

ГЕЛИОШИРОТНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАГНИТНО-ВОЗМУЩЕННЫХ ДНЕЙ СО СРЕДНЕСУТОЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ГЕОМАГНИТНОГО ИНДЕКСА $Dst < -100$ нТл

HELIOLATITUDE REGULARITIES OF MAGNETICALLY DISTURBED DAYS WITH DAILY AVERAGE GEOMAGNETIC INDEX $Dst < -100$ nT

Г.А. Макаров

*Институт космических исследований и аэронауки
им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия, gmakarov@ikfia.ysn.ru*

G.A. Makarov

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy
SB RAS,
Yakutsk, Russia, gmakarov@ikfia.ysn.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены буревые дни в период 1966–2015 гг., когда среднесуточное значение геомагнитного индекса Dst было < -100 нТл. Показано, что распределение количества дней с высоким среднесуточным значением Dst зависит от гелиошироты Земли φ : число дней возрастает с ростом абсолютной величины φ в обоих полушариях Солнца. Получено, как и ожидалось, что сезонное распределение буревых дней со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл имеет равноденственные максимумы, кроме того, есть заметное возрастание числа таких дней в июле и ноябре. Отмечено, что на гелиоширотах Земли $4.1^\circ \div 5.0^\circ$ наблюдается резкое увеличение числа буревых дней; выявлено, что это увеличение создают буревые события в июле и ноябре, которые выделяются в сезонном распределении сильно возмущенных дней.

Ключевые слова: геомагнитный индекс Dst , геомагнитная буря, сезонная вариация магнитной активности, гелиоширота Земли.

Abstract. This paper considers storm days for a period 1966–2015 when the daily average geomagnetic Dst index was < -100 nT. The distribution of the number of days with a high daily average Dst is shown to depend on Earth's heliolatitude φ : the number of days increases with the absolute value of φ in both solar hemispheres. It is found, as expected, that the seasonal distribution of storm days with $Dst < -100$ nT has equinoctial maxima. Moreover, there is a noticeable increase in the number of such days in July and November. It is noted that at Earth's heliolatitudes of $4.1^\circ \div 5.0^\circ$ there is a sharp increase in the number of storm days. It is established that this increase occurs during storm events in July and November, which stand out against the seasonal distribution of highly disturbed days.

Keywords: geomagnetic Dst index, geomagnetic storm, seasonal variation of magnetic activity, Earth's heliolatitude.

ВВЕДЕНИЕ

Геомагнитные бури являются следствием воздействия на магнитосферу Земли возмущенных структур в солнечном ветре. Они возникают при усилении солнечной активности, когда в межпланетное пространство выбрасываются потоки плазмы из корональных дыр и высокоскоростные потоки солнечного ветра. Эти образования в солнечном ветре, как правило, имеют направленную к югу B_z -компоненту межпланетного магнитного поля (ММП). При такой ориентации ММП происходит пересоединение межпланетного и земного магнитных полей, и энергия от солнечного ветра передается в магнитосферу Земли [Akasofu, 1981]. В магнитосфере генерируется электрическое поле, направленное поперек хвоста с утренней стороны на вечернюю, и происходит конвекция плазмы к Земле, приводящая к усилению потоков частиц в радиационных поясах. Азимутальная циркуляция частиц кольцевого тока приводит к уменьшению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Количественной мерой кольцевого тока является геомагнитный индекс Dst . В индексе Dst имеется вклад также от других токовых систем, таких как

токи магнитопаузы и токи магнитного хвоста [Gonzalez et al., 1994; Feldstein et al., 2003]. Индекс Dst определяется по среднечасовым значениям горизонтальной составляющей геомагнитного поля, обычно регистрируемой в четырех низкоширотных обсерваториях. Фаза восстановления бури характеризуется распадом кольцевого тока [Яновский, 1978].

Было установлено, что сильные геомагнитные бури вызываются воздействием на магнитосферу Земли выбросов корональной массы в межпланетное пространство (interplanetary coronal mass ejection, ICME) и областей взаимодействия высокоскоростных течений солнечного ветра с медленными течениями (corotating interaction region, CIR). Подробные исследования в этом направлении были проведены в работах [Ермолаев, Ермолаев, 2002; Ермолаев и др., 2017; Echer et al., 2008; Gonzalez et al., 1994, 2011; Gopalswamy, 2009; Watari, 2017]. ICME подразделяются на магнитные облака (magnetic clouds) и поршни (ejecta), среди CIR выделяют области сжатия (sheath). Этим структурам присущи определенные наборы параметров межпланетной среды. В области сжатия на фронте быстрого и медленного течений (события CIR) и перед передним фронтом поршня (события sheath) плазма имеет повышенные значе-

ния плотности и температуры, а тепловое давление преобладает над магнитным [Николаева и др., 2011]. Магнитное облако отличается от поршня более высоким и более регулярным магнитным полем. Очень сильные геомагнитные бури генерируются несколькими ICME, взаимодействующими между собой [Yermolaev, Yermolaev, 2008].

Существует сезонная вариация геомагнитных бурь с двумя максимумами около равноденствий. Она связывается с аксиальным и равноденственным механизмами, а также с механизмом Рассела — Мак-Феррона [Echer et al., 2011]. В то же время в работе [Mursula et al., 2011] отмечено, что распределение суббурь и ход геомагнитной активности, характеризуемой индексом A_p , имеют только один годовой максимум в весенние или осенние месяцы в зависимости от цикла солнечной активности. Годовая вариация геомагнитной активности в периоды интенсивных геомагнитных бурь с максимумом в июле рассматривается в работе [Clúa de Gonzalez et al., 2002]. В этой же работе отмечается наличие пика в годовом распределении сильно магнитно-возмущенных дней в ноябре.

В настоящей работе рассматриваются закономерности распределения магнитно-возмущенных дней, характеризуемых среднесуточным значением геомагнитного индекса Dst ниже -100 нТл, при изменении гелиошироты Земли ϕ , т. е. гелиошироты проекции Земли на солнечный диск.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

Анализируются случаи, когда среднесуточные значения геомагнитного индекса Dst были ниже -100 нТл. Рассматривается период 1966–2015 гг., использованы данные Мирового центра данных по геомагнетизму в Киото, Япония [<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/index.html>]. Всего выделено 114 дней, удовлетворяющих такому критерию, из них в 66 днях наблюдались бури или какая-либо фаза бури в течение одного дня, а в 48 днях были бури или несколько бурь длительностью два дня и более. Сведения о параметрах межпланетной среды и солнечной активности взяты из баз данных OMNI [<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>] и SIDC [<http://sidc.oma.be>]. В рассматриваемый период для четырнадцати дней отсутствовали данные спутниковых измерений параметров плазмы, для одиннадцати дней — магнитного поля, при этом одновременно отсутствовали данные измерений параметров плазмы и магнитного поля для восьми дней.

Необходимо отметить, что при суточном осреднении в выборку попадают дни, содержащие сильные, экстремальные и выдающиеся бури, поэтому в настоящей работе употребляется выражение «интенсивные геомагнитные бури». Среднее значение индекса Dst во многих случаях определяется для разных фаз геомагнитной бури. На рис. 1 приведены примеры изменений среднечасовых значений Dst в некоторые дни: последовательность двух интенсивных бурь и среднесуточные значения $Dst < -100$ нТл

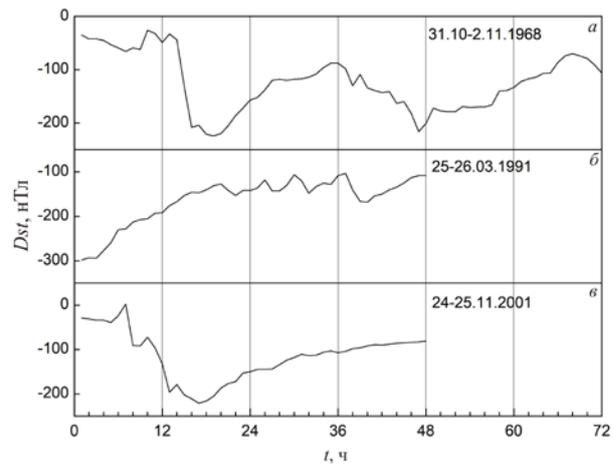


Рис. 1. Изменения среднечасовых значений геомагнитного индекса Dst : 31 октября — 2 ноября 1968 г. (а); 25–26 марта 1991 г. (б); 24–25 ноября 2001 г. (в). Время отсчитывается от первого часа по UT для первого дня в указанном периоде

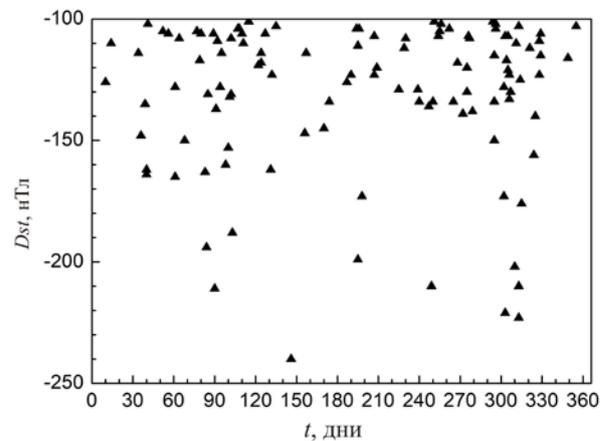


Рис. 2. Распределение среднесуточных значений $Dst < -100$ нТл по времени года

в течение трех дней (а); среднесуточные значения Dst для фазы восстановления бури, длившейся более двух суток (б); для всех фаз бури (в).

Распределение по времени года среднесуточных значений $Dst < -100$ нТл приведено на рис. 2. Можно видеть, что в течение года оно неравномерное — более высокая частота появления минимальных значений Dst наблюдается в весенние и осенние месяцы (равноденственные максимумы). Кроме того, заметно большое число событий в июле и ноябре. Экстремальные значения Dst имели место весной: 13.04.1981 (-188 нТл), 25.03.1991 (-194 нТл), 31.03.2001 (-211 нТл), 26.05.1967 (-240 нТл), осенью: 06.09.1982 (-210 нТл), 29.10.1991 (-173 нТл), 30.10.2003 (-221 нТл, Hallowing event), 06.11.2001 (-202 нТл), 08.11.2004 (-210 нТл), 09.11.1991 (-223 нТл), 10.11.2004 (-176 нТл) и в июле: 14.07.1982 (-199 нТл) и 16.07.2000 (-173 нТл, Bastille Day event). Таким образом, количество буревых дней со среднесуточным значением индекса $Dst < -100$ нТл имеет сезонный ход с максимумами в периоды равноденствий. Следует отметить, что наблюдается также возрастание числа буревых дней в июле и ноябре.

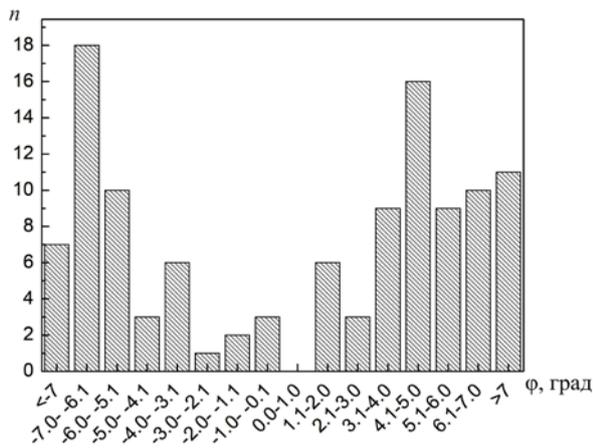


Рис. 3. Распределение количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл в зависимости от гелиошироты Земли ϕ

На рис. 3 представлено распределение количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл в зависимости от гелиошироты Земли ϕ . Видно, что число n дней с ростом по абсолютной величине ϕ в обоих полушариях Солнца возрастает. Максимума n достигает при экстремальных значениях ϕ . Необходимо отметить, что имеется резкое увеличение n при гелиоширотах Земли $4.1^\circ \div 5.0^\circ$.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученное сезонное распределение сильно возмущенных дней (см. рис. 2) совпадает с аналогичными распределениями интенсивности сильных геомагнитных бурь [Echer et al., 2011]. Весеннее возрастание n приходится на март-апрель, осеннее — на октябрь-ноябрь, причем в ноябре возрастание особенно велико [Clúa de Gonzalez et al., 2002]. О возрастании n в июле для интенсивных бурь говорится в работах [Echer et al., 2011; Gonzalez et al., 2011].

На рис. 3 заметен пик при гелиоширотах Земли $4.1^\circ \div 5.0^\circ$. Этот пик содержит буревые дни с 13 по 17 июля и с 29 октября по 3 ноября, т. е. буревые дни, выделяющиеся в сезонном ходе Dst на рис. 2.

Распределения количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл в зависимости от гелиошироты Земли ϕ (рис. 3) и в течение года (рис. 2), по-видимому, отражают влияние двух механизмов полугодовой вариации буревых дней: аксиального механизма, согласно которому при максимальных своих гелиоширотах Земля проецируется на наиболее активные широты Солнца [Cortie, 1912], и равноденственного механизма, связанного с усилением взаимодействия солнечного ветра и магнитосферы при достижении угла атаки 90° [Bartels, 1932]. Фазы полугодовых вариаций, определяемые этими двумя механизмами, близки: экстремальных значений ϕ достигает 5–7 марта и 6–8 сентября, критические значения угла атаки принимает 21 марта и 22 сентября. Основываясь на этом, можно полагать, что оба механизма действуют одновременно, дополняя друг друга.

На рис. 4 приведены изменения скорости солнечного ветра V , модуля ММП $|B|$ и величины северо-южной

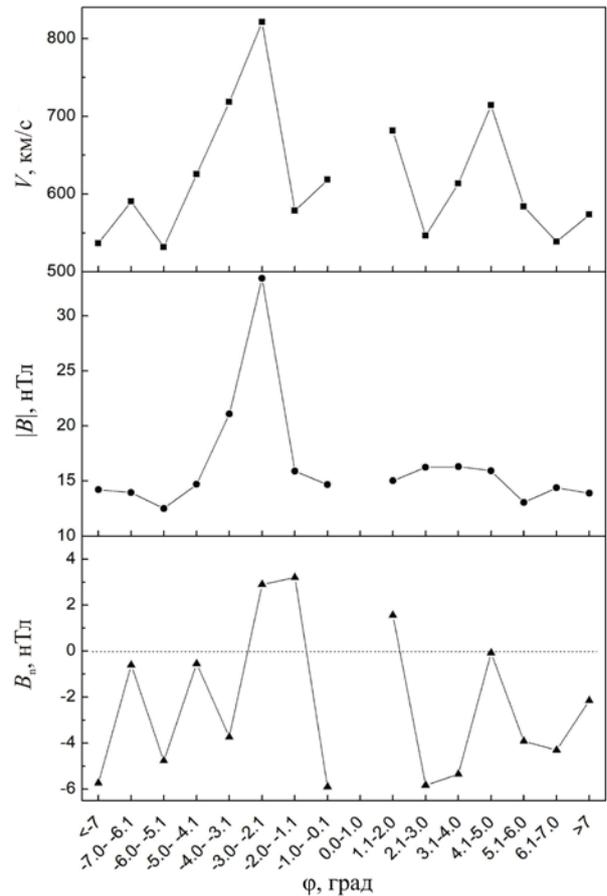


Рис. 4. Изменения скорости солнечного ветра V , модуля ММП $|B|$ и величины северо-южной компоненты ММП B_n в зависимости от гелиошироты ϕ Земли

южной компоненты ММП B_n в зависимости от гелиошироты Земли, рассчитанные для нашей выборки. Полученные значения межпланетных параметров значительно отличаются от типичных значений [Коваленко, 1983] в большую сторону. Видно, что все три параметра достаточно равномерно распределены по гелиошироте, скорость V характеризуется большими значениями и составляет в среднем около 620 км/с, модуль ММП $|B|$ также имеет повышенные значения и равен примерно 16 нТл, северо-южная компонента ММП B_n в основном направлена на юг и колеблется около среднего значения -2.4 нТл. Выброс значений всех параметров в диапазоне гелиоширот $(-3.0^\circ \div -2.1^\circ)$ является частным случаем, поскольку здесь произошло только одно событие.

Исходя из графиков на рис. 4, можно сказать, что рассматриваемые нами буревые дни обусловлены возмущенными потоками в солнечном ветре. Их параметры практически совпадают с оценками, полученными в работе [Uwamahoro, McKinnell, 2013] при анализе интенсивных геомагнитных бурь. Действительно, в настоящей работе выбирались дни со среднесуточным значением индекса $Dst < -100$ нТл, которые содержали главную или восстановительную фазы интенсивных геомагнитных бурь.

Для анализа связи рассматриваемых дней со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл с плазменными потоками в солнечном ветре был использован каталог [Uwamahoro, McKinnell, 2013], в котором отождествлены межпланетные источники геомагнитных

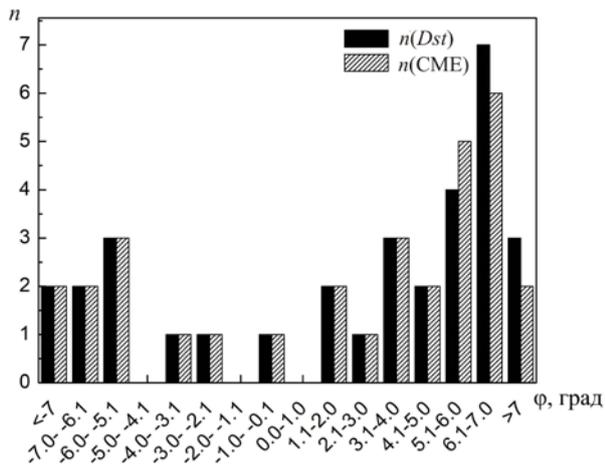


Рис. 5. Распределения количества дней со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл и количества СМЕ в зависимости от гелиошироты ϕ Земли

бурь в 23-м солнечном цикле. Из нашей выборки там представлены 32 события. На рис. 5 показаны распределения количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл и количества выбросов корональной массы (coronal mass ejection, CME) в зависимости от гелиошироты ϕ Земли. Видно, что так же, как на рис. 3, число дней со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл с ростом ϕ в обоих полушариях Солнца возрастает; кроме того, в северном полушарии число событий значительно больше, чем в южном (n равно 22 и 10 соответственно). Практически такая же закономерность проявляется в распределении количества СМЕ. На рис. 5 приведено суммарное число СМЕ без разделения по типам. Коэффициент корреляции между распределениями на рис. 5 равен 0.95. Можно предположить, что в 23-м солнечном цикле наши события были обусловлены выбросами корональной массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получены следующие результаты.

1. Распределение количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл зависит от гелиошироты ϕ Земли: n возрастает с ростом абсолютной величины ϕ в обоих полушариях Солнца и достигает максимума при экстремальных значениях ϕ .
2. В распределении количества дней n со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл заметно резкое возрастание на гелиоширотах Земли $4.1^\circ \div 5.0^\circ$. Это возрастание создают буревые дни с 13 по 17 июля и с 29 октября по 3 ноября, выделяющиеся в сезонном ходе сильно возмущенных дней.
3. Как и ожидалось, сезонное распределение сильно возмущенных дней имеет равноденственные максимумы, при этом необходимо отметить возрастание числа таких дней в июле и ноябре.
4. На основе каталога солнечных и межпланетных источников геомагнитных бурь [Uwamahoro, McKinnell, 2013] сделан вывод, что в 23-м солнечном цикле буревые дни со среднесуточным значением $Dst < -100$ нТл были обусловлены выбросами корональной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. О некоторых статистических взаимосвязях солнечных, межпланетных и геомагнитосферных возмущений в период 1976–2000 г. // *Космические исследования*. 2002. Т. 40, № 1. С. 3–16.
- Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Николаева Н.С. и др. Некоторые вопросы идентификации крупномасштабных типов солнечного ветра и их роли в физике магнитосферы // *Космические исследования*. 2017. Т. 55, № 3. С. 189–200.
- Коваленко В.А. Солнечный ветер. М.: Наука, 1983. 271 с.
- Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Зависимость геомагнитной активности во время магнитных бурь от параметров солнечного ветра для разных типов течений // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2011. Т. 51, № 1. С. 51–67.
- Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 592 с.
- Akasofu S.-I. Energy coupling between the solar wind and the magnetosphere // *Space Sci. Rev.* 1981. V. 28, iss. 2. P. 121–190. DOI: [10.1007/BF00218810](https://doi.org/10.1007/BF00218810).
- Bartels J. Terrestrial magnetic activity and its relations to solar phenomena // *Terrestrial Magnetism*. 1932. V. 37. P. 1–52.
- Clúa de Gonzalez A.L., Silbergleit V.M., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T. Irregularities in the semiannual variation of the geomagnetic activity // *Adv. Space Res.* 2002. V. 30, iss. 10. P. 2215–2218.
- Cortie A.L. Sunspots and terrestrial magnetic phenomena, 1898–1911 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1912. V. 73. P. 52–60.
- Echer E., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clúa de Gonzalez A.L. Interplanetary conditions causing intense geomagnetic storms ($Dst \leq -100$ nT) during solar cycle 23 (1996–2006) // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. A05221. DOI: [10.1029/2007JA012744](https://doi.org/10.1029/2007JA012744).
- Echer E., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T. Statistic studies of geomagnetic storms with peak $Dst \leq -50$ nT from 1957 to 2008 // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2011. V. 73, iss. 11–12. P. 1454–1459. DOI: [10.1016/j.jastp.2011.04.021](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2011.04.021).
- Feldstein Y.I., Dremukhina L.A., Levitin A.E., et al. Energetics of the magnetosphere during the magnetic storm // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2003. V. 65, iss. 4. P. 429–446. DOI: [10.1016/S1364-6826\(02\)00339-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00339-5).
- Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y., et al. What is a geomagnetic storm? // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. P. 5771–5792. DOI: [10.1029/93JA02867](https://doi.org/10.1029/93JA02867).
- Gonzalez W.D., Echer E., Tsurutani B.T., et al. Interplanetary origin of intense, superintense and extreme geomagnetic storms // *Space Sci Rev.* 2011. V. 158. P. 69–89. DOI: [10.1007/s11214-010-9715-2](https://doi.org/10.1007/s11214-010-9715-2).
- Gopalswamy N. Halo coronal mass ejections and geomagnetic storms // *Earth, Planets and Space*. 2009. V. 61. P. 1–3. DOI: [10.1186/BF03352930](https://doi.org/10.1186/BF03352930).
- Mursula K., Tanskanen E., Love J.J. Spring-fall asymmetry of substorm strength, geomagnetic activity and solar wind: implications for semiannual variation and solar hemispheric asymmetry // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. L06104. DOI: [10.1029/2011GL046751](https://doi.org/10.1029/2011GL046751).
- Uwamahoro J., McKinnell L.-A. Solar and interplanetary precursors of geomagnetic storms in solar cycle 23 // *Adv. Space Res.* 2013. V. 51, iss. 3. P. 395–410. DOI: [10.1016/j.asr.2012.09.034](https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.09.034).
- Watari S. Geomagnetic storms of cycle 24 and their solar sources // *Earth, Planets and Space*. 2017. V. 69. Article 70. DOI: [10.1186/s40623-017-0653-z](https://doi.org/10.1186/s40623-017-0653-z).
- Yermolaev Y.I., Yermolaev M.Y. Comment on “Interplanetary origin of intense geomagnetic storms ($Dst < -100$ nT) during solar cycle 23” by W. D. Gonzalez et al. // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. L01101. DOI: [10.1029/2007GL030281](https://doi.org/10.1029/2007GL030281).
URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/index.html> (дата обращения 12 марта 2018).
- URL: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 12 марта 2018).
- URL: <http://sidc.oma.be> (дата обращения 12 марта 2018).

REFERENCES

- Akasofu S.-I. Energy coupling between the solar wind and the magnetosphere. *Space Sci. Rev.* 1981, vol. 28, iss. 2, pp. 121–190. DOI: [10.1007/BF00218810](https://doi.org/10.1007/BF00218810).
- Bartels J. Terrestrial magnetic activity and its relations to solar phenomena. *Terrestrial Magnetism*. 1932, vol. 37, pp. 1–52.
- Clúa de Gonzalez A.L., Silbergleit V.M., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T. Irregularities in the semiannual variation of the geomagnetic activity. *Adv. Space Res.* 2002, vol. 30, iss. 10, pp. 2215–2218.
- Cortie A.L. Sunspots and terrestrial magnetic phenomena, 1898–1911. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1912, vol. 73, pp. 52–60.
- Echer E., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clúa de Gonzalez A.L. Interplanetary conditions causing intense geomagnetic storms ($Dst \leq -100$ nT) during solar cycle 23 (1996–2006). *J. Geophys. Res.* 2008, vol. 113, A05221. DOI: [10.1029/2007JA012744](https://doi.org/10.1029/2007JA012744).
- Echer E., Gonzalez W.D., Tsurutani B.T. Statistic studies of geomagnetic storms with peak $Dst \leq -50$ nT from 1957 to 2008. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2011, vol. 73, iss. 11–12, pp. 1454–1459. DOI: [10.1016/j.jastp.2011.04.021](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2011.04.021).
- Feldstein Y.I., Dremukhina L.A., Levitin A.E., Mall U., Alexeev I.I., Kalegaev V.V. Energetics of the magnetosphere during the magnetic storm. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2003, vol. 65, iss. 4, pp. 429–446. DOI: [10.1016/S1364-6826\(02\)00339-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00339-5).
- Gonzalez W.D., Echer E., Tsurutani B.T., Clúa de Gonzalez A.L., Lago A.D. Interplanetary origin of intense, superintense and extreme geomagnetic storms. *Space Sci. Rev.* 2011, vol. 158, pp. 69–89. DOI: [10.1007/s11214-010-9715-2](https://doi.org/10.1007/s11214-010-9715-2).
- Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T., Vasyliunas V.M. What is a geomagnetic storm? *J. Geophys. Res.* 1994, vol. 99, pp. 5771–5792. DOI: [10.1029/93JA02867](https://doi.org/10.1029/93JA02867).
- Gopalswamy N. Halo coronal mass ejections and geomagnetic storms. *Earth, Planets and Space*. 2009, vol. 61, pp. 1–3. DOI: [10.1186/BF03352930](https://doi.org/10.1186/BF03352930).
- Kovalenko V.A. *Solnechnyi veter* [Solar Wind]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 271 p. (In Russian).
- Mursula K., Tanskanen E., Love J.J. Spring-fall asymmetry of substorm strength, geomagnetic activity and solar wind: implications for semiannual variation and solar hemispheric asymmetry. *Geophys. Res. Lett.* 2011, vol. 38, L06104. DOI: [10.1029/2011GL046751](https://doi.org/10.1029/2011GL046751).
- Nikolaeva N.S., Yermolaev Yu.I., Lodkina I.G. Dependence of geomagnetic activity during magnetic storms on the solar wind parameters for different types of streams. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2011, vol. 51, no. 1, pp. 49–65. DOI: [10.1134/S0016793211010099](https://doi.org/10.1134/S0016793211010099).
- Uwamahoro J., McKinnell L.-A. Solar and interplanetary precursors of geomagnetic storms in solar cycle 23. *Adv. Space Res.* 2013, vol. 51, iss. 3, pp. 395–410. DOI: [10.1016/j.asr.2012.09.034](https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.09.034).
- Yanovskii B.M. *Zemnoi magnetizm* [Terrestrial magnetism]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1978. 592 p. (In Russian).
- Yermolaev Yu.I., Yermolaev M.Yu. Statistical relationships between solar, interplanetary, and geomagnetospheric disturbances, 1976–2000. *Cosmic Research*. 2002, vol. 40, no. 1, pp. 1–14.
- Yermolaev Y.I., Yermolaev M.Y. Comment on “Interplanetary origin of intense geomagnetic storms ($Dst < -100$ nT) during solar cycle 23” by W. D. Gonzalez et al. *Geophys. Res. Lett.* 2008, vol. 35, L01101. DOI: [10.1029/2007GL030281](https://doi.org/10.1029/2007GL030281).
- Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S., Yermolaev M.Y., Riazantseva M.O. Some problems of identifying types of large-scale solar wind and their role in the physics of the magnetosphere. *Cosmic Research*. 2017, vol. 55, no. 3, pp. 178–189. DOI: [10.1134/S0010952517030029](https://doi.org/10.1134/S0010952517030029).
- Watari S. Geomagnetic storms of cycle 24 and their solar sources. *Earth, Planets and Space*. 2017, vol. 69, article 70. DOI: [10.1186/s40623-017-0653-z](https://doi.org/10.1186/s40623-017-0653-z).
URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/index.html> (accessed April 12, 2018).
- URL: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov> (accessed April 12, 2018).
- URL: <http://sidc.oma.be> (accessed April 12, 2018).

Как цитировать эту статью

Макаров Г.А. Гелиоширотные закономерности магнитно-возмущенных дней со среднесуточным значением геомагнитного индекса $Dst < -100$ нТл. *Солнечно-земная физика*. 2018. Т. 4, № 3. С. 28–32 DOI: [10.12737/szf-43201803](https://doi.org/10.12737/szf-43201803).