

Том II, с. 202–205

УДК: 621.37

## ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОСТИ НА ДИАПАЗОНЫ ОДНОМОДОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОТКОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ

**В. В. Овчинников, В. А. Иванов, Н. В. Рябова**

*Поволжский государственный технологический университет,  
424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: OvchinnikovVV@volgatech.net*

**Аннотация.** Экспериментально исследовались диапазоны одномодового распространения коротковолновых сигналов широкополосной и узкополосной связи на среднеширотной радиолинии протяженностью 2600 км. Установлены нормированные к максимально наблюдаемой частоте радиолинии границы диапазонов и зависимости их абсолютной величины от времени суток и сезонов года. Показаны особенности системных характеристик широкополосных (1 МГц) каналов на частотах из данного диапазона. Определены нормированные к МНЧ значения оптимальных рабочих частот для узкополосных систем связи. Установлено, что при наличии диапазонов одномодового распространения ОРЧ по критерию максимального SNR принадлежат их частотам.

**Ключевые слова:** диапазономодового распространения, КВ, радиосвязь, оптимальная рабочая частота

## EFFECT OF SEASON ON SINGLE MODE PROPAGATION BAND OF SHORT-WAVE SIGNALS

**V. V. Ovchinnikov, V. A. Ivanov, N. V. Ryabova**

**Abstract.** The paper proposes an approach for the secondary processing of monitoring results of thunderstorm activity. The error in determining the bearing of discharge, which inevitably occurs in single-point passive monitoring systems, is particularly critical when processing pre-storm radiation. The errors can be eliminated by analysing the entire set of registered discharges for a period of time. The proposed approach allows us to construct three-dimensional density maps for estimating the probability of a thunderstorm being located in space and its projection.

**Keywords:** single mode propagation band, HF, radio communication, optimum working frequency

### Введение

Особенностью ионосферной коротковолновой (КВ) радиосвязи является возможность сигнала распространяться несколькими траекториями между передатчиком и приёмником [1] на большие расстояния. Различия групповых задержек различных мод распространения определяют рассеяние по быстрому времени в узкополосном (3 кГц) канале [2]. Эти значения могут достигать 3-10 мс [1], ограничивая до 0,3 кГц полосу когерентности канала и - скорость передачи информации по каналу связи. Замирания, вызванные интерференцией нескольких скачковых мод в канале, также существенно ухудшают надёжность связи. Очевидно, что для решения указанных проблем разумно рабочие частоты выбирать из диапазонов одномодового распространения. Однако на радиолиниях большой протяженности для этих диапазонов характерна интерференция магнито-ионных лучей, имеющих разностную задержку импульсных характеристик порядка 1-3 мкс. Это приводит к неравномерности АЧХ широкополосного канала с существенным диапазоном вариаций. Кроме того, наклон ионограммы, связанный с частной фазовой дисперсией, ограничивает полосу когерентности широкополосного канала значениями 50-100 кГц, которая растёт с увеличением протяжённости трассы [3]. Согласно [3], верхняя граница диапазона одномодового распространения (ДОР) определяется наименьшей наблюдаемой частотой (ННЧ<sub>p</sub>)

верхнего луча (луча Педерсена) мода 1F, а нижняя граница – максимальной наблюдаемой частотой (МНЧ<sub>2</sub>) мода 2F. Поэтому на верхней границе диапазона необходимо выполнение условия одномодовости, которое [3] имеет место, когда амплитуда нижнего луча на 20 дБ превышает амплитуду луча Педерсена [4]. Очевидно, что в случае одномодового распространения на трассах большой протяженности радиоканалы могут обеспечить максимальную пропускную способность, за счет возможности расширения их полосы частот.

**Цель работы** – экспериментальное исследование ДОР коротковолновых каналов связи для экспериментальной среднеширотной радиолинии, протяженностью 2600 км, в условиях влияния геофизических факторов, связанных с временем суток и сезонов года.

### Общие положения

На рисунке 1а) и 1б) изображены: характерная ионограмма наклонного зондирования среднеширотной радиолинии протяженностью 2600 км и АЧХ КВ радиоканала с полосой 1 МГц. Красными пунктирными линиями показан диапазон одномодового распространения. Левая прямая это его нижняя граница, а правая – верхняя. Полоса частот между верхней и нижней границами составляет ДОР.

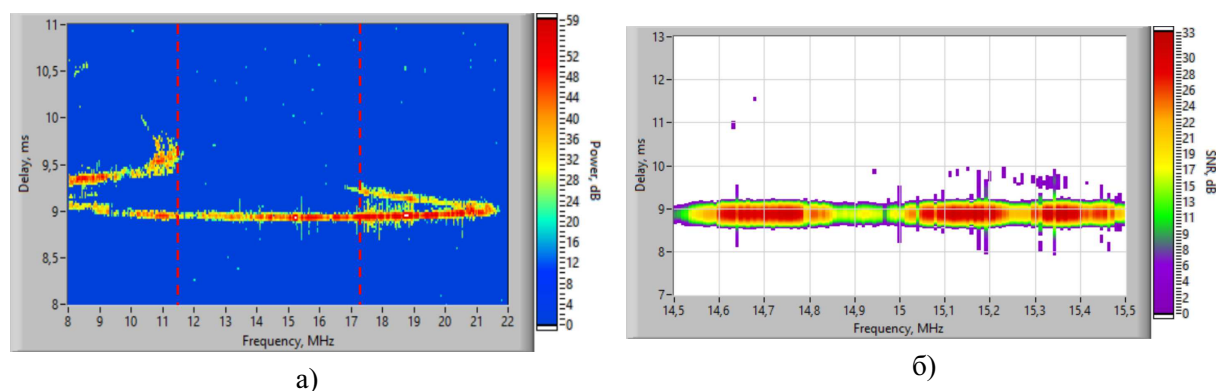


Рис. 1. а) - Ионограмма наклонного зондирования радиотрассы о. Кипр – г. Йошкар-Ола за 13/02/2019 16:55 (LT) и ДОР; б) – АЧХ широкополосного (1 МГц) канала из ДОР.

### Техника и условия проведения эксперимента

В экспериментах на радиолинии о. Кипр – г. Йошкар-Ола, протяженностью 2600 км определялись ионограммы наклонного зондирования ионосферы FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) сигналами. На приемном пункте в г. Йошкар-Оле использовался современный цифровой ионозонд, созданный по SDR технологии и универсальной аппаратной платформы USRP [5]. Управление приемными терминалами обработка принятого сигнала осуществлялись ПЭВМ в соответствии с программнозаданным расписанием. Скорость перестройки частоты зондирующего FMCW сигнала составляла 100 кГц/с. Нижний и верхний частотный пределы диапазона зондирования на трассе о. Кипр – г. Йошкар-Ола составляли 7,5 МГц и 32,5 МГц соответственно. Для автоматической фильтрации ионограмм от шумов и помех использовался адаптивный алгоритм обнаружения CFAR, подробно описанный в [6]. Ионограммы регистрировались с интервалом 15 минут. Всего было обработано 1344 ионограммы. Выборка ионограмм в эксперименте охватывала следующие периоды: весна 2016 г., осень 2017 г., зима 2017 г. Проведенные статистические исследования показали, что используемые выборки были репрезентативными. Солнечная активность за 2016 и 2017 годы была достаточно низкой, что характеризуется среднегодовыми числами Вольфа, которые составили 39,8 и 21,7 соответственно. В каждом периоде были выбраны магнито-спокойные дни с низким уровнем планетарного индекса на основе данных о магнитных бурях Лаборатории Рентгеновской астрономии Солнца (ЛРАС) ФИАН.

### Исследование влияния геофизических факторов на характеристики ДОР

АЧХ широкополосных каналов из ДОР демонстрировали (в нашем случае цветом) существенные (до 20 дБ) вариации спектральной плотности мощности с масштабом 250-350 кГц, которые обусловлены интерференцией обыкновенной и необыкновенной магнитоионных компонент.

В случае исследования суточных и сезонных вариаций значения ДОР его граничные частоты нормировались на МНЧ радиолинии, то есть были представлены в относительных частотах  $\hat{f} = f/\text{МНЧ}$ . Это было связано с тем, что суточные вариации МНЧ, вызванные изменчивостью неоднородностью ионосферы, влияли на характер изменения ДОР в течение этого периода времени. Поэтому, одновременно с исследованием суточных вариаций границ ДОР и величины его диапазона оценивались изменения суточных ходов МНЧ.

На рисунке 2 приведены результаты статистической обработки параметров ДОР радиотрассы о. Кипр – г. Йошкар-Ола для периодов апреля 2016 г., ноября и декабря 2017 г.

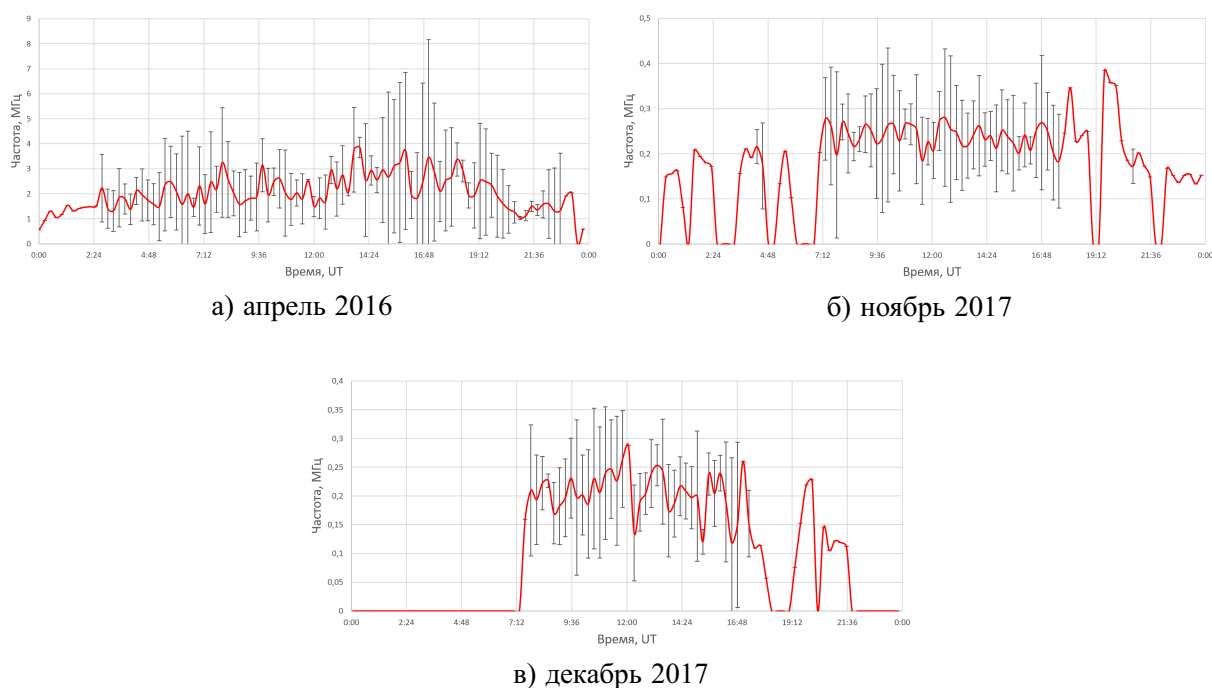


Рис. 2. Зависимости средних значений диапазона одномодового распространения и доверительных интервалов от времени суток исследуемой радиолинии о. Кипр – г. Йошкар-Ола.

В таблице 1 представлены усреднённые по периодам значения исследуемых параметров ДОР радиолинии о. Кипр – г. Йошкар-Ола для различного времени суток и сезонов года.

Таблица 1. Усреднённые значения исследуемых параметров ДОР для различного времени суток по выбранным периодам.

Исследуемый период		Нормированные к МНЧ границы ДОР	ДОР, МГц
Апрель 2016	день	0,63 - 0,74	2,34
	ночь	0,66 - 0,73	1,34
Ноябрь 2017	день	0,62 - 0,86	0,24
	ночь	0,57 - 0,77	0,19
Декабрь 2017	день	0,63 - 0,84	0,21
	ночь	0,64 - 0,78	0,14

Установлено, что в весенний период наблюдались большие вариации МНЧ во время восхода - захода Солнца и полудня по мировому времени (UT), а зимой вариации МНЧ тако-

го порядка наблюдались днем. Они достигали максимума в околополуденное время. В зимнее время ДОР наблюдался только с момента восхода Солнца и продолжал существовать до заката. Максимальное усреднённое значение величины ДОР наблюдалось в весенний период в дневное время, когда он достигал величины 2,34 МГц. В осенний и зимний периоды усреднённая величина масштаба ДОР не превышала 0,24 МГц и 0,21 МГц соответственно.

Исследования взаимосвязи оптимальных рабочих частот (ОРЧ) узкополосной КВ связи с частотами из ДОР показали, что отношение ОРЧ/МНЧ варьируются в пределах 0,7-0,8, что в основном, соответствует частотам из ДОР. При этом ОРЧ определялись по критерию максимального отношения сигнал-шум в узкополосном канале.

### Заключение

Экспериментально определены основные характеристики диапазонов одномодового ионосферного распространения КВ радиоволн на среднеширотной радиолинии протяженностью 2600 км: верхняя и нижняя границы, частотный диапазон и АЧХ широкополосного канала из ДОР. Установлено, что верхняя граница ДОР в значительной степени зависит от частотного диапазона луча Педерсена; величина ДОР в дневное время в 1,5-2 раза больше, чем ночью; в весенний сезон величина ДОР на порядок больше, чем в осенне-зимний период. Экспериментально определены нормированные к МНЧ значения оптимальных рабочих частот узкополосных систем КВ связи. Экспериментально установлено, что ОРЧ в основном соответствует частотам из ДОР. АЧХ широкополосных каналов из ДОР демонстрировали существенные (до 20 дБ) вариации спектральной плотности мощности с масштабом 250-350 кГц, которые обусловлены интерференцией обыкновенной и необыкновенной магнитоионных компонент.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ: № 3.4074.2017/ПЧ и грантов Российского фонда фундаментальных исследований: № 18-07-01376, № 19-07-00629.

### Список литературы

1. Иванов, В.А. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами / В.А. Иванов, Н.В. Рябова, Д.В. Иванов // Вестник МарГТУ – Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2010. – № 1. – С 3 -37.
2. Иванов, В.А. Диагностика функции рассеяния декаметровых узкополосных стохастических радиоканалов / В.А. Иванов, Н.В. Рябова, И.Е. Царев // Радиотехника и электроника. – Т. 55. – № 3. М.: Академиздатцентр «Наука», – 2010. – С.285-291
3. Рябова Н.В. Исследование влияния моделей многолучёвости на структурные функции ионосферных декаметровых каналов радиосвязи / Иванов В.А., Рябова Н.В., Иванов Д.В., Сушенцов Р.А., Рябова М.И., Чернов А.А. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 4 (28). С. 6-17.
4. Иванов Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография / Д. В. Иванов. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 268 с.
5. Ivanov, V. A., Ivanov, D. V., Ryabova, N. V., Ryabova, M. I., Chernov, A. A., & Ovchinnikov, V. V. (2019). Studying the parameters of frequency dispersion for radio links of different length using software-defined radio based sounding system. *Radio Science*, 54, 34–43. doi: 10.1029/2018RS006636
6. V. V. Ovchinnikov, N. V. Ryabova and A. A. Elsukov, "Adaptive HF Signal Detection Algorithm CFAR and Its Verification By Means of SDR Based Digital Ionosonde with USRP Platform," 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Minsk, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8456970.