

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2021.04.049>

УДК 551.5:539.104 (078)

Л. Ф. Черногор

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
м-н Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
E-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com

Статистичні характеристики геомагнітних бур у 24-му циклі сонячної активності

У даний час проблема геокосмічних бур і їхніх складових — геомагнітних бур — належить до найважливіших проблем сонячно-земної фізики та космічної геофізики. Освоєння геокосмосу та його використання для потреб цивілізації призвело до того, що її життя все більше залежить від проявів сонячно-земних процесів, стану атмосферно-космічної погоди та наземно-космічних систем різного призначення. Що розвиненішою в технологічному відношенні стає наша цивілізація, то вразливішою вона стає до процесів, які протікають на Сонці, до проявів сонячно-земних зв'язків та варіацій атмосферно-космічної погоди. Ці обставини зумовлюють актуальність, неминущу наукову та практичну значущість досліджень сонячно-земних процесів і їхніх наслідків. Геокосмічні (геомагнітні) бурі можуть супроводжуватися зміною параметрів атмосфери та геокосмосу, гальмуванням космічних апаратів, а також впливом космічного випромінювання, яке посилюється у процесі протікання бур, на електронне обладнання та екіпажі космічних апаратів і літаків, порушеннями умов поширення радіохвиль і радіоканалів радіозв'язку, радіонавігації, радіолокації, радіопеленгації, радіоастрономії та дистанційного радіозондування, індукуванням електричних струмів в ЛЕП, кабельних лініях, трубопроводах і автоматизованих системах залізниць, а також впливом на погоду- та кліматоутворювальні системи. Крім дослідження фізичних ефектів окремих геомагнітних бур, становить інтерес статистичний аналіз параметрів сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля та геомагнітних бур за тривалі проміжки часу. Метою цієї роботи є статистичний аналіз параметрів збуреного сонячними бурями сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля та індексів геомагнітної активності під час 24-го циклу сонячної активності (2009—2020 рр.). Оцінено основні статис-

тичні характеристики збурених параметрів сонячного вітру, відповідальних за виникнення геомагнітних бур (всього 153 бурі) у 24-му циклі сонячної активності. Оцінено основні статистичні характеристики компонентів збуреного міжпланетного магнітного поля. Отримано основні статистичні характеристики індексів геомагнітного поля. Магнітна обстановка у 24-му циклі сонячної активності була спокійнішою, ніж у 23-му циклі.

Ключові слова: геомагнітна буря, статистика бур, цикли сонячної активності, сонячний вітер, міжпланетне магнітне поле, індекс геомагнітної активності, гістограма

Вступ. У даний час проблема геокосмічних бур та їхніх складових — геомагнітних бур — належить до найважливіших проблем сонячно-земної фізики та космічної геофізики [4, 5, 12, 22].

Освоєння геокосмосу та його використання для потреб цивілізації призвело до того, що її життя все більше залежить від проявів сонячно-земних процесів, стану атмосферно-космічної погоди та наземно-космічних систем різного призначення [12]. Що розвиненішою технологічно стає наша цивілізація, то вразливішою стає вона до процесів, що протікають на Сонці, до проявів сонячно-земних зв'язків та варіацій атмосферно-космічної погоди. Ці обставини зумовлюють актуальність, неминущу наукову та практичну значущість досліджень сонячно-земних процесів і їхніх наслідків [4, 5, 7—11, 13—22].

Геомагнітні бурі вивчаються в рамках цілої низки міжнародних і національних програм і проєктів, серед яких STEP (Solar-Terrestrial Energy Program), CEDAR (Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions), NSWP (National Space Weather Program), ISTP (International Solar-Terrestrial Physics Program) та ін. Ці програми та проєкти орієнтовано на всебічне вивчення сонячно-земних зв'язків, геокосмічних і геомагнітних бур, їхнє моделювання та прогнозування.

Геокосмічні (геомагнітні) бурі можуть супроводжуватися зміною параметрів атмосфери та геокосмосу, орбіт космічних апаратів, а також впливу космічного випромінювання, яке посилюється під час протікання геокосмічної бурі, на електронне обладнання та екіпажі космічних апаратів і літаків, порушеннями умов поширення радіохвиль і радіоканалів радіозв'язку, радіонавігації, радіолокації, радіопеленгації, радіоастрономії та дистанційного радіозондування, індукуванням електричних струмів в ЛЕП, кабельних лініях, трубопроводах і автоматизованих засобах залізниць, а також впливом на погодо- та кліматоутворювальні системи.

Дослідженню проявів магнітних бур в атмосфері та геокосмосі присвячено велику кількість наукових робіт. Однією з перших є робота [6]. Огляд ефектів геомагнітних бур зроблено у роботах [2, 3, 9, 10, 20]. Статистика магнітних бур досліджується у роботах [2, 3, 24, 25].

Крім описаних фізичних ефектів окремих геомагнітних бур, наявних у великій кількості наукових статей (див., наприклад, роботи [1,

18, 19, 21, 26, 27]), становить інтерес статистичний аналіз параметрів сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля та геомагнітних бур за тривалі проміжки часу.

Метою цієї роботи є статистичний аналіз параметрів збуреного сонячними бурями сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля та індексів геомагнітної активності під час 24-го циклу сонячної активності (2009—2020 рр.).

Засоби та методи. Аналізу підлягали параметри сонячного вітру (концентрація частинок n_{sw} , їхня швидкість V_{sw} і температура T_{sw}), B_y - та B_z -складових міжпланетного магнітного поля та індекси геомагнітної активності (AE , K_p , D_{st}), наведені на сайті [<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>].

Усього проаналізовано 153 геомагнітні бурі, які мали місце протягом циклу сонячної активності з 2009 р. до 2020 р. Враховувались бурі з K_{pmax} і 5. Магнітні збурення з $K_p < 5$ не розглядалися. Для параметрів n_{sw} , V_{sw} , T_{sw} , B_y , AE та K_p будувались гістограми для максимальних значень цих параметрів для кожної бурі, а для компонента B_z — для мінімальних значень. Від'ємні значення B_z -компонента свідчили про настання геомагнітної бурі. Для D_{st} -індексу окремо будувались гістограми для D_{stmax} та D_{stmin} . Значення $D_{stmax} > 0$ свідчили про раптовий початок геомагнітної бурі. Мінімальні значення індексу $D_{stmin} < 0$ описують силу (енергію) геомагнітної бурі.

Результати статистичного аналізу. Максимальна концентрація частинок n_{sw} у сонячному вітрі змінювалася приблизно від 10^7 до $1.3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ (рис. 1). Значення $n_{sw} = (2...4) \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$ фіксувалися найчастіше — понад 60 випадків. Значення $n_{sw} = (1.1...1.3) \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ зустрічалося лише кілька разів.

Максимальна швидкість частинок V_{sw} у сонячному вітрі варіювала від 400 до 800 км/с (рис. 2). Частіше за інших (близько 20 % випадків) реєструвалося значення 620...650 км/с. Швидкість частинок $V_{sw} = 800 \text{ км/с}$ відзначалася в чотирьох випадках.

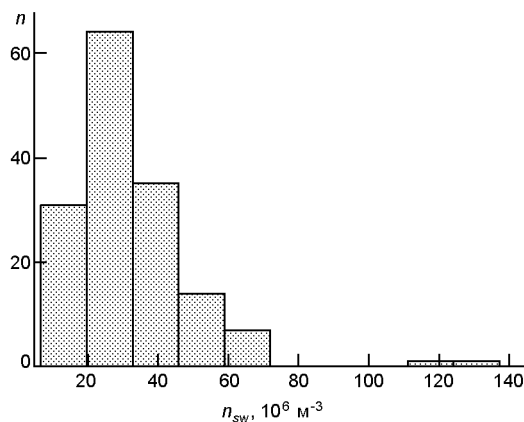


Рис. 1. Частота появи максимальних значень концентрації частинок у сонячному вітрі

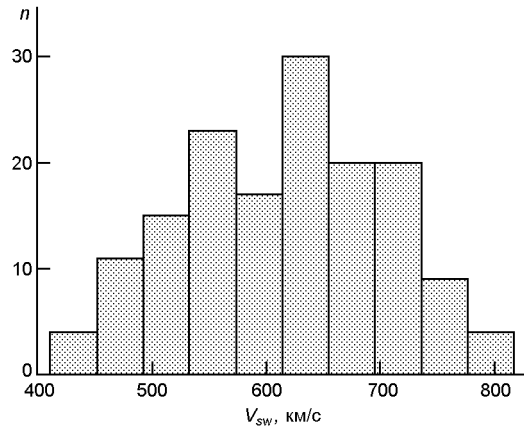


Рис. 2. Частота появи максимальних значень швидкості частинок у сонячному вітрі

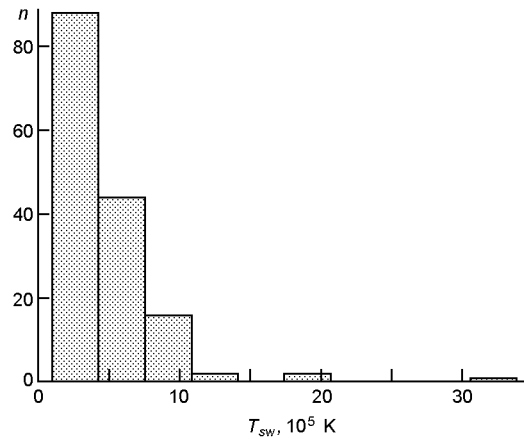


Рис. 3. Частота появи максимальних значень температури частинок у сонячному вітрі

Максимальна температура частинок T_{sw} у сонячному вітрі, як правило (в 58 %), лежала у межах від $2 \cdot 10^5$ К до $4 \cdot 10^5$ К (рис. 3). Значення порядку $2 \cdot 10^6$ К і $3 \cdot 10^6$ К зустрічалися дуже рідко.

Максимальне значення складової B_y міжпланетного магнітного поля змінювалося переважно в діапазоні $2 \dots 18$ нТл, найчастіше (близько 58 %) — від 6 до 12 нТл (рис. 4). Лише у двох випадках воно становило $B_y = 35$ нТл.

Мінімальне значення складової B_z варіювало від -25 до -5 нТл (рис. 5). Приблизно в 70 % випадків $B_z = -7 \dots -12$ нТл. У чотирьох випадках зареєстровано значення $B_z = -25$ нТл.

Максимальне значення AE -індексу змінювалося приблизно від 400 до 1800 нТл (рис. 6). Найчастіше (30 % випадків) відзначалося значення приблизно 1200 нТл. Максимальне значення, близьке до 1800 нТл, зареєстровано у чотирьох випадках.

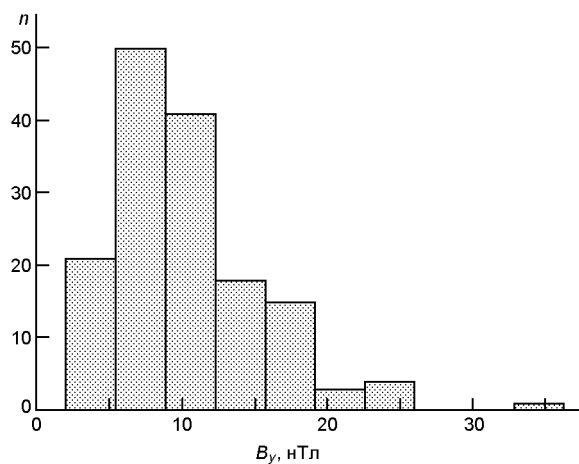


Рис. 4. Частота появи максимальних значень B_y -складової міжпланетного магнітного поля

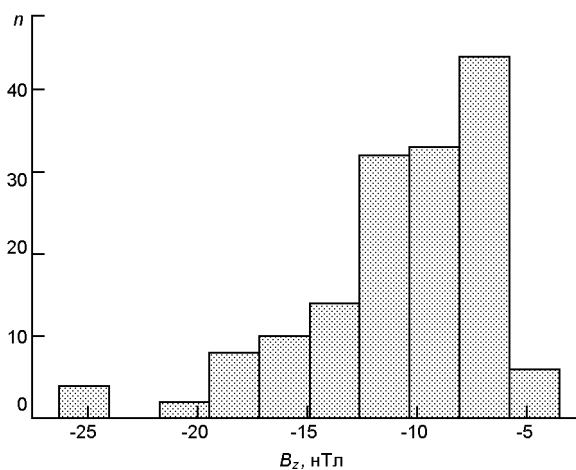


Рис. 5. Частота появи від'ємних значень B_z -складової міжпланетного магнітного поля

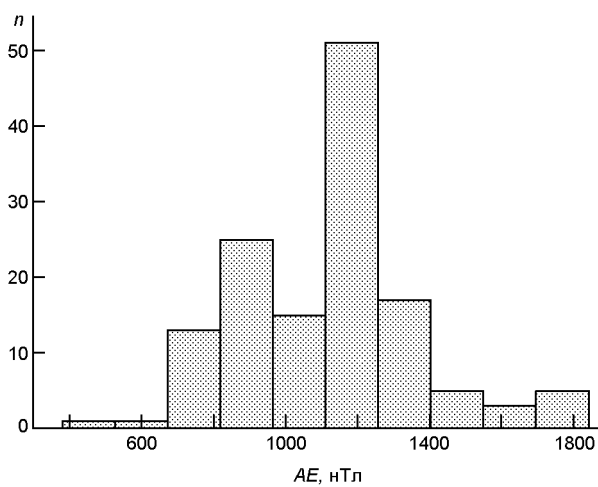
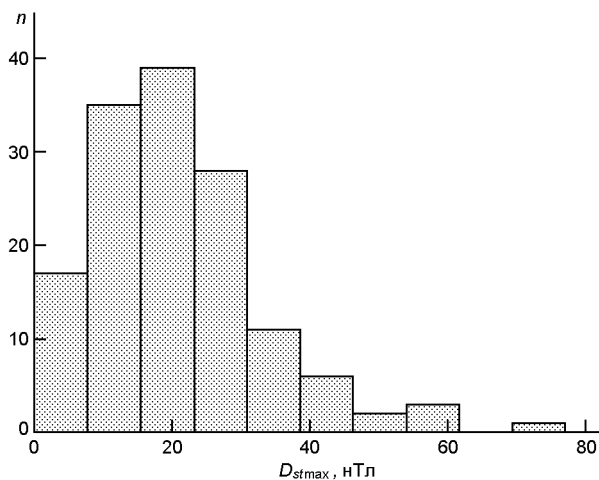
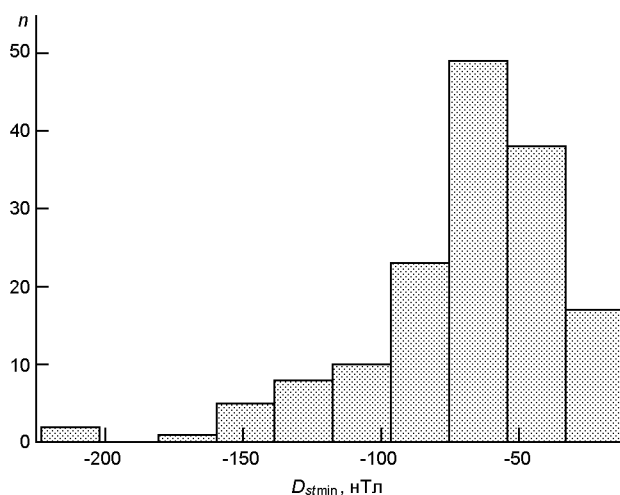


Рис. 6. Частота появи максимальних значень AE-індексу

Рис. 7. Частота появи максимальних значень D_{st} -індексуРис. 8. Частота появи мінімальних значень D_{st} -індексу

Максимальне значення D_{st} -індексу змінювалося від 5 до 75 нТл (рис. 7). Найчастіше (у 68 % випадків) $D_{stmax} = 10...30$ нТл. У двох випадках зафіксовано значення $D_{stmax} = 75$ нТл.

Мінімальні значення D_{st} -індексу варіювали у межах $-223...-10$ нТл (рис. 8). Найчастіше (у 50 % випадків) $D_{stmin} = -40...-70$ нТл. У двох випадках $D_{stmin} < -200$ нТл.

Максимальне значення K_p -індексу змінювалося від 5 до 8.3 (рис. 9). У 46 % випадків реєструвалися значення $K_p = 5.0...5.3$. У міру збільшення значень K_p частота їхньої появи швидко спадала. Значення $K_p = 8.3$ зустрічалося двічі: 23 червня 2015 р. та 8 вересня 2017 р.

Обговорення. У цій роботі оцінено основні характеристики збу- рених параметрів сонячного вітру та міжпланетного магнітного поля, а також індексів геомагнітної активності. До цих характеристик нале-

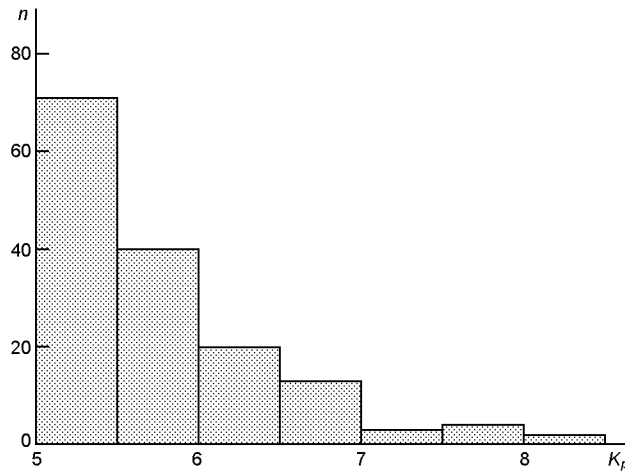


Рис. 9. Частота появи максимальних значень планетарного K_p -індексу

жать межі змін, найбільш імовірні значення і статистична частота їхньої появи.

Магнітна обстановка у 24-му циклі сонячної активності була спокійнішою, ніж у 23-му циклі. Протягом 23-го циклу зафіксовано три найсильніші геомагнітні бурі: 30 жовтня 2003 р. (D_{stmin} -383 нТл, K_p 9), 20 листопада 2003 р. (D_{stmin} -471 нТл, K_p 8.7), 8 листопада 2004 р. (D_{stmin} -383 нТл, K_p 8.7). Для порівняння зазначимо, що 13 березня 1989 р. отримано значення D_{stmin} -589 нТл. Найсильніша магнітна буря 1-2 вересня 1859 р. за оцінками характеризувалася значенням D_{stmin} -900 нТл. Такі бурі слід очікувати один раз приблизно за 500 років.

Протягом 24-го циклу сонячної активності двічі реєструвалися значення K_p 8.3 (22 червня 2015 р. і 8 вересня 2017 р.), а найменші значення індексу D_{st} реєструвалися 17 березня 2015 р. (D_{stmin} -223 нТл) і 23 червня 2015 р. (D_{stmin} -204 нТл).

Помірними були також збурення параметрів сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля, а також значення індексів AE і K_p , що не перевищували 1800 нТл і 8.3 відповідно.

Основні результати.

1. Оцінено основні статистичні характеристики збурених параметрів сонячного вітру, відповідальних за виникнення геомагнітних бур (всього 153 бурі) у 24-му циклі сонячної активності.

2. Оцінено основні статистичні характеристики складових збуреного міжпланетного магнітного поля.

3. Отримано основні статистичні характеристики індексів геомагнітного поля.

4. Магнітна обстановка у 24-му циклі сонячної активності була спокійнішою, ніж під час 23-го циклу.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України, проєкт 2020.02/0015 “Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень природного і техногенного походження в системі Земля — атмосфера — іоносфера”. Роботу також частково підтримувалася в рамках держбюджетної НДР, заданої МОН України (номер держреєстрації 0119U002538).

1. Благовещенский Д. В. Влияние геомагнитных бурь/суббурь на ионосферу. Ч. 1. (обзор). *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2013. **53**, № 3. С. 291—307.
2. Данилов А. Д. Реакция области F на геомагнитные возмущения (Обзор). *Гелиогеофиз. исслед.* 2013. **5**. С. 1—33.
3. Данилов А. Д., Морозова Л. Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (обзор). *Геомагнетизм и аэронавигация*. 1985. **25**, № 5. С. 705—721.
4. Черногор Л. Ф., Домнин И. Ф. *Физика геокосмических бурь*: Монография. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, Институт ионосферы НАН и МОН Украины, 2014. 408 с.
5. Черногор Л. Ф. Фізика геокоsmічних бур. *Космічна наука і технологія*. 2021. **27**, № 1 (128). С. 3—77.
6. Appleton E., Ingram L. Magnetic storms and upper atmospheric ionization. *Nature*. 1935. **136**. P. 548—549.
7. Blanch E., Altadill D., Boška J., Burešová D., Hernández-Pajares M. November 2003 event: Effects on the Earth’s ionosphere observed from ground-based ionosonde and GPS data. *Ann. Geophys.* 2005. **23**. P. 3027—3034.
8. Borries C., Berdermann J., Jakowski N., Wilken V. Ionospheric storms — A challenge for empirical forecast of the total electron content. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2018. **120**, № 4. P. 3175—3186. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2015JA020988>
9. Buonsanto M. Ionospheric storms — A review. *Space Sci. Revs.* 1999. **88**, № 3-4. P. 563—601.
10. Danilov A. D., Lastovička J.: Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere. *Int. J. Geomag. Aeron.* 2001. **2**, № 3. P. 209—224.
11. Fuller-Rowell T. J., Codrescu M. V., Roble R. G., Richmond A. D. How does the thermosphere and ionosphere react to a geomagnetic storm? *Magnetic Storms*. Washington, 1997, P. 203—226. (*AGU Monograph. vol. 98*). DOI: 10.1029/GM098.
12. Goodman J. M. *Space Weather and Telecommunications*. Springer. 2005.
13. Liu J., Wang W., Burns A., Yue X., Zhang S., Zhang Y., Huang C. Profiles of ionospheric storm-enhanced density during the 17 March 2015 great storm. *J. Geophys. Res.* 2016. **121**, № 1. P. 727—744. DOI: 10.1002/2015JA021832.
14. Lyons L. R., Nishimura Y., Zhang S.-R., Coster A. J., Bhatt A., Kendall E., Deng Y. Identification of auroral zone activity driving largescale traveling ionospheric disturbances. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2019. **124**, № 1. P. 700—714.
15. Matsushita S. A study of the morphology of ionospheric storms. *J. Geophys. Res.* 1959. **64**, № 4. P. 305—321.
16. Mendillo M. Storms in the ionosphere: patterns and processes for total electron content. *Rev. Geophys.* 2006. **44**, № 4. RG4001. DOI: 10.1029/2005RG000193.
17. Mosna Z., Kouba D., Knizova P. K., Buresova D., Chum J., Sindelarova T., Urbar J., Boska J., Saxonbergova-Jankovicova D. Ionospheric storm of September 2017 observed at ionospheric station Pruhonice, the Czech Republic. *Adv. Space Res.* 2020. **65**, № 1. P. 115—128.

18. Pirog O. M., Polekh N. M., Zherebtsov G. A., Smirnov V. F., Shi J., Wang X. Seasonal variations of the ionospheric effects of geomagnetic storms at different latitudes of East Asia. *Adv. Space Res.* 2006. **37**, № 5. P. 1075—1080.
19. Polekh N., Zolotukhina N., Kurkin V., Zherebtsov G., Shi J., Wang G., Wang Z. Dynamics of ionospheric disturbances during the 17—19 March 2015 geomagnetic storm over East Asia. *Adv. Space Res.* 2017. **60**, № 11. P. 2464—2476.
20. Prölss G. W. *Ionospheric F-region storms. Handbook of atmospheric electrodynamics* 2. 1995. P. 195—248.
21. Shpynev B. G., Zolotukhina N. A., Polekh N. M., Ratovsky K. G., Chernigovskaya M. A., Belinskaya A. Yu., Stepanov A. E., Bychkov V. V., Grigorieva S. A., Panchenko V. A., Korenkova N. A., Mielich J. The ionosphere response to severe geomagnetic storm in March 2015 on the base of the data from Eurasian high-middle latitudes ionosonde chain. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2018. **180**. P. 93—105.
DOI: 10.1016/j.jastp.2017.10.014. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136468261730617X>
22. *Space Weather (Geophysical Monograph)*. Eds Song P., Singer H., Siscoe G. Union, Washington, D.C. 2001. ISBN 0-87590-984-1.
23. Vijaya Lekshmi D., Balan N., Tulasi Ram S., Liu J. Y. Statistics of geomagnetic storms and ionospheric storms at low and mid latitudes in two solar cycles. *J. Geophys. Res.* 2011. **116**, A11328. DOI: 10.1029/2011JA017042.
24. Willis D. M., Stevens P. R., Crothers S. R. Statistics of the largest geomagnetic storms per solar cycle (1844—1993). *Ann. Geophys.* 1997. **15**, N 6. P. 719—728.
25. Yakovchouk O. S., Mursula K., Holappa L., Veselovsky I. S., Karinen A. Average properties of geomagnetic storms in 1932—2009. *J. Geophys. Res.* 2012. **117**, №A3. DOI: 10.1029/2011JA017093.
26. Yamauchi M., Sergienko T., Enell C.-F., Schillings A., Slapak R., Johnsen M. G., Tjulin A., Nilsson H. Ionospheric response observed by EISCAT during the 6—8 September 2017 space weather event: Overview. *Space Weather*. 2018. **16**, № 9. P. 1437—1450.
URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018SW001937>
27. Zolotukhina N. A., Kurkin V. I., Polekh N. M. Ionospheric disturbances over East Asia during intense December magnetic storms of 2006 and 2015: similarities and differences. *Solar-Terr. Phys.* 2018. **4**, № 3. P. 28—42.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskii D. V. (2013) Effect of geomagnetic storms (substorms) on the ionosphere: 1. A review. *Geomagnetism and Aeronomy*. **53**(3), 275—290.
2. Danilov A. D. (2013) F2-region response to geomagnetic disturbances (review), *Geliogeofiz. Issled.* (5), 1—33.
3. Danilov A. D., Morozova L. D. (1985) Ionospheric storms in the F2 region. Morphology and physics (review). *Geomagnetism and Aeronomy*. **25**(5), 705—721 [in Russian].
4. Chernogor L. F., Domnin I. F. (2014) *Physics of geospace storms*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. 408. [in Russian].
5. Chornogor L. F. (2021) Physics of geospace storms. *Space Science and Technology*. **27**(1), 3—77.
6. Appleton E., Ingram L. (1935) Magnetic storms and upper atmospheric ionization. *Nature*. **136**. 548—549.
7. Blanch E., Altadill D., Boška J., Burešová D., Hernández-Pajares M. (2005) November

- 2003 event: Effects on the Earth's ionosphere observed from ground-based ionosonde and GPS data. *Ann. Geophys.* **23**, 3027—3034.
8. Borries C., Berdermann J., Jakowski N., Wilken V. (2018) 2018. Ionospheric storms — A challenge for empirical forecast of the total electron content. *J. Geophys. Res. Space Phys.* **120**(4), 3175—3186. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2015JA020988>
 9. Buonsanto M. (1999) Ionospheric storms — A review. *Space Sci. Revs.* **88**(3-4), 563—601.
 10. Danilov A. D., Lastovička J. (2001) Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere. *Int. J. Geomag. Aeron.*, **2**(3), 209—224.
 11. Fuller-Rowell T. J., Codrescu M. V., Roble R. G., Richmond A. D. (1997) How does the thermosphere and ionosphere react to a geomagnetic storm? *Magnetic Storms*. Washington. 203—226. (AGU Monograph. vol. 98). DOI: 10.1029/GM098.
 12. Goodman J. M. (2005) *Space Weather and Telecommunications*. Springer. 382.
 13. Liu J., Wang W., Burns A., Yue X., Zhang S., Zhang Y., Huang C. (2016) Profiles of ionospheric storm-enhanced density during the 17 March 2015 great storm. *J. Geophys. Res.* **121**(1), 727—744. DOI: 10.1002/2015JA021832.
 14. Lyons L. R., Nishimura Y., Zhang S.-R., Coster A. J., Bhatt A., Kendall E., Deng Y. (2019) Identification of auroral zone activity driving largescale traveling ionospheric disturbances. *J. Geophys. Res. Space Phys.* **124**(1), 700—714.
 15. Matsushita S. (1959) A study of the morphology of ionospheric storms. *J. Geophys. Res.* **64**(4), 305—321.
 16. Mendillo M. (2006) Storms in the ionosphere: patterns and processes for total electron content. *Rev. Geophys.* **44**(4), RG4001. DOI: 10.1029/2005RG000193.
 17. Mosna Z., Kouba D., Knizova P. K., Buresova D., Chum J., Sindelarova T., Urbar J., Boska J., Saxonbergova-Jankovicova D. (2020) Ionospheric storm of September 2017 observed at ionospheric station Pruhonice, the Czech Republic. *Adv. Space Res.* **65**(1), 115—128.
 18. Pirog O. M., Polekh N. M., Zhrebtsov G. A., Smirnov V. F., Shi J., Wang X. (2006) Seasonal variations of the ionospheric effects of geomagnetic storms at different latitudes of East Asia. *Adv. Space Res.* **37**(5), 1075—1080.
 19. Polekh N., Zolotukhina N., Kurkin V., Zhrebtsov G., Shi J., Wang G., Wang Z. (2017) Dynamics of ionospheric disturbances during the 17—19 March 2015 geomagnetic storm over East Asia. *Adv. Space Res.* **60**(11), 2464—2476.
 20. Prölss G. W. (1995) *Ionospheric F-region storms. Handbook of atmospheric electrodynamics 2*, 195—248.
 21. Shpynev B. G., Zolotukhina N. A., Polekh N. M., Ratovsky K. G., Chernigovskaya M. A., Belinskaya A. Yu., Stepanov A. E., Bychkov V. V., Grigorieva S. A., Panchenko V. A., Korenkova N. A., Mielich J. (2018) The ionosphere response to severe geomagnetic storm in March 2015 on the base of the data from Eurasian high-middle latitudes ionosonde chain. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* **180**, 93—105. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.10.014. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136468261730617X>
 22. *Space Weather (Geophysical Monograph)*. (2001). Eds Song P., Singer H., Siscoe G., 440. (Union, Washington, D.C.). ISBN 0-87590-984-1.
 23. Vijaya Lekshmi D., Balan N., Tulasi Ram S., Liu J. Y. (2011) Statistics of geomagnetic storms and ionospheric storms at low and mid latitudes in two solar cycles. *J. Geophys. Res.* **116**, A11328. DOI: 10.1029/2011JA017042.
 24. Willis D. M., Stevens P. R., Crothers S. R. (1997) Statistics of the largest geomagnetic storms per solar cycle (1844—1993). *Ann. Geophys.* **15**(6), 719—728.

25. Yakovchouk O. S., Mursula K., Holappa L., Veselovsky I. S., Karinen A. (2012) Average properties of geomagnetic storms in 1932—2009. *J. Geophys. Res.* **117**(A3). DOI: 10.1029/2011JA017093.
26. Yamauchi M., Sergienko T., Enell C.-F., Schillings A., Slapak R., Johnsen M. G., Tjulin A., Nilsson H. (2018) Ionospheric response observed by EISCAT during the 6—8 September 2017 space weather event: Overview. *Space Weather.* **16**(9). 1437—1450.
URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018SW001937>
27. Zolotukhina N. A., Kurkin V. I., Polekh N. M. (2018) Ionospheric disturbances over East Asia during intense December magnetic storms of 2006 and 2015: similarities and differences. *Solar-Terr. Phys.* **4**(3). 28—42.

L. F. Chernogor

V. N. Karazin Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF GEOMAGNETIC STORMS IN THE 24TH CYCLE OF SOLAR ACTIVITY

Currently, the problem of geospace storms and their components, geomagnetic storms, is one of the most important problems in solar-terrestrial physics and space geophysics. The exploration and usage of geospace for civilization needs have led our civilization to being increasingly dependent on the manifestations of solar-terrestrial processes and on the states of both atmospheric-space weather and terrestrial-space systems, which are used for various purposes. The more technologically advanced our civilization becomes, the more it becomes vulnerable to the processes taking place on the Sun, to the manifestations of solar-terrestrial connections, and to variations in atmospheric-space weather. These circumstances determine the relevance, and the imperishable scientific and practical significance, of studies of the manifestations of solar-terrestrial processes and their consequences. Geospace (geomagnetic) storms are accompanied by a myriad of possibilities: the deceleration of spacecraft; variations in the parameters of the atmosphere and geospace; the impact of increased cosmic radiation on crew and electronic equipment in spacecraft and high altitude aircraft; disturbances in the conditions for the propagation of radio waves and in radio channels for radar, remote sensing, radio navigation, radio communication, radio direction finding, and for radio astronomy; the induction of currents in pipelines, long electrical cables, automated railway systems, and in electrical power transmission lines; and by the impact on weather- and climate-forming systems. In addition to the physical effects of individual geomagnetic storms, which are described in a large number of scientific papers, a statistical analysis of the solar wind and interplanetary magnetic field parameters, and of geomagnetic storms over long periods, are of interest. The purpose of this work is to statistically analyze the parameters of the solar wind disturbed by solar storms, the interplanetary magnetic field, and the geomagnetic activity indices over the period of Solar Cycle 24 (2009—2020). The main statistical characteristics of the disturbed solar wind parameters responsible for the geomagnetic storm origins (153 storms in all) over Solar Cycle 24 have been estimated. The main statistical characteristics of the components of the disturbed interplanetary magnetic field have been estimated, and the main statistical characteristics of the geomagnetic field indices have been obtained. With respect to magnetic activity, Solar Cycle 24 was quieter than Solar Cycle 23.

Keywords: geomagnetic storm, storm statistics, solar activity cycle, solar wind, interplanetary magnetic field, geomagnetic activity index, histogram

Стаття надійшла до редакції 31.03.2021

Після доопрацювання 31.03.2021

Прийнята до друку 19.04.2021