

УДК 629.039.58

**Выборнов Федор Иванович**<sup>1,2</sup>, д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой Физики ВГУВТ, ведущий научный сотрудник НИРФИ ННГУ, e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

**Шейнер Ольга Александровна**<sup>2</sup>, д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник НИРФИ ННГУ, e-mail: rfj@nirfi.unn.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ), г. Нижний Новгород, Россия.

<sup>2</sup>Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИРФИ ННГУ), г. Нижний Новгород, Россия.

## ОТКАЗЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТА И ИХ СВЯЗЬ С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

*Аннотация.* Проведено сопоставление данных о высокоскоростных потоках солнечного ветра, корональных выбросах масс и состоянием ионосферы в дни, когда наблюдались отказы в работе систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта. Для оценки степени ионосферных возмущений по данным вертикального зондирования ионосферы использовался ранее предложенный авторами ионосферный индекс. Показано, что этот индекс может быть индикатором состояния гелиогеофизической активности, когда наблюдаются отказы в работе систем управления. Обсуждаются возможности прогнозирования отказов в работе таких систем по данным о высокоскоростных потоках солнечного ветра.

*Ключевые слова:* транспорт, отказы, системы управления, гелиогеофизическая активность, ионосфера, космическая погода.

### Введение

Существуют отказы в работе систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта, которые не могут быть объяснены техническими причинами. Первым событием такого рода был случай на Нью-Йоркской железной дороге 13 мая 1921 г. [1], которому предшествовала сильная вспышка на Солнце. Началась магнитная буря, во время которой наблюдались полярные сияния на средних широтах, прекратила работу телефонная и телеграфная связь на части Европы.

Изменения гелиогеофизической обстановки оказывают сильное влияние на ионосферу Земли – меняются критические частоты, наблюдается сильное поглощение радиоволн коротковолнового диапазона, а это влияет на работу систем дальней связи, загоризонтной радиолокации, спутниковой навигации. Для диагностики ионосферных возмущений по данным станций вертикального зондирования в [2] был разработан метод исследований, основанный на вычислении отклонения  $\Delta f$  критической частоты ионосферного слоя F2 от среднемесячных значений, который используется в данной статье для выяснения причин возникновения ионосферных возмущений в периоды мощных солнечных событий.

В настоящее время накоплен значительный материал и хорошо известны случаи сбоев и аварий в работе линий электропередач (ЛЭП), систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта, трубопроводов индуцированными токами, вызванными возмущениями геомагнитного поля Земли во время солнечных вспышек; нарушается работа искусственных спутников Земли [1,3-5]. Ниже приводятся результаты анализа данных о высокоскоростных потоках солнечного ветра, корональных выбросах масс и состоянием ионосферы в дни, когда наблюдались отказы в работе систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта Северной дороги, располагающейся преимущественно на севере и северо-востоке Европейской части России.

### **Результаты сопоставления гелиогеофизических данных со случаями отказов в работе систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта**

Для анализа использовались события со случаями отказами, которые приведены в работах [3,4]. В Таблице 1 приведена выборка данных для Северной дороги за октябрь-ноябрь 2003 г., июль и ноябрь 2004 г., исходя из наличия данных по критическим частотам F2 слоя ионосферы, полученным по данным ионосферных станций Juliusruh (Германия) и Millstone Hill (Шотландия).

*Таблица 1 – Случаи отказов на Северной дороге*

Дата	Kp	Ap	Dst (nT)	Время (UT)	Местное время (час)
29 октября 2003 г.	9	204	-345	19:15–21:33	-2.0–0.3
30 октября 2003 г.	9	191	-401	19:50–21:16	22.6–24.0
20 ноября 2003 г.	9	150	-472	15:37–22:40	-5.6–1.4
22 июль 2004 г.	8	154	-148	23:10–24:00	1.9–2.7
24 июль 2004 г.	8			12:18–12:50	15.0–15.6
25 июль 2004 г.	8			02:20–07:05	5.1–10.6
8 ноября 2004 г.	9	161	-373	23:40–24:41	2.4–3.4
9 ноября 2004 г.	9			02:22–07:55	5.1–10.6
10 ноября 2004 г.	9			19:50–21:20	22.6–24.1

На рисунке 1 в графической форме приведены результаты сравнительного анализа данных: а – скорости протонов в солнечном ветре со спутника ACE RTSW (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>), б – регистрация корональных выбросов массы (CME) ([https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/)), в и г – временное поведение ионосферного индекса  $\Delta f$  слоя F2, полученных по данным вертикального зондирования ионосферы на ионосферных станциях Millstone Hill (Шотландия) и Juliusruh (Германия), полученное аналогично [2], д – поведение случаев отказов на Северной дороге за ноябрь 2004 г.

### **Заключение**

Как видно из рисунка 1, степень ионосферных возмущений различна в течение месяца. 8–9 ноября регистрируется достаточно сильное уменьшение  $\Delta f$  слоя F2 (до 3 МГц), что, очевидно, связано со скоростью протонов в солнечном ветре. Резкое увеличение скорости протонов солнечного ветра и последствие нескольких CME, зарегистрированных ранее, сыграли определяющую роль в появившихся ионосферных возмущениях и наблюдавшихся случаях отказов в работе систем управления и сигнализации движения железнодорожного транспорта Северной железной дороги.

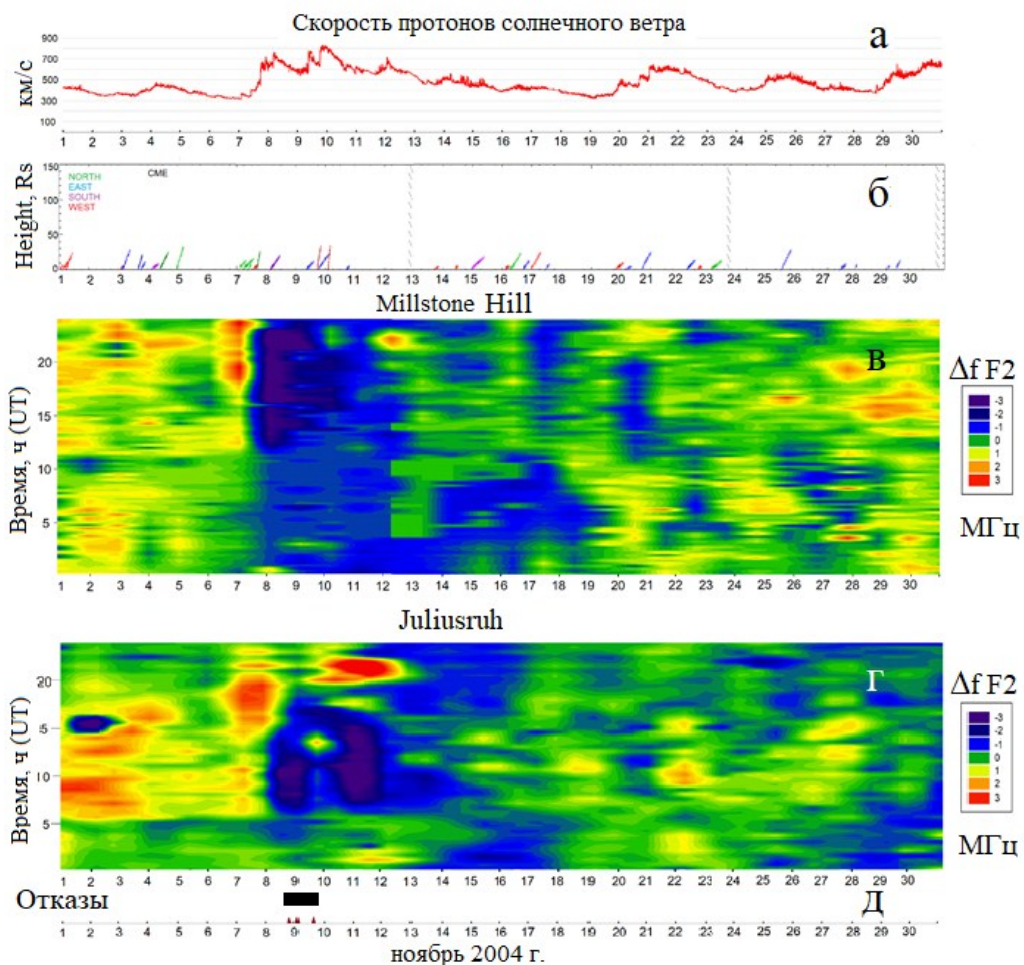


Рисунок 1 – а – скорости протонов в солнечном ветре, б – солнечные корональные выбросы массы, в и г – поведение ионосферного индекса  $\Delta f$  слоя F2 ионосферы, полученное по данным вертикального зондирования ионосферы на ионозондах Juliusruh и Millstone Hill, д – случаи отказов на Северной железной дороге за ноябрь 2004 г.

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

#### Список литературы:

1. Пилипенко В.А. Воздействие космической погоды на наземные технологические системы // Солнечно-земная физика. Т. 7. № 3. С. 72–110. 2021. DOI: 10.12737/szf-73202106.
2. Sheiner O., Rakhlin A., Fridman V., Vybornov F. New ionospheric index for Space Weather service // Adv. Space Res. V. 66. N 6. P. 1415–1426. 2020.
3. Ptitsyna N.G., Kasinskii V.V., Villoresi G., Lyahov N.N., Dorman L.I., Iucci N. Geomagnetic effects on mid-latitude railways: A statistical study of anomalies in the operation of signaling and train control equipment on the East-Siberian Railway // Adv. Space Res. V. 42. P. 1510–1514. 2008. doi:10.1016/j.asr.2007.10.015.
4. Eroshenko E.A., Belov A.V., Boteler D., Gaidash S.P., Lobkov S.L., Pirjol R., Trichtchenko L. Geomagnetic effects on mid-latitude railways: A statistical study of anomalies in the operation of signaling and train control equipment on the East-Siberian Railway // Adv. Space Res. V. 42. P. 1510–1514. 2008. doi:10.1016/j.asr.2007.10.015.

5. Сахаров Я.А., Ягова Н.В., Пилипенко В.А. Геомагнитные пульсации PC5/PI3 и геоиндуцированные токи // Известия Российской академии наук. Серия физическая. Т. 85. № 3. С. 445-450. 2021. DOI: 10.31857/S0367676521030236.

## **FAILURES IN TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS AND THEIR RELATION TO HELIOGEOPHYSICAL ACTIVITY**

Fedor I. Vybornov, Olga A. Sheiner

*Abstract.* Data on high-speed solar wind streams, coronal mass ejections, and the state of the ionosphere on days when there were failures in the operation of railway transport control and signaling systems were compared. The ionospheric index proposed earlier by the authors was used to estimate the degree of ionospheric disturbances according to the data of vertical sounding of the ionosphere. It is shown that this index can be an indicator of the state of heliogeophysical activity in case of failures in the operation of control systems. The possibilities of predicting failures in the operation of such systems from data on high-speed solar wind streams are discussed.

*Key words:* transport, failures, control systems, geophysical activity, ionosphere, space weather.