

УДК: 087.2 + 537.87

DOI: 10.26907/rwp29.2025.191-194

РЕГИСТРАЦИЯ ЛЧМ-СИГНАЛОВ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В МЕЖСЛОЕВОМ ИОНОСФЕРНОМ КАНАЛЕ

С.А. Серебренникова¹, В.А. Иванова¹, А.В. Подлесный¹, М.В. Цедрик¹,
А.И. Поддельский²

¹ ИСЗФ СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126А

E-mail: sova@mail.izsf.irk.ru

² ИКИР ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка

E-mail: podd-igor@yandex.ru

Аннотация. В работе исследуется распространение радиоволн в декаметровом диапазоне на трассе наклонного зондирования (НЗ) Магадан-Торы в период с 1 февраля по 16 февраля 2025 года в условиях разного уровня возмущенности от спокойного до слабовозмущенного. По измеренным суточным вариациям максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) для межслоевого сигнала, двухскакового сигнала 2F2 и спорадического слоя Es. В результате исследования были получены следующие выводы: максимальные значения МНЧ межслоевого сигнала и спорадического слоя Es наблюдаются в дневное время; слабые геомагнитные возмущения практически не влияют на условия распространения двухскакового сигнала 2F2; для межслоевого сигнала уменьшается диапазон частот, в то время как спорадический слой Es во время слабой бури часто не наблюдается.

Ключевые слова: максимальная наблюдаемая частота, наклонное зондирование, межслоевое отражение, ионограмма, ионозонд, магнитная буря, программа «IonoView»

REGISTRATION OF CHIRP SIGNALS PROPAGATING IN THE INTERLAYER IONOSPHERIC CHANNEL

S.A. Serebrennikova, V.A. Ivanova, A.V. Podlesnyi, M.V. Cedrik, A.I. Poddelsky

Abstract. The paper examines the propagation of radio waves in the decameter range over along the Magadan-Tory oblique incidence sounding path from February 1 to February 16, 2025 in conditions of different levels of disturbance from calm to slightly disturbed. According to the measured daily variations of the maximum observed frequency (MOF) for the interlayer signal, the 2F2 two-hop signal and the sporadic layer Es. As a result of the study, the following conclusions were obtained: the maximum values of the MOF of the interlayer signal and the sporadic Es layer are observed during the daytime; weak geomagnetic disturbances have virtually no effect on the propagation conditions of the 2F2 two-hop signal; for the interlayer signal Es, the frequency range decreases, while for the sporadic Es layer is often no observed during a weak storm.

Keywords: maximum observed frequency, oblique incidence sounding, interlayer reflection, ionogram, ionosonde, magnetic storm, IonoView program

Введение

Слоистая структура ионосфера и неоднородности электронного содержания, вызванные магнитными бурями, солнечными вспышками и иными гелиогеофизическими событиями влияют на распространение волн декаметрового диапазона, в том числе на появление сигналов межслоевого распространения, тесно связанных с наличием спорадического слоя Es в ионосферном канале [1].

Возникновение спорадического слоя Es на ионограмме может быть связано со сдвигом нейтрального ветра в присутствии геомагнитного поля, что приводит к конвекции ионов и образованию тонких спорадических слоёв.

Целью данной работы является исследование межслоевого распространения сигналов ЛЧМ-ионозонда на трассе Магадан-Торы [2] в период с 1 февраля по 16 февраля 2025 года при различных уровнях геомагнитной возмущенности.

Инструмент обработки – программа «IonoView»

Исследование проводилось с помощью программы интерактивной обработки «IonoView».

Программа «IonoView» имеет широкий функционал работы с данными ионозонда, в частности, опции для настройки параметров визуализации ионограммы и специальных меток.

Первичные данные в программе отображаются в виде ионограмм. Ионограмма или высотно-частотная характеристика (ВЧХ) – это график зависимости действующей высоты от частоты радиосигнала, отраженного от ионосферы.

На рис. 1. приведена ионограмма, полученная на трассе НЗ Магадан-Торы с межслоевым сигналом и спорадическим слоем Es в дневное время.

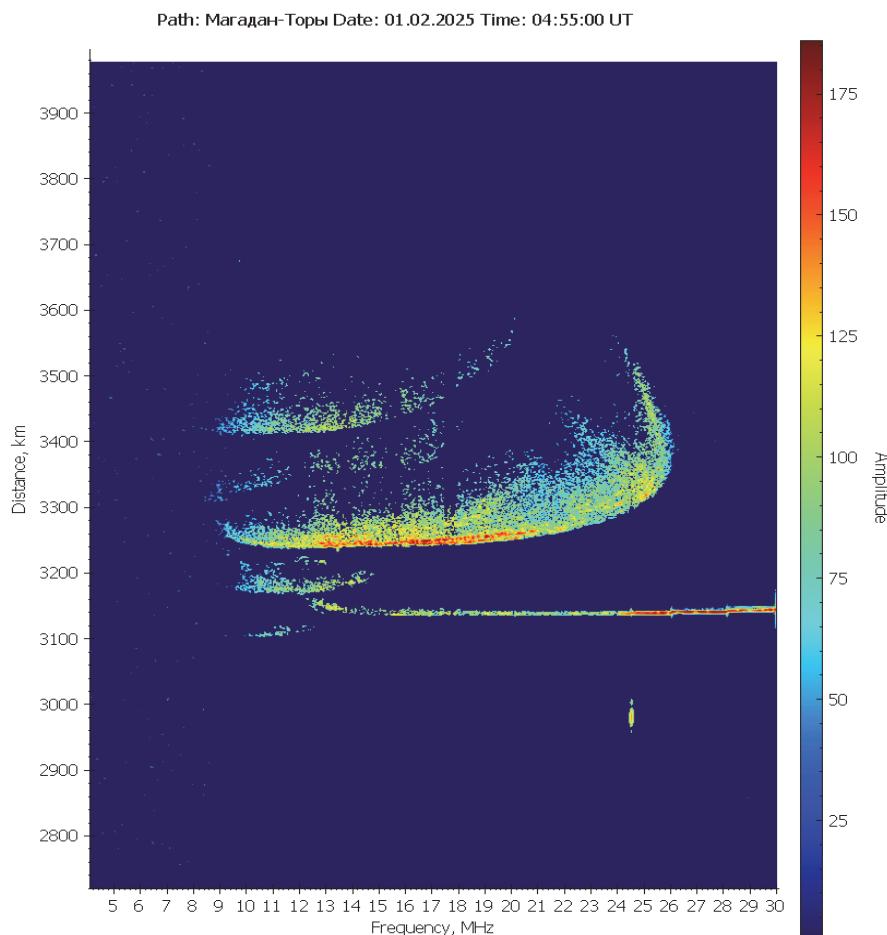


Рис. 1. Скриншот программы «IonoView» с ионограммой НЗ Магадан-Торы.

В данной работе использовалась функция «Ионосферные характеристики», позволяющая снимать с одной ионограммы до 16 параметров.

Список полученных параметров для дальнейшего использования можно сохранить в формате: текстовом или XML 5.0.

Ионосферные характеристики

В период с 1 февраля по 16 февраля 2025 года исследовалось влияние уровня геомагнитной возмущенности на условие распространения сигналов в диапазоне от 4 до 30 МГц со скважностью 5 минут.

На рис. 2. представлен график Кр-индекса, показывающий уровень геомагнитной возмущенности за рассматриваемый период в условиях: спокойной среды со значениями Кр-индекса до 3 в период с 3 февраля по 9 февраля 2025 года; возмущенной среды с Кр-индексом выше 4 в период с 1 по 2 февраля, с 9 по 14 февраля и день после слабой бури 16 февраля 2025 года; слабой магнитной бури 15 февраля 2025 года с Кр-индексом равным 5 [3].

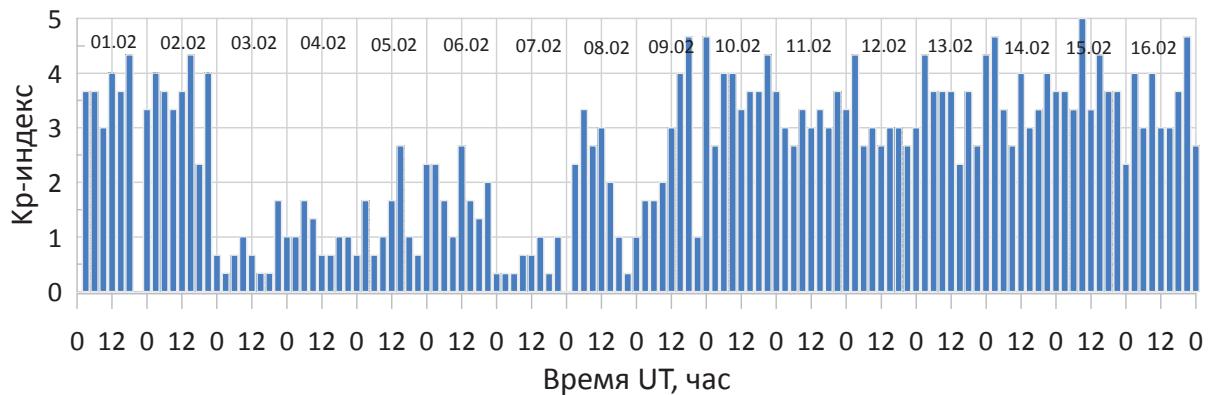


Рис. 2. График Кр-индекса за период с 1 по 16 февраля 2025 года

Значения МНЧ первого скачка основного сигнала не использовались, так как находились за пределами рабочего диапазона ЛЧМ-ионозонда. С помощью программы «IonoView» были получены значения МНЧ двухскакового сигнала 2F2, спорадического слоя Es и межслоевого сигнала.

На рис. 3 и рис. 4 представлены графики DST-индекса и суточные вариации МНЧ в период с 1 по 16 февраля 2025 года. С ростом интенсивности магнитной бури уменьшаются значения DST-индекса. По предложенной в работе [3] классификации возмущенности среды до значений -20 нТ среда распространения считается спокойной. При значениях DST-индекса от -20 нТ до -30 нТ среда считается возмущённой. Слабой магнитной бурей по DST-индексу считаются значения от -30 нТ до -50 нТ.

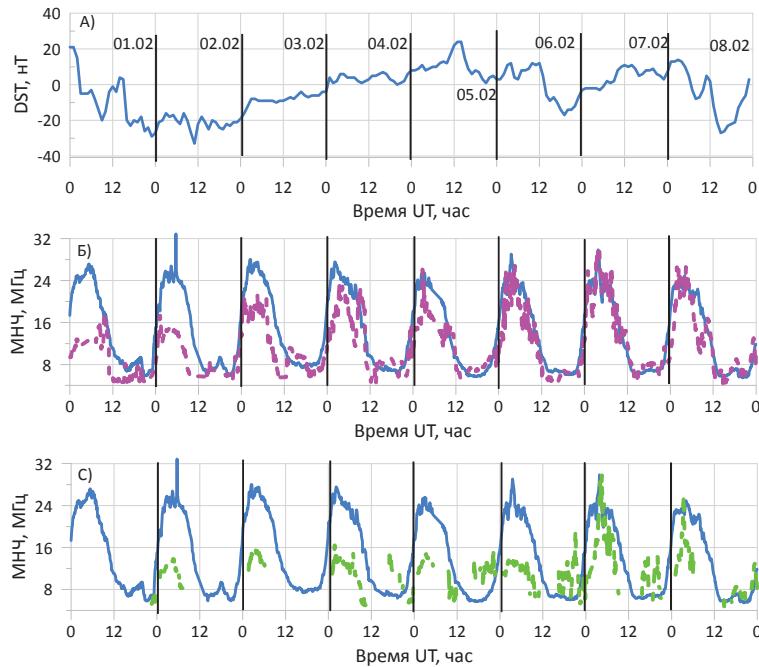


Рис. 3. Суточные вариации МНЧ на трассе Н3 Магадан-Торы двухскакового сигнала 2F2 (синяя сплошная линия), спорадического слоя Es (зеленая пунктирная линия) – (С) и межслоевого сигнала (фиолетовая пунктирная линия) – (Б) и значения индекса DST – (А) за период с 1 по 8 февраля 2025 года

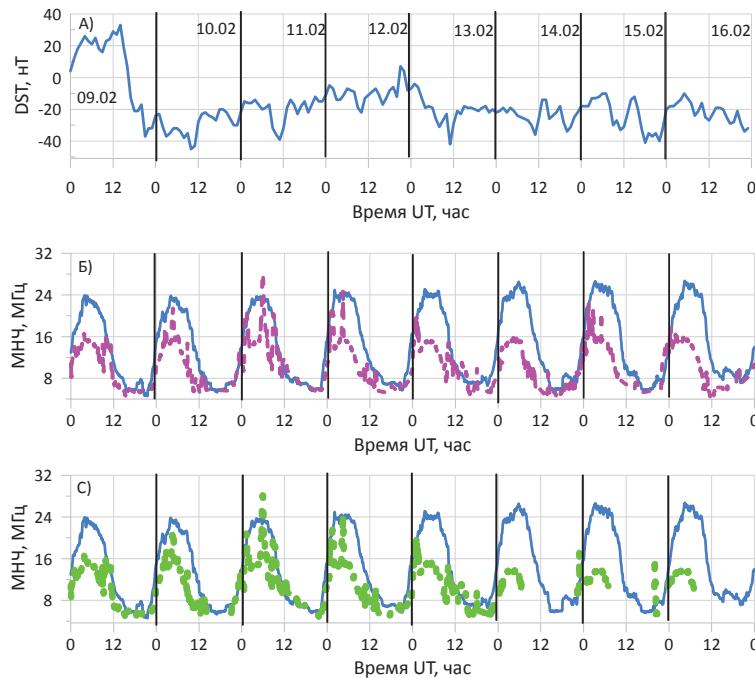


Рис. 4. Суточные вариации МНЧ на трассе Н3 Магадан-Торы двухскакового сигнала 2F2 (синяя сплошная линия), спорадического слоя Es (зеленая пунктирная линия) – (С) и межслоевого сигнала (фиолетовая пунктирная линия) – (Б) и значения индекса DST – (А) за период с 9 по 16 февраля 2025 года

Заключение

Максимальные значения МНЧ межслоевого сигнала и спорадического слоя Es наблюдаются в дневное время. Слабые геомагнитные возмущения практически не влияют на условия распространения двухскакового сигнала 2F2. Для межслоевого сигнала уменьшается диапазон частот, в то время как спорадический слой Es во время слабой бури часто не наблюдается.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (субсидия N075-Г3/Ц3569/278 (ИСЗФ СО РАН). Результаты получены с использованием оборудования ИСЗФ СО РАН, входящего в Центр коллективного пользования «Ангара» (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>). Благодарности за предоставление данных всемирному центру обработки данных по геомагнетизму, расположенному в Киото.

Список литературы

1. Иванова В.А., Подлесный А.В., Науменко А.А., Ткачев И.Д. Межслоевое отражение ЛЧМ-сигналов на трассе Хабаровск-Торы в феврале 2014 г. // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: сборник докладов XXV Международного симпозиума. Электрон. текстовые, граф. данные. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН. – 2019. – Е – 165 – Е-168.
2. Ким А.Г., Матюшонок С.М. Структура и формат данных Иркутского ЛЧМ-ионозонда // Солнечно-земная физика: сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – Вып. 9(122). – С. 16–20.
3. Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T., Valyliunas V.M. What is a geomagnetic storm? // Journal of Geophysical Research. – 1994. – Vol. 99. – No A4. – P. 5771–5792.