



УДК 550.388.2

Выборнов Федор Иванович¹, д.ф.-м.н., зав. кафедрой Физики,
e-mail: kaf_phys@vsuwt.ru

Усанов Владимир Андреевич¹, студент

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ МЕТОДОМ ЛЧМ ЗОНДИРОВАНИЯ

Аннотация. В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований параметров естественных перемещающихся ионосферных возмущений типа «серп», наблюдаемых на средних широтах с помощью ионозондов с линейной частотной модуляцией. Эксперименты проводились на слабонаклонных трассах в центральной части России в 2015 – 2020 годах.

Ключевые слова: радиосвязь, КВ диапазон длин волн, распространение радиоволн, ионосфера, ионосферные возмущения, перемещающиеся ионосферные возмущения, ЛЧМ зондирование.

Введение:

В результате длительных наблюдений и специально проведенных исследований получен значительный объем данных о структуре ионосферы Земли, ее регулярной сезонной и суточной изменчивости. Применение дистанционных методов исследований ионосферы как с поверхности Земли, так и из космоса, убедительно показали, что ее структура неоднородна, а параметры ионосферной плазмы могут быстро изменяться. Сильная зависимость параметров ионосферы от гелиогеофизической обстановки проявляется в виде изменения профиля электронной концентрации, температуры электронов и ионов, генерации волновых возмущений разных временных и пространственных периодов, появлении неоднородностей разных масштабов.

Несмотря на успехи, достигнутые в реконструкции крупномасштабных структур ионосферы, определение параметров и прогноз ионосферных возмущений остается актуальной и нерешенной проблемой. Отсутствие полных и достоверных сведений о параметрах ионосферных возмущений разных масштабов, их развитии и характеристиках движения сказывается на качестве прогностических моделей. Остается нерешенным вопрос о глобальном непрерывном мониторинге состояния ионосферы.

Следует отметить, что ионосферные возмущения оказывают существенное влияние на распространение радиоволн коротковолнового диапазона. Рассеяние сигнала на неоднородностях, многолучевость и поглощение ухудшают условия связи, приводят к снижению скорости обмена данными или полной потери связи. Появление наклонных отражений в ионосфере ограничивает точность пеленгования и позиционирования, что важно для работы загоризонтных РЛС.



Необходимость решения обратной задачи дистанционного зондирования ионосферы, а также потребности коротковолновой радиосвязи с учетом влияния волновых возмущений и их прогноза, требуют выяснения природы возмущений, идентификации их источников. Для этого необходимо знать масштабы волновых возмущений, их динамику в течение времени их существования. Получение этих сведений возможно лишь на основе длительных комплексных исследований, позволяющих проводить регулярные измерения параметров волновых возмущений.

В работе представлены экспериментальные результаты исследования естественных перемещающихся ионосферных возмущений методом слабонаклонного зондирования ЛЧМ ионозондами на средних широтах.

ЛЧМ ионозонд наклонного зондирования ионосферы

Экспериментальные исследования проводились с использованием комплекта базовой приемно-передающей станции (БРПДС) фирмы "SITKOM" LLC (г. Йошкар-Ола) на базе сканирующего профессионального трансивера Icom IC-718 (далее для сокращения будет использоваться термин ионозонд), предназначенной для измерения методами вертикального (ВЗ) и наклонного (НЗ) зондирования параметров ионосферы и характеристик ионосферного радиоканала. Станция позволяет получать ионограмму (зависимость высоты отражения от частоты) или снимать дистанционно-частотную характеристику ионосферы на трассе зондирования.

По отношению к импульсным станциям зондирования ионосферы ЛЧМ ионозонд имеет следующие преимущества:

- малые массу и размеры;
- маленькую излучаемую мощность при равной эффективности ионозондов (обычно мощность ЛЧМ ионозондов не более 100 Вт, что на два порядка меньше мощности импульсных станций);
- маленькую потребляемую мощность;
- высокую помехоустойчивость из-за особенностей структуры ЛЧМ сигнала и разрешающую способность, возможность работы в сетях ЛЧМ станций;
- способность работать на трассах любой протяженности, включая кругосветные.

Из особенностей работы ЛЧМ станции необходимо отметить, что они могут работать только в комплекте (передающая и приемная станции).

БРПДС конструктивно выполнена в виде блока стандартных размеров, подключенного к персональному компьютеру (см. рис.1). В качестве стандартной антенны используется, как правило, антенна типа T2FD. Станция позволяет проводить вертикальное и наклонное зондирование ионосферы, проводить отображение контрольной ионограммы на экране дисплея, а результаты измерений сохранять на диске персонального компьютера. Обработка сигнала позволяет построить амплитудно-частотную характеристику сигнала и шума, дистанционно-частотную характеристику сигнала при выбранных параметрах обработки сигнала, профиль электронной концентрации. На персональном компьютере хранятся результаты измерений, обработки и параметры трасс зондирования.

БРПДС позволяет производить поиск ЛЧМ передатчиков мировой сети и сохраняет их данные. Возможна работа станции в режиме коротковолновой связной радиостанции.

БРПДС производится в г. Йошкар-Оле на предприятии "SITKOM" LLC и может использоваться как в гражданских, так и военных структурах.

Полученные результаты

Перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) - один из видов ионосферных возмущений. Различают крупномасштабные (период от 30 минут до нескольких часов,



пространственный масштаб несколько тысяч километров), среднемасштабные (период 15-30 минут, пространственный масштаб 100 – 1000 км) и короткопериодические (период не более 15 минут, пространственный масштаб не более 100 км). ПИВ генерируются в ионосфере при различных возмущениях естественного и техногенного происхождений (движение терминатора, проявление геомагнитной бури, землетрясение, мощный взрыв в атмосфере Земли) [1, 2].



Рис. 1. Комплект базовой приемо-передающих станции (БРПДС) фирмы “SITKOM” LLC.

Наблюдаемые нами ПИВ относятся к короткопериодическим. Часто их классифицируют как ПИВ типа “серп” или U-образные[3]. В таблице 1 приведены координаты пунктов приема и передачи, а в таблице 2 приведены параметры трассы зондирования ионосферы.

На рисунке 2 приведена серия ионограмм за интервал времени с 7:40 UT до 7:46 UT, полученная на трассе п. Васильсурск – г. Нижний Новгород 1 декабря 2016 года в ходе наблюдения за развитием ПИВ типа «серп». Возмущение наблюдалось на O- и X-компонентах и перемещалось в область меньших высот.

Обычно такие возмущения наблюдаются только в дневное время суток. Максимум их появляемости наблюдается в полдень по местному времени. Анализ появляемости таких ПИВ по данным ионозода станции Зименки выполнен за три цикла солнечной активности (с 1966 г. по 1992 г.) и подтверждается данными статьи [3].

Таблица 1. Координаты пунктов приема и передачи.

№п/п	Пункт (прием(R)/передача(T))	Координаты
1.	Стенд «СУРА» (R/T), п. Васильсурск	56,13° N, 46,08° E
2.	НИРФИ, г. Н. Новгород (R)	56,32° N, 44,02° E

Таблица 2. Параметры трассы зондирования.

Трасса	Азимут	Дальность, км	Координаты средней точки трассы
Васильсурск – Нижний Новгород	280,26°	130	56,23° N; 45,15° E

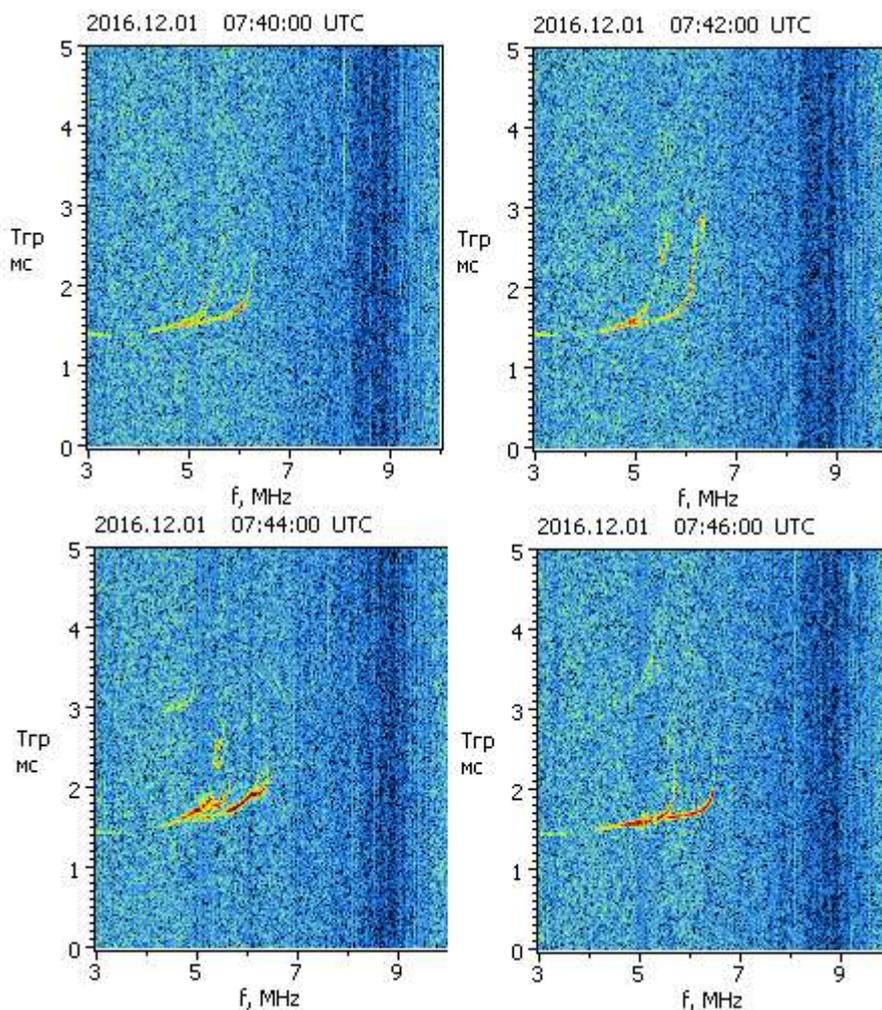


Рисунок 2. Развитие ПИВ типа «серп» с 7:40 UT до 7:46 UT.

Работа выполнялась в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту № 0729-2020-0057.

Список литературы:

1. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. – Москва: Наука, 1984. – 392 с.
2. Афраймович Э.Л. Ионосферные методы радиозондирования ионосферы. М.: Наука, 1982. – 199 с.
3. Выборнов Ф.И., Митякова Э.Е., Рахлин А.В. и др. Анализ появляемости перемещающихся ионосферных возмущений типа “серп” на средних широтах // Известия вузов. Радиофизика. Т. XL. 1997, №12. С. 1455-1462. (перевод Vybornov F.I., Mityakova



E.E., Rakhlin A.V., Krupenya N.D. Analysis of appearance of moving ionospheric disturbances of the "sickle" type at middle latitudes.//Radiophysics and Quantum Electronics. 1997. T. 40. №12. P. 981-986.)

STUDY MOVING IONOSPHERIC DISTURBANCES PARAMETERS BY CHIRP IONOZOND

Fedor I.Vybornov, Vladimir A. Usanov

Abstract. This article presents the results of experimental studies of the parameters of natural traveling ionospheric disturbances of the "sickle" type observed at mid-latitudes using linear frequency modulation ionosondes. The experiments were carried out on slightly sloping tracks in the central part of Russia in 2015 – 2020.

Keywords: radio communication, HF wavelength range, radio wave propagation, ionosphere, ionospheric disturbances, traveling ionospheric disturbances, chirp sounding method.

