Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2024. С. 157–159.

УДК 537.86 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-157

ИОНОГРАММЫ С НЕТИПИЧНЫМИ СЛЕДАМИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ОБСЕРВАТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОГО ФИЛИАЛА ИЗМИРАН В 2023 ГОДУ

А.А. Климанова, А.В. Тимченко, М.В. Клименко

Калининградский филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук, Калининград, Россия,
klimanova.nastasya@internet.ru

IONOGRAMS WITH UNIQUE TRACES OBTAINED AT THE OBSERVATORY OF WD IZMIRAN IN 2023

A.A. Klimanova, A.V. Timchenko, M.V. Klimenko

West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia,
klimanova.nastasya@internet.ru

Аннотация. В данной работе представлены уникальные (нетипичные) для Калининградской области ионограммы вертикального зондирования. Ионограммы получены при помощи ионозонда «Парус-А», расположенного в обсерватории Калининградского Филиала ИЗМИРАН в пос. Ульяновка Калининградской обл. (54,36° с.ш. и 20,12° в.д.). Нами были отобраны ионограммы со следующими особенностями: дополнительный F3s след, экранирующий спорадический *Es*-слой и авроральный спорадический *Es*-слой.

Ключевые слова: ионограмма, F3s след, *Es*-слой.

Abstract. This work presents unique (untypical) vertical sounding ionograms for the Kaliningrad region. The ionograms were obtained using the Parus-A ionosonde located at the observatory of WD IZMIRAN in Ladygino village, Kaliningrad region (54.36° N and 20.12° E). We selected ionograms with the following unique features: manifestations of the F3s trace, the shielding sporadic *Es* layer, and the auroral sporadic Es-layer.

Keywords: ionogram, F3s trace, Es-layer.

ВВЕДЕНИЕ

Ионозонд несмотря на то, что является стародавним средством мониторинга и исследования ионосферы [Брюнели и Намгаладзе, 1988] по-прежнему остаётся актуальным инструментом получения информации о состоянии ионосферы от E области до максимума электронной концентрации в F области [Литвинов и др., 2023]. Ионозонд может применяться не только для вертикального зондирования, но и для наклонного зондирования, для калибровки радаров некогерентного рассеяния, для оценки скоростей дрейфов. Также с помощью ионозонда можно наблюдать проявления неоднородностей ионосферы различного масштаба: перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), F рассеяние, поляризационный джет, спорадические *Es*-слои различного типа. Следует отметить, что в периоды геомагнитных бурь указанные особенности проявляются ярче и на более низкоширотных станциях по сравнению со спокойными геомагнитными условиями. Как было описано в работе [Степанов, 2023] поляризационный джет на ионограмме проявляется как дополнительный F3s след на ионограмме в субавроральной ионосфере. На рис. 1. представлена ионограмма полученная над Якутском с явным проявлением F3s следа в частотном диапазоне 2–5 МГц.

ДАННЫЕ

В данной работе показаны ионограммы, полученные с помощью ионозонда «Парус-А». Данный ионозонд работает в 15-минутном режиме. Его основные характеристики представлены ниже (табл. 1):

Таблица 1.

Характеристики приёмного и передающего устройств «Парус-А»[Гивишвили и др., 2015].

1. Характеристика	**Радиопередающее устройство**
Диапазон рабочих частот	1 – 20 МГц
Длительность импульсов	100 – 200 мкс
Максимальная импульсная мощность излучения	12 кВт
Средняя мощность излучения, не более	60 Вт
2. Характеристика	**Радиоприёмное устройство**
Диапазон рабочих частот	1 – 20 МГц
Уровень собственных шумов	–185 дБ*Вт/Гц
Динамический диапазон, более	110 дБ*Вт
Погрешность измерения амплитуд отражённых сигналов	1 дБ
Погрешность привязки времени к шкале времени ГНСС	1 мкс

Нами было просмотрено ~23092 ионограмм в период с 01 января по 31 августа 2023 г. в поисках проявлений поляризационного джета, полной экранировки спорадическим *Es*-слоем, спорадического слоя, отражающего радиоволны во всём доступном диапазоне частот, а также спорадических *Es*-слоёв аврорального типа.

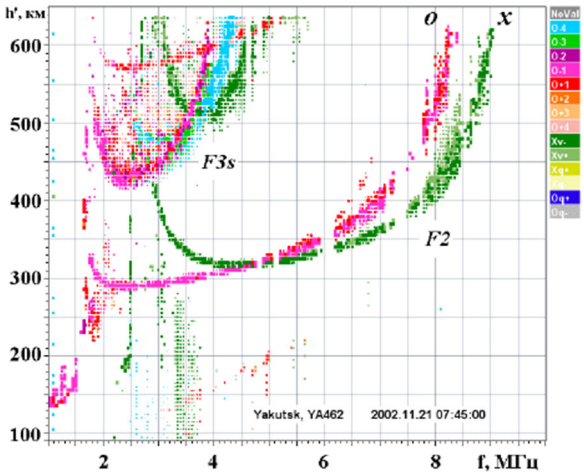

Рис. 1. Ионограмма с дополнительным характерным следом отражения (F3s), зарегистрированный на ст. Якутск 21 ноября 2002 г. в 16.45 местного времени [Степанов, 2023]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 2 представлено количество уникальных ионограмм за первую половину 2023 г., разделённым по нашим критериям.

Таблица 2.

Количество уникальных ионограмм с дополнительными следами различного типа.

след F3s и ПИВ	Полная экранировка *Es*	*Es* по всему диапазону частот
49	18	3

Таблица 3.

Количество ионограмм с зафиксированными следами F3s и ПИВ с разделением по времени суток

Время, UT	Количество, шт
Ночь (21:00 – 03:00)	22
Утро (03:00 – 09:00)	6
День (09:00 – 18:00)	6
Вечер (18:00 – 21:00)	15

Как видно из таблицы 3 основное количество случаев приходится на ночное и вечернее время. В дневное время проявление поляризационного джета наблюдаться не может.

На рис. 2 и 3 представлены примеры ионограмм, иллюстрирующие дополнительный F3s след, перемещающиеся ионосферные возмущения и авроральный спорадический *Es*-слой. Так на рис. 2 показаны дополнительные следы отражения F3s ассоциируемые с поляризационным джетом.

На рис. 3 изображены ионограммы со следом ассоциируемым с ПИВом. Интересной особенностью следов отражения F3s и ПИВов является то, что их достаточно сложно отличить друг от друга. Для более чёткого разделения их между собой необходимо проанализировать данные геомагнитных индексов, а также последовательность ионограмм. На левой ионограмме наблюдается Х-образный след, а на правой видны множественные кратные отражения, которые не соответствуют отражениям от *F2*-слоя. Такие следы являются признаками перемещающихся ионосферных возмущений.

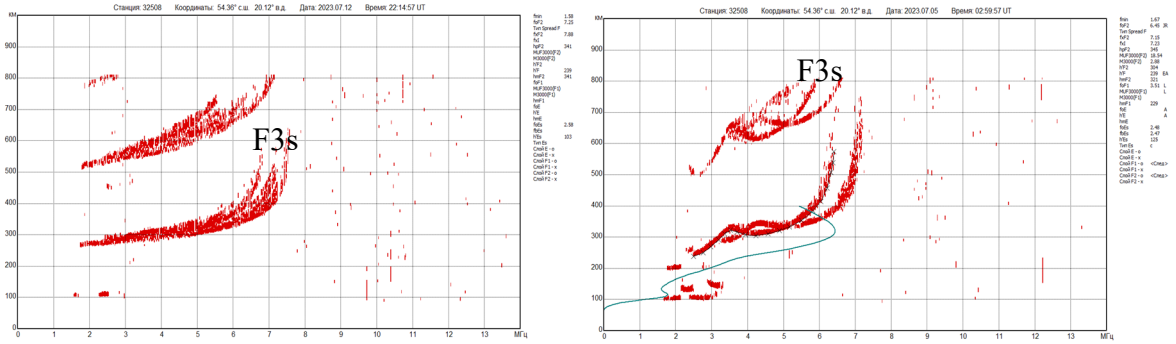

Рис. 2. Ионограммы над Калининградской обл., на которых виден дополнительный след отражения F3s, являющийся характерным проявлением поляризационного джета

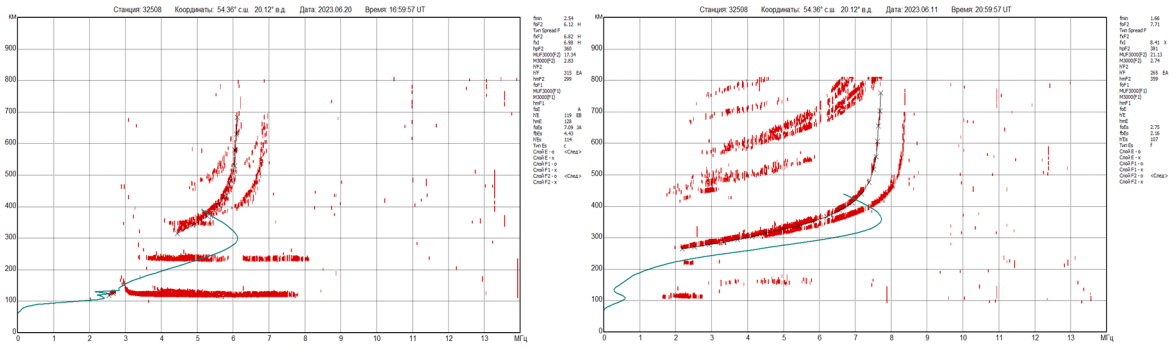

Рис. 3. Ионограммы над Калининградской обл., на которых виден дополнительный след, являющийся отражением перемещающегося ионосферного возмущения

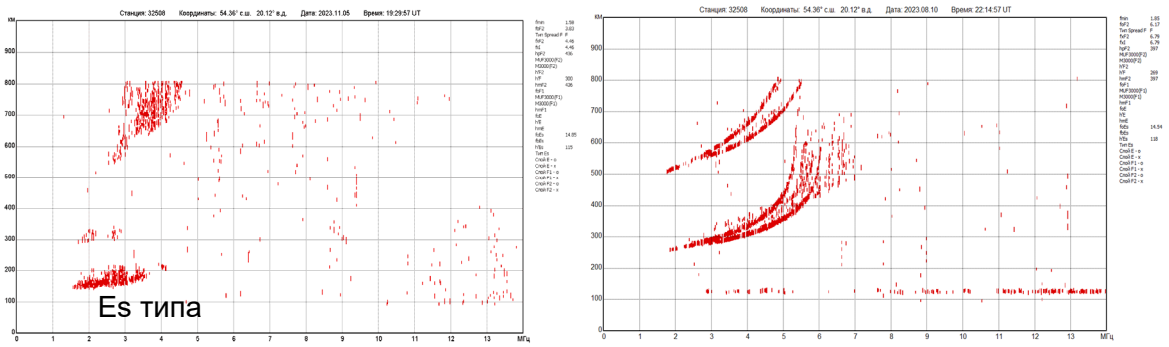

Рис. 4. Ионограммы над Калининградской обл., на которых видны спорадический *Es*-слой авроральнoго типа (слева) и спорадический *Es*-слой занимающий весь диапазон частот

На рис. 4. показана ионограмма со спорадическим *Es*-слоем авроральнoго (а) типа (слева) и спорадический *Es*-слой занимающий весь диапазон частот. Особенностью ионограммы с *Es* типа а является то, что данный тип *Es*-слоя ранее не фиксировался над Калининградской обл. Правая ионограмма представляет особый интерес тем, что на ней можно рассмотреть отображения не только ПИВа, но и поляризационного джета, а также *Es*, занимающий весь диапазон частот. Так же, хотим заметить, спорадический слой хоть и отражает на всех частотах, но при этом не является экранирующим. Данная особенность характерна для всех случаев с *Es* занимающим весь диапазон частот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проанализировано ~23092 ионограмм, полученных за половину 2023 г. на магнитно-ионосферной обсерватории (54,36° с.ш. и 20,12° в.д.) КФ ИЗМИРАН в Калининградской обл. Примерно на одинаковых количествах ионограмм проявляются следующие особенности: дополнительный след F3s, связанный с поляризационным джетом, дополнительный след перемещающихся ионосферных возмущений, и спорадический *Es*-слой с полной экранировкой *F* области. В единичных случаях (всего 3) спорадический *Es*-слой занимает весь частотный диапазон на ионограмме.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-77-10004, https://rscf.ru/project/23-77-10004/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брюнели Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988.

Гивишвили Г.В., Крашенинников И.В., Лещенко Л.Н. Ионозонд «ПАРУС-А»: новый измерительный комплекс ИЗМИРАН. М.: ИЗМИРАН, 2015. С. 150–159.

Литвинов С.В., Глинкин И.А., Скрипачев В.О. Мониторинг ионосферы Земли методом совмещенного зондирования // Всероссийские открытые Армандовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. 2023. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-ionosfery-zemli-metodom-sovmeschennogo-zondirovaniya.

Степанов А.Е. Исследования крупномасштабных структур высокоширотной ионосферы и поляризационного джета по измерениям на якутской цепочке ионозондов и спутниковым данным: Автореферат дис д.ф.-м.н. Якутск. 2023.