792–1801.
- Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Зависимость геомагнитной активности во время магнитных бурь от параметров солнечного ветра для разных типов течений. 4. Моделирование для магнитных облаков // *Геомагнетизм и аэрномия.* 2014. Т. 54, № 2. С. 163–173.
- Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Николаева Н.С., Ермолаев М.Ю. Зависит ли длительность фазы восстановления магнитной бури от скорости развития бури на ее главной фазе? 2. Новый метод // *Геомагнетизм и аэрномия.* 2016. Т. 56, № 3. С. 296–301.

Поступила в редакцию 29.09.2016