

УДК 654.16

Шейнер Ольга Александровна¹, д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник,
e-mail: rfj@nirfi.unn.ru

Выборнов Федор Иванович^{1,2}, д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой Физики ВГУВТ, ведущий научный сотрудник НИРФИ, e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

¹Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ) Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия.

^{1,2}Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ), г. Нижний Новгород, Россия.

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА НАДЕЖНОСТЬ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СВЯЗИ НА ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра на характеристики ионосферы. Рассмотрен комплекс параметров космической погоды (тип и скорость корональных выбросов массы, высокоскоростная скорость солнечного ветра), что позволило выявить доминирующие физические связи между динамикой ионосферы и этими двумя солнечными явлениями, которые определяют надежность коротковолновой радиосвязи между морскими судами и берегом, особенно в районе северного морского пути.

Ключевые слова: космическая погода, коротковолновая радиосвязь, ионосферные возмущения, зондирование, техносферная безопасность, морской транспорт.

Введение

В последние годы активно изучается роль высокоскоростных потоков солнечного ветра (HSS) на возникновение геомагнитных возмущений и их влияние на степень возмущенности ионосферы, как среду распространения радиоволн, полностью определяющую надежность дальней коротковолновой связи, особенно в районе северного морского пути. Установлено, что ионосферные бури, связанные с HSS, сопоставимы, а иногда и превосходят бури, связанные с корональными выбросами массы (СМЕ) [см., например, 1]. Первые работы, рассматривающие влияние СМЕ на возникновение ионосферных возмущений [2-5], показывают важность использования значений скоростей высокоскоростных HSS для анализа ионосферных возмущений. Далее приводятся результаты экспериментальных исследований, выполненные на трассах наклонного и вертикального зондирования в центральном и северном регионе европейской части России, влияния HSS и СМЕ на параметры ионосферы, которые определяют надежность коротковолновой радиосвязи и влияют на техносферную безопасность в районах морского судоходства.

Данные и используемые методы

В данной работе для анализа мы использовали ионосферные данные станции вертикального зондирования CADI (г. Васильсурск, Нижегородская область, Россия) и

данные ЛЧМ-станций наклоннозондирования ионосферы на разных трассах Евразийского региона России: трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск и Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск). Параметры пунктов приема-передачи приведены в таблице 1.

Данные вертикального зондирования ионосферы были получены в результате регулярных наблюдений на полигоне НИРФИ «Васильсурск» (56,15° N, 46,10° E).

Таблица 1–Координаты передающих ЛЧМ-станций наклонного зондирования

Трасса	Длина, км	Координаты передающих ЛЧМ-станций
Ловозеро – Васильсурск	1767	68.00°N, 35.02°E
Соданкюля – Васильсурск	1236	67.4°N, 26.6°E
Салехард – Васильсурск	1581	66.52°N, 66.37°E
Горьковская – Васильсурск	1500	60.27°N, 29.38°E

Для исследования возмущений ионосферы по данным вертикального и наклонного зондирования F2 слоя ионосферы использовался новый ионосферный индекс Δf_0F_2 , описанный в работах [3,5].

Анализ полученных результатов

Измерения проводились в августе 2018 г. на серии трасс наклонного и вертикального зондирования ионосферы.

Слабые возмущения геомагнитного поля наблюдались 15–17 августа, когда Dst-индекс достигал значений до -37 нТл. Наблюдались сильные магнитные бури, начавшиеся с увеличения индекса Dst в 03 UT 25.08.18. Основная фаза длилась с 18 UT 25.08.18 до 07 UT 26 августа, когда Dst-индекс достиг своего минимального значения -174 нТл. Фаза восстановления наблюдалась до конца августа 2018 года.

Как и в другие рассматриваемые периоды, на всех трассах прослеживается умеренное уменьшение максимально наблюдаемых частот ΔMOF для слабой геомагнитной бури и сильное мгновенное уменьшение для сильной бури (см. рисунок 1).

Для исследования роль высокоскоростных потоков солнечного ветра и корональных выбросов массы на ионосферные возмущения, связанные с магнитными бурями, использовались данные о скорости протонов солнечного ветра со спутника ACE RTSW (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>) и данные LASCO/C2 (КАТАЛОГ SOHO LASCO CME https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list).

Заключение

Показана четкая временная корреляция отклика всех процессов на магнитные бури на субавроральных трассах, которая выражается в наличии отчетливых предвестников в течение нескольких дней (увеличение Δf_0F_2 и ΔMOF) и их уменьшение во время магнитной бури. Отмечается запаздывание отклика увеличения или уменьшения Δf_0F_2 в Васильсурске относительно остальных трасс.

Результаты эксперимента на трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск, Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (ст.

Горьковская Ленинградской области-Васильсурск) трассах, полученных в спокойных и возмущенных условиях, подтверждают и дополняют ранее полученные результаты исследований распространения КВ сигналов на высокоширотных трассах при магнитно-ионосферных возмущениях различной интенсивности [6].

Полученные результаты экспериментальных исследований, выполненные на трассах наклонного и вертикального зондирования в центральном и северном регионе европейской части России, показывают сильное влияние HSS и CME на параметры ионосферы, что ограничивает надежность коротковолновой радиосвязи и может повлиять на степень техносферной безопасности в районах морского судоходства.

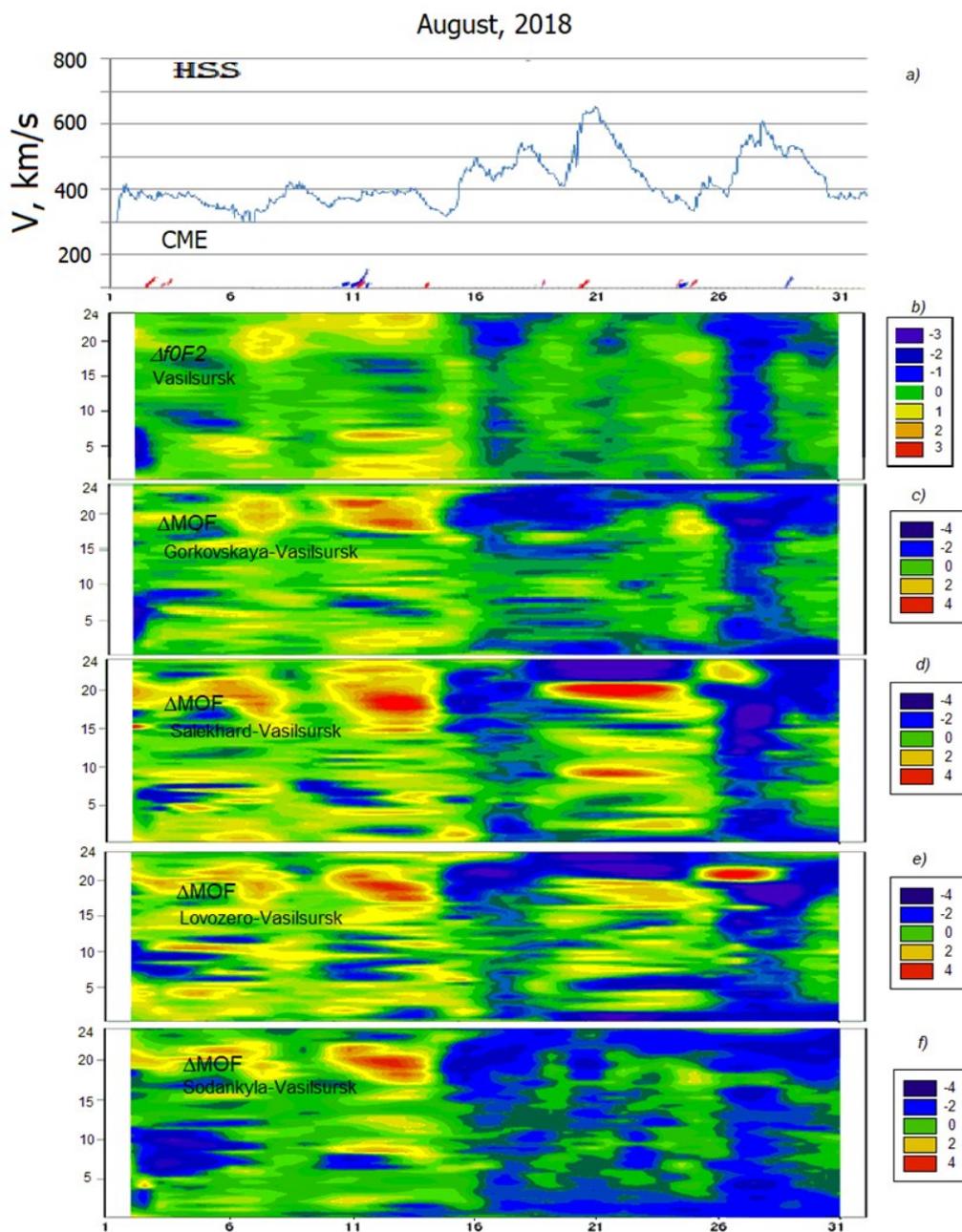


Рисунок 1 - Результаты совместного анализа скорости высокоскоростных потоков солнечного ветра (а) и данных наклонного зондирования ионосферы по 4 трассам (b-f) за август 2018 г.; горизонтальная ось – дни месяца; вертикальная ось – время суток (UT)

Исследования выполнены по проекту № 0729-2020-0057 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Обработка данных наклонного ЛЧМ зондирования ионосферы выполнена в рамках гранта РНФ №20-17-00050.

Список литературы:

1. Turner, N.E., Cramer, W.D., Earle, S.K., Emer, B.A. Geoefficiency and energy partitioning in CIR-driven and CME-driven storms. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 71.2009. P.1023-1031.
2. Fridman, V., Sheiner, O., Krupenya, N., Mityakova, E., Rakhlin, A. CME effects on ionospheric condition. In: «Solar Wind Effects on Ionospheric Convection», Abstracts First SRAMP Conference. Session S5. Sapporo, October 2-6. 2000. P. 126.
3. Sheiner, O.A., Fridman, V.M., Krupenya, N.D., Mityakova, E.E., Rakhlin, A.V., 2002. Effect of solar activity on the Earth' environment. In: Huguette Sawaya-Lacoste (Ed.), *Second Solar Cycle and Space Weather, Proc. Euroconference ESA SP-477* (Vico Equense: ESA), pp. 479–481.
4. Rakhlin, A., Sheiner, O., Vybornov, F., Pershin, A., 2018. About factors of solar radiation influenced on the ionosphere. In: «Space Weather on the Heliosphere: Processes and Forecasts», *Proceedings IAU Symposium 335*, pp. 171-174.
5. Sheiner, O., Rakhlin, A., Fridman, V., Vybornov, F., 2020. New ionospheric index for Space Weather service. *Adv. Space Res.* 66. P. 1415–1426.
6. Uryadov, V.P., Vybornov, F.I., Kolchev, A.A., Vertogradov, G.G., Sklyarevsky, M.S., Egoshin, I.A. et al., 2018. Impact of heliogeophysical disturbances on ionospheric HF channels. *Advances in Space Research.* 61. P. 1837-1849.

INFLUENCE OF HELIO-GEOPHYSICAL ACTIVITY ON RELIABILITY OF SHORT-WAVE COMMUNICATION IN TRANSPORT

Olga A. Sheiner, Fedor I. Vybornov

Abstract. The results of studies of the influence of coronal mass ejections and high-velocity solar wind streams on the characteristics of the ionosphere are presented. A set of space weather parameters (type and speed of coronal mass ejections, high-speed solar wind speed) is considered, which made it possible to reveal the dominant physical relationships between the ionospheric dynamics and these two solar phenomena, which determine the reliability of short-wave radio communication between ships and the coast, especially in the area of the northern sea way.

Keywords: space weather, shortwave radio communication, ionospheric disturbances, sounding, technospheric safety, maritime transport.