

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 22–23 ИЮНЯ 2015 Г. НА f_oF_2 И h_mF_2 ПО ДАННЫМ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ «ЮЛИУСРУХ»

С.А. Рябова

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

²Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, Москва, Россия
riabovasa@mail.ru

INFLUENCE OF THE JUNE 22–23, 2015 GEOMAGNETIC STORM ON f_oF_2 AND h_mF_2 ACCORDING TO DATA FROM THE JULIUSRUH IONOSPHERIC OBSERVATORY

S.A. Riabova

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
riabovasa@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты анализа вариаций критической частоты F2-слоя в период мощной изолированной магнитной бури в 24-м цикле солнечной активности 22–23 июня 2015 г. В качестве исходных данных используются данные зондирования с помощью радиолокационных систем в коротковолновом диапазоне на ионосферной станции «Юлиусрух» (54.6° N, 13.4° E; Германия, ост-в Рюген, дер. Юлиусрух). Для определения зависимостей между вариациями магнитной активности, динамического давления солнечного ветра и ионосферных параметров на разных стадиях магнитной бури применяется метод линейного регрессионного анализа.

Ключевые слова: критическая частота, высота h_mF_2 , F2-слой ионосферы, линейная регрессия, индексы геомагнитной активности, динамическое давление солнечного ветра.

Abstract. This paper presents the results of analysis of variations in the F2-layer critical frequency during the powerful isolated magnetic storm that occurred during the solar cycle 24, on June 22–23, 2015. As initial data, we used sounding data from radar systems in the short-wave range from the Juliusruh Ionospheric Observatory (54.6° N, 13.4° E, Germany, Island of Rügen, Juliusruh village). Linear regression analysis was used to determine the dependences between variations in magnetic activity, solar wind dynamic pressure, and ionospheric parameters at different stages of the magnetic storm.

Keywords: critical frequency, h_mF_2 height, ionospheric F2 layer, linear regression, geomagnetic activity indices, solar wind dynamic pressure.

ВВЕДЕНИЕ

Слой F2 ионосферы — наиболее ионизированная область верхней атмосферы Земли. Основными его параметрами являются высота максимума h_mF_2 и критическая частота f_oF_2 . В зависимости от геомагнитной и солнечной активности они подвержены значительным изменениям. Динамика основных ионосферных параметров при разных геомагнитных условиях различна [Шубин, Деминов, 2019; Palul et al., 2018; Rishbath, Garriott, 1969].

Особый интерес представляет реакция ионосферы на большие геомагнитные бури, поскольку они приводят к планетарной перестройке ионосферы и изменению ее параметров [Данилов, 2013]. Морфология бурь в области F зависит как от межпланетных параметров, так и от места и времени наблюдения [Atulkar et al., 2014; Tsagour et al., 2000; Wang et al., 1980].

Для настоящего исследования была выбрана сильная изолированная магнитная буря в 24-м цикле солнечной активности 22–23 июня 2015 г., в период которой Dst -индекс в минимуме составлял -207 нТл.

Целями настоящей работы являются исследование динамики параметров ионосферы в период до начала главной фазы магнитной бури, на ее главной фазе и на фазе восстановления и изучение их связи с уровнем геомагнитной активности и параметрами солнечного ветра.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В настоящей работе в качестве характеристики ионосферы использовались результаты определения

критической частоты F2-слоя и его высоты на основе анализа ионограмм, полученных Институтом физики атмосферы им. Лейбница вблизи дер. Юлиусрух [<https://www.iap-kborn.de>].

Ионосферная станция «Юлиусрух» (54.6° N, 13.4° E) располагается на северном побережье ост-ва Рюген в северо-восточной Германии. Географические координаты ионозонда: 52.21° N, 21.06° E.

Зондирование выполняется с помощью радиолокационных систем в коротковолновом диапазоне (частоты от 1 до 30 МГц) каждые 15 мин.

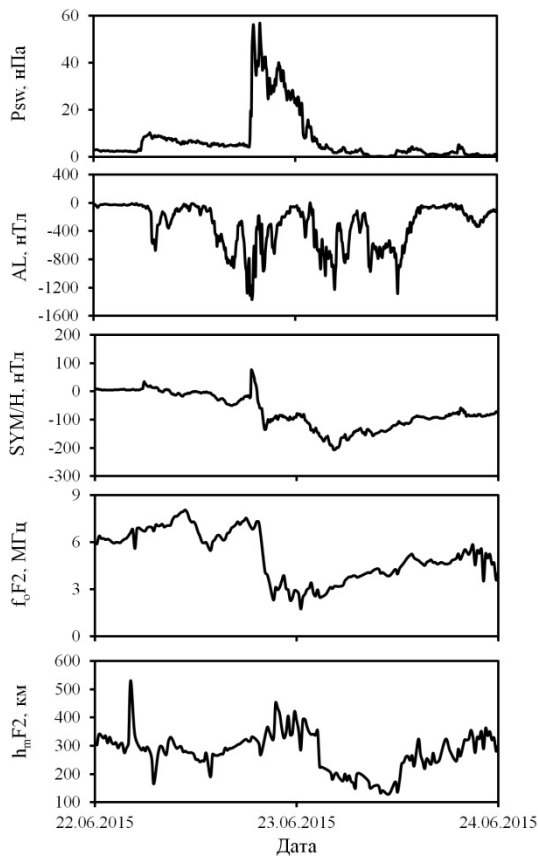
В результате обработки ионограмм были сформированы неэквидистантные цифровые ряды значений f_oF_2 и h_mF_2 с дискретизацией 15 мин.

Кроме того, использовались данные по магнитной активности, размещенные на сайте [<http://spdf.gsfc.nasa.gov>]. В качестве характеристик магнитной активности привлекались усредненные по 5 мин значения индексов геомагнитной активности AL , $SYM-H$ и динамического давления солнечного ветра P_{sw} .

В рамках настоящих исследований для установления зависимости между вариациями магнитной активности и ионосферных параметров применялся метод линейного регрессионного анализа, включающий построение уравнений парной линейной регрессии и оценку их значимости, оценивание ошибок аппроксимации обнаруженных зависимостей по полученным уравнениям регрессии [Weisberg, 2014].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Магнитная буря 22–23 июня 2015 г. ($K_p=9$, $Dst=-207$ нТл) происходила на фоне повышенного



Временные вариации динамического давления солнечного ветра (P_{sw}), параметров магнитной активности (AL и $SYM-H$) и ионосферных параметров (h_mF2 и f_0F2) с 22 по 23 июня 2015 г.

давления солнечного ветра P_{sw} , регистрируемого во время главной фазы бури. На средних широтах наблюдались довольно интенсивные полярные сияния. Геомагнитные условия (т. е. AL , $SYM-H$ и P_{sw}) и характеристики ионосферных параметров (h_mF2 и f_0F2) в период 22–23 июня представлены на рисунке. Анализ данных, представленных на рисунке, показал, что AL -индекс достиг -1370 нТл в 18:50 UT 22 июня, максимальное значение $SYM-H$ -индекса – 207 нТл в 04:25 UT 23 июня.

Анализ зависимостей высоты и критической частоты слоя F2 от параметров магнитной активности и динамического давления солнечного ветра показал, что с увеличением магнитной активности в предбуриевой период наблюдается некоторая тенденция к росту h_mF2 и падению f_0F2 .

Изменение динамического давления солнечного ветра влияет только на поведение критической частоты F2-слоя, но не влияет на его высоту. В период главной фазы магнитной бури f_0F2 практически остается постоянной и примерно равна 3 МГц, h_mF2 демонстрирует сильную зависимость от P_{sw} . На стадии восстановления наблюдается с уменьшением геомагнитной активности как рост критической частоты слоя, так и увеличение высоты его максимума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящих исследований изучена зависимость высоты максимума и критической частоты слоя F2 среднеширотной ионосферы от магнитной активности и динамического давления солнечного ветра в период магнитной бури 22–23 июня 2015 г.

Ионосферные параметры сильно отличаются в период развития бури от параметров в предбуриевой период и на фазе восстановления бури.

Установлены с помощью метода линейного регрессионного анализа зависимости параметров слоя F2 от индексов магнитной активности и динамического давления солнечного ветра в периоды различных фаз магнитной бури.

Полученные в настоящей работе данные согласуются с данными, представленными в работе [Ягодкина и др., 2021].

Экспериментальные исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях», интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Данилов А.Д. Реакция области F на геомагнитные возмущения (обзор). *Гелиогеофизические исследования*. 2013. Вып. 5. С. 1–33.
- Шубин В.Н., Деминов М.Г. Глобальная динамическая модель критической частоты F2-слоя ионосферы. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2019. Т. 59, № 4. С. 461–473.
- Ягодкина О.И., Панченко В.А., Воробьев В.Г. и др. Влияние магнитной активности и давления солнечного ветра на среднеширотную ионосферу во время магнитной бури 22–23 июня 2015 года. *Physics of Auroral Phenomena. Processing of XLIV Annual Seminar. Apatity*, 2021. P. 163–167.
- Atulkar R., Bhardwaj S., Khatarkar P., et al. Geomagnetic disturbances and its impact on ionospheric critical frequency (f_0F2) at high, mid and low latitude region. *Amer. J. Astron. Astrophys.* 2014. Vol. 2, no. 6. P. 61–65.
- Palul K.S., Haralamdous H., Oikonomou C., et al. Multi-station investigation of spread F over Europe during low to high solar activity. *J. Space Weath. Space Clim.* Vol. 8, A27. DOI: 10.1051/swsc/2018006.
- Rishbeth H., Garriott O.K. Introduction to Ionospheric Physics. *Academic press*. 1969. 304 p.
- Tsagour I., Belehaki A., Moraitis G., Mavromichalaki H. Positive and negative ionospheric disturbances at middle latitudes during geomagnetic storms. *Geophys. Res. Lett.* 2000. Vol. 27, no. 21. P. 3579–3582.
- Wang X., Shi J.K., Wang G.J., et al. Responses of ionospheric f_0F2 to geomagnetic activities in Hainan. *Adv. Space Res.* 2008. Vol. 41, no. 4. P. 556–561.
- Weisberg S. Applied Linear Regression. *New Jersey: Wiley*. 2014. 370 p.
- URL: <https://www.iap-kborn.de> (дата обращения 10 мая 2022 г.).
- URL: <http://spdf.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 10 мая 2022 г.).