



УДК 550.388.2

Выборнов Федор Иванович, доцент, д.ф.-м.н., профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Курнев Марк Сергеевич, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Усанов Владимир Андреевич, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ КВ СВЯЗИ НА ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ И ВНУТРЕННИХ РЕЧНЫХ ПУТЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Ключевые слова: ионосфера, распространение радиоволн, коротковолновый диапазон, ЛЧМ сигнал, прогнозирование радиосвязи.

Аннотация. Показано, что полученные высокие значения коэффициентов временной и пространственной корреляции МНЧ моды $1F_2$ на интервале прогноза до одного часа позволили рассчитать территориальные зоны применимости адаптированной модели ионосферы IRI-2016 для прибрежных морских и внутренних речных путей европейской части России в условиях спокойной ионосферы.

Радиосвязь на внутренних водных путях осуществляется в диапазонах частот 300,0125 - 300,5125 МГц и 336,0125 - 336,5125 МГц, при этом основным ее видом является радиотелефония в симплексном режиме. Если на море дальность связи определяется дальностью прямой видимости, что позволяет обеспечивать радиосвязь на расстояниях до 25 морских миль, то на внутренних водных путях такие условия встречаются только на водохранилищах. В большинстве случаев судно находится между берегов, иногда достаточно высоких, препятствующих распространению радиоволн и полностью исключающих возможность радиосвязи. Именно поэтому в соответствии с [1] при определении состава оборудования судов внутреннего водного транспорта рекомендуется иметь в виду, что в отдельных участках Волжского бассейна имеются так называемые "мертвые зоны", где ультракоротковолновая (УКВ) связь неустойчивая. В случае возникновения аварийной ситуации капитан судна при невозможности установки связи в УКВ диапазоне обязан вызвать береговую станцию в промежуточном или коротковолновом (ПВ/КВ) диапазонах.

С середины восьмидесятих годов из-за быстрого развития спутниковых систем связи удельный вес и назначение коротковолновой связи изменился. Благодаря своим свойствам (низкая стоимость эксплуатации по отношению к спутниковым системам, высокая живучесть в экстремальных условиях и быстрая восстанавливаемость) она становится важным резервом средства связи, что в аварийных условиях делает ее незаменимой (см. подробнее [2]). Именно поэтому решение вопросов надежности и прогнозируемости КВ радиосвязи важно для обеспечения безопасности судоходства на морских и внутренних речных путях.

Результаты наблюдений и моделирования

Для долгосрочного прогнозирования КВ радиосвязи используют статистические модели ионосферных параметров, основанные на усредненных данных. Быстрые изменения гелиогеофизических условий и, как следствие, вариации ионосферных параметров существенно влияют на эффективность такого прогнозирования.

Для прогнозирования на короткие интервалы времени (не более нескольких часов) требуется синхронный мониторинг ионосферных параметров с такими же временными интервалами. Для корректировки ионосферных параметров и повышения точности прогноза используют ионозонды с непрерывным излучением линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала в реальном масштабе времени. Имеющаяся на территории европейской части России сеть ЛЧМ ионозондов позволяет решить задачу прогнозирования основных параметров ионосферного канала КВ связи. Инерционность ионосферных процессов позволяет устанавливать пространственно-временные корреляционные связи параметров КВ канала и использовать их для прогнозирования на короткие интервалы времени [3, 4]. Определение значимых временных интервалов корреляционных связей максимально наблюдаемой частоты (МНЧ) особенно важно при длительных (десятки минут, часы) сеансах связи.

Исследования пространственно-временных корреляционных связей максимально наблюдаемой частоты проводились в 2018 – 2019 годах на трассах наклонного ЛЧМ-зондирования Соданкюля (Финляндия) – Васильсурск, Ловозеро (Мурманская обл.) – Васильсурск, Салехард – Васильсурск, Амдерма – Васильсурск и на среднеширотной трассе ст. Горьковская (Ленинградская обл.) – Васильсурск. ЛЧМ передатчики в Ловозеро, Салехарде, Амдерме и ст. Горьковская работали круглосуточно с интервалом зондирования 15 минут в диапазоне частот 2-30 МГц со скоростью перестройки частоты 550 кГц/с. Передатчик в Соданкюля работал в диапазоне частот 2 – 16 МГц со скоростью перестройки частоты 500 кГц/с каждые 5 минут. Прием проводился в п.г.т. Васильсурск.

На основе данных, полученных на этих трассах, определялась временная зависимость изменения МНЧ для спокойных условий. Согласно полученным данным коэффициент временной корреляции МНЧ моды 1F2 на интервале прогноза до одного часа составлял 0,9-0,95, а коэффициент пространственной корреляции находился в пределах 0,86-0,96.

Высокие значения коэффициентов пространственной корреляции МНЧ позволили применить для прогнозирования и экстраполяции МНЧ метод адаптации глобальной модели ионосферы к результатам наклонного зондирования на рабочих радиоперелиниях [3, 4]. Адаптация глобальной модели ионосферы IRI2016 осуществлялась путем коррекции ее управляющего параметра IG12, что привело к изменению модельного распределения электронной концентрации вдоль трассы и к изменению ее МПЧ. Такая коррекция позволяет свести рассчитанное значение МПЧ к экспериментальной МНЧ с незначительной погрешностью. Адаптированная таким образом модель используется как для прогнозирования поведения МПЧ для данной трассы на временной интервал прогноза, так и для экстраполяции МПЧ на трассы, не оснащенные средствами диагностики.

На рисунке 1 показан временной ход МНЧ моды 1F2 (крестиками) на трассе Ловозеро – Васильсурск для 10.08.2018 г. Измерения проходили в условиях спокойной магнитной обстановки ($K_p = 1$). Модельная кривая максимально применимых частот (МПЧ), рассчитанных по адаптивной модели ионосферы IRI-2016, приведена красным цветом. Результаты расчета МПЧ по долгосрочному прогнозу показаны синим цветом. Прогноз по адаптированной модели дает среднюю ошибку 7.7%. Для долгосрочного прогноза ошибка прогноза составляет 15.2%.

На рисунке 2 приведены экспериментальные (МНЧ) и расчетные (МПЧ) значения частот для среднеширотной трассы Горьковская – Васильсурск (прогноз по адаптированной модели дает среднюю ошибку 9.5%, а для долгосрочного прогноза ошибка прогноза составляет 15.1%).

Для всех этих трасс в расчетах использовались значения $IG12=50$ и $Rz12=44.1$, полученные на контрольной трассе Ловозеро – Васильсурск при адаптации ионосферной модели IRI-2016. Из приведенных данных ясно, что при использовании адаптированной модели ионосферы, ошибки прогнозирования МПЧ на контрольной трассе и ошибки экстраполяции МПЧ на соседние субавроральные и среднеширотную трассы (с удалением средних точек рабочих трасс от средней точки контрольной трассы на расстояние менее 870 км) существенно меньше, чем ошибки по данным долгосрочного прогноза.

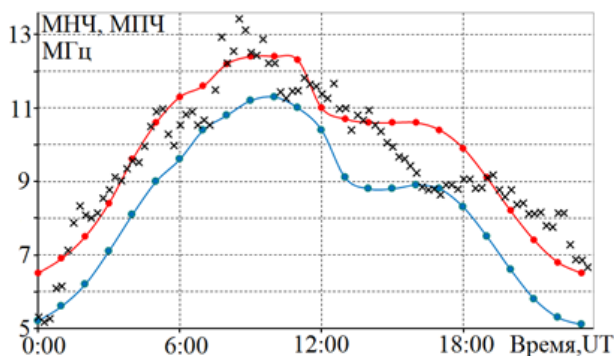


Рис. 1

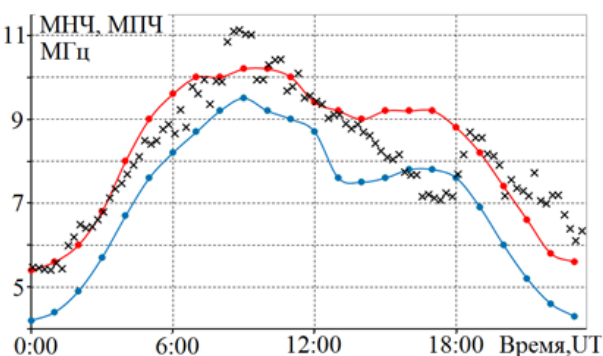


Рис. 2

На рисунках 3 и 4 соответственно приведены дистанционно-частотные характеристики ионосферы для трасс Ловозеро – Васильсурск в 9:02 UT и Горьковская – Васильсурск в 9:05 UT, полученные 10 августа 2018 года.

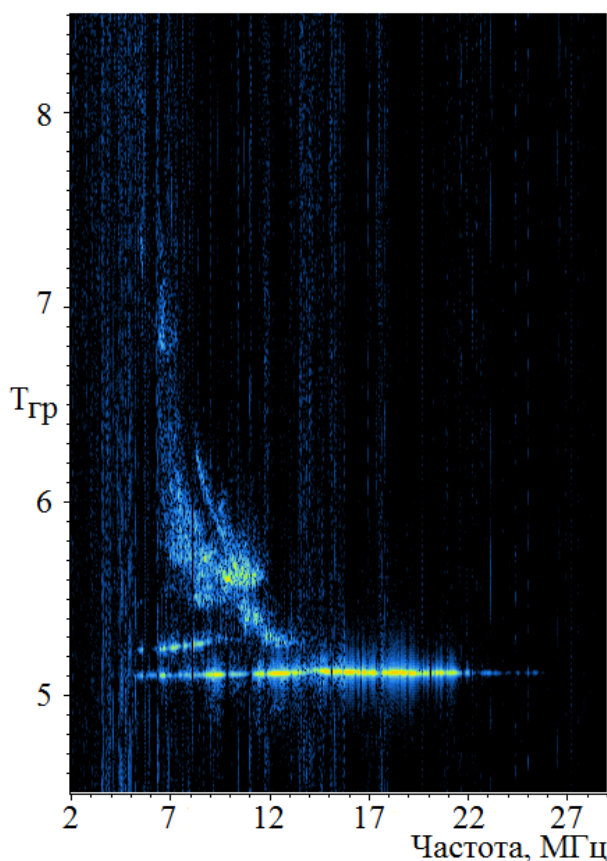


Рис. 3

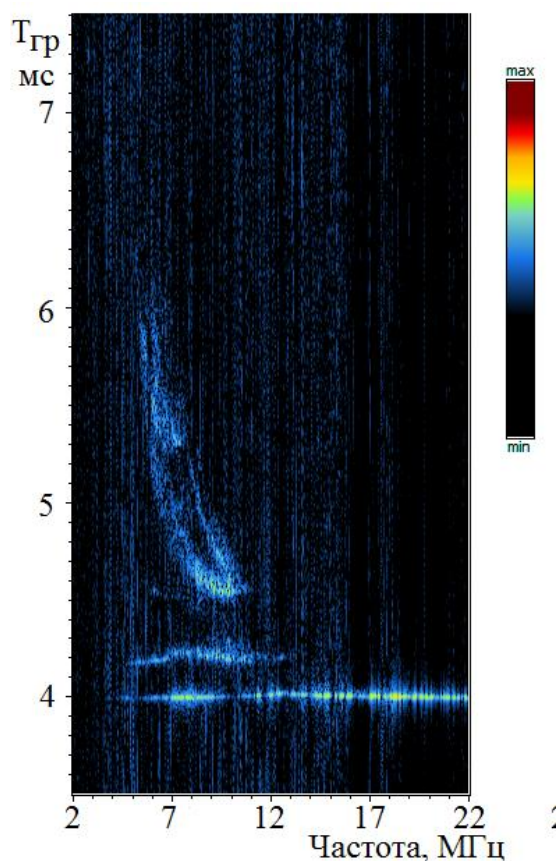


Рис. 4

Известно, что радиус пространственной корреляции вариаций критической частоты ионосферы составляет около 1000 и 1500 км в направлении север-юг и восток-запад, соответственно [3]. Это позволяет на основе данных наклонного ЛЧМ зондирования

ионосферы для имеющихся трасс с пунктом приема в п.г.т. Васильсурск рассчитать зоны прогнозируемой КВ связи в европейской части России. На рисунке 5 приводится карта, где желтыми овалами показаны расчетные зоны применимости адаптированной модели ионосферы с коэффициентами временной и пространственной корреляции МНЧ моды 1F2 на интервале прогноза до одного часа не менее 0,9 относительно трасс, ЛЧМ передатчик которых указан в центре овала.

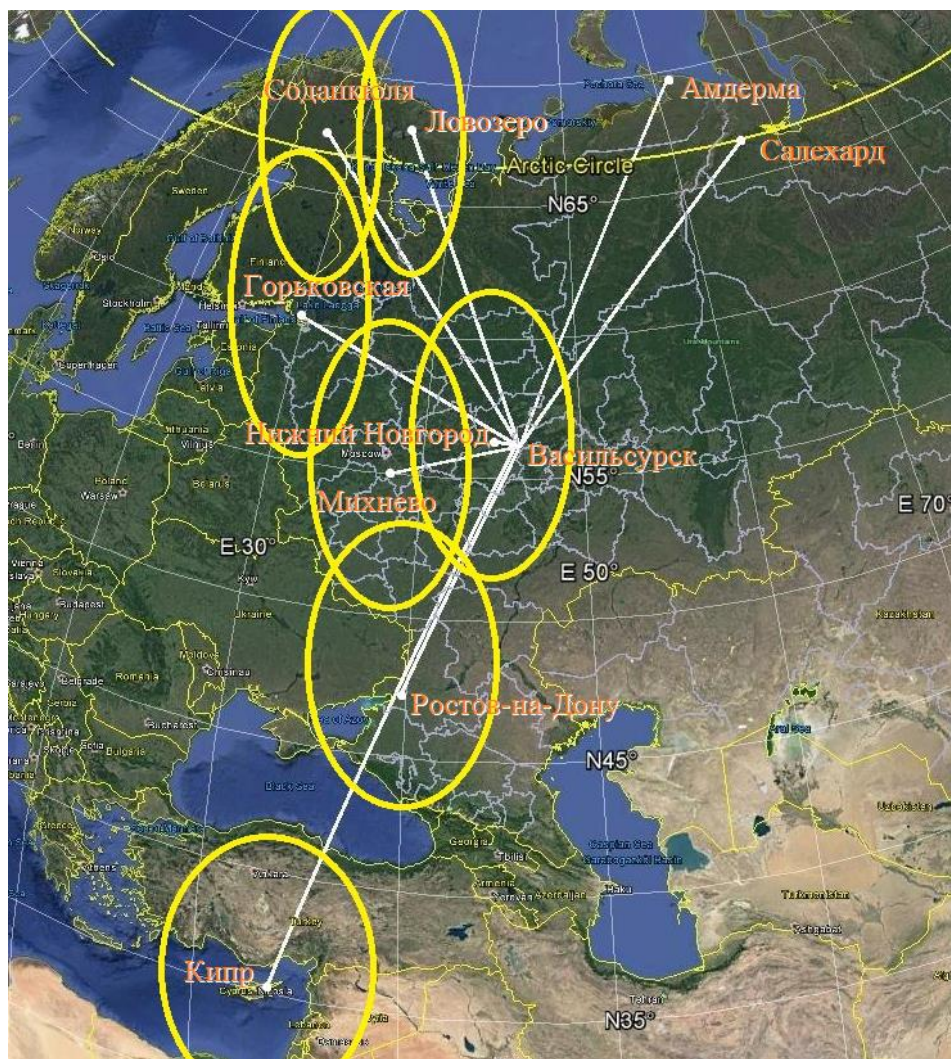


Рис. 5

Особенности распространения коротковолновых сигналов на трассах наклонного зондирования во время солнечной и магнитной активности рассмотрены в работе [5], где показано, что для обеспечения надежной КВ-радиосвязи в условиях геомагнитных возмущений, когда ионосферный канал подвержен плохо прогнозируемым значительным вариациям, реализуется возможность распространения КВ-сигналов с отражением от Es в существенно большем временном интервале и диапазоне частот, чем для слоя F2 ионосферы. Образование спорадического слоя Es во время магнитной бури существенно расширяет возможности управления частотным ресурсом радиолиний для обеспечения надежной КВ-радиосвязи.

Заключение

Показано, что в условиях спокойной ионосферы при использовании адаптированной модели ионосферы IRI-2016 ошибки прогнозирования МПЧ на контрольной трассе и ошибки экстраполяции МПЧ на соседние субавроральные и среднеширотную трассы с удалением средних точек рабочих трасс от средней точки контрольной трассы на расстояние менее 870 км составляют не более 10%.

Полученные высокие значения коэффициентов временной и пространственной корреляции МНЧ моды 1F2 на интервале прогноза до одного часа в спокойных геофизических условиях позволили рассчитать территориальные зоны применимости адаптированной модели ионосферы для прибрежных морских и внутренних речных путей европейской части России.

Список литературы:

- [1] Организация технологической связи и мониторинга движения судов в границах Волжского бассейна (по состоянию на 01.04.2018).
http://волгаводпуть.рф/navigatsiya/radionavigatsiya_i_svyaz/ (20.06.2019 г.)
- [2] Головин О. В. Декаметровая радиосвязь. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
- [3] Урядов В.П., Выборнов Ф.И., Першин А.В. Экстраполяция максимальной применимой частоты путём адаптации ионосферной модели IRI-2007 по данным наклонного зондирования в евроазиатском регионе. // Известия вузов. Радиофизика. – 2018. – Т. 61. – № 12. – С. 975–990.
- [4] Урядов В.П., Выборнов Ф.И., Першин А.В. Краткосрочное прогнозирование коротковолновой радиосвязи. // Труды конгресса «Великие реки» 2018. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Секция XI Физика. Выпуск 7. – 2018. <http://www.vsuwt.ru/science> (20.06.2019 г.)
- [5] Урядов В.П., Выборнов Ф.И., Першин А.В. Особенности распространения коротковолновых сигналов на трассах наклонного зондирования во время солнечной и магнитной активности в сентябре 2017 года. // Изв. вузов. Радиофизика. – 2019. – Т. 62. – № 2. – С. 95–109.

FORECASTING THE CONDITIONS OF SHORT-WAVE COMMUNICATIONS ON COASTAL SEA AND INLAND RIVER WAYS OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Fedor I. Vybornov, Mark S. Kurnev, Vladimir A. Usanov

Key words: ionosphere, radio propagation, shortwave range, chirp signal, radio prediction.

It is shown that the obtained high values of time and spatial correlation coefficients of the 1F2 MOF mode over the forecast interval of up to one hour allowed us to calculate the territorial applicability zones of the adapted ionosphere model IRI-2016 for coastal sea and inland river ways of the European part of Russia in a calm ionosphere.