

УДК 550.388.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С МОРСКИМИ СУДАМИ В СЛОЖНЫХ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Выборнов Федор Иванович^{1,2}, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой физики

e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

Шейнер Ольга Александровна¹, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: rji@nirfi.unn.ru

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ, Нижний Новгород, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния высокой гелиогеомагнитной активности на характеристики коротковолновых (КВ) сигналов на северных трассах при организации связи между берегом и морским судном. Рассмотрено влияние сильного спорадического слоя Es в авроральной ионосфере на коротковолновую связь в разных фазах геомагнитной бури. Сравниваются диапазоны прохождения сигналов при отражении от F- и Es-слоев ионосферы. На примере ионосферных данных, полученных во время сильной геомагнитной бури 1 января 2025 г., предлагается комплекс организационных мер по повышению надежности КВ связи.

Ключевые слова: ионосфера, геомагнитные возмущения, ионозонд, ЛЧМ-зондирование, коротковолновая радиосвязь, поглощение, рассеяние радиоволн.

FORECASTING THE PARAMETERS OF IONOSPHERIC COMMUNICATION CHANNEL WITH SEA VESSELS IN COMPLEX HELIOGEOPHYSICAL CONDITIONS

Vybornov Fedor Ivanovich^{1,2}, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Leading Researcher, Head of the Department of Physics

e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

Sheiner Olga Alexandrovna¹, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Leading Researcher

e-mail: rji@nirfi.unn.ru

¹ Radiophysics Research Institute of Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the influence of high heliogeomagnetic activity on the characteristics of shortwave (HF) signals on northern routes when organizing communication between the shore and a sea vessel. The influence of a strong sporadic Es layer in the auroral ionosphere on shortwave communication in different phases of a geomagnetic storm

is considered. The ranges of signal propagation upon reflection from the F- and Es-layers of the ionosphere are compared. Using the example of ionospheric data obtained during a strong geomagnetic storm on January 1, 2025, a set of organizational measures to improve the reliability of HF communication is proposed.

Keywords: ionosphere, geomagnetic disturbances, ionosonde, chirp sounding, shortwave radio communication, absorption, scattering of radio waves.

Введение

Радиосвязь в коротковолновом диапазоне длин волн между морскими судами и береговыми станциями связи постепенно заменяется спутниковыми системами связи. Это характерно для всех регионов земного шара, кроме полярных регионов. В полярных широтах часто КВ связь остается единственным средством связи из-за малых углов места при приеме сигналов геостационарных спутников в сложных геофизических условиях, часто наблюдаемых на этих широтах из-за высыпаний космических частиц, захваченных магнитным полем Земли. Воздействуя на ионосферу, эти частицы приводят к значительному поглощению радиоволн КВ диапазона в области F-слоя ионосферы, что приводит к ухудшению или потери радиосвязи на выделенных для связи частотах. Как правило, в этом случае суда пытаются установить радиосвязь, переходя на более низкие разрешенные частоты связи.

Плановые каналы связи имеют прогнозный характер, т.е. частоты связи носят рекомендованный характер для разных трасс с учетом сезона, времени суток и геофизических условий (геомагнитных возмущений) при однократном отражении радиоволны от F-слоя ионосферы (т.е. обеспечивают дальность связи до 3000 км).

Внезапное понижение критических частот ионосферы, сильное поглощение волн КВ-диапазона, значительные шумы и трески в эфире, вызванные магнитной бурей, и рекомендации, которые советуют в таком случае перейти на более низкие частоты, часто не позволяют установить необходимую радиосвязь судна с берегом.

Схема и техника эксперимента

Диапазон частот прохождения КВ-сигналов определяется максимальной наблюдаемой частотой (МНЧ) и наименьшей наблюдаемой частотой (ННЧ). Как правило, указываются эти значения, но встречаются варианты, когда даются только ННЧ или МНЧ вместе с диапазоном частот прохождения. При планировании сетки частот связи учитывают прогноз гелиогеофизических условий, т.к. они существенно влияют на диапазон частот прохождения в полярных районах земного шара. Анализируя ионосферные данные субавроральной трассы п. Васильсурск (Нижегородская область) – г. Салехард для октября 2016 г., нами было получено, что МНЧ и ННЧ F- и Es-мод распространения в КВ диапазоне определяются индексом геомагнитной активности [1]. Ниже представлены результаты исследований по определению диапазона частот прохождения для трассы г. Нижний Новгород – п. Ловозеро, выполненные в 2024-2025 годах, когда наблюдались сильные геомагнитные возмущения. Выбор трассы определялся ее длиной, расположением передающего пункта в п. Ловозеро в области аврорального овала и расположением приемного пункта в г. Нижний Новгород на средних широтах. Основной целью исследования являлась выработка рекомендаций по нейтрализации неблагоприятных воздействий магнитной бури на работу средств КВ связи вдоль субавроральной трассы (в том числе и с морскими судами, находящимися в северных морях России).



Станция с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) в п. Ловозеро излучала КВ-сигнал мощностью 1 кВт каждые 15 минут, прием проводился на аналогичной ЛЧМ-станции (см. Рисунок 1) в г. Нижний Новгород. Длина трассы составляла 1386 км при азимуте $344,2^\circ$.

Ниже представлены результаты, полученные во время очень сильной магнитной бури с уровнем G4.0 ($K_p = 8.00$), которая началась 31 декабря 2024 г., главная фаза бури наблюдалась 1 января 2025 г. с последующим постепенным уменьшением геомагнитной активности до конца января. График поведения DST-индекса геомагнитной активности для интервала дат 30 декабря 2024 г. – 7 января 2025 г. приведен на Рисунке 2. Подробные данные приведены на сайте [2].



Рисунок 1 – ЛЧМ-станция зондирования ионосферы в г. Нижнем Новгороде

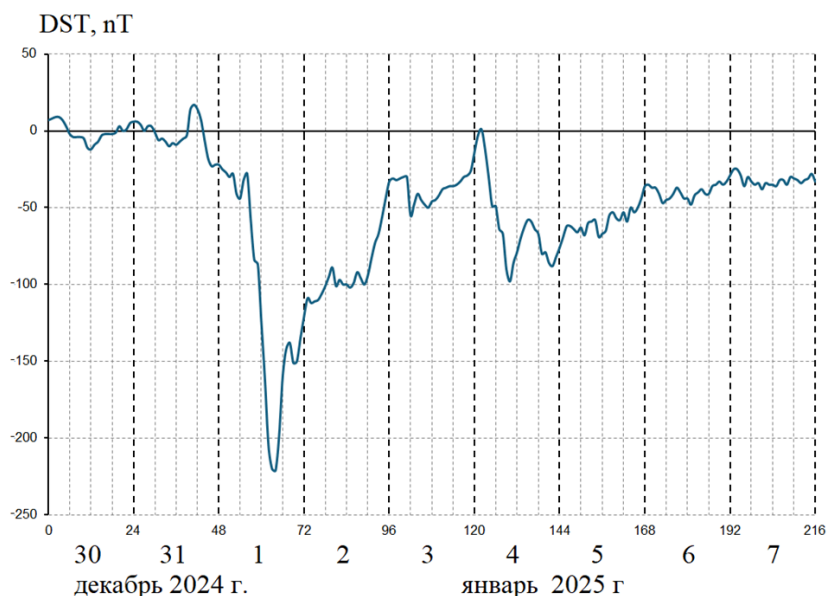


Рисунок 2 – График поведения DST-индекса геомагнитной активности для интервала дат 30 декабря 2024 г. – 7 января 2025 г.

Анализируется временной ход зависимости диапазона частот прохождения от индекса магнитной активности, для чего строились синхронные графики ННЧ и МНЧ. На Рисунке 3 приведен временной ход этих графиков для F- и Es-мод распространения за 31 декабря 2024 г. и 1 января 2025 г., когда наблюдалась положительная и главная фазы магнитной активности. Условные обозначения ННЧ и МНЧ F- и Es-мод приведены на рисунке.

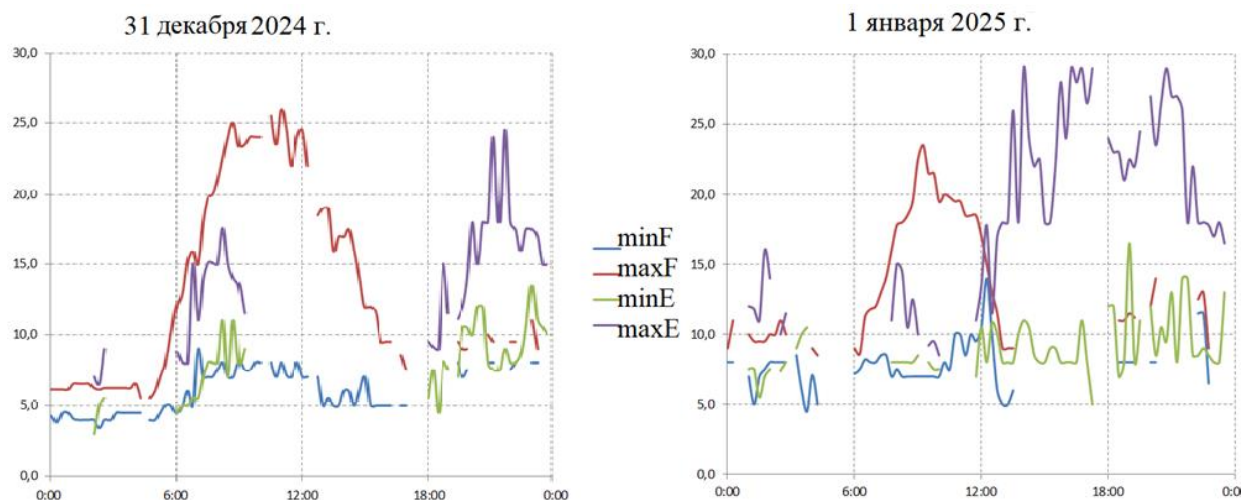


Рисунок 3 – Временной ход графиков ННЧ и МНЧ для F- и Es-мод распространения за 31 декабря 2024 г. и 1 января 2025 г.

Сравнение данных, приведенных на рисунке 3, подтверждает для очень сильной геомагнитной бури с уровнем G4.0 ($K_p = 8.00$) результаты, ранее полученные в [1] для слабой бури с уровнем G1.0 ($K_p = 5.00$). Для МНЧ F-слоя ионосферы с момента начала отрицательной фазы бури наблюдается деградация максимальных частот отражения, но появляется Es-слой с очень высокими МНЧ. Увеличиваются значения ННЧ F-слоя ионосферы и диапазон прохождения F-моды резко сокращается. При этом диапазон прохождения частот Es-моды резко возрастает, а значения его МНЧ выходят за диапазон измерений.

Выводы

В качестве рекомендаций по нейтрализации неблагоприятных воздействий магнитной бури на работу средств КВ связи вдоль субавроральной трассы (в том числе и с морскими судами, находящимися в северных морях России) можно предложить следующее:

1. Переходить на более высокие рабочие частоты связи при появлении признаков геомагнитной бури, так как на субавроральных трассах диапазон частот прохождения КВ-сигналов Es-модой увеличивается до 10 раз по сравнению с невозмущенной ионосферой, а МНЧ Es часто достигает верхнего предела рабочей частоты КВ аппаратуры на судах (обычно 30 МГц).
2. Использовать для связи приёмо-передающую аппаратуру с диапазонами частот до 60 МГц, так как МНЧ Es часто значительно превышает 30 МГц.

Заключение

Изучение распространения радиоволн в полярных регионах в различных гелиогеофизических условиях на трассах различной протяженности и ориентации необходимо проводить с использованием ЛЧМ-станций, верхний диапазон частот которых должен достигать 60 МГц. Это позволит расширить диапазон частот исследования

поведения МНЧ Es-моды и повлияет на методику прогнозирования ионосферного распространения КВ-сигналов.

Авторы благодарят сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», обеспечивавших работу ЛЧМ-передатчика станции Ловозеро.

Работа выполнена по проекту FSWR-2023-0038 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы:

1. Урядов В.П., Выборнов Ф.И., Першин А.В. Вариации диапазона частот прохождения коротковолновых сигналов на субавроральной трассе во время магнитно-ионосферной возмущённости в октябре 2016 года // Изв. вузов. Радиофизика. – 2021. – Т. 64. – №2. – С. 83–94.
2. ИКИ РАН и ИСЗФ СО РАН Лаборатория солнечной астрономии URL: https://xras.ru/magnetic_storms.html/moscow/ (дата обращения 01.06.2025)

