



ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПОТОКИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

О.А. Шейнер¹, Ф.И. Выборнов^{1,2}

1 НИРФИ ННГУ им.Н.И.Лобачевского, (НИРФИ ННГУ), Нижний Новгород

2 ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Нижний Новгород

rfj@nirfi.unn.ru

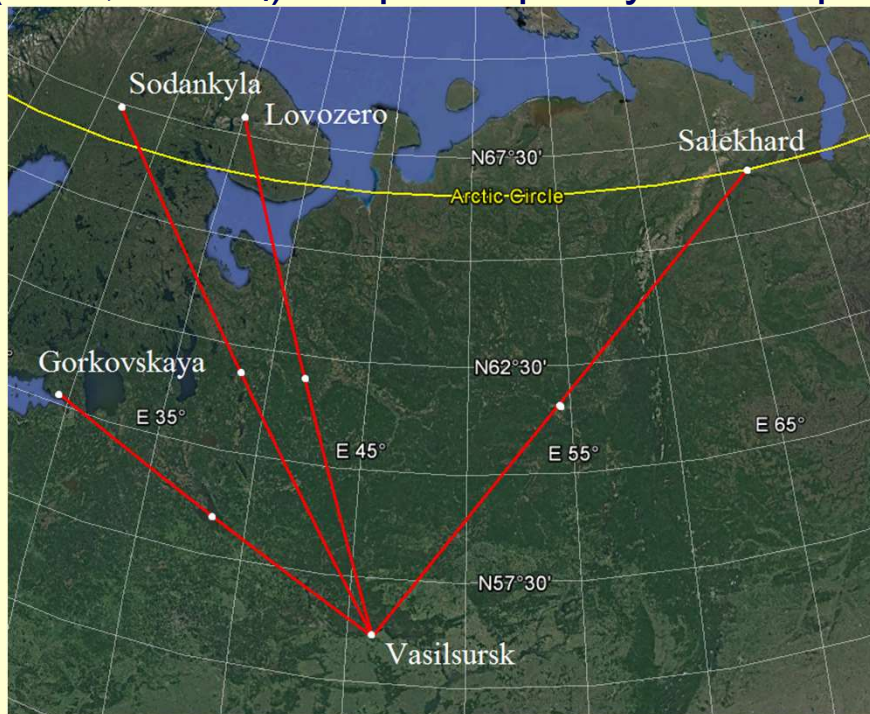
Работа выполнена по проекту № 0729-2020-0057 в рамках базовой части
Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Введение

Совокупность явлений на Солнце, в космическом пространстве и межпланетной среде оказывает воздействие на процессы в околоземном космическом пространстве. Первичным источником возмущений являются вариации солнечного излучения, а перенос возмущений осуществляется волнами и частицами в межпланетной среде, магнитосфере и ионосфере Земли. Много лет проводятся исследования по определению геоэффективности различных физических явлений, возникающих на Солнце. В большинстве случаев четко прослеживается связь между вариациями данных о солнечном излучении, измеренных с помощью искусственных спутников, и параметрами, относящимися к верхним слоям атмосферы Земли. Опубликован ряд работ, в которых рассматривается влияние интенсивных солнечных вспышек на ионизацию верхней атмосферы, а также подтверждена связь между поведением критической частоты ионосферы f_0F_2 и солнечными вспышками. В ряде работ представлены результаты, относящиеся к анализу косвенного воздействия HSS на ионосферу. Однако непосредственная реакция ионосферных характеристик на высокоскоростной поток солнечного ветра не рассматривалась. В данном докладе представлена иллюстрация ионосферного отклика на высокоскоростные потоки солнечного ветра.

1. Данные

Используются данные наклонного зондирования ионосферы, полученные на трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск и Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск) трассах, а также вертикального зондирования для среднеширотной ионосферной станции (Васильсурск) во время нескольких солнечных событий, произошедших в 24 солнечном цикле (сеть трасс наклонного зондирования схематически приведена на рисунке). Максимально наблюдаемая частота наклонного зондирования (MOF, в МГц) характеризует критическую частоту ионосферного слоя F2 в точке отражения и геометрию пути. Данные вертикального зондирования ионосферы дают самую высокую частоту отражения, критическую частоту слоя ионосферы F2 (f_0F_2 , в МГц). Параметры пунктов приема-передачи приведены в таблице 1.



Трассы	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

Приемопередающие пункты Горьковская (Ленинградская область) и Соданкюля расположены практически на одной долготе (по середине путей), а приемопередающие пункты Соданкюля, Ловозеро и Салехард расположены практически на одной широте (по середине трассы). Данные вертикального зондирования ионосферы критической частоты слоя ионосферы F2 получены в результате регулярных наблюдений в Ионосферно-радио-астрономической обсерватории НИРФИ ННГУ «Васильсурск» (56,15° с.ш., 46,10° в.д., вблизи Нижнего Новгорода). Васильсурск расположен на долготе между Соданкюлей и Салехардом.

МОФ для траекторий наклонного зондирования определялись с помощью ионозондового пеленгатора с ЛЧМ-сигналом на 4-х трассах ЛЧМ-зондирования, упомянутых выше. В этом эксперименте передатчики ЛЧМ в Ловозере, Салехарде и Горьковской работали круглосуточно. Зондирование проводилось в диапазоне частот 2–29 МГц, скорость перестройки частоты 550 кГц/с, период зондирования 15 мин. Передатчик в г. Соданкюля работал в диапазоне частот 2–16 МГц, диапазон перестройки частоты 500 кГц/с, интервал зондирования 5 мин. Данные f_0F2 были получены с использованием установленного канадского усовершенствованного цифрового ионозонда (CADI) (www.sil.sk.ca), а рабочая программа регулярных наблюдений позволяла получать ионограммы не реже одного раза в 15 мин. Точность определения критической частоты не превышала 50 кГц.

Для приема ЛЧМ-сигналов в Васильсурске использовались ЛЧМ-приемо-передающие станции производства ООО «СИТКОМ» - базовая радиопередающая станция (БРПС) для диагностики ионосферы и КВ радиолинии с ЛЧМ-сигналами.

2. Метод

Исследование возмущений в данных вертикального и наклонного зондирования основано на отклонении критической частоты ионосферного слоя F2 (Δf_0F_2) и максимальной наблюдаемой частоты (ΔMUF) для траекторий наклонного зондирования:

$$\Delta f_0F_2_{jk} = f_0F_2_{jk} - \overline{f_0F_2_j}, \quad \text{где}$$
$$\overline{f_0F_2_j} = \sum_{k=1}^N f_0F_2_{jk} / N$$

Здесь: $f_0F_2_{jk}$ - каждая измеренная точка, j - номер точки в течение дня, k - номер дня в месяце. N - количество дней в месяце. Аналогичная процедура используется для ΔMUF .

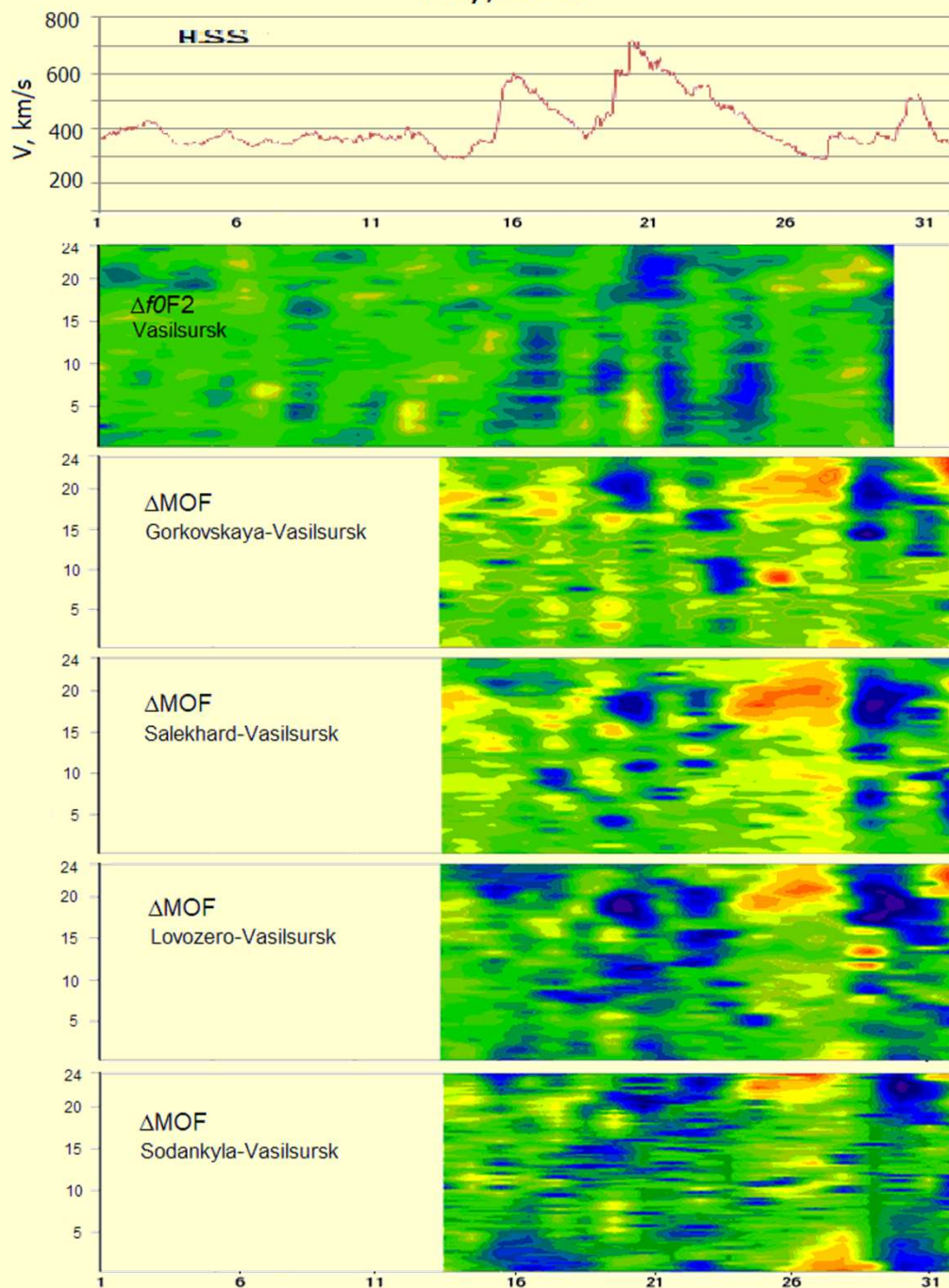
Для изучения роли высокоскоростных потоков солнечного ветра в ионосферных возмущениях в каждый рассматриваемый период мы используем данные о скорости протонов солнечного ветра со спутника ACE RTSW (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>).



3. Результаты

Май 2017 г.

May, 2017

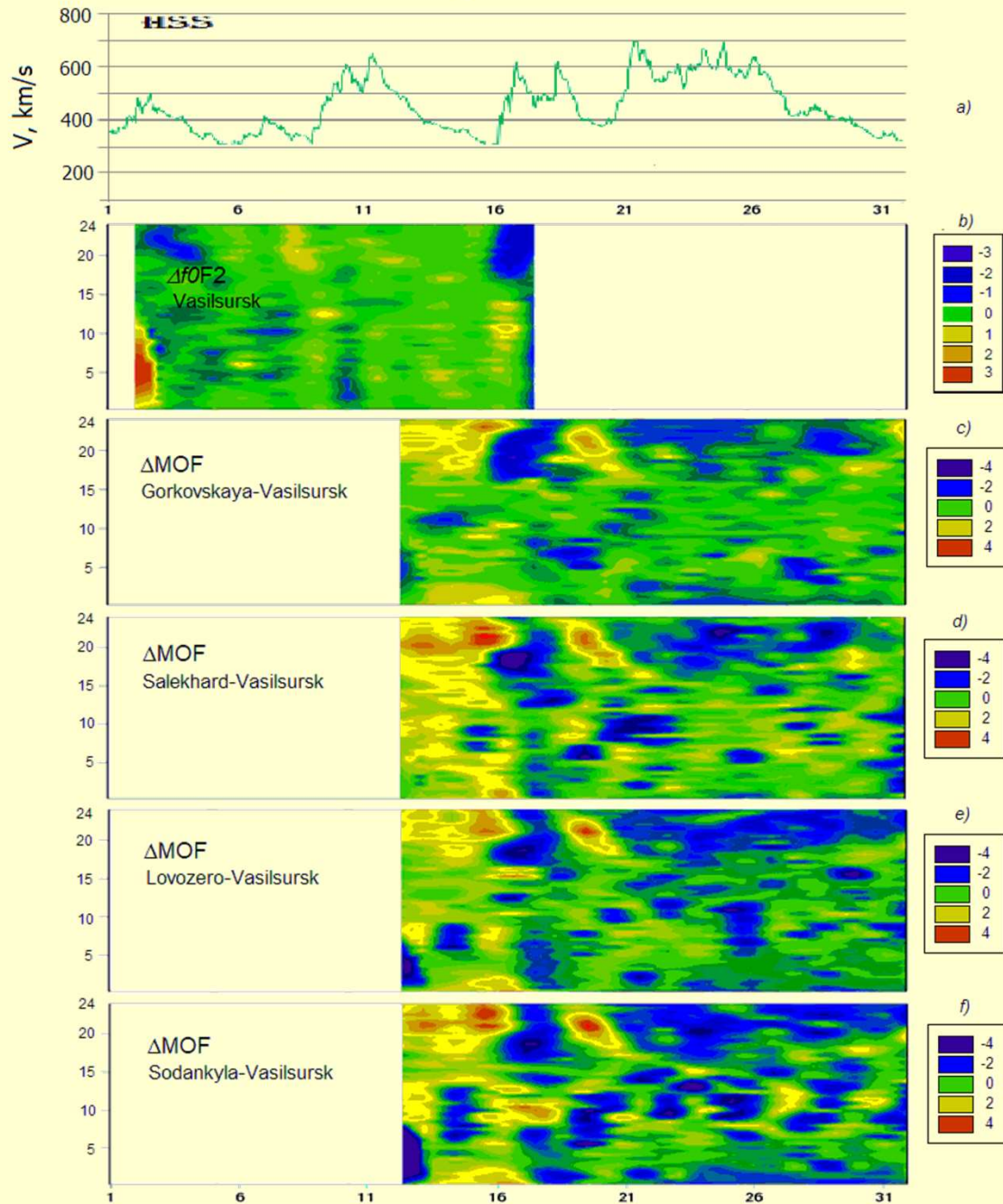


На данном рисунке, как и на всех последующих, показаны Δf_0F_2 и ΔMOF для всех траекторий наклонного зондирования; горизонтальная ось - дни месяца; вертикальная ось - время суток (UT)

Как на среднеширотной трассе Горьковская-Васильсурск, так и на субавроральных трассах прослеживается сильное уменьшение на несколько МГц (синий цвет) мгновенных значений Δf_0F_2 и ΔMOF . Кроме того, наблюдается небольшое увеличение уровня депрессии в продольном направлении (Рис. 3b-3f). Нет временной задержки по широте или долготе на субавроральных и среднеширотных путях. Сильное уменьшение на несколько МГц мгновенных значений Δf_0F_2 и ΔMOF , зарегистрированное на всех трассах, наблюдается при высокой скорости HSS (около 700 км/с).

Июль 2017 г.

July, 2017



На всех трассах показано присутствие ионосферных возмущений (уменьшение мгновенных значений Δf_0F_2 и ΔMOF на несколько МГц) во время резкого (в 2 раза) увеличения скорости HSS 16 июля.

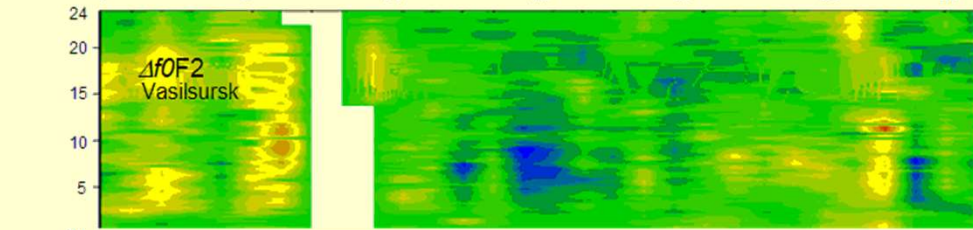
Уменьшение Δf_0F_2 и ΔMOF в период 21-26 июля совпадает по времени с HSS, имеющим скорость 600-700 км/с

Сентябрь 2017 г.

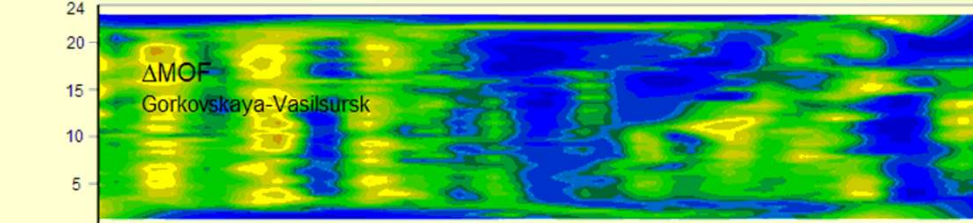
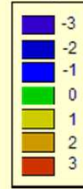
September, 2017



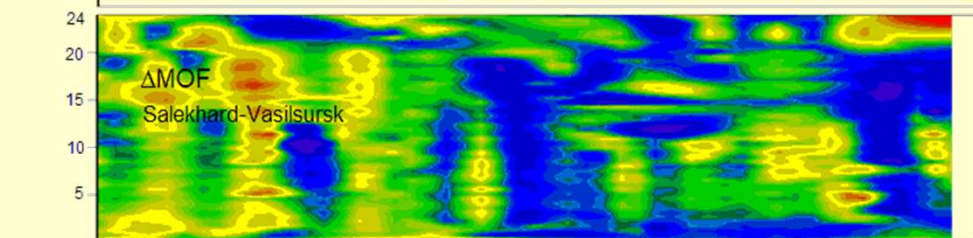
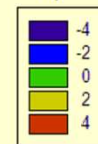
a)



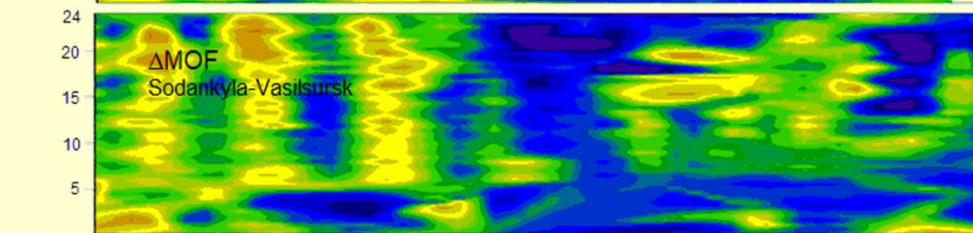
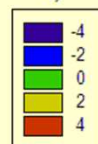
b)



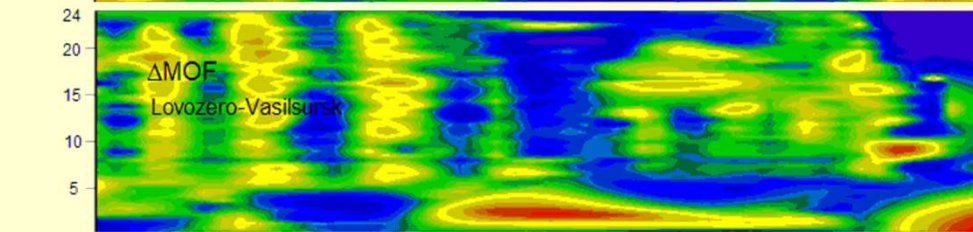
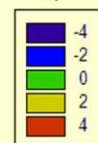
c)



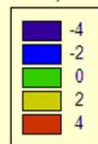
d)



e)



f)



На всех трассах наблюдается коррелированное возникновение сильных ионосферных возмущений.

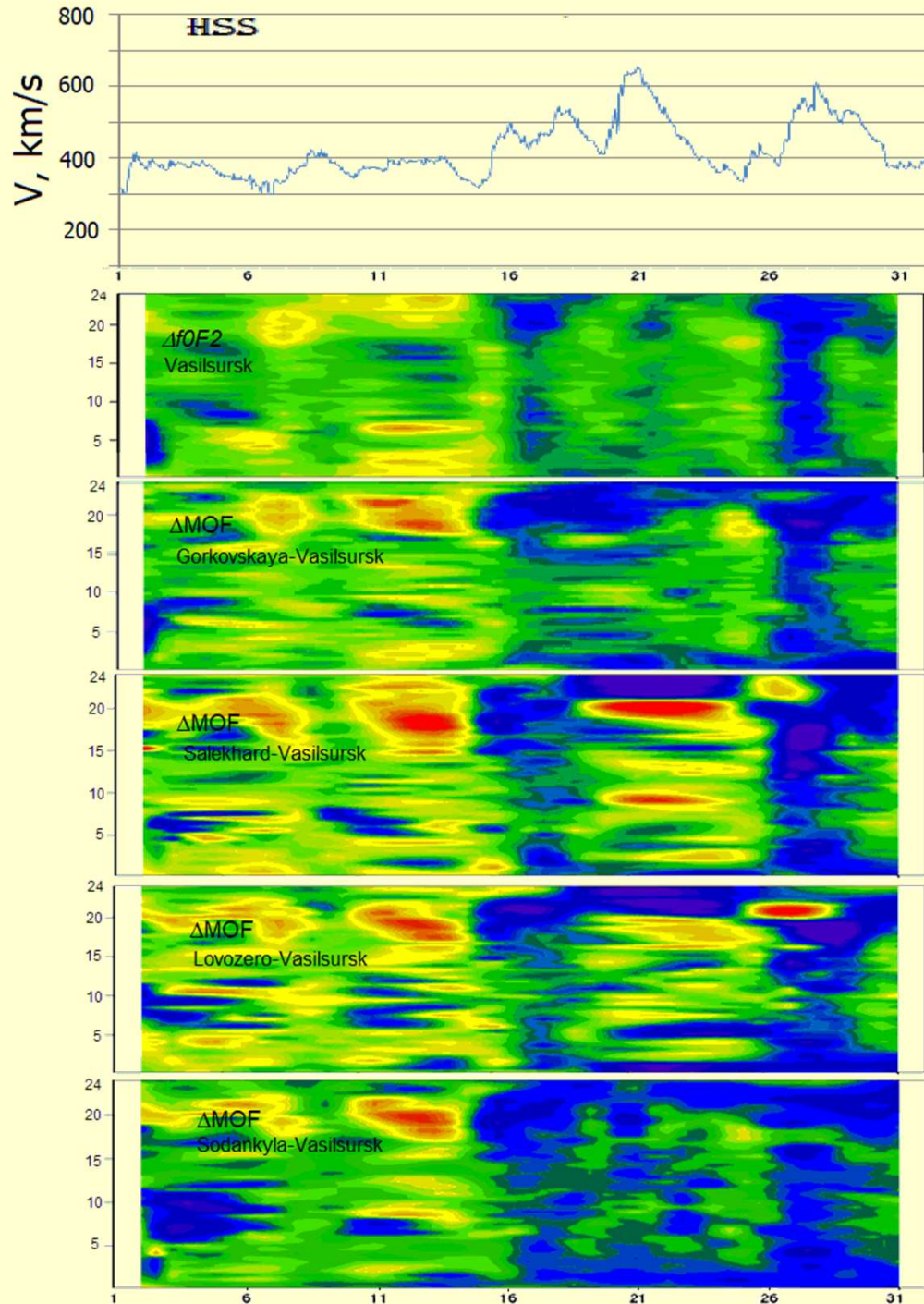
Так, 08.09.17 наблюдается уменьшение на несколько МГц мгновенных значений ΔMOF , что совпадает с повышением скорости HSS до 800 км/с,

Сильное влияние оказало увеличение скорости HSS до 700 км/с в период 14-19 сентября: зарегистрировано максимальное снижение ΔMOF до -4 МГц на трассе Соданкюля-Васильсурск.

Резкое повышение скорости HSS 27 сентября до 700 км/с также вызвало ионосферные возмущения, наибольшие на трассе Соданкюля-Васильсурск.

Август 2018 г.

August, 2018



На всех трассах, как и в предыдущие рассматриваемые периоды, наблюдается коррелированное возникновение ионосферных возмущений.

Наблюдаемое уменьшение на несколько МГц мгновенных значений ΔMOF 16-18 августа скорее всего не является ответом на HSS с умеренной скоростью 500 км/с.

В то же время, увеличение скорости HSS с 400 до 650 км/с отразилось, в основном, на понижении величины ΔMOF на трассе Соданкюля-Васильсурск.

Тогда как резкое почти в 2 раза увеличение скорости HSS 26 августа вызвало одновременное уменьшение ΔMOF и Δf_0F_2 на всех рассматриваемых трассах.

4. Заключение

В данном докладе мы представили иллюстрацию реакции ионосферы на высокоскоростные потоки солнечного ветра (HSS).

Получены результаты эксперимента на трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск, Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (станция Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск) трассах в спокойных и возмущенных условиях.

Проведен анализ максимальной наблюдаемой частоты (MOF) ионосферных каналов, а также критической частоты (f_0F_2) ионосферного слоя на среднеширотной ионосферной станции (Васильсурск) с использованием метода, основанного на отклонении частоты, предложенного авторами. ранее.

Результаты исследований влияния высокоскоростных потоков солнечного ветра (HSS) на характеристики ионосферы показали, что HSS влияют на параметры, характеризующие состояние ионосферы.

Благодарим за внимание!