

УДК: 551.510.535

DOI: 10.26907/rwp29.2025.143-146

**ДИНАМИКА ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В НОЯБРЕ 2024 ГОДА
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИОНОСФЕРУ СТЕНДОМ СУРА
И ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ СДВ РАДИОСТАНЦИИ ПО ДАННЫМ СЕТИ
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НИРФИ ННГУ**

С.М. Леконтцев, К.К. Грехнева, А.В. Шиндин, Н.С. Тимукин, Е.В. Тареева, С.П. Моисеев

*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Лобачевского,
603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, д. 25/12а
E-mail: serlekontsev@bk.ru*

Аннотация. В статье приводятся результаты мониторинга динамики ионосферных неоднородностей в ноябре 2024 года при воздействии на ионосферу стендом СУРА и одновременной работе СДВ радиостанции с использованием созданной в НИРФИ ННГУ сети геофизического мониторинга. Сеть геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ представляет собой набор разнесенных в пространстве приёмных пунктов, связанных информационной сетью и оснащенных геофизическими приборами собственной разработки НИРФИ. В статье также приводятся результаты сопоставления данных сети геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ с данными, полученными с помощью ионозонда CADI.

Ключевые слова: ионосфера, ионосферные неоднородности, сеть геофизического мониторинга, вертикальное зондирование ионосферы, СДВ радиостанция

**DYNAMICS OF IONOSPHERIC IRREGULARITIES IN NOVEMBER 2024 UNDER
THE IMPACT OF THE SURA STAND ON THE IONOSPHERE
AND THE SIMULTANEOUS OPERATION OF THE VLF RADIO STATION
ACCORDING TO THE DATA OF THE GEOPHYSICAL MONITORING NETWORK
OF THE UNN R&D RESEARCH INSTITUTE**

S.M. Lekontsev, K.K. Grekhneva, A.V. Shindin, N.S. Timukin, E.V. Tareeva, S.P. Moiseev

Abstract. The article presents the results of monitoring the dynamics of ionospheric irregularities in November 2024 under the influence of the SURA facility on the ionosphere and the simultaneous operation of the VLF radio station using the geophysical monitoring network created at the UNN Radiophysical Research Institute (RRI). The UNN RRI geophysical monitoring network is a set of spatially distributed receiving points connected by an information network and equipped with geophysical instruments developed by the RRI. The paper also presents the results of comparing the data from the UNN RRI geophysical monitoring network with the data obtained using the CADI ionosonde.

Keywords: ionosphere, ionospheric irregularities, geophysical monitoring network, vertical sounding of the ionosphere, VLF radio station.

Введение

Одним из ключевых эффектов воздействия мощного КВ радиоизлучения нагревного стенда на ионосферу является образование в ее верхних слоях (F1 и F2) неоднородностей электронной концентрации различных масштабов от см до км [1]. При определенных условиях крупномасштабные неоднородности могут образовывать т.н. плазменный дакт, т.е. область пониженной концентрации электронов, связывающую верхние слои ионосферы с магнитосферой. Излучение СДВ радиостанций в основном взаимодействует с нижними слоями ионосферы (D и E), но при наличии плазменного дакта может проникать в магнитосферу и приводить к появлению ряда магнитосферных эффектов. В связи с этим особый интерес представляет постановка эксперимента по активному воздействию на ионосферу в условиях работы СДВ радиостанции. Традиционным средством мониторинга состояния ионосферы, применяемым с середины прошлого века является ионозонд. Созданная в НИРФИ ННГУ сеть геофизического мониторинга [2], базирующаяся на разработанном в институте быстром распределенном сетевом ионозонде ION-FAST [3], в настоящее время используется для мониторинга динамических процессов в ионосфере с высоким временным и пространственным разрешением. В настоящем докладе представлены результаты наблюдений за ионосферными

неоднородностями в ходе экспериментов на стенде СУРА 15–18 ноября 2024 г. при одновременной работе СДВ радиостанции.

Методика экспериментов

С 15 по 18 ноября 2024 с 13 до 16 часов (UTC) нагревный стенд СУРА работал в непрерывном режиме на частотах 6,72, 4,544, 8,060 МГц с наклоном луча диаграммы направленности на 12° от вертикали в плоскости геомагнитного меридиана. 15 и 16 ноября применялась волна накачки обыкновенной поляризации, а 17 и 18 ноября – необыкновенной. СДВ радиостанция работала на частоте 22,1 кГц. Ионозонд CADI работал в режиме мониторинга с периодом 5–15 минут. Ионозонд ION-FAST с приемными пунктами в 4 узлах сети геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ (р.п. «Васильсурск», полигон «Зименки», обсерватория «Старая Пустынь», полигон КПФУ в д. Ореховка, см. рис. 1) работал в непрерывном режиме со скоростью 1 ионограмма в секунду. Геомагнитная активность во время проведения экспериментов была низкой.

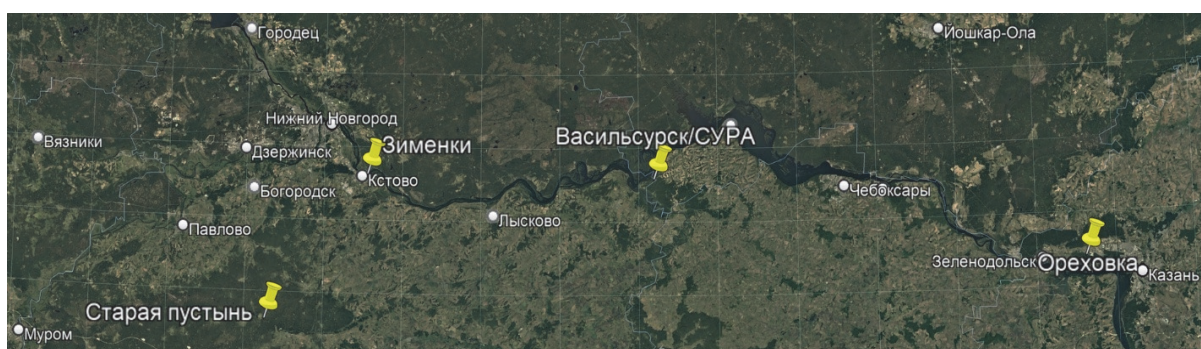


Рис. 1. Карта сети геофизического мониторинга ионосферы НИРФИ ННГУ

Результаты

На левой панели рис. 2 представлена ионограмма, зарегистрированная ионозондом CADI 16.11.2024 в 14:15 UTC через 3 минуты после окончания настройки передатчиков стенда СУРА на частоту 4,544 МГц (интервал настройки 14:07-14:12). Необходимо отметить, что во время работы передатчиков стенда СУРА, ионозонд CADI регистрирует зашумленные ионограммы, анализ и обработка которых как правило невозможны.

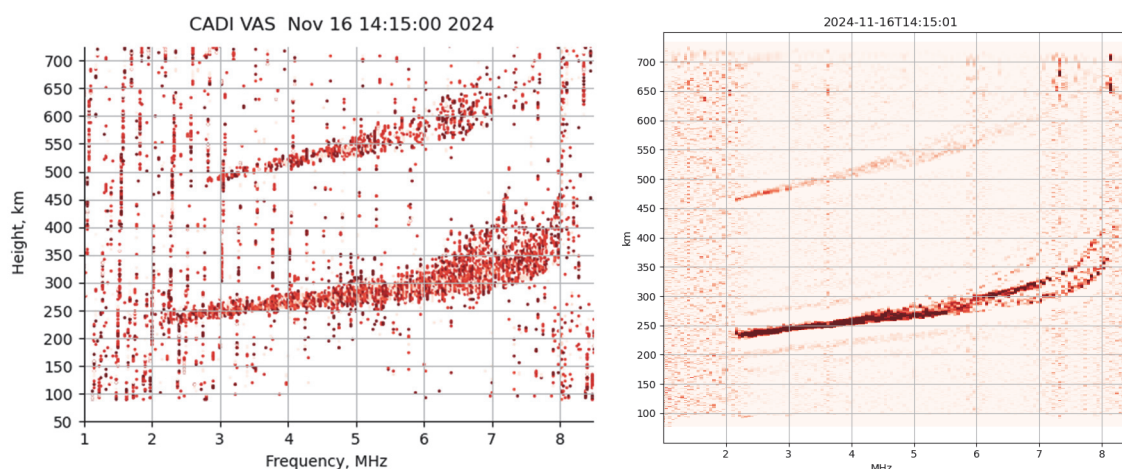


Рис. 2. Ионограммы ионозондов CADI (слева) и ION-FAST (справа), зарегистрированные в одно и то же время

На правой панели рис. 2 представлен результат усреднения односекундных ионограмм, зарегистрированных ионозондом ION-FAST за время (~40 с) регистрации ионограммы ионозондом CADI. Сопоставляя две ионограммы на рис. 2 можно заключить, что ионозонд CADI регистрирует диффузный отраженный сигнал О- и Х-волн (это справедливо практически для всех ионограмм CADI, зарегистрированных за время экспериментов). При этом ионограммы, зарегистрированные ионозондом ION-FAST не демонстрируют диффузности (в данном конкретном случае и в принципе), что можно отнести к ключевым особенностям ионозонда. На ионограмме видно расслоение следа отражения Х-волны на ~35 км. Отражение О-волны при этом едва различимо.

На рис. 3 представлены ионограммы, зарегистрированные ионозондом ION-FAST в интервале 15:30 – 15:35 UTC 16.11.2024, усредненные за время 40 с. Вертикальный след на частоте 4,544 МГц соответствует частоте воздействия на ионосферу стендом СУРА (мощности передатчиков: 230, 160 кВт). В указанных ионограммах удастся выделить перемещения следов отражения со скоростью 50 кГц/мин (по действующей высоте – $5 \div 10$ км/мин) примерно соответствующей скорости спада критической частоты для всей серии ионограмм в целом. Перемещение следа по действующей высоте может быть проявлением эффекта многолучевости при наличии горизонтального градиента электронной концентрации (перемещающегося ионосферного возмущения, ПИВ). Похожая динамика, но в противоположном направлении по действующей высоте наблюдалась в интервале 15:44 – 15:47 UTC. На рисунках 3 и 4 отмечены стартовая (синий пунктир), конечная (зеленый пунктир) позиции зарегистрированных перемещений ионосферных следов, а также направление этих движений (черная стрелка).

На рис. 5 представлены ионограммы, зарегистрированные ионозондом ION-FAST в 4 различных пунктах сети геофизического мониторинга в интервале от 15:35 до 15:47. Конкретные времена были подобраны таким образом, чтобы ионограммы в различных пунктах были максимально схожи между собой. Упорядоченные по времени ионограммы дают следующую последовательность пунктов: «Ореховка», «Васильсурск», «Зименки», «Старая Пустынь». Таким образом, учитывая расположение пунктов, удастся определить направление (с востока на запад) и сделать оценку средней скорости (~1600 км/ч) перемещения ионосферного возмущения. В целом можно сказать, что во всех 4 пунктах во все дни проведения экспериментов наблюдалась схожая динамика перемещений следов отражения на ионограммах, их расслоения на несколько составляющих, что может говорить о том, что наблюдаемые неоднородности имели горизонтальный масштаб близкий к характерному расстоянию между пунктами (150 км).

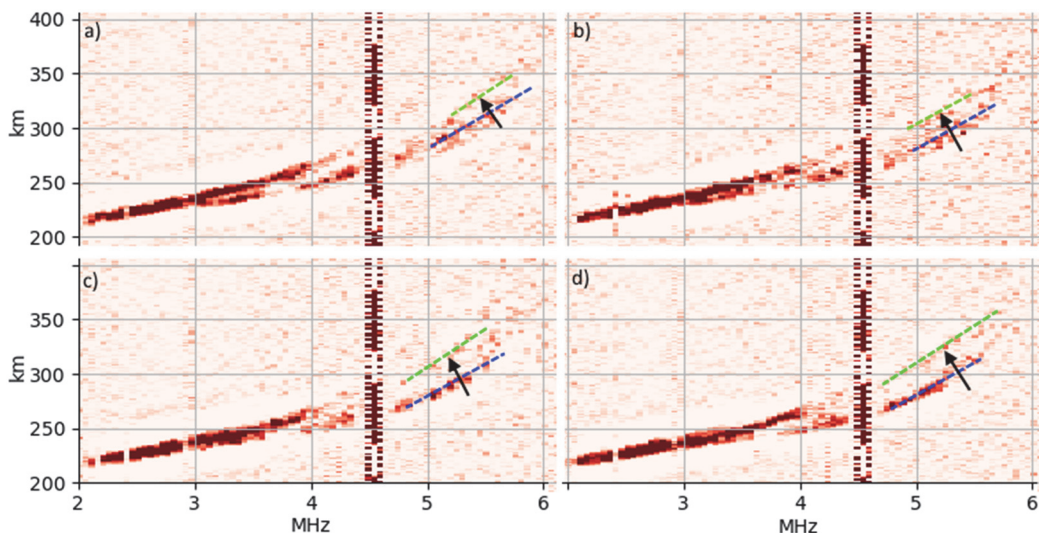


Рис. 3. Серия ионограмм ионозонда ION-FAST, зарегистрированная 16.11.2024 в р.п. «Васильсурск» в 15:32 (а), 15:33 (b), 15:34 (c), 15:35 (d) UTC

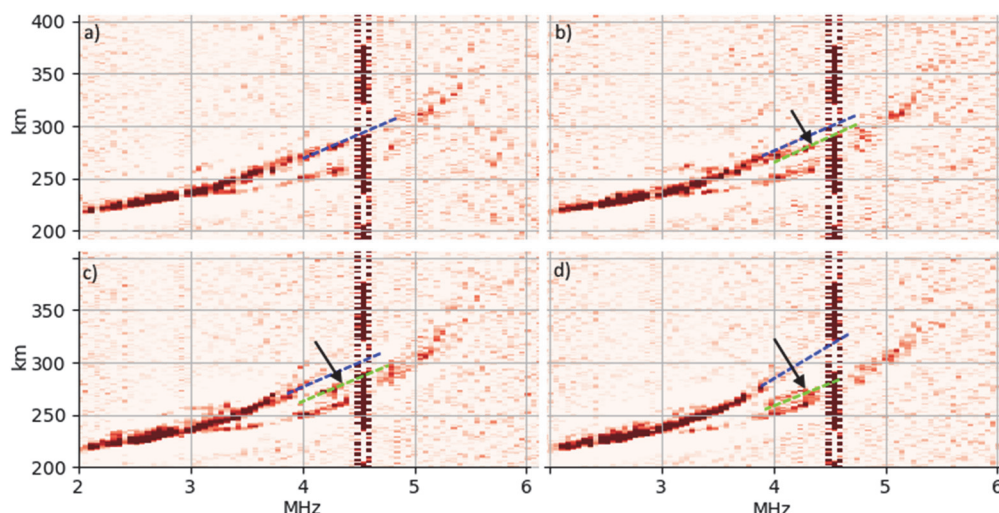


Рис. 4. Серия ионограмм ионозонда ION-FAST, зарегистрированная 16.11.2024 в р.п. «Васильсурск» в 15:44 (a), 15:45 (b), 15:46 (c), 15:47 (d) UTC

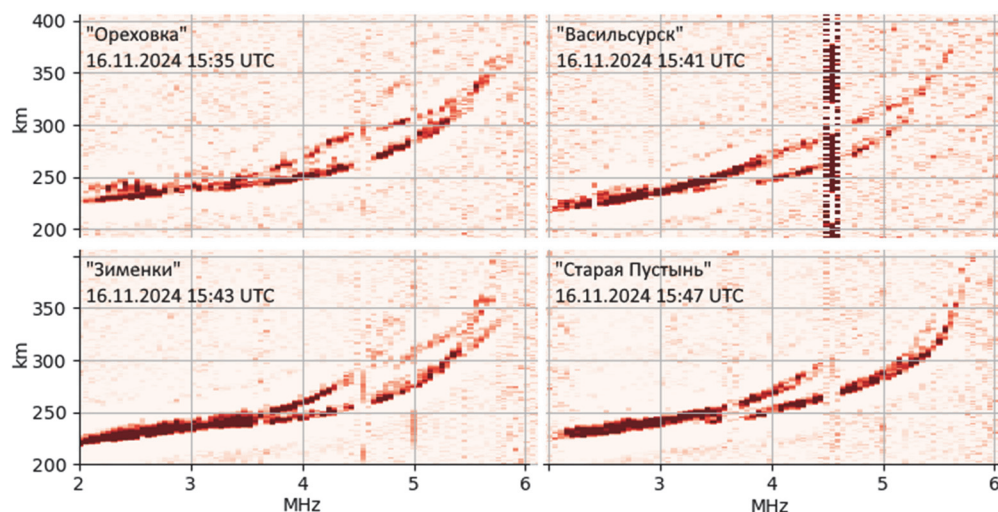


Рис. 5. Ионограммы ионозонда ION-FAST, зарегистрированные в 4 узлах сети геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ. Место и время регистрации отмечено в левом верхнем углу каждой из панелей

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Грач С.М., Сергеев Е.Н., Мишин Е.В., Шиндин А.В. Динамические характеристики плазменной турбулентности ионосферы, инициированной воздействием мощного коротковолнового радиоизлучения. УФН 186 1189–1228 (2016).
2. Грехнева К.К., Шиндин А.В., Моисеев С.П., Павлова В.А. Универсальная диагностическая платформа НИРФИ на базе современных микроэлектронных компонентов // Наноиндустрия. – 2024. – Т. 17. – № 128. – С. 6.
3. Moiseev S.P., Shindin A.V., Grekhneva K.K., Pavlova V.A., Timukin N.S. ION-FAST as the NIRFI's Ionospheric Diagnostic Platform // Atmosphere. – 2024. – 15(2). – P. 16.