УДК 537.86 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-209

ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ ПРОГРАММЫ-ОБРАБОТЧИКА ИОНОГРАММ «IONOVIEW» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

С.А. Серебренникова[1], В.А. Иванова[1], А.В. Подлесный[1], М.В. Цедрик[1], А.И. Поддельский[2]

[1]Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, sova@mail.iszf.irk.ru
[2]Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

APPLICATION OF THE NEW IONOGRAM PROCESSOR "IONOVIEW" FOR STUDYING HELIOGEOPHYSICAL EVENTS

S.A. Serebrennikova[1], V.A. Ivanova[1], A.V. Podlesnyi[1], M.V. Cedrik[1], A.I. Poddelsky[2]

[1]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, sova@mail.iszf.irk.ru
[2]Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS

Аннотация. В данном исследовании рассмотрены возможности новой программы «IonoView» для интерактивной обработки данных ионозонда на примере четырех событий: слабой магнитной бури 19 ноября 2023 г., умеренной магнитной бури 20–21 ноября 2023 г. и двух рентгеновских солнечной вспышек 6 и 12 февраля 2024 г. Для анализа событий были выбраны трассы наклонного зондирования: Норильск – Торы, Магадан – Торы и Новосибирск – Торы. Во время главной фазы и фазы восстановления магнитной бури было зарегистрировано отрицательное ионосферное возмущение продолжительностью более 12 часов, которое вызвало падение максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) ионосферного радиоканала до 5 МГц. Солнечные вспышки класса М были зарегистрированы 6 февраля и 12 февраля 2024 г., которые повлияли на вариации наинизшей наблюдаемой частоты (ННЧ) до 3–4 МГц принимаемого сигнала.

Ключевые слова: ионограмма, ионозонд, магнитная буря, рентгеновская солнечная вспышка, программа «IonoView».

Abstract. This study examines the possibilities of the new IonoView program for interactive processing of ionosonde data using the example of four events: a weak magnetic storm on November 19, 2023, a moderate magnetic storm on November 20-21, 2023, and two X–ray solar flares on February 6 and 12, 2024. For the analysis of events, oblique incidence sounding paths were selected: Norilsk - Tory, Magadan – Tory and Novosibirsk – Tory. During the main phase and the recovery phase of the magnetic storm, a negative ionospheric disturbance lasting more than 12 hours was recorded, which caused a drop in the maximum observed frequency (MOF) of the ionospheric radio channel to 5 MHz. Class M solar flares were recorded on February 6 and February 12, 2024, which affected variations in the lowest observed frequency (LOF) up to 3-4 MHz of the received signal.

Keywords: ionogram, ionosonde, magnetic storm, X-ray solar flare, «IonoView» program.

ВВЕДЕНИЕ

Зондирование ионосферы Земли с помощью ионозонда является важной задачей для более углубленного понимания природы возмущений и получения статистических данных для построения и улучшения моделей прогноза параметров ионосферы. Так как ионосфера Земли является средой передачи сигналов для различных спутниковых, телевизионных, военных и прочих систем, возникает вопрос о количественных измерениях ионосферных возмущений для устранения ошибок и шума в передаче сигналов. Помимо этого, необходимы прогнозы сильных магнитных бурь для обеспечения безопасности средств связи, поэтому изучение вариаций ионосферы является актуальной задачей. Благодаря новой интерактивной программе «IonoView» предоставляется возможность более удобной интерактивной обработки параметров распространения КВ-сигналов с расширенным функционалом инструментов по сравнению с аналогичной программой Cool Ionogram Viewer, разработанной в ИСЗФ СО РАН в начале 2000-х гг.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧА РАБОТЫ

Целью данной работы является исследование воздействия на околоземное космическое пространство возмущений, вызванных магнитными бурями и солнечными вспышками посредством разработанной программы «IonoView».

Задачей работы стала разработка и написание программы «IonoView», обработка с ее помощью данных с ионозонда по трем трассам Норильск – Торы, Магадан – Торы и Новосибирск-Торы по возмущенным и спокойным дням во время магнитной бури и возмущений, вызванных солнечными вспышками.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа «IonoView», снимок экрана которой представлен на рис.1, отображает ионограммы, полученные установкой «Ионозонд-МС» в пос. Торы (ГФО ИСЗФ СО РАН). Программа «IonoView» написана на языке C++.

Массив данных представляется в рабочем окне в виде двумерной цветовой карты. По оси «Frequency» отложена частота зондирования, по оси «Distance» отложены групповой путь или действующая высота в зависимости от типа ионограммы. Шкала «Amplitude» отвечает за цветовое представление амплитуды принятого сигнала, с возможностью перехода на градиентную шкалу. Отображаемый график для публикаций можно сохранить в виде скриншота в формате .jpg, .png и .pdf.

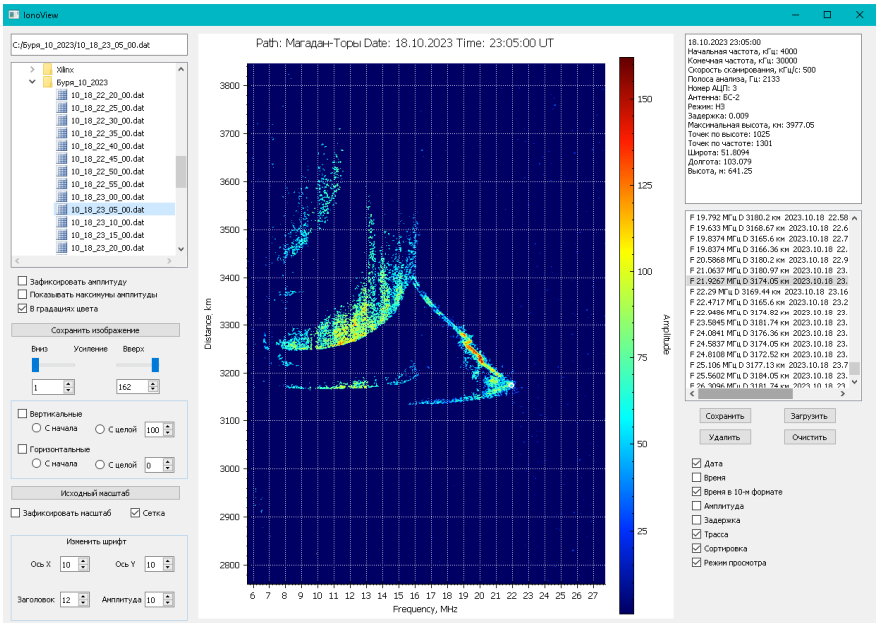

Рис. 1. Скриншот работающей программы «IonoView» в режиме градации цвета во время снятия параметров ионограммы

На панели справа от графика отображается окно информации с основными параметрами открытой ионограммы и характеристиками приемника. На панели слева представлен набор функций для настройки параметров визуализации графика. Также в программе есть возможность установить метку на графике с параметрами. Список полученных меток для дальнейшего использования можно сохранить в формате .txt.

Таким образом, для интерактивной работы с данными «Ионозонда-МС» была разработана программа с широким функционалом возможностей, в том числе имеющая ряд преимуществ относительно схожих программных продуктов: возможность добавления/изменения/просмотра меток — параметров ионограмм в любое время, удобный интерфейс, временное разрешение ионограмм 15 сек.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ

В программе «IonoView» были обработаны ионограммы во время магнитных бурь, зарегистрированных с 18 по 22 октября 2023 г. на трассах наклонного зондирования (НЗ): Магадан – Торы и Норильск – Торы для второго скачка сигнала.

19 октября проходила слабая магнитная буря [Gonzalez, 1994], индекс DST (рис. 2) понизился до значения -38нТ в 10 UT, при этом отрицательную фазу ионосферного возмущения можно наблюдать только на трассе Норильск – Торы. Это возмущение привело к отклонению значений максимальной наблюдаемой частоты до 2 МГц от реперного значения спокойного дня 17 октября, который выделен на рис. 2. оранжевым цветом.

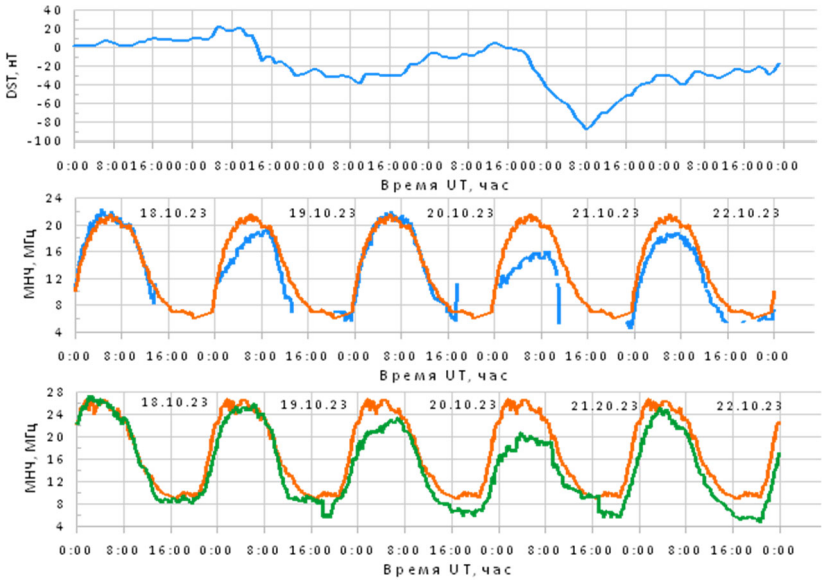

Рис. 2. Вариации индекса DST и максимальной наблюдаемой частоты на двух трассах радиозондирования с 18 по 22 октября 2023 г. Норильск – Торы выделена синим цветом, Магадан – Торы – зеленым. Спокойный день 17 октября нанесен оранжевым цветом, как реперное значение

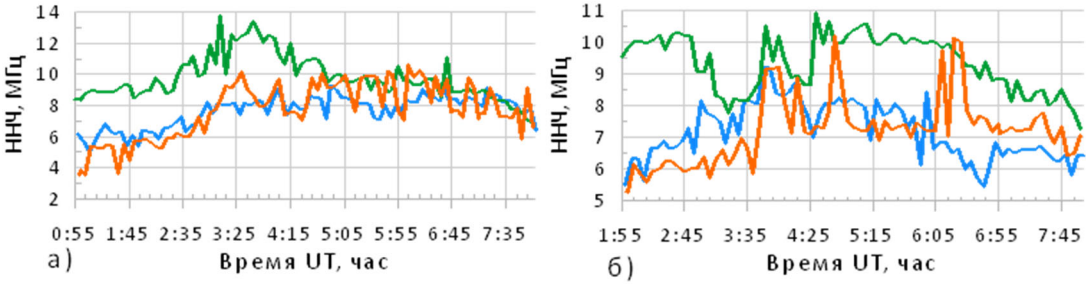

Рис. 3. Вариации наинизшей наблюдаемой частоты на трех трассах радиозондирования во время солнечной вспышки: а) 6 февраля 2024 года и б) 12 февраля 2024 г. Синим цветом выделена трасса — Норильск–Торы, зеленым — Магадан–Торы и оранжевым — Новосибирск– Торы

Во время главной фазы умеренной магнитной бури 21–22 октября индекс DST понизился до отметки -88нТ в 8 UT 21 октября. Также отрицательная фаза возмущения вызвала отрицательные отклонения величин максимальной наблюдаемой частоты до 5 МГц от реперных значений спокойного дня.

Рентгеновские солнечные вспышки 6 и 12 февраля имели М класс активности (xras.ru). Эти возмущения, повышая электронную концентрацию в слое D [Митра, 1977], привели к вариациям-наинизшей наблюдаемой частоты. Возмущение, вызванное рентгеновской солнечной вспышкой 6 февраля 2024 г. класса M4.2, приходилось на 3 UT, что соответствует 11 ч в Иркутском регионе, где находится приемник и отклик в данных приходится на дневное время суток, данные НЗ показывают повышение наинизшей наблюдаемой частоты до 4МГц, относительно спокойного часа до вспышки. Эти колебания ННЧ отчетливо видны на рис. 3а, во время начала 02:37 UT и максимума рентгеновской солнечной вспышки в 03:12 UT и из-за длительного характера излучения вплоть до 03:37 UT.

Возмущение, вызванное вспышкой 12 февраля 2024 г. класса M6.5, приходилось на 3–4 UT, что соответствует 11–12 ч в Иркутском регионе, где находится приемник и отклик на данных приходится на дневное время суток, при этом наблюдается увеличение наинизшей наблюдаемой частоты до 3 МГц, относительно спокойного часа до вспышки. Эти колебания ННЧ отчетливо видны на рис. 3б, во время начала 03:23 UT и максимума рентгеновской солнечной вспышки в 03:48 UT. Характер вспышки носил локальный характер, что обусловлено восстановлением среды уже в 03:58 UT.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рассмотренных гелиогеофизических событиях с помощью разработанной программы «IonoView» отчетливо видны отклики на возмущение в виде изменения ННЧ и МНЧ. Эти вариации относительно реперного спокойного дня были количественно измерены: в случае слабой магнитной бури до 2 МГц и умеренной магнитной бури до 5МГц, и в случае рентгеновских солнечных вспышек до 5 МГц.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия N075-ГЗ/Ц3569/278). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» (http://ckp-rf.ru/ckp/3056).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Митра А. Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли: учеб. Для вузов. М.: Мир, 1977. С. 1–22.

Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y. et al. What is geomagnetic storm? // J. Geophys. Res. 1994. V. 99, N 3. P. 5771–5792.