

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2019»

Мониторинг состояния ионосферы Земли над морскими акваториями

В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова, А.А. Павельев

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, ysmirnov@ire.rssi.ru

Экспериментально продемонстрирована возможность использования аппаратно-программного комплекса пассивного мониторинга состояния ионосферы над морскими акваториями в режиме реального времени с подвижного носителя. Показано, что в данных условиях комплекс может успешно использоваться для определения основных параметров ионосферной плазмы.

The possibility of using the hardware-software complex for real-time passive monitoring of the ionosphere state above sea areas from a mobile carrier has been demonstrated experimentally. It was shown that the complex can be successfully used to determine the basic parameters of the ionospheric plasma.

Введение

Изменчивость и неоднородность являются характерной особенностью ионосферы Земли. В значительной мере они проявляются в полном электронном содержании (ПЭС), которое представляет собой количество электронов в столбе единичного сечения вдоль линии наблюдения. Вариации полного электронного содержания обусловлены изменениями электронной концентрации и могут служить индикатором состояния ионосферной плазмы. В настоящее время одним из основных способов получения ПЭС является использование глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Их применение особенно актуально для мониторинга состояния ионосферы над морскими акваториями.

Применение высокостабильных, синхронизированных атомными часами, сигналов, излучаемых навигационными спутниковыми системами ГЛОНАСС, GPS, GALILEO и др., позволяет разрабатывать и создавать новые методы для глобального исследования структуры атмосферы и ионосферы на различных высотах с целью изучения условий прохождения радиоволн на линиях связи, навигации, радиоконтроля и управления.

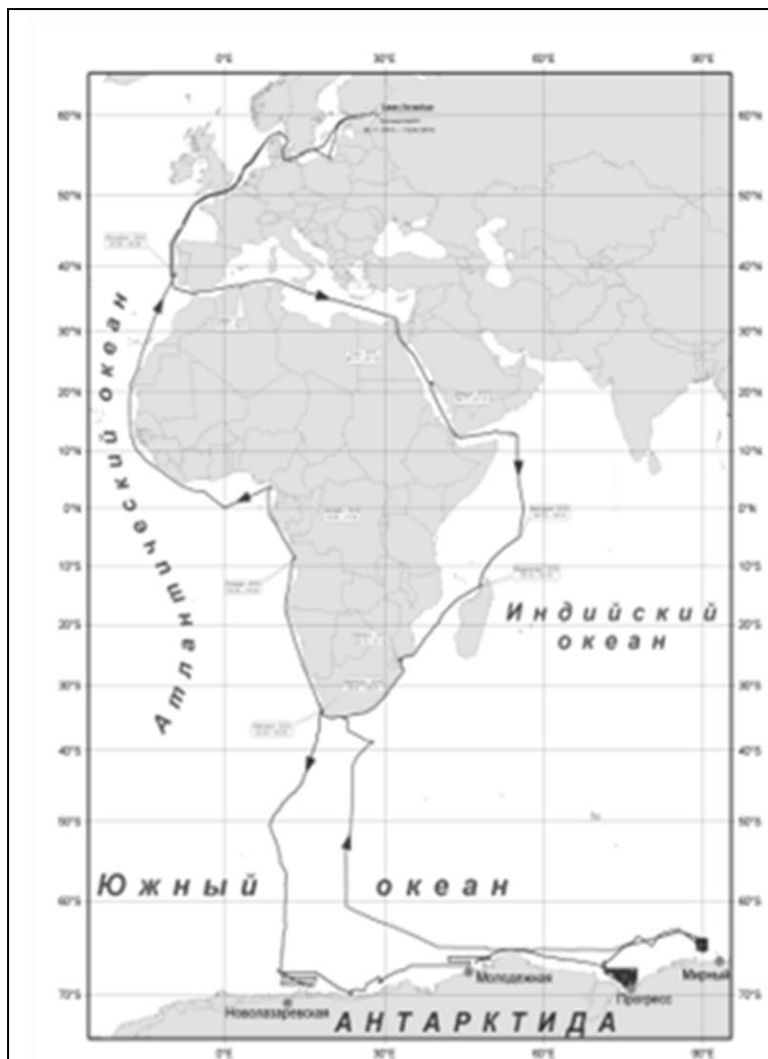
В данной работе экспериментально продемонстрирована возможность использования аппаратно-программного комплекса пассивного мониторинга ионосферы (АПК-ПМИ) над морскими акваториями. АПК-ПМИ предназначен для оперативного определения в пассивном режиме ионосферных параметров (критическая частота и высота ионосферного слоя F2, полное электронное содержание и высотный профиль электронной концентрации) в радиусе до 900 км от места его установки по результатам приема и обработки радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Дополнительно, по результатам определения текущих значений параметров ионосферы АПК-ПМИ позволяет производить расчет максимально применимых частот (МПЧ) для однокачковых радиотрасс коротковолнового диапазона протяженностью до 2000 км.

Работа проводилась в соответствии с Планом навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности Российской Федерации, навигационно-гидрографического, гидрометеорологического и топогеодезического обеспечения Военно-Морского Флота на 2015-2016 год. Экспедиция в Антарктиду на исследовательском судне «Адмирал Владимирский» 6 Атлантической

океанографической экспедиции Гидрографической службы Балтийского флота была проведена в ноябре 2015 г. – апреле 2016 г. Маршрут экспедиции представлен на рис. 1.

Основные результаты работы

Апробировано использование аппаратно-программного комплекса пассивного мониторинга ионосферы над морскими акваториями в режиме реального времени с подвижного носителя. Результаты данных измерений характеристик ионосферы,



маршрут похода ОИС "Адм.Владимирский" (2015 - 2016 гг)

Рис.1. Схема маршрута ионосферных исследований с 7 ч 00 м 6 ноября 2015 г. по 15 апреля 2016 г.

проведенные с помощью АПК-ПМИ на корабле «Адмирал Владимирский», показали высокую эффективность комплекса как средства автоматического получения важнейших параметров ионосферы - критической частоты, полного электронного содержания, вертикального и горизонтального распределения электронной плотности в интересующем регионе и динамику их изменения. Фотография аппаратно-программного комплекса, установленного на борту судна, приведена на рис. 2, методологические аспекты его работы подробно изложены в работах [1-5].

Общий объем информации, полученной в течение всей экспедиции, составляет 20,817 Гб, из них - 18,715 Гб измерительной информации, 2,058 Гб – результаты предварительной экспресс-обработки.

Максимальный объем измерительной информации, полученной в течение суток,

составляет 159,263 Мб. Результаты предварительной экспресс-обработки содержат информацию о параметрах ионосферы (значения высотного распределения профиля электронной концентрации в интервале высот от 100 до 1000 км, полное электронное содержание, время и географические координаты подионосферной точки) вдоль траектории движения ОИС «Адмирал Владимирский» с дискретностью 30 сек.



Рис. 2. Корабль «Адмирал Владимирский» и аппаратно-программный комплекс

Полученные измерения являются материалом для развития инновационного направления исследований, ориентированного на создание радиофизических методов глобального дистанционного зондирования структуры ионосферы Земли с использованием сигналов спутниковых радионавигационных систем.

АПК-ПМИ обладает следующими функциональными возможностями:

- автоматическое определение географических координат своего местоположения;
- определение параметров ионосферы (ПЭС ионосферы, критическая частота и высота максимума слоя F2, высотный профиль электронной концентрации) для подионосферных точек, соответствующих находящимся в зоне радиовидимости космическим аппаратам ГЛОНАСС и GPS, на удалении до 900 км от места установки комплекса;
- автоматический расчет полярных и географических координат подионосферных точек, для которых определяются параметры ионосферы;
- возможность графического отображения на мониторе компьютера высотного профиля электронной концентрации для одной из регистрируемых подионосферных точек, выбираемых оператором;
- определение значений максимально применимых частот для задаваемых оператором однокачковых радиолиний коротковолнового диапазона;
- возможность отображения на мониторе компьютера графика изменения во времени МПЧ, критической частоты или высоты ионосферного слоя F2 для одной из заданных оператором радиолиний;
- сохранение (архивирование) результатов определения ионосферных параметров и значений МПЧ путем формирования на жестком диске компьютера соответствующих файлов в текстовом формате;
- отображение на мониторе компьютера текущего местоположения космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS на картографическом фоне;
- отображение границы радиовидимости космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS на картографическом фоне относительно места установки комплекса.

Результаты работы комплекса для суточного сеанса измерений вблизи острова Мадагаскар приведены на рис. 3-4. На Рис. 3 представлено созвездие навигационных спутников и распределение подионосферных точек для фиксированного момента времени.

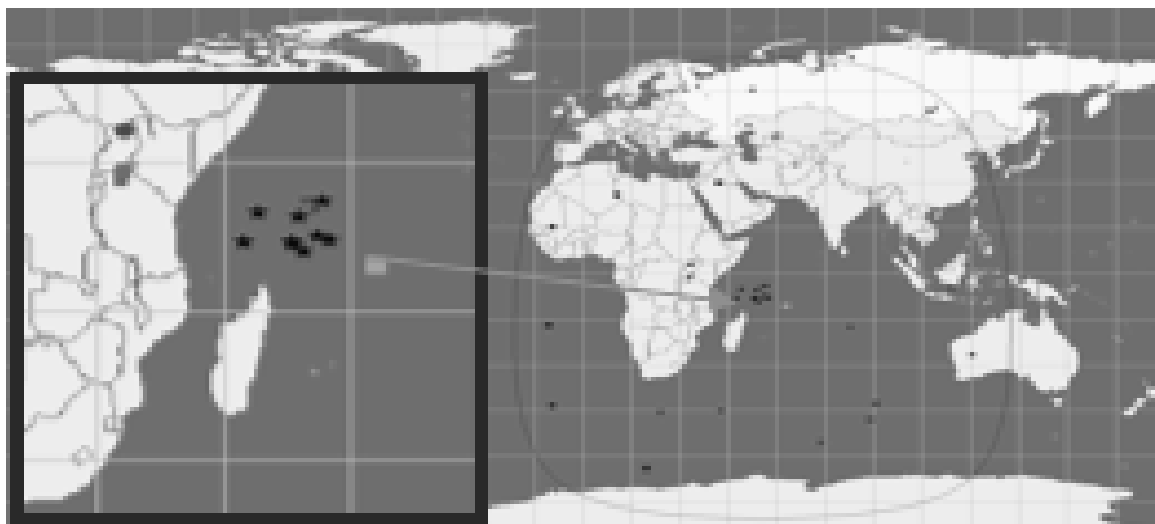


Рис. 3 Созвездие навигационных спутников и распределение подионосферных точек для фиксированного момента времени вблизи острова Мадагаскар

Одновременно в зоне видимости АПК находилось до 20 космических аппаратов, что позволяло определять состояние ионосферы вдоль траекторий подионосферных точек в разных азимутальных направлениях на расстояниях до 1000 км от корабля. На экране отображается информация, получаемая в режиме реального времени по каждой подионосферной точке и динамика изменения параметров ионосферы в максимуме F2 слоя в месте нахождения корабля. Суточный ход критической частоты над судном в максимуме слоя F2 вблизи острова Мадагаскар приведен на рис. 4

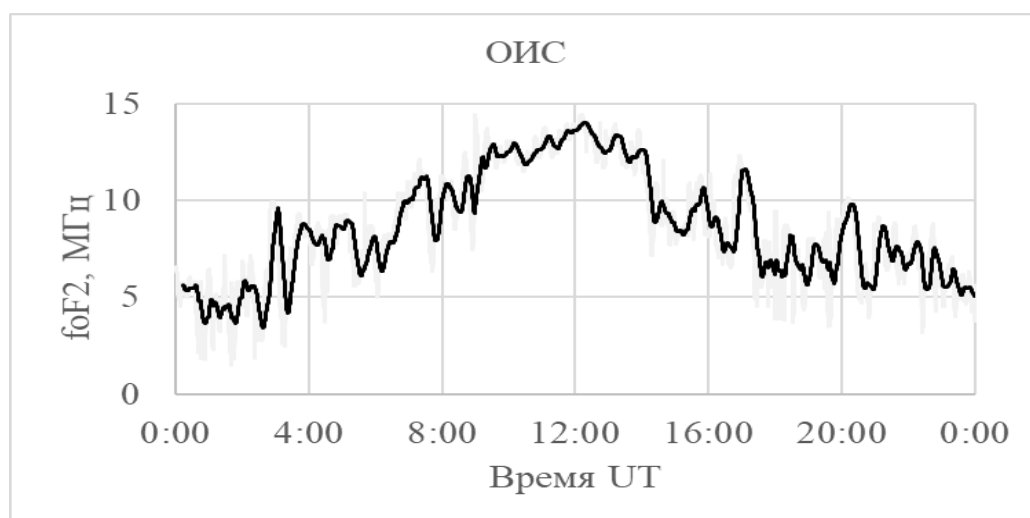


Рис. 4 Суточный ход максимума критической частоты слоя F2 над кораблем 15.12.2015

На рис. 5 представлены графики изменения критической частоты F2-слоя ионосферы, наблюдаемые вдоль траектории движения подионосферных точек для четырех навигационных спутников, наблюдаемых в разных азимутальных направлениях. Здесь же пунктиром показаны расчеты, полученные по модели IRI [6]. Приведенные результаты наглядно демонстрируют достаточно сильную изменчивость ионосферы.

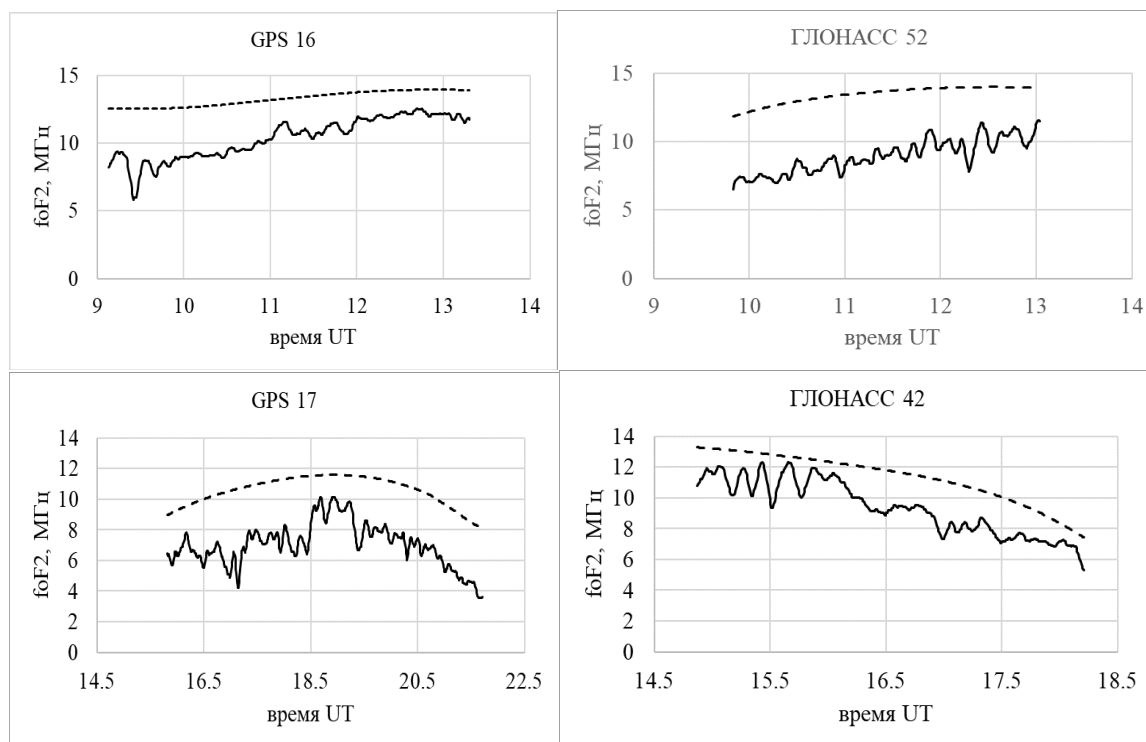


Рис. 5. Изменение критической частоты F2-слоя ионосферы вдоль траектории подионосферных точек для спутников GPS и ГЛОНАСС

Заключение

Таким образом, применение аппаратно-программного комплекса, предназначенного для оперативного мониторинга состояния ионосферы по данным навигационных спутниковых GPS и ГЛОНАСС, показало, что его функциональные возможности могут быть использованы как альтернативный, а в большинстве случаев, как единственный способ получения текущей информации о состоянии ионосферной плазмы над морскими акваториями.

Литература

1. Смирнов В.М. Решение обратной задачи радиопросвечивания ионосферы Земли градиентными методами //Радиотехника и электроника. 2001, №1, с.47-52.
2. Смирнов В.М. Метод мониторинга ионосферы Земли на основе использования навигационных спутниковых систем. Дис. на соиск. уч. ст. д.ф.-м.н., 2007 г., 299 с.
3. Смирнов В. М., Смирнова Е. В. Модуль ионосферного обеспечения на базе спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС. Журнал Радиоэлектроники. – 2010. -№6 <http://jre.cplire.ru/jre/jun10/3/text.pdf>.
4. Смирнов В.М., Смирнов Е.В., С.И. Тынянкин, В.Н. Скобелкин, А.П. Мальковский. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга состояния ионосферы в режиме реального времени //Гелиогеофизические исследования. -2013.-В.4.-С.32–38.
5. Smirnov V.M, Smirnova E.V., Ruzhin Yu.Ya., Tynyankin S.I., and Skobelkin V.N. Passive method and hardware-software complex for monitoring and research of the ionosphere. 31st General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, URSI GASS, Beijing, 16-23 August 2014 г.
6. Bilitza, L.-A. McKinnell, B. Reinisch, and T. Fuller-Rowell, The International Reference Ionosphere (IRI) today and in the future, J. Geodesy, 85:909-920, DOI 10.1007/s00190-010-0427-x, 2011.