

ПРОЯВЛЕНИЕ СИЛЬНЕЙШЕЙ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 10-12 МАЯ 2024 ГОДА В ДАННЫХ МАГНИТОМЕТРОВ НА ЯКУТСКОМ МЕРИДИАНЕ

Г.А. Макаров

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск,
Россия; e-mail: gmakarov@ikfia.ysn.ru*

Аннотация. Рассматриваются магнитные вариации по данным магнитометров Якутской меридиональной цепочки геофизических станций в период сильнейшей геомагнитной бури 10-16 мая 2024 г. Внезапное начало бури наблюдалось в 17:06 UT, длительность ее главной фазы составляла ~ 9 ч, при этом пиковое отрицательное значение индекса Dst достигло -412 нТл 11 мая в 02:00 UT, фаза восстановления продолжалась более 5 суток. В результате анализа магнитных данных 3-х станций меридиональной цепочки стало возможным получить информацию о распределении эквивалентных токовых систем на ионосферных высотах в регионе. Установлено, что 10 мая в раннем утреннем секторе 01-05 MLT над станциями развилась расширенная система интенсивных токов западного направления с электроструей, которая располагалась на широте $55^\circ < \Phi' < 61^\circ$. В последующем электроструя переместилась в южном направлении. Получено, что 11 мая в секторе 13-19 MLT станции Якутск и Жиганск находились южнее системы токов восточного направления, станция Тикси в 13-16 MLT была южнее токов западного направления. В секторе 20-06 MLT все три станции располагались севернее системы токов западного направления, причем Якутск находился почти под сгущением этих токов. Рассмотрены межпланетные условия в период возникновения бури.

1. Магнитные вариации по данным станций Якутской меридиональной цепочки

10 мая 2024 года магнитометры Якутской меридиональной цепочки геофизических станций зарегистрировали очень большие магнитные изменения. На рисунках 1-3 приведены вариации горизонтальной H, вертикальной Z компонент и склонения D геомагнитного поля на станциях Якутск (YAK, $\Phi' \approx 54.5^\circ$, $\Lambda' \approx 201.3^\circ$), Жиганск (ZGN, 61.4° , 194.1°), Тикси (TIX, 66.1° , 197.3°) соответственно. Из данных регистрации исключены базисные уровни. Видно, что возмущения начались внезапно около 17 UT и продолжались более 40 часов, вплоть до 11 UT 12 мая. Отрицательные отклонения H-компоненты в Якутске достигали ~ -2000 и более нТл, в Жиганске ~ -1500 нТл, в Тикси ~ -1000 нТл. Глобальная отрицательная бухта (если сгладить резкие изменения) горизонтальной компоненты H в Якутске и Жиганске продолжалась до ~ 03 UT 11 мая, затем последовала

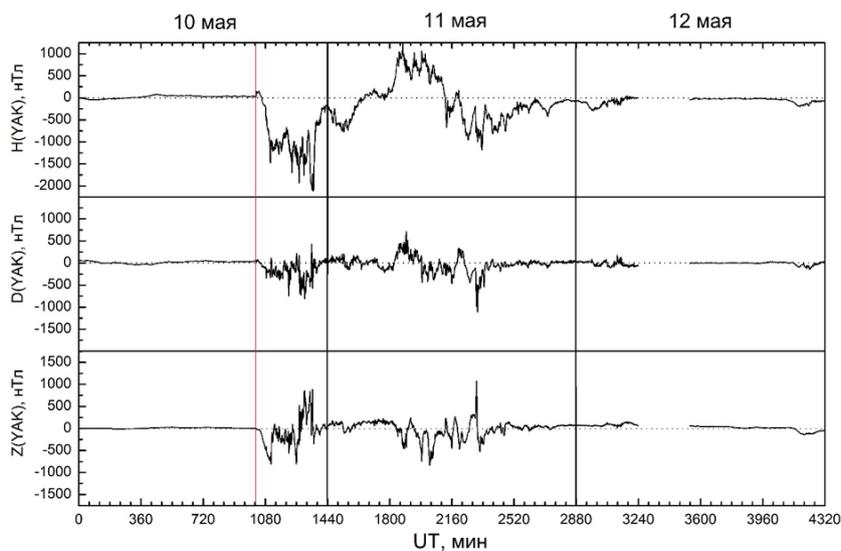


Рисунок 1. Изменения горизонтальной H, вертикальной Z компонент и склонения D геомагнитного поля относительно базисного уровня на станции Якутск 10-12 мая 2024 г. Время отсчитывается от 00:00 UT 10 мая.

положительная бухта в H длительностью примерно 8 ч, в Тикси H-компонента поля изменялась от -1200 нТл до 500 нТл относительно базисной линии.

Склонение поля на всех станциях изменялось в пределах -1000 нТл ÷ 500 нТл (в Тикси от -1500 нТл). Отрицательные отклонения вертикальной Z-компоненты поля в Якутске видны сразу после начала возмущений в течение около ~ 5 ч, достигая при этом значений -300 нТл ÷ -800 нТл, далее в течение ~ 8 ч видны положительные отклонения Z в пределах сначала 900 нТл, затем 200 нТл, а далее Z изменяется от -500 ÷ -800 нТл. В Жиганске в изменениях Z компоненты

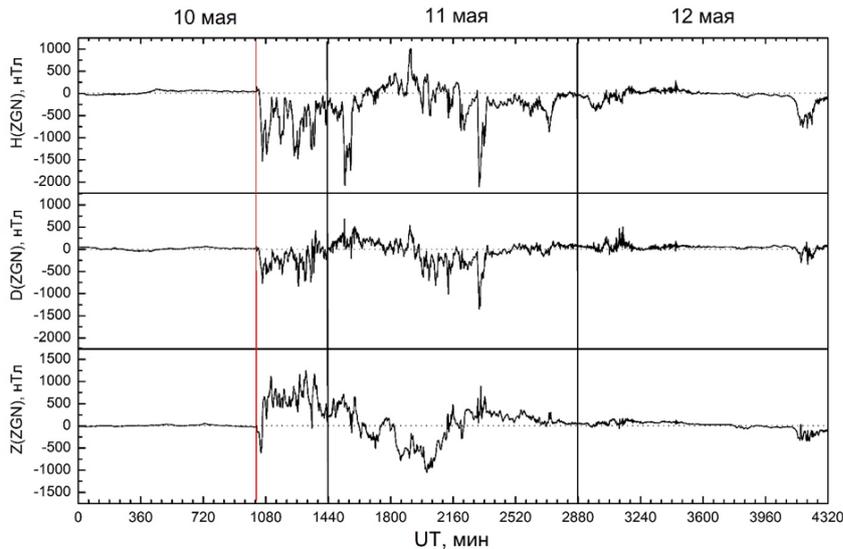


Рисунок 2. Изменения горизонтальной H , вертикальной Z компонент и склонения D геомагнитного поля относительно базисного уровня на станции Жиганск 10-12 мая 2024 г. Время отсчитывается от 00:00 UT 10 мая.

H в течение 2 минут: в Якутске на 129 нТл, в Жиганске 123 нТл, в Тикси 55 нТл.

По данным о магнитных вариациях на станциях Якутской меридиональной цепочки можно получить информацию о распределении эквивалентных токовых систем на ионосферных высотах в регионе. 10 мая в период 17-21 UT, т.е. в раннем утреннем секторе 01-05 MLT, во время первой половины главной фазы бури, можно полагать, что над станциями развилась расширенная система интенсивных токов западного направления с электроструей, которая располагалась между Жиганском ($\Phi' \approx 61^\circ$) и Якутском ($\Phi' \approx 55^\circ$).

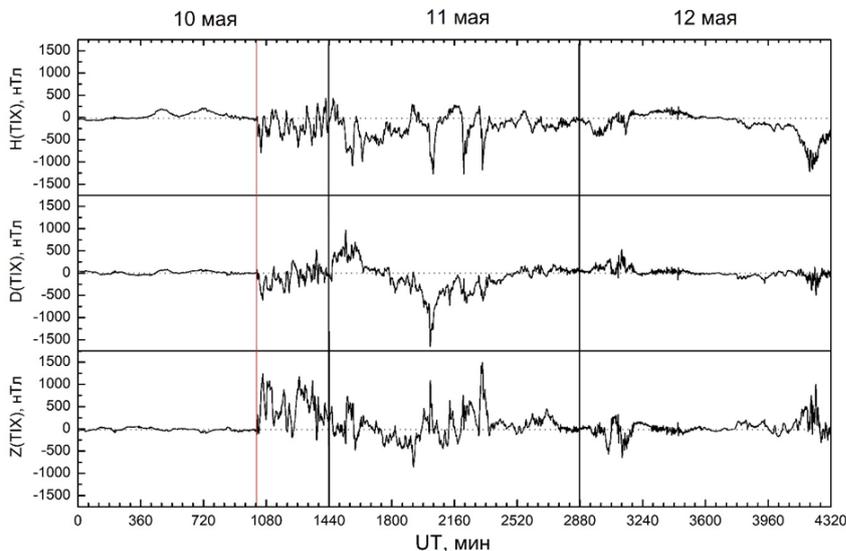


Рисунок 3. Изменения горизонтальной H , вертикальной Z компонент и склонения D геомагнитного поля относительно базисного уровня на станции Тикси 10-12 мая 2024 г. Время отсчитывается от 00:00 UT 10 мая.

отчетливо заметны последовательно положительная, отрицательная и положительная бухты, если судить по сглаженным данным, продолжительностью ~ 9 ч, ~ 8 ч и ~ 11 ч и отклонениями до ~ 1200 нТл, ~ -1000 нТл и ~ 500 нТл соответственно. В Тикси изменения вертикальной Z -компоненты поля ведут себя подобно изменениям в Жиганске. Эти большие изменения можно считать проявлением сильнейшей геомагнитной бури.

На рис. 4 показаны проявления внезапного начала бури в H компоненте магнитного поля на 3-х станциях. Внезапное начало наблюдалось в 17:06 UT. Во всех кривых видно повышение

Около 05 MLT электроструя переместилась в южном направлении и оказалась над Якутском, далее она продолжила смещаться к югу, и такое распределение токов было в секторе 05-12 MLT. 11 мая в дневном-вечернем секторе (13-19 MLT) станции Якутск и Жиганск находились южнее системы токов восточного направления, станция Тикси в 13-16 MLT была южнее токов западного направления, а в 16-19 MLT севернее таких токов. В секторе 20-06 MLT все три станции располагались севернее системы токов западного направления, причем Якутск находился почти под сгущением этих токов.

2. Вариации геомагнитного индекса Dst и межпланетных параметров

На рис. 5 показаны вариации среднечасовых значений геомагнитного индекса Dst [<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>], северо-южной компоненты B_z межпланетного поля (ММП), модуля B межпланетного поля и скорости солнечного ветра V [https://spdf.gsfc.nasa.gov/pub/data/omni/low_res_omni/] с 1 по 31 мая 2024 г. Видно, что в этом месяце произошло 5 геомагнитных бурь: умеренная буря 2-5 мая, слабая буря 5-7 мая,

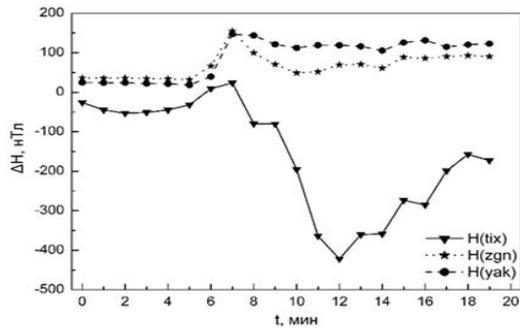


Рисунок 4. Проявление внезапного начала геомагнитной бури 10-12 мая 2024 г. на станциях Якутск, Жиганск, Тикси. Начало отсчета – 17:00:30 UT 10 мая 2024 г.

На рис. 5 видно, что буря произошла в результате резких изменений межпланетных параметров в 17:04 UT: скорость солнечного ветра возросла с 447 км/с до 714 км/с, модуль межпланетного магнитного поля увеличился с 4 нТл до 22 нТл, а его северо-южная компонента сменила направление с северного 3 нТл на южное –16 нТл (время 17:04 UT определено по минутным данным спутниковых магнитометров, данные о скорости солнечного ветра в 17:03 UT и 17:04 UT отсутствуют [https://pdf.gsfc.nasa.gov/pub/data/omni/low_res_omni/]). В последующем, с 18:10 UT по 18:25 UT 10 мая, модуль ММП увеличился до значений 49–51 нТл, а в промежутке времени с 22:10 UT 10 мая по 00:15 UT 11 мая он достиг значений 67–70 нТл; скорость солнечного ветра постепенно увеличивалась при небольших колебаниях до 1026 км/с в 01:24 UT 12 мая.

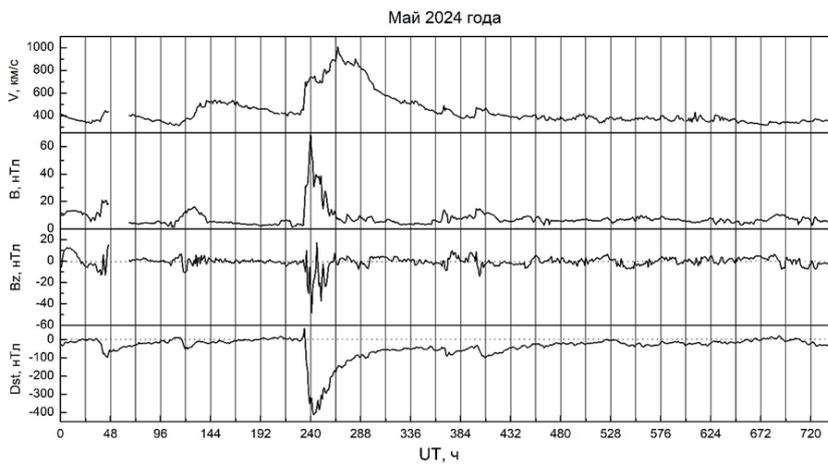


Рисунок 5. Вариации геомагнитного индекса Dst, северо-южной компоненты Bz и модуля B межпланетного магнитного поля и скорости солнечного ветра V в мае 2024 г. Время отсчитывается от 00 UT 1 мая.

начало в ASY-H проявилось в виде роста индекса с 12 нТл в 17:05 UT до 98 нТл в 17:08 UT, далее в 17:10 UT индекс понизился до 33 нТл, а затем постепенно, с небольшими изменениями, достиг 955 нТл в 22:36 UT. Индекс симметричной компоненты кольцевого тока SYM-H отреагировал на внезапное начало бури ростом с 10 нТл в 17:05 UT до 84 нТл в 17:11 UT, далее индекс стал понижаться и с 17:54 UT принял отрицательные значения, понижение интенсивности продолжалось до –518 нТл в конце главной фазы бури в 02:14 UT 11 мая. Далее началась восстановительная фаза бури.

Авроральные индексы AU и AL на рис. 6 претерпевают очень большие изменения. Следует отметить, что эти индексы в течение рассматриваемой бури имели экстремальные значения. Интенсивность индекса AU авроральной восточной электроструи достигала 1211 нТл в 17:08 UT, 1876 нТл в 22:51 UT 10 мая, 1431 нТл в 12:11 UT 11 мая и в то же время принимала отрицательные значения 10 мая в интервале 19:06–19:42 UT (вплоть до –188 нТл), в 21:30–21:44 UT (до –126 нТл), в 22:37–22:39 UT (до –130 нТл), 11 мая в 13:08–13:24 UT

сильнейшая буря 10-16 мая, умеренные бури 16-17 мая и 17-20 мая. Здесь мы описываем сильнейшую бурю. Она по классификации NOAA [https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation/] и классификации [Loewe and Prolss, 1997] относится к самому высшему классу геомагнитных бурь G5 (экстремальная). Буря возникла в результате серии солнечных вспышек и выбросов корональной массы из активной области AR 3664 [Gonzalez-Esparza et al., 2024] и стала самой интенсивной с 2003 года. На рис. 5 на графике индекса Dst [https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html] отчетливо видны внезапное начало магнитной бури (интенсивность его была равна 62 нТл), главная фаза с длительностью ~ 9 ч и интенсивностью более 400 нТл, при этом пиковое отрицательное значение Dst достигло –412 нТл 11 мая в 02:00 UT, фаза восстановления с продолжительностью более 5 суток.

3. Вариации индексов AU, AL, SYM-H и ASY-H

На рис. 6 показаны изменения геомагнитных авроральных AU, AL и среднеширотных SYM-H, ASY-H индексов с 1-минутным временным разрешением

[http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/]. Видно, что индексы SYM-H и ASY-H, представляющие собой

характеристики симметричной и асимметричной компонент магнитосферного кольцевого тока соответственно, подтверждают возникновение внезапного начала геомагнитной бури и развитие ее главной фазы. Внезапное

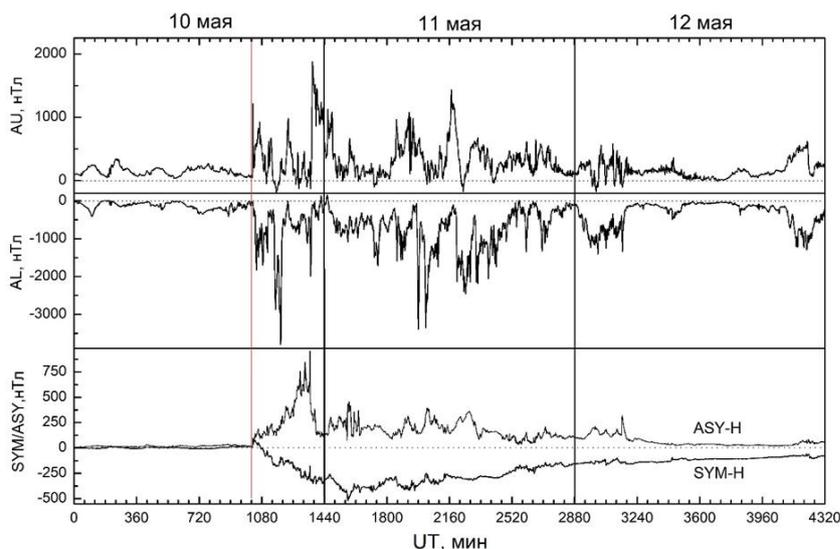


Рисунок 6. Вариации геомагнитных авроральных AU, AL и среднеширотных SYM-H, ASY-H индексов с 1-минутным временным разрешением в период 10-12 мая 2024 г., пунктирные линии соответствуют нулевым значениям индексов. Время отсчитывается от 00:00 UT 10 мая.

(до -171 нТл). Индекс AL авроральной западной электроструи имел минимальные значения в 17:28 UT (интенсивность была -1830 нТл), в 18:05 UT (-1694 нТл), в 19:18 UT (-2866 нТл), в 19:48 UT (-3797 нТл), в 22:41 UT (-1957 нТл) 10 мая, в 05:06 UT (-1716 нТл), в 08:58-09:01 UT ($-3120 \div -3392$ нТл), в 09:42-09:44 UT ($-3158 \div -3341$ нТл), в 15:05-15:57 UT ($-1035 \div -2057$ нТл), в 16:18-16:38 UT ($-1067 \div -1742$ нТл) 11 мая, за исключением двух коротких интервалов, когда AL был положительным: 23:37-23:42 UT (интенсивность достигала 137 нТл) 10 мая и 00:10-00:19 UT (до 148 нТл) 11 мая.

В периоды, когда индекс AL имел пиковые значения, вероятно, развивались

суббури и суперсуббури, их длительность варьировала от десятков минут до нескольких часов. И именно в эти периоды якутские станции регистрировали экстремальные отклонения компонент геомагнитного поля.

4. Заключение

Сильнейшая геомагнитная буря 10-12 мая 2024 года проявилась в данных магнитометров Якутской меридиональной цепочки геофизических станций и стало возможным получить информацию о распределении эквивалентных токовых систем на ионосферных высотах в регионе.

Обнаружено, что 10 мая в период 17-21 UT, т.е. в раннем утреннем секторе 01-05 MLT, во время первой половины главной фазы бури, над станциями развилась расширенная система интенсивных токов западного направления с электроструей, которая располагалась между Жиганском ($\Phi \approx 61^\circ$) и Якутском ($\Phi \approx 55^\circ$). Около 05 MLT электроструя переместилась в южном направлении и оказалась над Якутском, далее она продолжила смещаться к югу, и такое распределение токов было в секторе 05-12 MLT.

Установлено, что 11 мая в дневном-вечернем секторе (13-19 MLT) станции Якутск и Жиганск находились южнее системы токов восточного направления, станция Тикси в 13-16 MLT была южнее токов западного направления, а в 16-19 MLT севернее таких токов. В секторе 20-06 MLT все три станции располагались севернее системы токов западного направления, причем Якутск находился почти под сгущением этих токов.

Литература

- Gonzalez-Esparza J.A., Sanchez-Garcia E., Sergeeva M., Corona-Romero P., Gonzalez-Mendez L.X., Valdes-Galicia J.F., et al. The Mother's Day geomagnetic storm on 10 May 2024: Aurora observations and low latitude space weather effects in Mexico // Space Weather, 2024. vol. 22, no. 11, e2024SW004111. <https://doi.org/10.1029/2024SW004111>
- Loewe C.A., Prolss G.W. Classification and mean behavior of magnetic storms // J. Geophys. Res., 1997. vol. 102, no. A7, pp. 14209–14213.
- URL: <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html> (дата обращения 4 октября 2024 г.)
- URL: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/> (дата обращения 4 октября 2024 г.)
- URL: <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation> (дата обращения 18 декабря 2024)
- URL: https://spdf.gsfc.nasa.gov/pub/data/omni/low_res_omni/ (дата обращения 16 декабря 2024 г.)
- URL: <https://spaceweather.com/archive.php?view=10&day=07&month=05&year=2024>