

Использование ЛЧМ-ионозондов для диагностики параметров ионосферных возмущений на слабонаклонных и вертикальной трассах среднеширотной ионосферы

Ф.И. Выборнов

Волжский государственный университет водного транспорта
НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского

*603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, кафедра физики ВГУВТ
vybornov@nirfi.unn.ru*

Аннотация: Приводятся результаты наблюдений ионосферных возмущений естественного и искусственного происхождения на слабонаклонных трассах среднеширотной ионосферы Васильсурск – Нижний Новгород (длиной 120 км) и вертикальной трассе вблизи Васильсурска (с разносом передатчика и приемника ЛЧМ станции около одного километра). Для исследований дополнительно использовалась станция вертикального зондирования ионосферы SADI.

Установлено, что естественные перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) типа серп с характерными временами прохождения около 10 – 15 минут регулярно регистрируются в дневное время суток в возмущенных гелио-геофизических условиях. Чаще всего ПИВ на дистанционно-частотных характеристиках (ДЧХ) наблюдаются в виде примыкающих к регулярному треку ДЧХ серпообразного следа со стороны больших частот, который за 10 – 15 минут спускается к основанию трека. Зарегистрированы случаи как пересечения регулярного трека ДЧХ серпообразным треком от ПИВ, так и расположение серпообразного трека от ПИВ внутри регулярного трека ДЧХ F-слоя ионосферы. Зарегистрированы случаи одновременного появления нескольких ПИВ. В дни регистрации ПИВ, как правило, наблюдаются волнообразные изменения как критических частот F-слоя ионосферы, так и высот отражения от F-слоя ионосферы на фиксированных частотах.

Приводятся результаты наблюдений естественной и искусственной диффузности F-слоя ионосферы как на слабонаклонной, так и вертикальной трассах зондирования. Обсуждаются возможные причины формирования серпообразных треков ПИВ на ДЧХ и их связь с реальными параметрами волновых возмущений электронной концентрации ионосферной плазмы в F-слое ионосферы.

Измерения проводились с использованием ЛЧМ-ионозондов фирмы SITKOM LLT, г. Йошкар-Ола.

Актуальность работы объясняется тем, что в расчетах ионосферного распространения радиоволн широко используется прогностическая справочная модель ионосферы IRI. Однако вариации ионосферы день ото дня, ее зависимость от гелиогеофизических условий, наличие плохо прогнозируемых ионосферных возмущений различных масштабов могут сводить на нет эффективность такого прогнозирования в реальных условиях.

Пояснение: ЛЧМ – линейно-частотно модулированный сигнал.



а

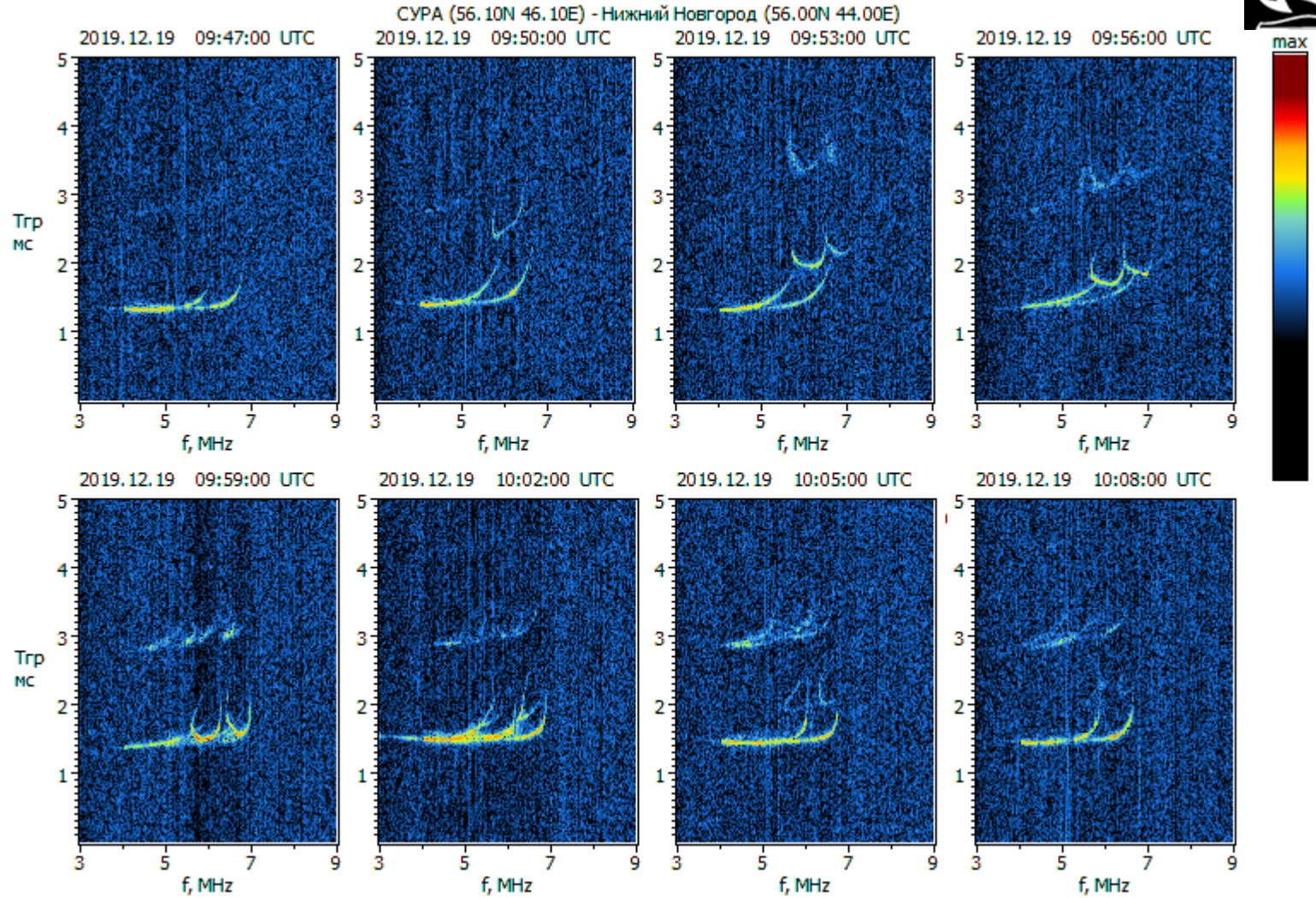
б

Приемо-передающий ЛЧМ-ионозонд в п. Васильсурск (а)
и в г. Нижний Новгород (б) производства SITCOM LLT (г. Йошкар-Ола).



Схема трассы п. Васильсурск - г. Нижний Новгород.

№п/п	Пункт (прием(R)/передача(T))	Координаты
1	п. Васильсурск - Стенд «СУРА» (R/T)	56 ⁰ 7'48"N, 46 ⁰ 4'48"E
2	НИРФИ, г. Н. Новгород (R)	56 ⁰ 19'12"N, 44 ⁰ 1'12"E



Ионограммы по трассе п. Васильсурск (СУРА) – Нижний Новгород
во время наблюдения ПИВ 19 декабря 2019 года.

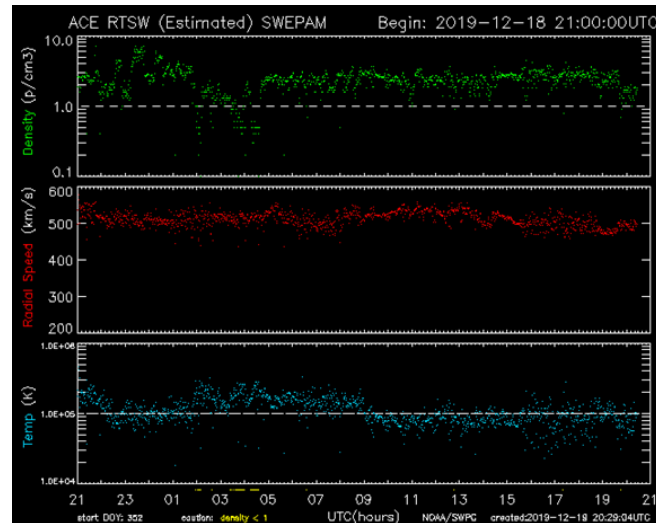
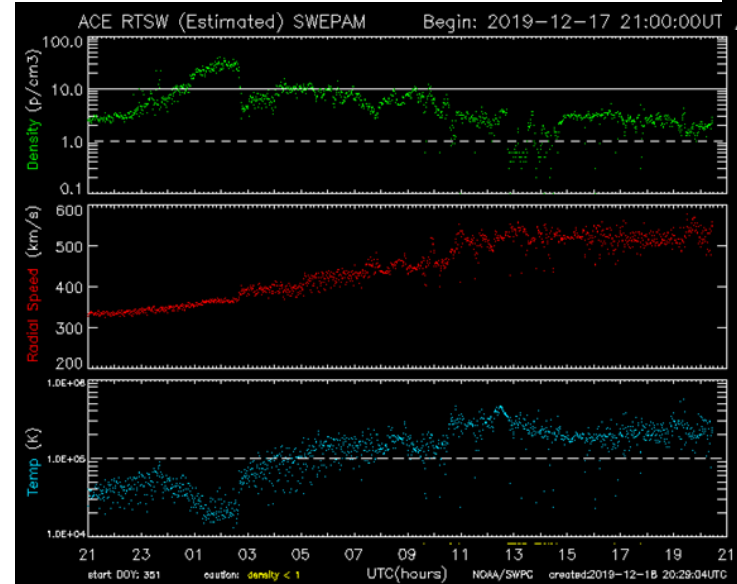
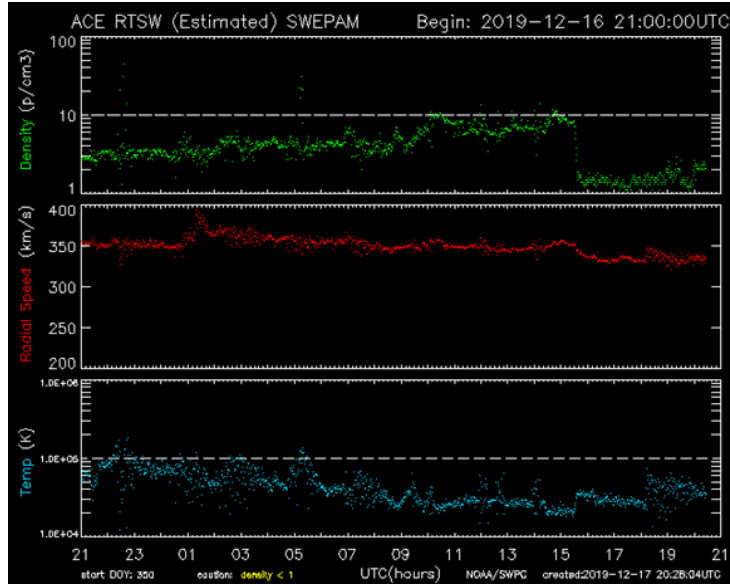
Гелиогеофизическая обстановка 19 декабря 2019 года.

1. Рентгеновское излучение - нет, корональных дыр нет.
2. В конце дня 17.12.2019 был небольшой выброс CME (рисунок прилагается). очень слабый (не LOOP), но направленный на запад, в сторону Земли. После него индекс DST уменьшился до -28 нТ и длительное время сохранялся в этом диапазоне (рисунок прилагается).
3. В то же время, скорость солнечного ветра увеличилась с 300 км/с до примерно 550 км/с и уменьшилась только 19.12.2019 к концу дня наблюдений (см. рисунки далее).

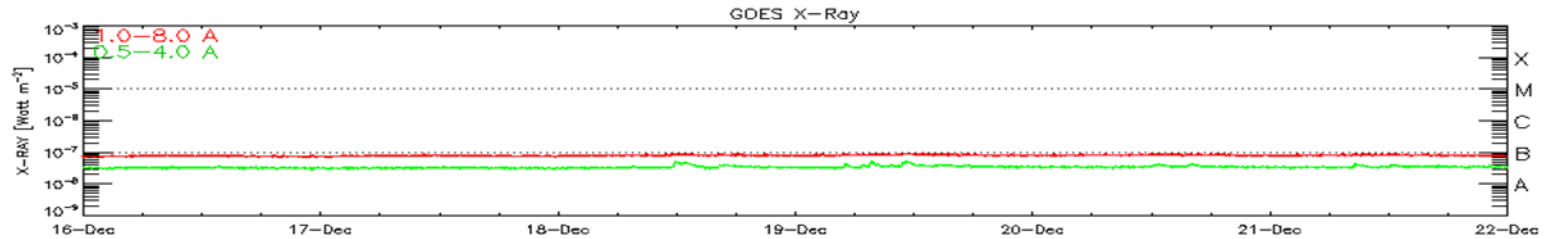
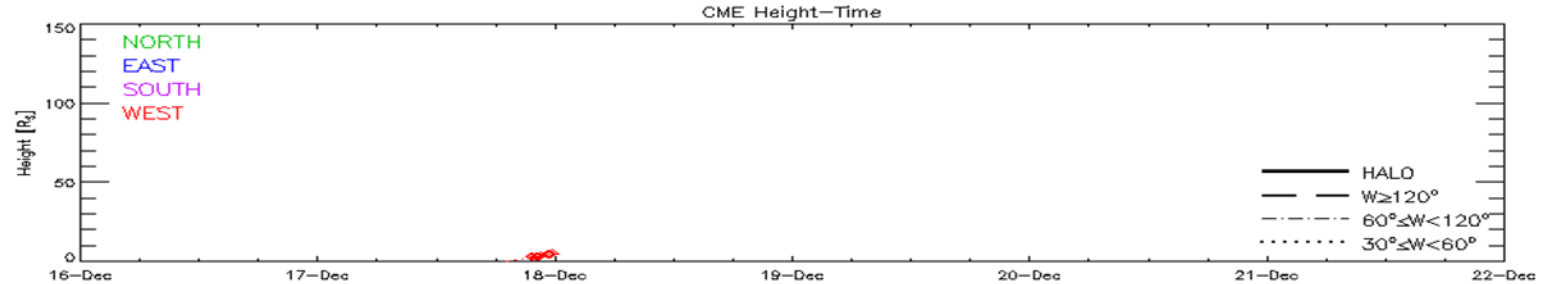
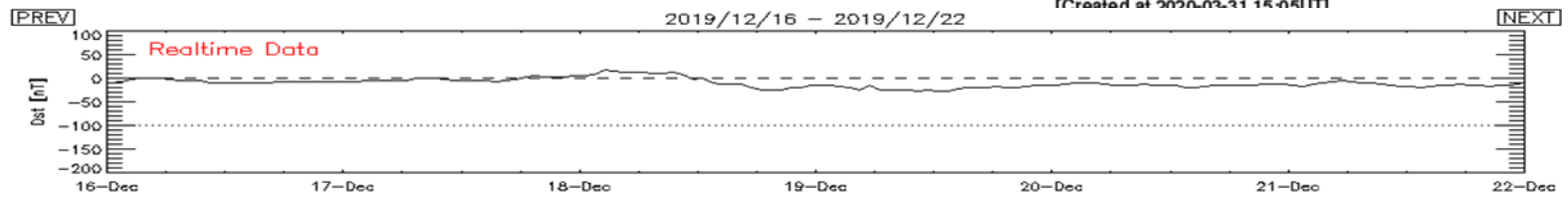
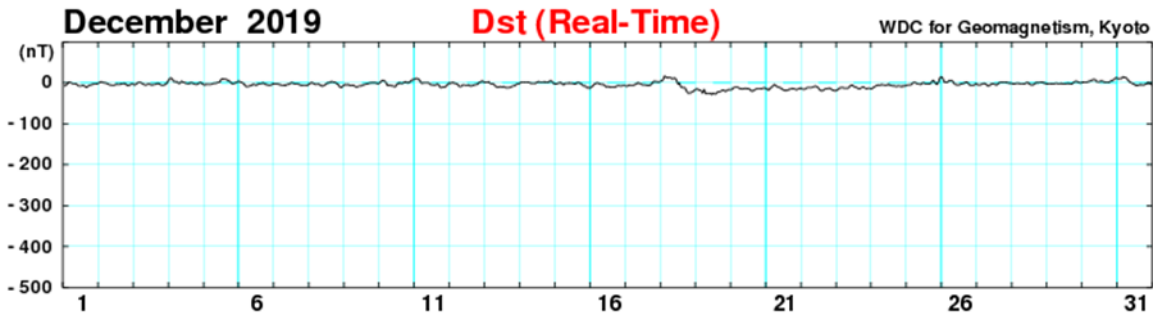
https://www.solarmonitor.org/ace_pop.php?date=20191218&type=aceplasma®ion=
для солнечного ветра

https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/daily_plots/dsthtx/2019_12/dsthtx_20191216.html
CME

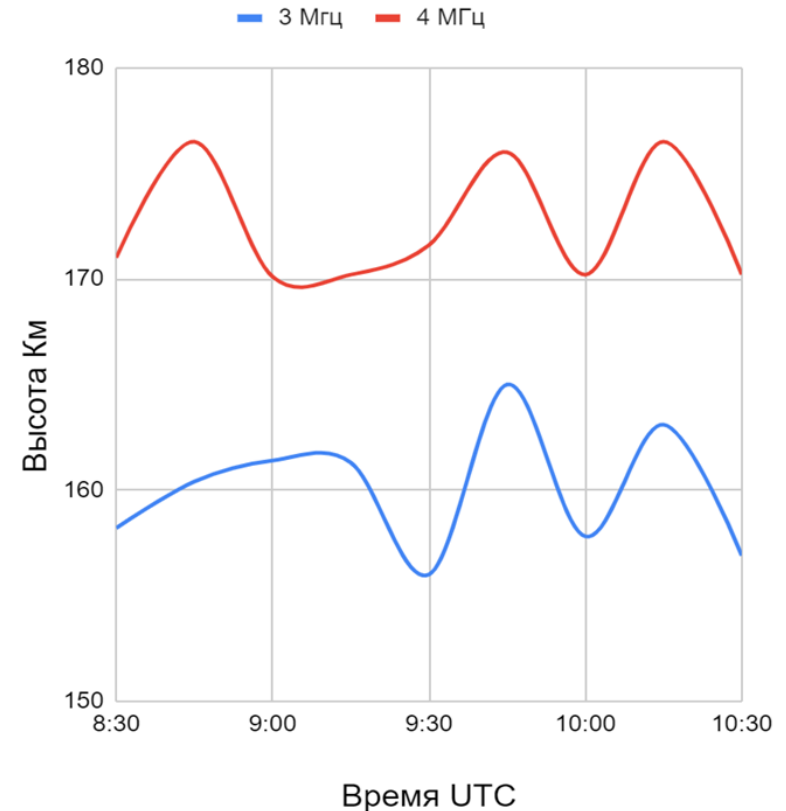
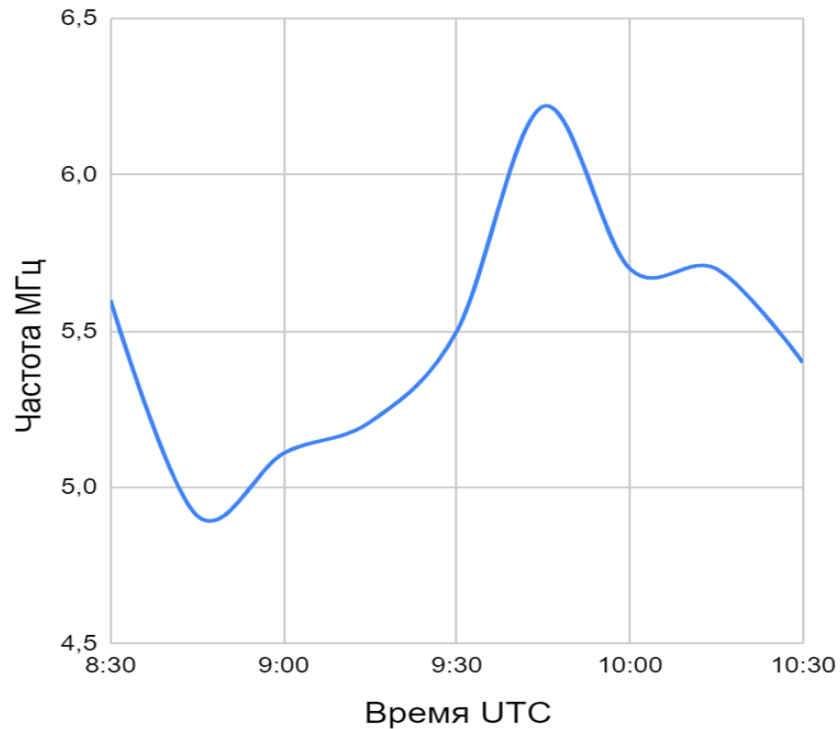
http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201912/index.html
DST



Данные спутника АСЕ 16-17-18 декабря 2019 года.

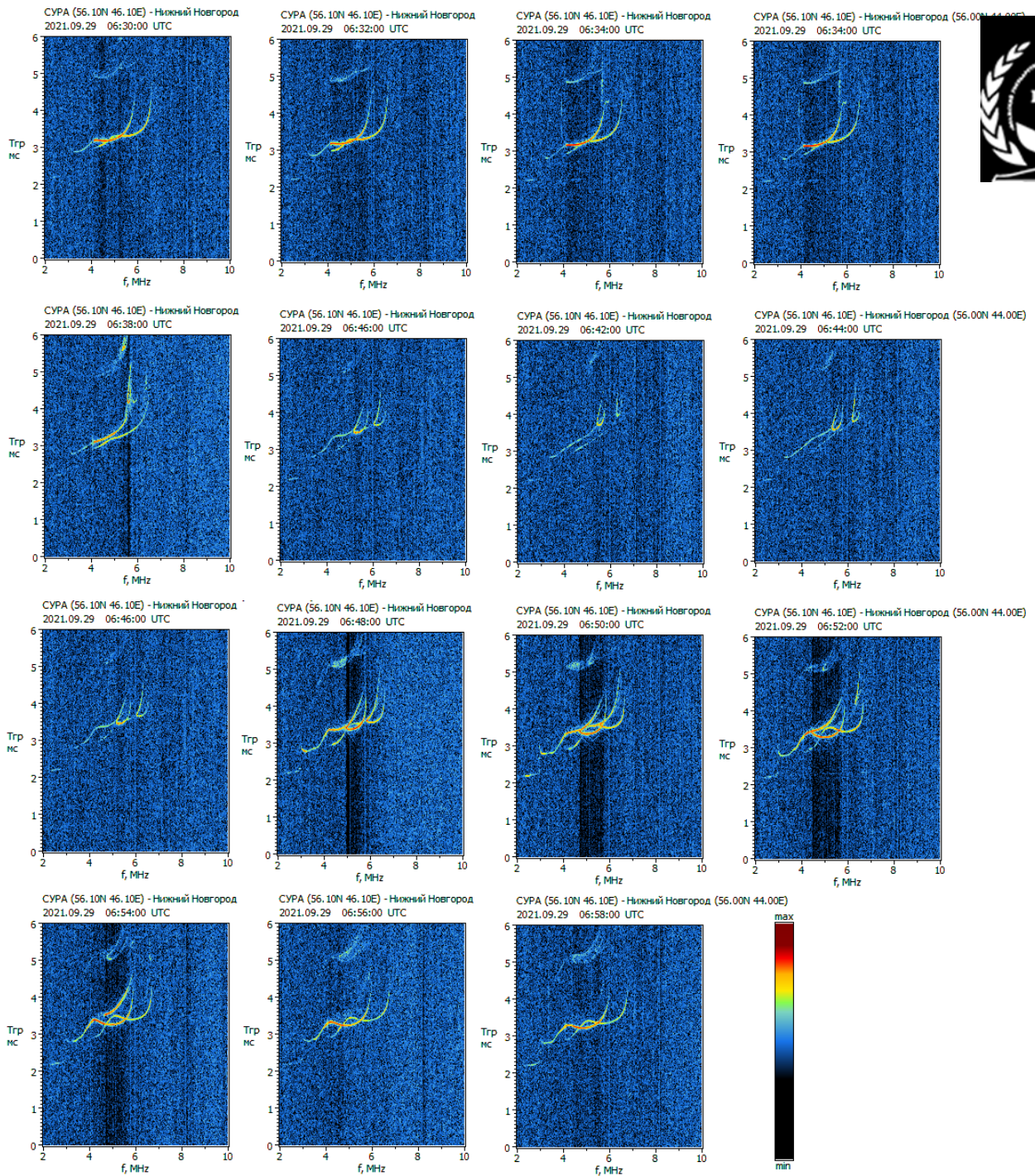


Гелиогеофизическая обстановка
 во время наблюдения ПИВ 19 декабря 2019 года.



Зависимость критических частот от времени (левый) и временной ход истинных высот на частотах 3МГц и 4МГц (правый).

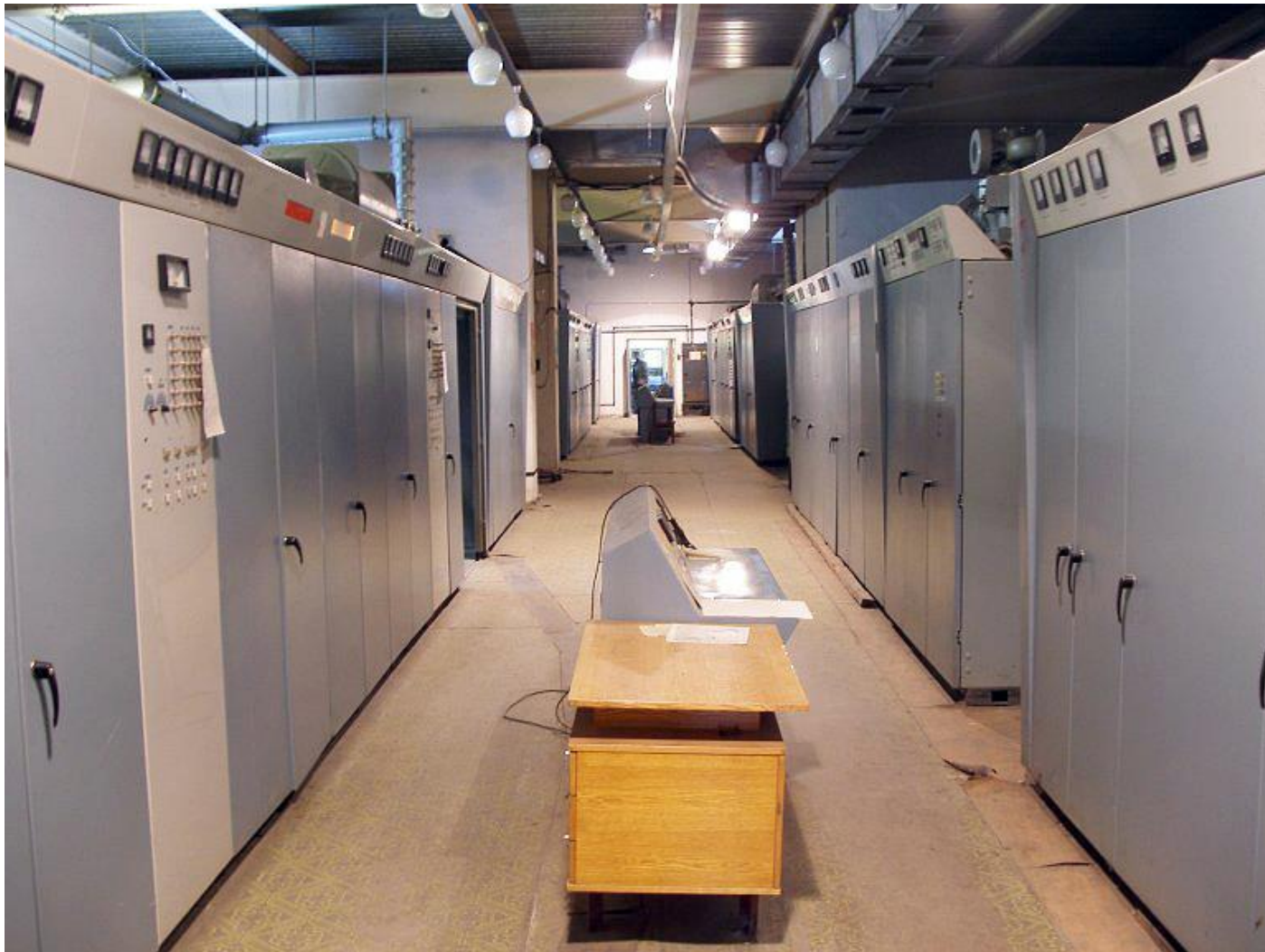
Васильсурск 19 декабря 2019 г.



Инограммы для
трассы
Васильсурск –
Нижний Новгород
29 сентября
2021 г.
с 6:30 до 6:58 UT
во время
регистрации
ПИВ.



Антенное поле стенда СУРА 300x300 м2.

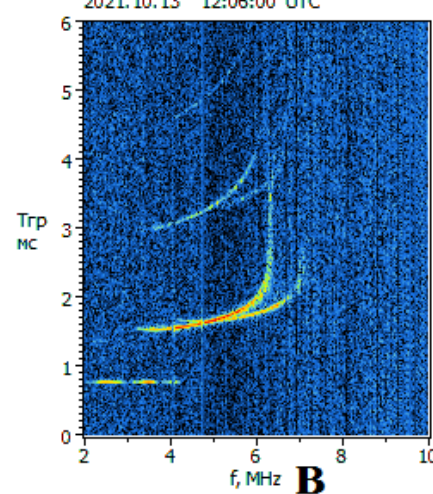
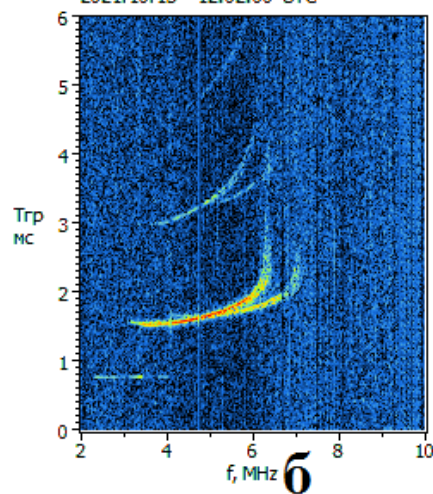
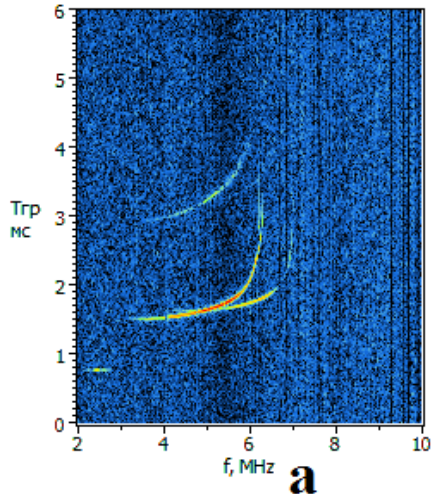


Передатчики ПКВ-250 стенда СУРА

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород
2021.10.13 11:56:00 UTC

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород
2021.10.13 12:02:00 UTC

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород (56.00N 44.00E)
2021.10.13 12:06:00 UTC

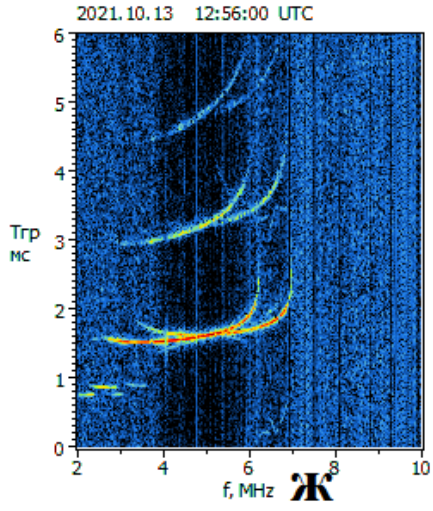
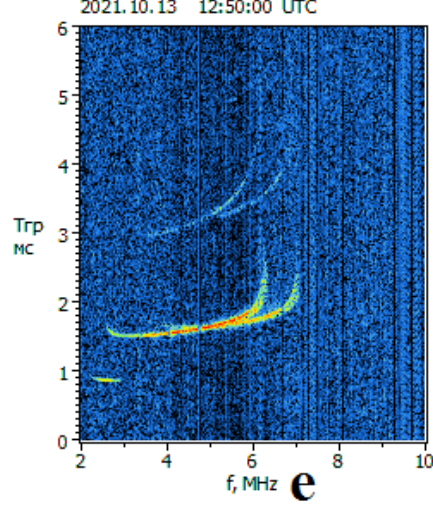
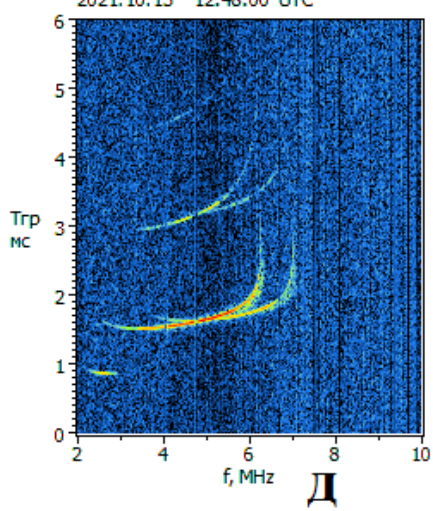
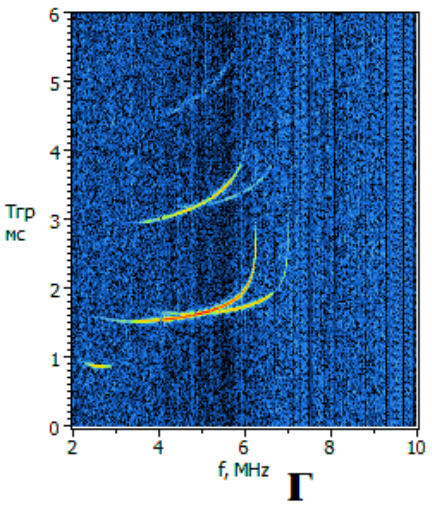


СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород
2021.10.13 12:46:00 UTC

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород
2021.10.13 12:48:00 UTC

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород
2021.10.13 12:50:00 UTC

СУРА (56.10N 46.10E) - Нижний Новгород (56.00N 44.00E)
2021.10.13 12:56:00 UTC



Искусственная диффузность на ионограммах (трасса Васильсурск – Нижний Новгород). а, г – до включения стенда СУРА; в, ж – после выключения.

Список литературы:

1. Ф.И. Выборнов, Э.Е. Митякова, А.В. Рахлин и др. Анализ появляемости перемещающихся ионосферных возмущений типа “серп” на средних широтах // Известия ВУЗов. Радиофизика. 1997. Т.40, № 12. С.1455.
2. Ф.И. Выборнов, Е.Ю. Зыков, А.А. Колчев и др. Регистрация перемещающихся ионосферных возмущений системой синхронно работающих ЛЧМ ионозондов. В сб. Труды XXIV научной конференции по радиофизике, посвященной посвящённой 75-летию радиофизического факультета. Нижний Новгород: ННГУ, 2020. – 530 с. С. 160-164.
3. Г.Г. Вертоградов, В.П. Урядов, Ф.И. Выборнов и др. Моделирование распространения дециметровых радиоволн в условиях волновых возмущений концентрации электронов // Изв. вузов. Радиофизика. 2018. Т. 61, № 6. С. 462.

Выводы

Зарегистрировано прохождение ПИВов разных типов: серпообразных, спускающихся только у О или Х треков F- слоя; одновременных, располагающихся левее или правее основных треков.

Выявлены волнообразные изменения критических частот и высот отражения во время наблюдения ПИВ.

Выполнен анализ геомагнитной обстановки и установлено, что наблюдение ПИВ проходило при слабо возмущенной геомагнитной обстановке. Зависимость появляемости ПИВ от времени суток и наличие геомагнитных возмущений позволяет предположить в качестве источника ПИВ внутренние гравитационные волны, генерируемые терминатором или авроральной областью ионосферы.

Наблюдается искусственная диффузность на ионограммах (трасса Васильсурск – Нижний Новгород) во время работы нагревного стенла СУРА.