

<https://doi.org/10.15407/knit2020.02.072>

УДК 550.374, 550.386

Л. Ф. ЧЕРНОГОР

д-р физ.-мат. наук, проф.

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

Н. Б. ШЕВЕЛЕВ

аспирант, мл. науч. сотруд.

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

Площадь Свободы 4, Харьков, Украина, 61022

ШИРОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕЧЕНИЕ СИЛЬНЕЙШЕЙ ГЕОКОСМИЧЕСКОЙ БУРИ 7—9 СЕНТЯБРЯ 2017 ГОДА

Сентябрь 2017 г., несмотря на близость к минимуму в 24-м цикле солнечной активности, характеризовался высокой активностью светила. Произошло 40 вспышек класса С, 15 — класса М и 4 — класса X. Отмечались мощные выбросы корональной массы и сильные геокосмические бури, представляющие собой совокупность магнитных, ионосферных, атмосферных и электрических бурь. Цель работы — изложение результатов анализа глобальных квазипериодических вариаций геомагнитного поля в течение уникальной геокосмической бури 7—9 сентября 2017 г. Для анализа временных вариаций привлекались данные сети магнитометров «Intermagnet» на станциях Tamarrasset (22.79°N, 5.53°E), Duronia (41.35°N, 14.466°E), Lonjsko Polje (45.408°N, 16.659°E), Belsk (51.84°N, 20.79°E), Uppsala (59.903°N, 17.353°E), Abisko (68.358°N, 18.823°E) с разрешением около 0.1 нТл и временной дискретизацией в 1 мин. Анализировались суточные вариации горизонтальных компонент поля за 7—9 сентября 2017 г. Полосовая фильтрация и системный спектральный анализ выполнены в диапазоне периодов 2...120 мин. При этом одновременно использовались взаимодополняющие друг друга оконные преобразование Фурье, адаптивное преобразование Фурье и вейвлет-преобразование на основе базисной функции Морле. Изучена широтная зависимость квазипериодических возмущений горизонтальных компонент геомагнитного поля в течение уникальной геокосмической бури и в контрольные сутки. Определены амплитуда, спектральный состав и длительность возмущений. Продемонстрировано, что геокосмическая буря сопровождалась как аperiodическими, так и квазипериодическими возмущениями геомагнитного поля. Квазипериодические вариации имели место в диапазоне периодов 35...55 и 70...110 мин. Квазипериодичность усиливалась по мере уменьшения географической широты магнитной станции. При увеличении географической широты от 20 до 70° амплитуда возмущений увеличивалась от 20 до 1500 нТл. Продолжительность цугов колебаний 8—9 сентября 2017 г. составляла от нескольких часов до 16 ч.

Ключевые слова: магнитная буря, широтная зависимость вариаций геомагнитного поля, аperiodические и квазипериодические возмущения, системный спектральный анализ, параметры квазипериодических возмущений.

ВВЕДЕНИЕ

Сентябрь 2017 г., несмотря на близость к минимуму в 24-м цикле солнечной активности, характеризовался высокой активностью светила.

Произошло 40 вспышек класса С, 15 — класса М и 4 — класса X. Отмечались мощные выбросы корональной массы и сильные геокосмические бури, представляющие собой совокупность магнитных, ионосферных, атмосферных и элек-

Цитування: Черногор Л. Ф., Шевелев Н. Б. Широтная зависимость квазипериодических вариаций геомагнитного поля в течение сильнейшей геокосмической бури 7—9 сентября 2017 года. *Космічна наука і технологія*. 2020. **26**, № 3 (123). С. 72—83. <https://doi.org/10.15407/knit2020.02.072>

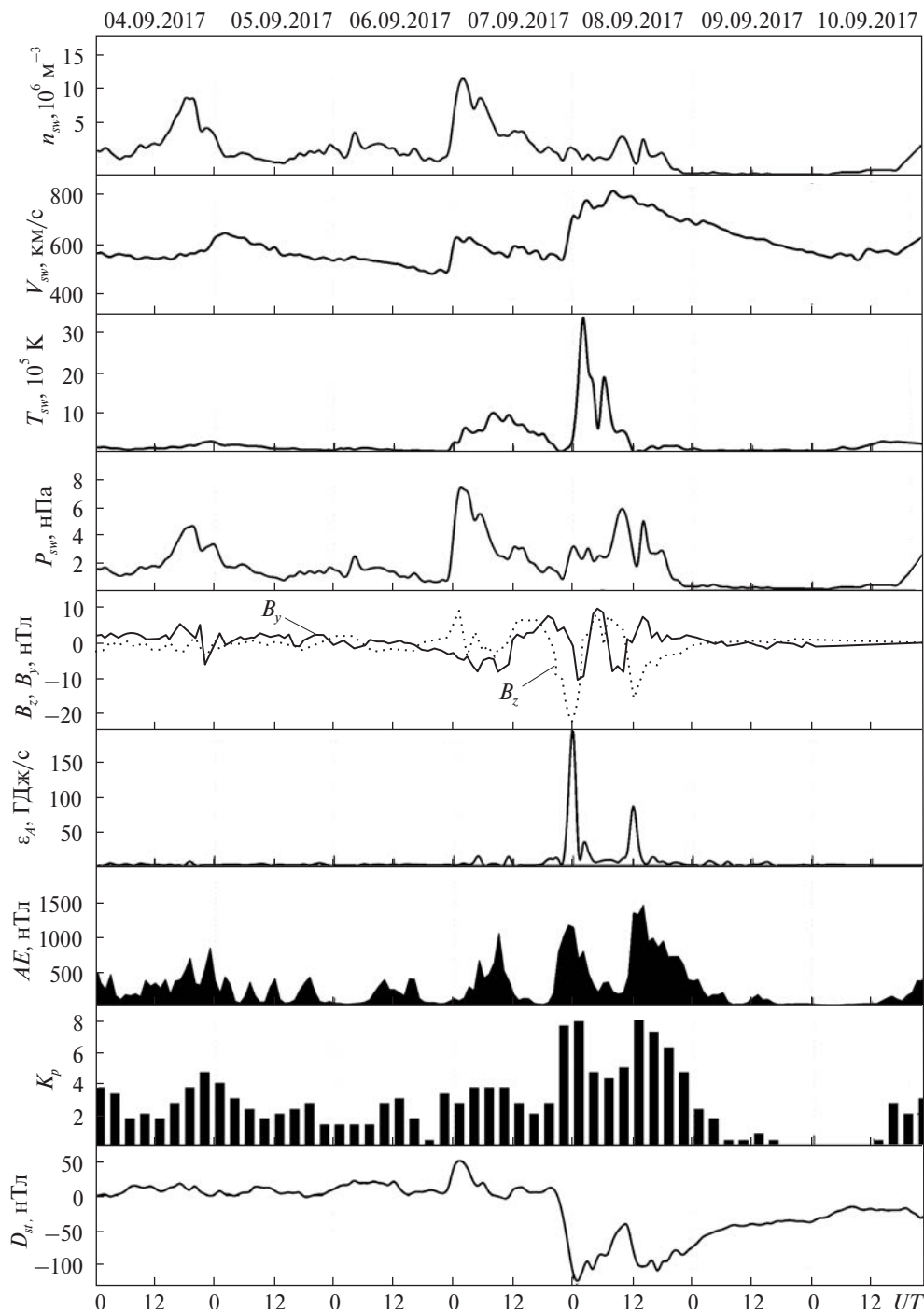
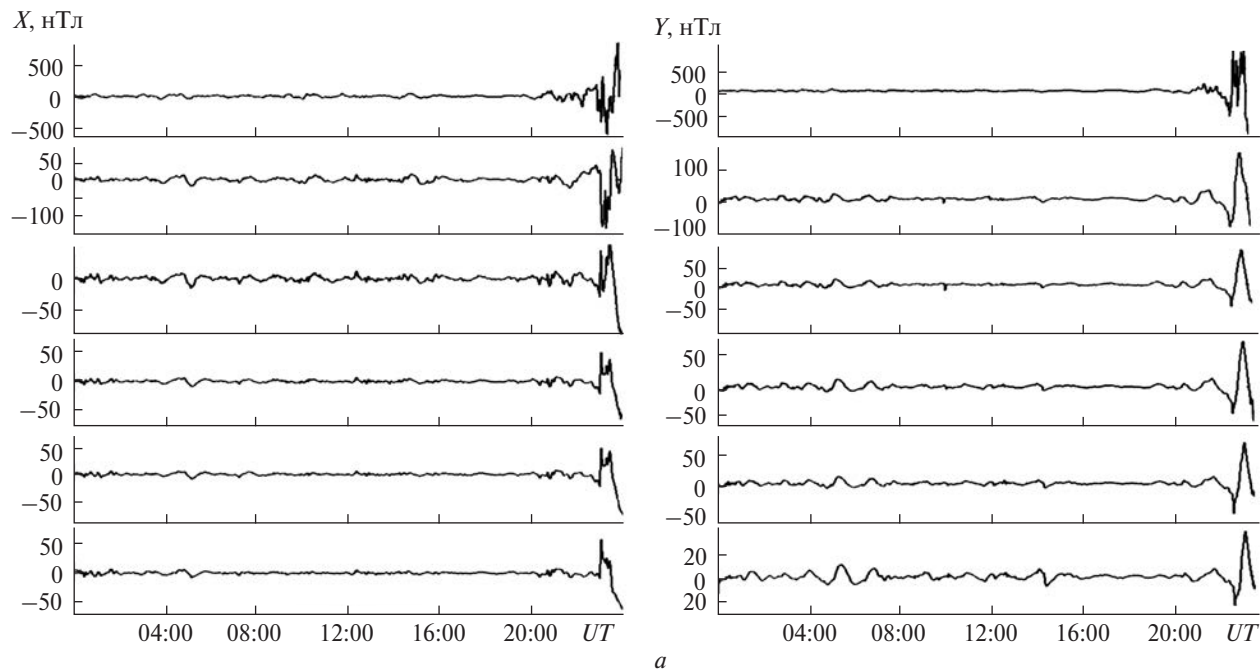


Рис. 1. Временные вариации параметров солнечного ветра в период 4–10 сентября 2017 г.: измеренные концентрации частиц n_{sw} , температуры T_{sw} , радиальной скорости V_{sw} (по данным сайта <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/ace2/>) и рассчитанного динамического давления P_{sw} , измеренных компонентов B_z и B_y межпланетного магнитного поля (по данным спутника ACE); рассчитанных значений энергии ϵ_A , передаваемой солнечным ветром магнитосфере Земли в единицу времени; AE -индекса, K_p -индекса и D_{st} -индекса (по данным сайта <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/>)



а

трических бурь [4]. Отдельным проявлениям геокосмических бурь 6–10 сентября 2017 г. посвящен ряд работ. В работе [12] кратко описаны процессы на Солнце, в межпланетной среде и на Земле в течение 2–15 сентября 2017 г. В работах [2, 7, 9, 10, 13] описаны проявления магнитных бурь, в работах [11, 14] — проявления ионосферных бурь в высоких, низких и экваториальных широтах, в работах [8, 15] — проявления атмосферных бурь. В работе [6] описана динамика плазменных пузырей над Китаем в течение магнитной бури 8 сентября 2017 г. В работе [5] дан краткий анализ особенностей магнитной бури 7–9 сентября 2017 г.

Цель работы — изложение результатов анализа глобальных квазипериодических вариаций геомагнитного поля в течение уникальной геокосмической бури 7–9 сентября 2017 г.

СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Наиболее мощные солнечные вспышки в активной области Солнца AR2673 имели место в 09:10 UT (X2.2) и 12:02 UT (X9.3) 6 сентября 2017 г., а также в 16:47 UT (X8.2) 10 сентября 2017 г. Заметим, что вспышки класса X9.3 и X8.2 были самы-

ми сильными в 24-м цикле солнечной активности. 7 сентября концентрация частиц в солнечном ветре увеличилась примерно от $(2-3) \cdot 10^6$ до 10^7 м^{-3} , их скорость — от 500 до 800 км/с, температура — от 10^5 до $12 \cdot 10^5 \text{ К}$ (рис. 1). Значения B_z -компонента межпланетного магнитного поля 7 и 8 сентября 2017 г. достигали -10 и -12 нТл соответственно. Продолжительности отрицательных значений B_z равнялись 12 и 18 ч соответственно. Значения функции Акасофу достигали 15 и 50 ГДж/с 7 и 8 сентября соответственно. 7 сентября значения индекса AE увеличивались до 1500...2000 нТл. Минимальные значения индекса D_{st} , равные -144 и -111 нТл , отмечались 8 сентября 2017 г. в 01:05 UT и 15:05 UT соответственно. В обоих случаях максимальные значения индекса K_p составляли 8. В течение 7–8 сентября 2017 г. наблюдались две магнитные бури.

Добавим, что магнитная буря 8 сентября 2017 г. класса G4 (индекс $A_p = 106$) была второй по интенсивности после самой сильной бури 17 марта 2015 г. (индекс $A_p = 108$). Для бури 8 сентября 2017 г. $\Sigma K_p = 48$, а для бури 17 марта 2015 г. — $\Sigma K_p = 49$.

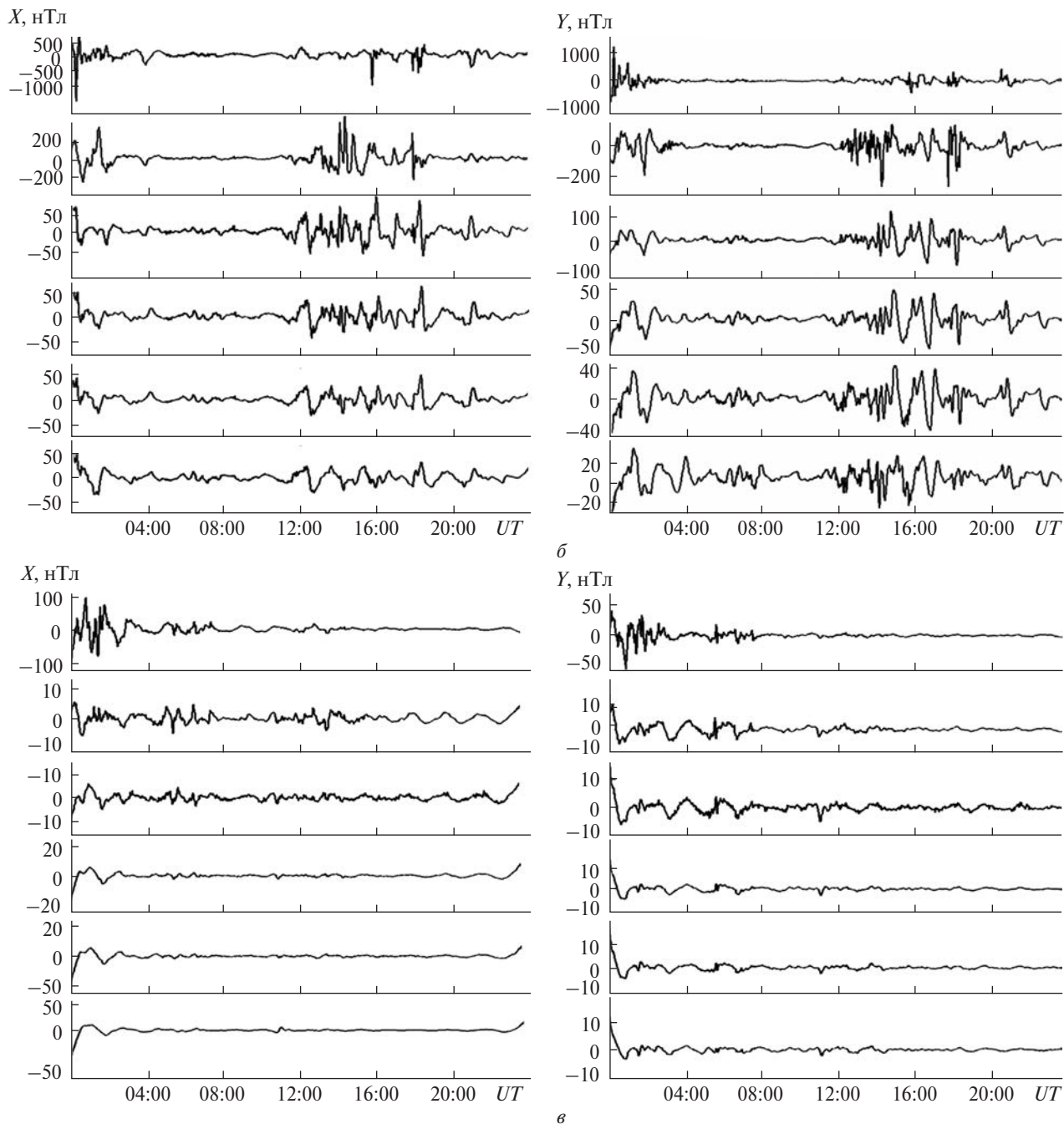


Рис. 2. Волновые формы вариаций горизонтальных компонентов геомагнитного поля 7 (а), 8 (б) и 9 (в) (слева — X-компонент, справа — Y-компонент) на станциях: Abisko, Uppsala, Belsk, Lonjsko Polje, Durovia, Tamarrasset (панели сверху вниз)

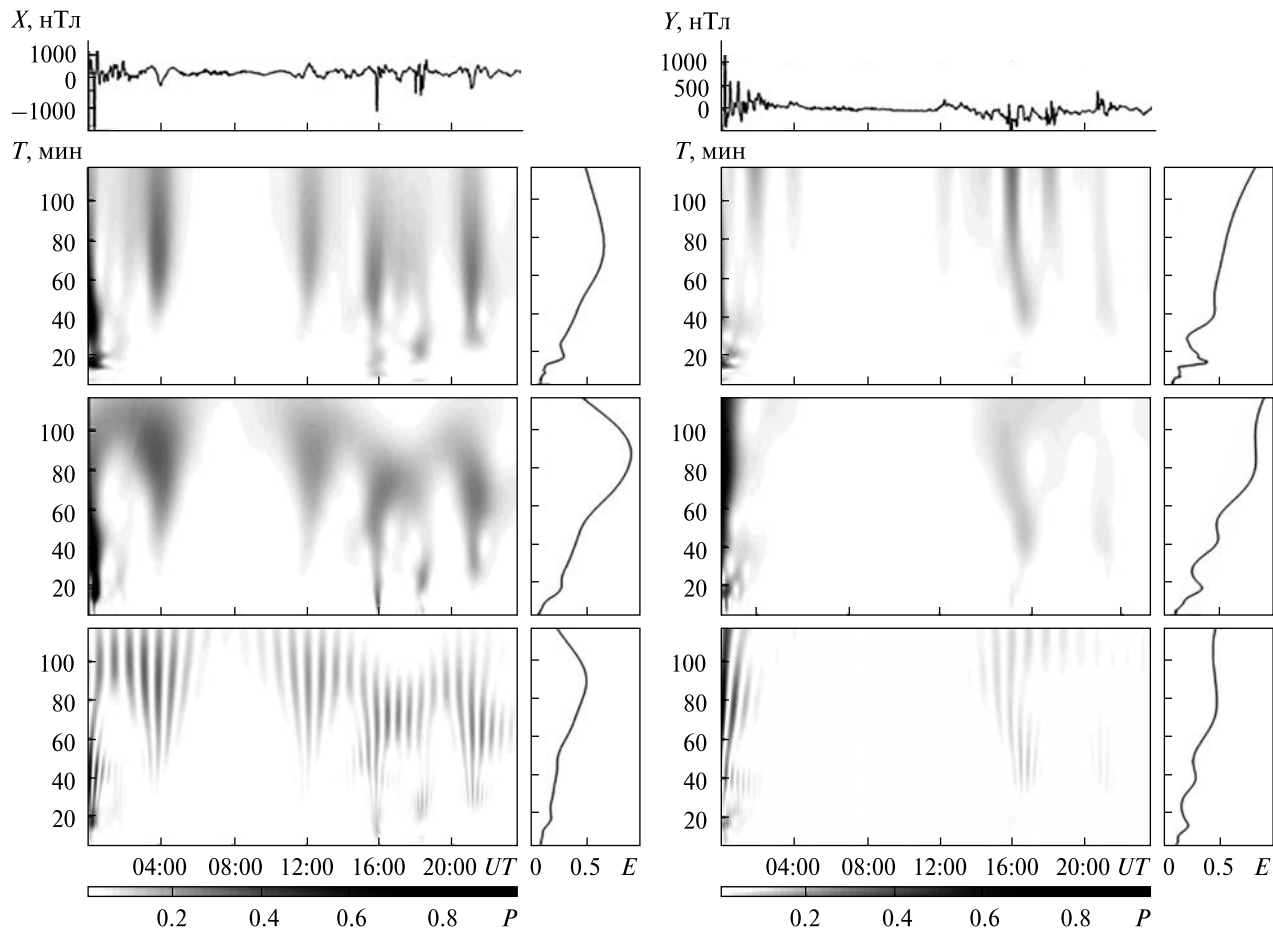


Рис. 3. Результаты ССА временных вариаций геомагнитного поля 8 сентября 2017 г. для станции Abisko. Панели сверху вниз: исходные волновые формы, результаты оконного преобразования Фурье, адаптивного преобразования Фурье и вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле. Справа показаны энергограммы (распределение энергий по периодам)

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ

Для анализа временных вариаций привлекались данные сети магнитометров «Intermagnet» на станциях Tamanrasset (22.79°N, 5.53°E), Duronia (41.35°N, 14.466°E), Lonjsko Polje (45.408°N, 16.659°E), Belsk (51.84°N, 20.79°E), Uppsala (59.903°N, 17.353°E), Abisko (68.358°N, 18.823°E) с разрешением около 0.1 нТл и временной дискретизацией в 1 мин. Анализировались суточные вариации горизонтальных компонентов поля за 7–9 сентября 2017 г. Полосовая фильтрация и системный спектральный анализ (ССА) выполнены в диапазоне периодов 2...120 мин. При этом одновременно использовались взаимодо-

полняющие друг друга оконное преобразование Фурье (ОПФ), адаптивное преобразование Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразование (ВП) на основе базисной функции Морле [3]. Оконное преобразование Фурье обладает лучшим временным разрешением, АПФ — лучшим разрешением по периодам. Вейвлет-преобразование, как известно, является математическим микроскопом [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Возмущения геомагнитного поля наблюдались в интервалах времени с 20:00 7 сентября до 04:00 8 сентября 2017 г. и с 12:00 8 сентября до

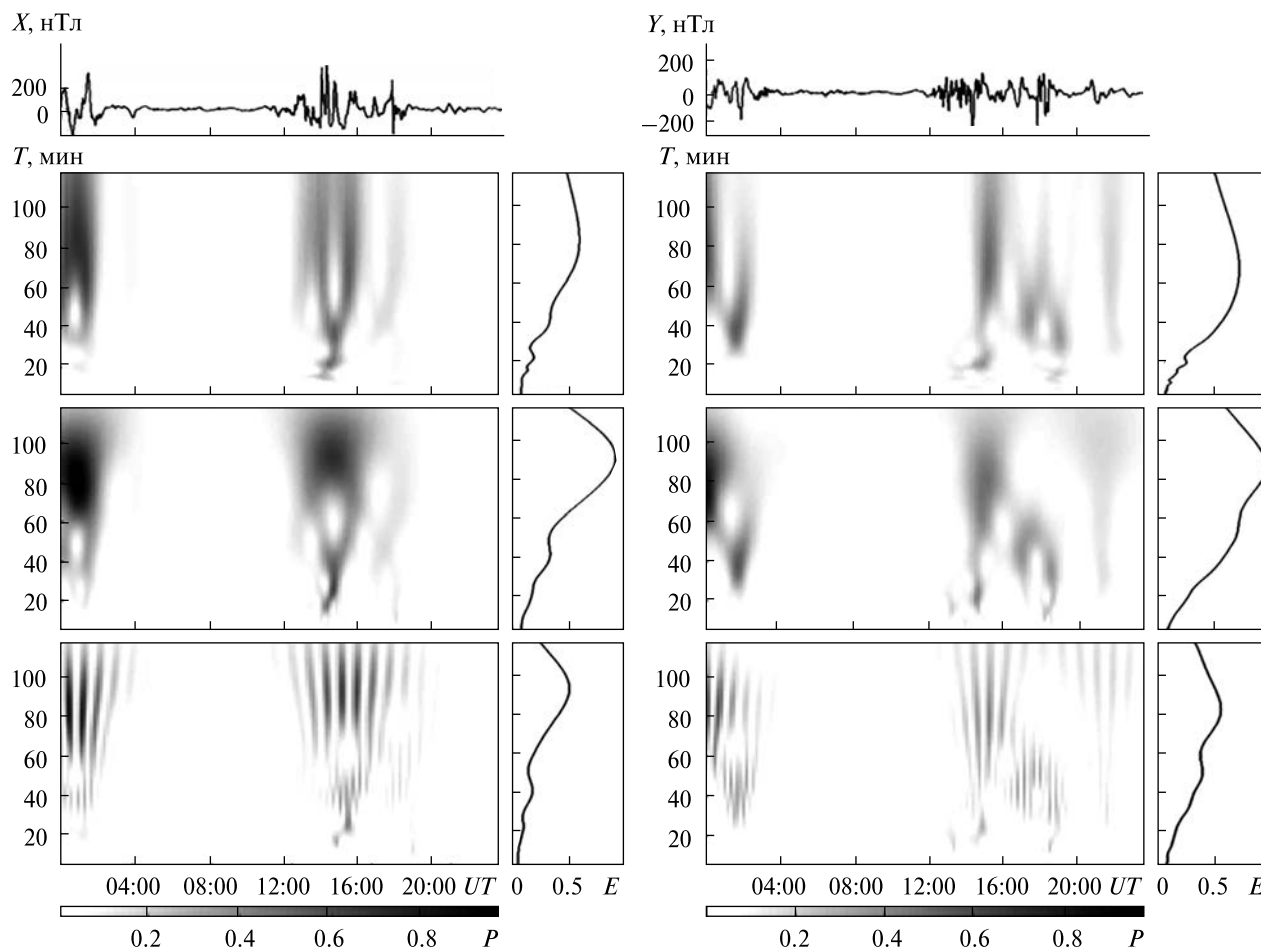


Рис. 4. То же для станции Uppsala

08:00 9 сентября 2017 г. (рис. 2). Как и следовало ожидать, по мере уменьшения широты уровень флуктуаций геомагнитного поля уменьшался примерно от 800...1500 до 20...40 нТл. В высоких широтах вариации уровня были скорее аperiodическими, а в средних и низких широтах они были как аperiodическими, так и квазипериодическими с периодом от 30 до 100 мин (рис. 3—8).

Рассмотрим подробнее результаты ССА временных вариаций X- и Y-компонентов геомагнитного поля 8 сентября 2017 г., зарегистрированных различными станциями сети «Intermagnet».

На высокоширотной станции Abisko вариации геомагнитного поля были скорее аperiodическими (см. рис. 3). В вариациях X-компонента

выделялись периоды T , близкие к 15...23 и 70...90 мин, в вариациях Y-компонента — 15...23, 35...50 и 65...100 мин.

Вариации геомагнитного поля на станции Uppsala, которая находится между высокими и средними широтами, также скорее были аperiodическими (см. рис. 4). Для X- и Y-компонентов наибольшую амплитуду имели составляющие с периодом $T \approx 75...105$ мин, несколько меньшую — составляющие с периодом $T \approx 35...45$ мин.

На среднеширотной станции Belsk квазипериодичность вариаций геомагнитного поля заметно выражена (см. рис. 5). Наибольшую энергию имели составляющие $T \approx 40...80$ мин для X-компонента и $T \approx 60...120$ мин для Y-компонента.

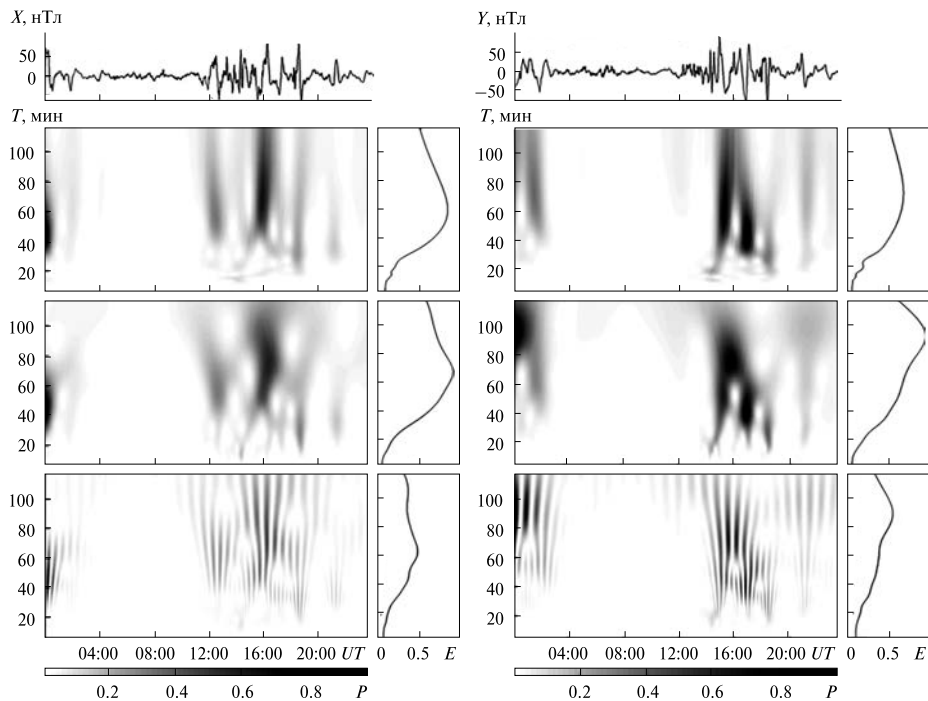


Рис. 5. То же для станции Belsk

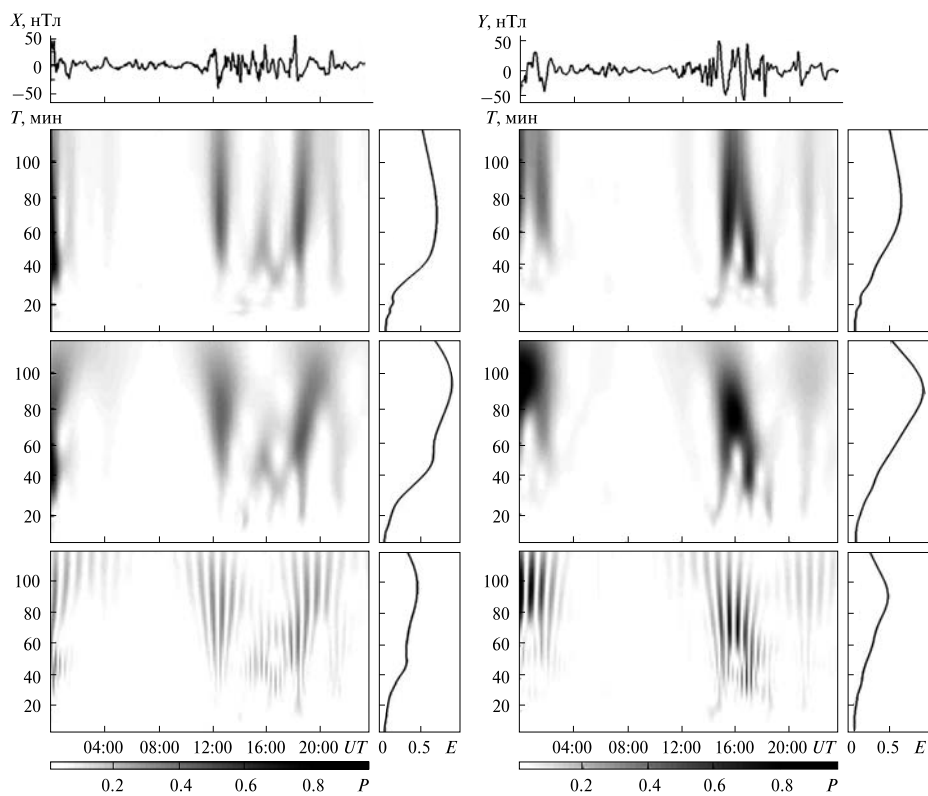


Рис. 6. То же для станции Lonjsko Polje

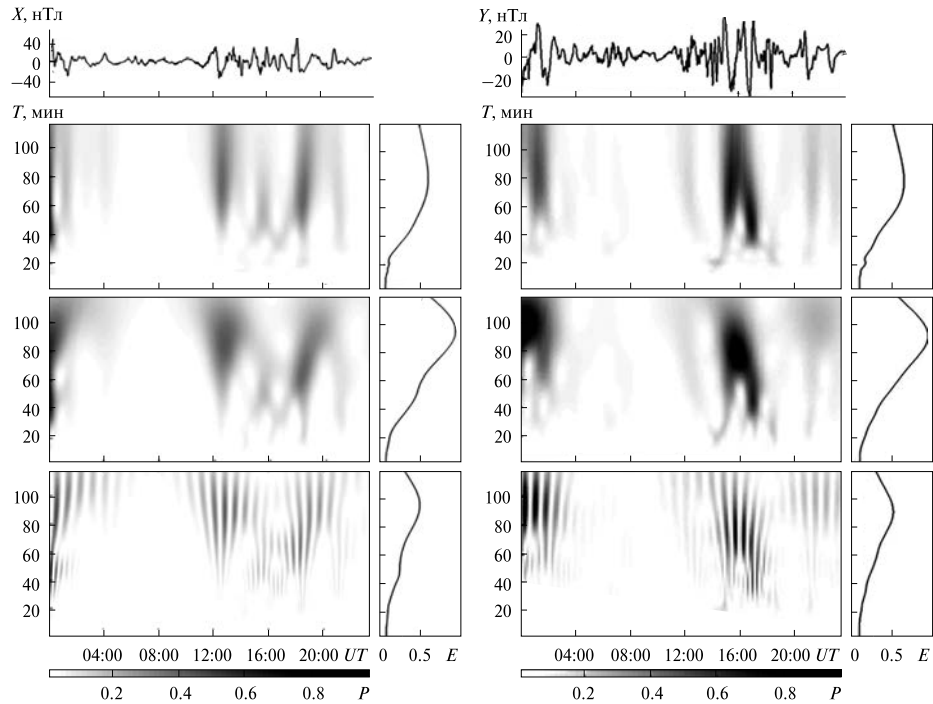


Рис. 7. То же для станции Duronia

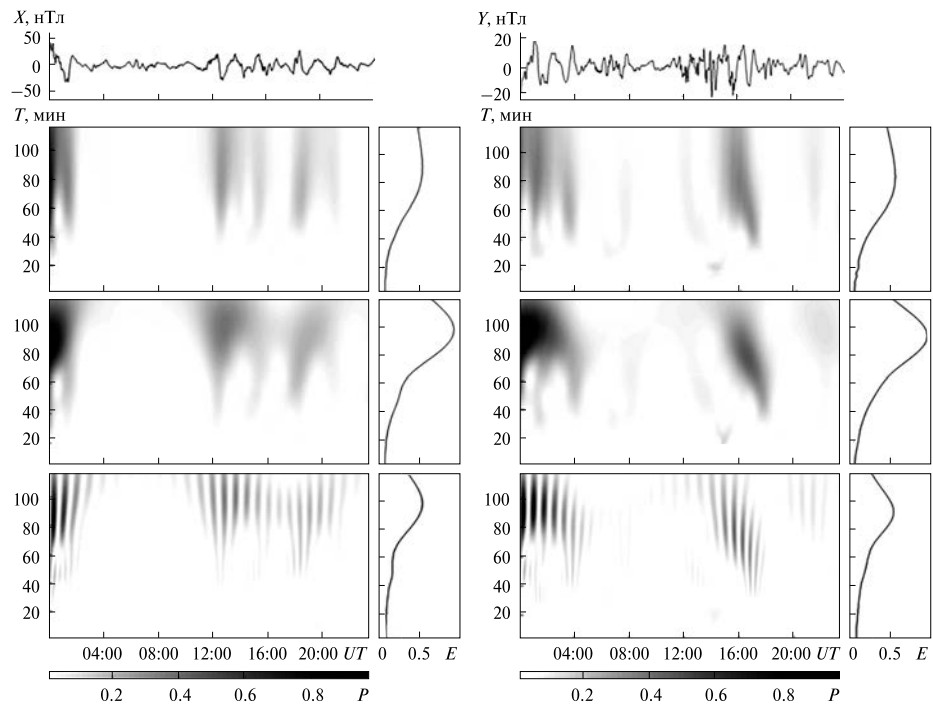


Рис. 8. То же для станции Tamnasset

Квазипериодичность вариаций геомагнитного поля на среднеширотной станции Lonjsko Polje была выражена четче, чем на предыдущих трех станциях (см. рис. 6). В спектре колебаний преобладали периоды $T \approx 70...110$ мин и $T \approx 40...60$ мин.

Вариации геомагнитного поля на среднеширотной станции Duronia были практически квазипериодическими (см. рис. 7). В спектре преобладали составляющие $T \approx 75...105$ мин, а также $T \approx 35...55$ мин.

На низкоширотной станции Tamarrasset квазипериодичность вариаций геомагнитного поля выражена отчётливо (см. рис. 8). Наибольшую амплитуду имели составляющие с периодами $T \approx 80...110$ мин для X-компонента и $T \approx 70...110$ мин для Y-компонента.

Продолжительность квазипериодических вариаций геомагнитного поля в ночь с 7 на 8 сентября 2017 г. на всех станциях составляла около 4 ч, а в течение дня 8 сентября и ночи с 8 на 9 сентября 2017 г. продолжительность достигала 16 ч (см. рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

В работе представлены волновые формы вариаций геомагнитного поля в течение сильнейшей геокосмической бури 7—9 сентября 2017 г. Магнитная буря класса G4 по своей интенсивности уступала лишь магнитной буре 17 марта 2015 г., которая была самой сильной в 24-м цикле солнечной активности. Магнитная буря сопровождалась сильными вариациями компонентов геомагнитного поля. На высокоширотной станции Abisko аperiодические вариации достигали 1500 нТл для X-компонента и 1000 нТл для Y-компонента. Для станции Uppsala, размещённой на широте примерно 60°N , аperiодические всплески не превышали 400 и 300 нТл для X- и Y-компонентов соответственно. На трех среднеширотных станциях уровень флуктуаций для этих же компонентов не превышал 50...100 нТл. На низкоширотной стан-

ции Tamarrasset вариации геомагнитного поля не превышали 20...40 нТл.

Заметим, что с уменьшением географической широты вариации геомагнитного поля становились более упорядоченными: от аperiодических в высоких широтах до квазипериодических в средних и низких широтах.

Как и следовало ожидать, вариации X- и Y-компонентов следовали за уменьшением D_{st} -индекса и увеличением K_p -индекса. Продолжительность магнитной бури, наблюдавшейся в ночь с 7 на 8 сентября 2017 г., не превышала 4 ч, а продолжительность бури 8—9 сентября 2017 г. достигала 16 ч.

В спектре вариаций геомагнитного поля преобладали составляющие с периодом 70...110 мин. Заметно меньшую энергию имели гармоники с периодом $T \approx 35...55$ мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Геокосмическая буря сопровождалась как аperiодическими, так и квазипериодическими возмущениями геомагнитного поля. Квазипериодические вариации имели место в диапазоне периодов 35...55 и 70...110 мин.

2. Квазипериодичность усиливалась по мере уменьшения географической широты магнитной станции.

3. При увеличении географической широты от 20 до 70° амплитуда возмущений увеличивалась от 20 до 1500 нТл.

4. Продолжительность цугов колебаний 8—9 сентября 2017 г. составляла от нескольких часов до 16 ч.

Авторы благодарны за возможность использования данных обсерваторий Tamarrasset, Duronia, Lonjsko Polje, Belsk, Uppsala, Abisko. Мы выражаем благодарность национальным институтам и INTERMAGNET (www.intermagnet.org), которые поддерживают высокие стандарты магнитных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. *Успехи физ. наук.* 1996. **166**. С. 1145—1170.
2. Пилипенко В. А., Белаховский В. Б., Сахаров Я. А., Селиванов В. Н. Воздействие магнитной бури 7—8 сентября 2017 года на электроэнергетическую систему. *Тр. Кольского науч. центра РАН. Гелиогеофизика.* 2018. Вып. 4. С. 29—35.
3. Черногор Л. Ф. Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов. *Геомагнетизм и аэрономия.* 2008. **48**, № 5. С. 681—702.
4. Черногор Л. Ф., Домнин И. Ф. *Физика геокосмических бурь*: Монография. Харьков: ХНУ им. В. Н. Каразина, Ин-т ионосферы НАН и МОН Украины, 2014. 408 с.
5. Черногор Л. Ф., Шевелев Н. Б. *Квазипериодические вариации геомагнитного поля в течение сильнейшей геокосмической бури 6—10 сентября 2017 года: глобальные характеристики*. Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVI Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 16—21 сентября 2019 г.
6. Aa E. Midlatitude Plasma Bubbles Over China and Adjacent Areas During a Magnetic Storm on 8 September 2017. *Space Weather.* 2018. **16**, № 3. P. 321—331.
7. Gromova L. I., Kleimenova N. G., Gromov S. V. High-latitude daytime magnetic bays in the September 2017 strong magnetic storm. Proc. XLI Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena». Apatity, 2018. P. 14—17.
8. Kilifarska N., Tassev Y. Ozone profile response to the series of coronal mass ejections and severe geomagnetic storm in September 2017. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences.* 2018. **71**, № 5. P. 662—668.
9. Lei J., Huang F., Chen X., Zhong J., Ren D., Wang W., Yue X., Luan X., Jia M., Dou X., Hu L., Ning B., Owolabi C., Chen J., Li G., Xue X. Was Magnetic Storm the Only Driver of the Long-Duration Enhancements of Daytime Total Electron Content in the Asian-Australian Sector Between 7 and 12 September 2017? *J. Geophys. Res.: Space Physics.* 2018. **123**, № 4. P. 3217—3232.
10. Sidorov R., Soloviev A., Gvishiani A., Getmanov V., Manda M., Petrukhin A., Yashin I. A combined analysis of geomagnetic data and cosmic ray secondaries in the September 2017 space weather phenomena studies. *Ann. Geophys.* URL: <https://doi.org/10.5194/angeo-2018-111> (дата звернення 18.07.2019).
11. Sripathi S., Ram Singh. *Response of the equatorial and low latitude ionosphere to September 2017 solar flares and their likely role in storm-time electrodynamics*. 2019 URSI Asia Pacific Radio Science Conference. Mo-GO1-6.
12. Tassev Y., Velinov P. I. Y., Tomova D., Mateev L. Analysis of extreme solar activity in early September 2017: G4 — severe geomagnetic storm (07—08.09) and GLE72 (10.09) in solar minimum. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences: sciences mathématiques et naturelles.* 2017. **70**, № 10. 1437—1444.
13. Tomova D., Velinov P., Tassev Y. Comparison between extreme solar activity during periods March 15—17, 2015 and September 4—10, 2017 at different phases of solar cycle 24. *Aerospace Research in Bulgaria.* 2017. **29**. P. 10—28.
14. 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.
15. Yuan L., Jin S., Calabria A. Distinct thermospheric mass density variations following the September 2017 geomagnetic storm from GRACE and Swarm. *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2019. **184**. P. 30—36.

Стаття надійшла до редакції 18.07.2019

REFERENCES

1. Astaf'eva N. M. (1996). Wavelet analysis: basic theory and some applications. *Phys. Usp.*, **39**, 1085—1108.
2. Pilipenko V. A., Belakhovskiy V. B., Sakharov Ya. A., Selivanov V. N. (2018). Magnetic storm on September 7—8, 2017 influence on electroenergetic system. *RAS Kol'sk Scientific Centre Proceedings. Geliogeophysics*, **4**, 29—35 [in Russian].
3. Chernogor L. F. (2008). Advanced methods of spectral analysis of quasiperiodic wave-like processes in the ionosphere: Specific features and experimental results. *Geomagnetism and Aeronomy*, **48** (5), 652—673.
4. Chernogor L. F., Domnin I. F. (2014). *Physics of geocosmic storms*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. [in Russian].
5. Chernogor L. F., Shevelev M. B. (2019). Geomagnetic Field Quasi-Periodic Variations During Severe Geospace Storm of September 6—10, 2017: Global Characteristics. *Baikal Young Scientists' International School on Fundamental Physics "Physical Processes in Outer and Near-Earth Space". XVI Young Scientists' Conference "Interaction of fields and radiation with matter"*. Irkutsk, 16—21 September 2019.

6. Aa E. (2018). Midlatitude Plasma Bubbles Over China and Adjacent Areas During a Magnetic Storm on 8 September 2017. *Space Weather*, **16**, № 3, 321–331.
7. Gromova L. I., Kleimenova N. G., Gromov S. V. (2018). *High-latitude daytime magnetic bays in the September 2017 strong magnetic storm*. Proc. XLI Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», Apatity, 14–17.
8. Kilifarska N., Tassev Y. (2018). Ozone profile response to the series of coronal mass ejections and severe geomagnetic storm in September 2017. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, **71**, № 5, 662–668.
9. Lei J., Huang F., Chen X., Zhong J., Ren D., Wang W., Yue X., Luan X., Jia M., Dou X., Hu L., Ning B., Owolabi C., Chen J., Li G., Xue X. (2018). Was Magnetic Storm the Only Driver of the Long-Duration Enhancements of Daytime Total Electron Content in the Asian-Australian Sector Between 7 and 12 September 2017? *J. Geophys. Res.: Space Physics*, **123**, № 4, 3217–3232.
10. Sidorov R., Soloviev A., Gvishiani A., Getmanov V., Manda M., Petrukhin A., Yashin I. (2018). A combined analysis of geomagnetic data and cosmic ray secondaries in the September 2017 space weather phenomena studies. *Ann. Geophys.* URL: <https://doi.org/10.5194/angeo-2018-111> (Last accessed 18.07.2019).
11. Sripathi S., Ram Singh. (2019). *Response of the equatorial and low latitude ionosphere to September 2017 solar flares and their likely role in storm-time electrodynamics*. 2019 URSI Asia Pacific Radio Science Conference. Mo-GO1-6.
12. Tassev Y., Velinov P. I. Y., Tomova D., Mateev L. (2017). Analysis of extreme solar activity in early September 2017: G4 – severe geomagnetic storm (07–08.09) and GLE72 (10.09) in solar minimum. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences: sciences mathématiques et naturelles*, **70**, № 10, 1437–1444.
13. Tomova D., Velinov P., Tassev Y. (2017). Comparison between extreme solar activity during periods March 15 – 17, 2015 and September 4–10, 2017 at different phases of solar cycle 24. *Aerospace Research in Bulgaria*, **29**, 10–28.
14. 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.
15. Yuan L., Jin S., Calabia A. (2019). Distinct thermospheric mass density variations following the September 2017 geomagnetic storm from GRACE and Swarm. *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **184**, 30–36.

Received 18.07.2019

Л. Ф. Черногор

д-р фіз.-мат. наук, проф.

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

М. Б. Шевелев

аспірант, мол. наук. співроб.

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

Майдан Свободи 4, Харків, Україна, 61022

ШИРОТНА ЗАЛЕЖНІСТЬ КВАЗІПЕРІОДИЧНИХ ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРОТЯГОМ СИЛЬНОЇ ГЕОКОСМІЧНОЇ БУРІ 7–9 ВЕРЕСНЯ 2017 РОКУ

Вересень 2017 р., незважаючи на близькість до мінімуму в 24-му циклі сонячної активності, характеризувався високою активністю світила. Сталось 40 спалахів класу С, 15 — класу М і 4 — класу Х. Відзначалися потужні викиди корональної маси та сильні геокосмічні бурі, які були сукупністю магнітних, іоносферних, атмосферних та електричних бур. Мета роботи — виклад результатів аналізу глобальних квазіперіодичних варіацій геомагнітного поля протягом унікальної геокосмічної бурі 7–9 вересня 2017 р. Для аналізу часових варіацій використовувалися дані мережі магнітометрів «Intermagnet» на станціях Таманрассет (22.79°N, 5.53°E), Durovia (41.35°N, 14.466°E), Lonjsko Polje (45.408°N, 16.659°E), Belsk (51.84°N, 20.79°E), Uppsala (59.903°N, 17.353°E), Abisko (68.358°N, 18.823°E) з роздільною здатністю близько 0.1 нТл і часовою дискретизацією в 1 хв. Аналізувалися добові варіації горизонтальних компонентів поля за 7–9 вересня 2017 р. Смогова фільтрація та системний спектральний аналіз виконано в діапазоні періодів 2...120 хв. При цьому одночасно використовувалися взаємодоповнювальні одне одного віконне перетворення Фур'є, адаптивне перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення на основі базисної функції Морле. Вивчено широтну залежність квазіперіодичних збурень горизонтальних складових геомагнітного поля протягом унікальної геокосмічної бурі та у контрольну добу. Визначено амплітуду, спектральний склад і тривалість збурень. Продемонстровано, що геокосмічна буря супроводжувалася як аперіодичними, так і квазіперіодичними збуреннями геомагнітного поля. Квазіперіодичні варіації мали місце в діапазоні періодів 35...55 і 70...110 хв. Квазіперіодичність посилювалася у міру зменшення географічної широти магнітної станції. При збільшенні географічної широти від 20° до 70° амплітуда збурень збільшувалася від 20 до 1500 нТл. Тривалість цугів коливань 8–9 вересня 2017 р. становила від одиниць годин до 16 год.

Ключові слова: магнітна буря, широтна залежність варіацій геомагнітного поля, аперіодичні та квазіперіодичні збурення, системний спектральний аналіз, параметри квазіперіодичних збурень.

L. F. Chernogor

Dr. Sci. in Phys. & Math., Professor

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

M. B. Shevelev

Research Assistant

V. N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022 Ukraine

LATITUDINAL DEPENDENCE OF QUASI-PERIODIC VARIATIONS

IN THE GEOMAGNETIC FIELD DURING THE GREATEST GEOSPACE STORM OF SEPTEMBER 7–9, 2017

Despite the Solar Cycle 24 minimum in the vicinity, September in 2017 was characterized by high astral activity, when 40 C-class, 15 M-class, and 4 X-class flares occurred. Huge coronal mass ejection events and strong geospace storms, sets of magnetic, ionospheric, and atmospheric storms as well as electric field disturbances, were reported. The purpose of this paper is to present the results of analysis of global-scale quasi-periodic variations in the geomagnetic field during the unique geospace storm that occurred on September 7–9, 2017. To analyze the time variations, the data acquired at the 0.1-nT resolution and the 1-min sampling interval from the Intermagnet magnetometer network at the Tamanrasset (22.79°N, 5.53°E), Durovia (41.35°N, 14.466°E), Lonjsko Polje (45.408°N, 16.659°E), Belsk (51.84°N, 20.79°E), Uppsala (59.903°N, 17.353°E), Abisko (68.358°N, 18.823°E) observatories have been used. The local time variations in the horizontal field components that occurred on September 7–9, 2017 have been analyzed. Band-pass filtering and the system spectral analysis have been performed in the 2–120-min per cycle period range, when the mutually complementary short-time Fourier transform (SFT), the Fourier transform in a sliding window (FTS) with a width adjusted to be equal to a fixed number of harmonic periods, and the wavelet transform (WT) employing the Morlet wavelet as a basis function were used simultaneously. The latitudinal dependence of quasi-periodic disturbances in the horizontal components of the geomagnetic field during the unique geospace storm and on a reference day has been studied. The amplitude, spectral content, and the duration of the disturbances have been determined. The geospace storm has been shown to be accompanied by both the aperiodic and quasi-periodic disturbances in the geomagnetic field. The quasi-periodic variations occur in the 35–55- and 70–110-min per cycle period range. The quasi-periodicity strengthens as the geographic latitude of the magnetic observatory decreases. When the geographic latitude increases from ~20° to ~70°, the amplitude of the disturbances increases from 20 to 1500 nT. The duration of the oscillation trains averages from a few ones to ~16 hours on September 8–9, 2017.

Key words: magnetic storm, latitudinal dependence of geomagnetic field variations, aperiodic and quasi-periodic disturbances, system spectral analysis, quasi-periodic disturbance parameters.