

Исследование пространственного распределения ПЭС над территорией России по данным радиопросвечивания атмосферы сигналами ГЛОНАСС/GPS

А.В. Новиков, А.А. Романов, А.А. Романов

*Московский физико-технический институт
141700 Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9
Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения
111250 Москва, ул. Авиамоторная, 53
E-mail: novikov.aleksey@gmail.com*

В статье приведено описание новой методики восстановления пространственного распределения ПЭС по данным разреженной сети одночастотных приёмников ГЛОНАСС/GPS. Приведено сравнение с методикой, предлагавшейся авторами ранее, использующей данные двухчастотных приёмников, оценки перспектив применимости данной методики при обработке данных существующих на территории России сетей контрольно-корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS для исследования динамики крупномасштабных возмущений поля ПЭС.

Введение

Благодаря развитию спутниковых навигационных систем стал возможен глобальный мониторинг полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы. Однако общепринятые методики определения абсолютного значения ПЭС требуют использования дорогостоящих двухчастотных приёмников и имеют очень невысокую точность. В ранних работах авторы развивали и исследовали возможности этих методик [1, 2]. Подробное описание методик, предшествующих вышеуказанным можно найти в следующих источниках: [3-5]. В работах [1, 2] был рассмотрен подход, заключающийся в расчете ПЭС с использованием аналитической модели при подборе её параметров для достижения минимальных невязок модельного и определённого двухчастотным методом ПЭС. Метод двухчастотной оценки ПЭС подразумевает наличие систематической ошибки аппаратуры, однако компенсация этой ошибки на практике довольно сложна и приводит к погрешности метода измерений порядка нескольких единиц TECU [5]. Здесь предлагается методика оценки параметров аналитической модели при использовании одночастотных приёмников. Эта методика позволяет исключить систематическую ошибку, возникающую при непосредственном расчете ПЭС из двухчастотных измерений. Расчет ПЭС, так же как и ранее, можно проводить для произвольных географических координат, руководствуясь полученными оценками параметров.

Методика оценки ПЭС при использовании одночастотных измерений псевдодальностей

Предлагаемая методика состоит в минимизации невязки координат, определяемых из навигационного решения с истинными координатами стационарного навигационного приёмника путём варьирования параметров аналитической модели ионосферы (в нижеописанном эксперименте использовалась модель IRI-2007 [6], [<http://iri.gsfc.nasa.gov/>], варьировался индекс IG), используемой для вычисления ионосферных поправок к псевдодальностям.

Перед подбором наилучших ионосферных параметров псевдодальности сглаживаются по времени, фильтруются и корректируются по стандартным алгоритмам, входящим в библиотеку GPS ToolKit [<http://www.gpstk.org>].

Схема проведения и исходные данные эксперимента

Разработанная методика была проверена на данных сети IGS [<http://igsb.jpl.nasa.gov/>] для нескольких станций в Северной Америке и для данных контрольно-корректирующих станций российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга [<http://sdcм.ru>]. Данные были взяты из банков данных этих сетей в виде суточных файлов формата RINEX 2.10. Для расчета координат навигационных спутников использовались эфемериды из навигационных сообщений.

Файлы исходных данных обрабатывались приложением, основанным на библиотеке GPS ToolKit и использующим функции из модели IRI. Результатом работы программы является файл текстового формата, содержащий координаты станции и ряды значений эпох измерений, значения ионосферного индекса и соответствующей ему невязки навигационного решения.

Кроме того, было разработано приложение, осуществляющее интерполяцию и расчет значений ПЭС в узлах заданной сетки географических координат. Подробнее данные процедуры были рассмотрены авторами в [1, 2].

Результаты эксперимента

Достаточный для выявления каких-либо закономерностей анализ данных ещё не проведён в полной мере, поэтому здесь приведены лишь первые результаты. Показана высокая корреляция значений получаемых таким способом ионосферных индексов для различных приёмников, находящихся в одном регионе (рис. 1), а также различия во временном ходе значений ионосферного индекса для более удаленных друг от друга приёмников, свидетельствующих о неоднородности поля ПЭС.

На рис. 1 изображена зависимость ионосферного индекса IG от времени для трёх станций, находящихся в московском регионе (ВАО Москвы, Мытищи, Менделеево), расстояние между которыми не превышает 50 км. Приведены данные на 11 сентября 2007 года. Из графика видно, что три полученные независимо кривые практически совпадают. Несовпадения можно объяснить случайным разбросом результатов измерений, что даёт представление о точности метода.

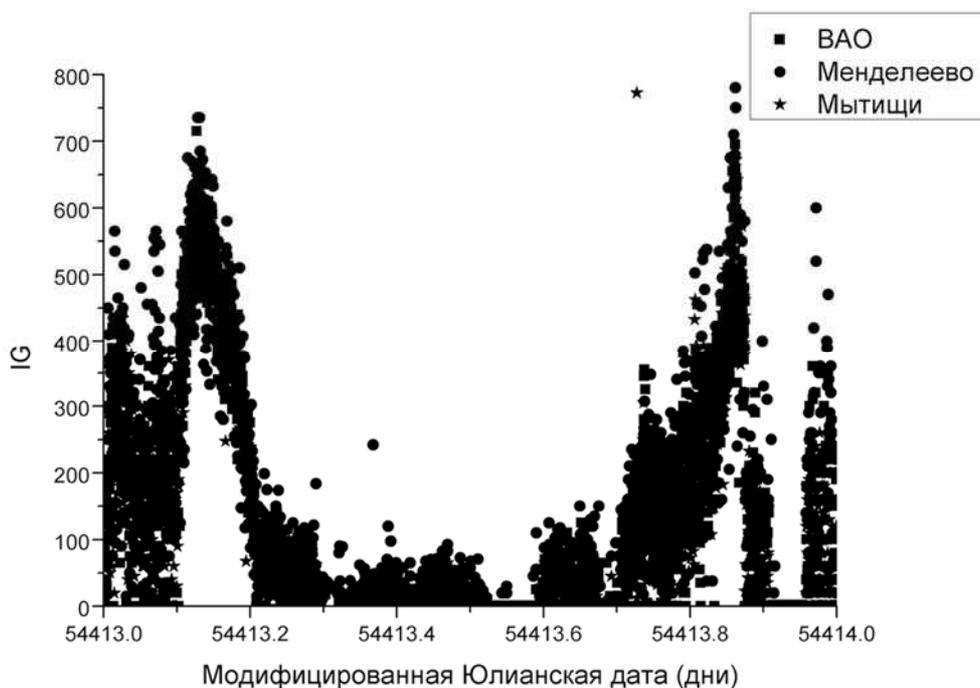


Рис. 1. Зависимость ионосферного индекса IG от времени для трёх станций, находящихся в московском регионе

Рис. 2 позволяет сравнить данные на ту же дату для географически разнесённых пунктов: Москвы, Новосибирска и Норильска. На этом рисунке отчётливо заметны региональные аномалии.

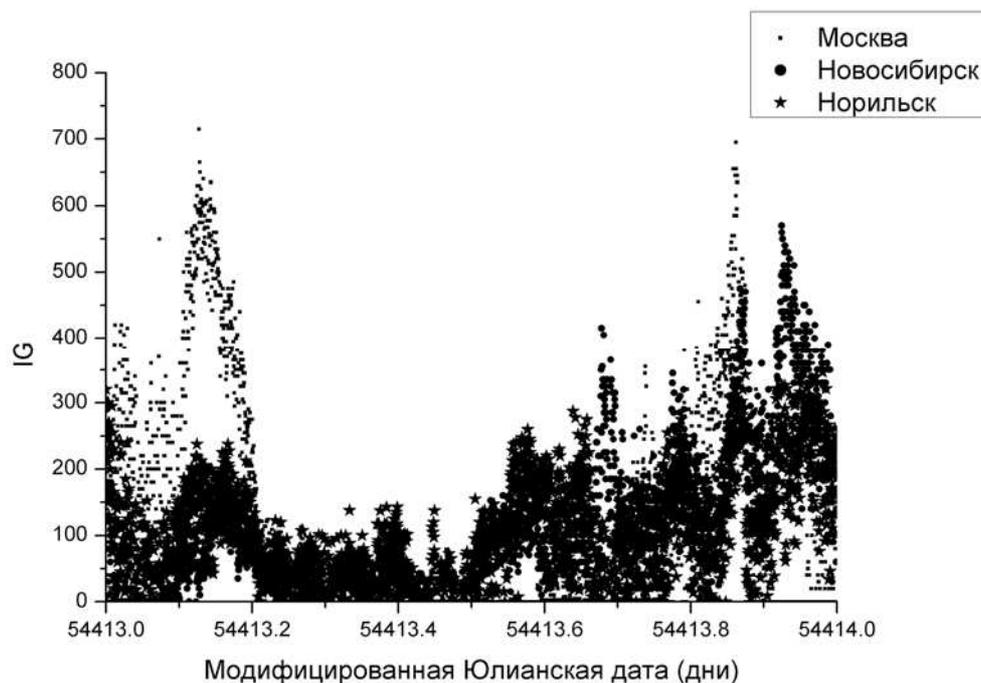


Рис. 2. Зависимость ионосферного индекса IG от времени для трёх станций, разнесённых по территории России

Заключение

Согласно представленным результатам, значения ионосферного индекса для станций, находящихся в пределах радиуса ионосферной корреляции (~100км) [5], а следовательно и пространственное распределение ПЭС, которое может быть получено на его основе, совпадают. В то же время, для станций, находящихся на большем расстоянии, хорошо заметны независимые друг от друга пики, соответствующие локальным ионосферным возмущениям. Следовательно, предложенная авторами методика позволяет выявлять крупномасштабные ионосферные аномалии, и реконструировать соответствующее пространственное распределение ПЭС. Отличительной особенностью этой методики является использование измерений лишь на одной частоте и невысоким требованиям к качеству приёмных антенн, что приводит к существенному удешевлению необходимой для исследования глобального распределения ПЭС аппаратуры. Кроме того, существенно упрощается, по сравнению с традиционными методами, процесс расчёта ПЭС, так как отпадает необходимость вычисления дифференциального кодового сдвига (DCB). К недостаткам методики следует отнести высокие требования к вычислительным ресурсам. Согласно проводимым ранее оценкам [1], минимальная плотность покрытия территории приёмниками для осуществления глобального мониторинга должна составлять примерно 1 приёмник на 500 км², то есть для полного покрытия территории России необходимо всего около 25 станций. При этом, на сегодняшний день, имеющаяся постоянно действующая сеть покрывает, хотя и неравномерно, примерно треть территории.

Литература

1. Новиков А.В., Романов А.А., Романов А.А. Комбинированный алгоритм расчёта пространственного распределения ПЭС по данным радиопросвечивания атмосферы сигналами ГЛОНАСС/GPS и моделирования // Мехатроника, автоматизация, управление, 2007. №5. С.648-654.

2. *Новиков А.В.* Методика восстановления пространственного распределения полного электронного содержания ионосферы по данным радиопросвечивания атмосферы сигналами ГЛОНАСС/GPS и аналитической модели NeQuick // Труды 49 научной конференции МФТИ, 2006. С. 206-207.
3. *Nava B., Coisson P., Amarante G., M., Azpilicueta F., Radicella S. M.*, A model assisted ionospheric electron density reconstruction method based on vertical TEC data ingestion. *Annals of Geophysics*, 2005. vol. 48, n. 2 pp. 313-320.
4. *Amarante G., Radicella S. M., Nava B., Coisson P.* Validation of a method for ionospheric electron density reconstruction by means of vertical incidence data during quiet and storm periods. *Annals of Geophysics*, 2005. vol. 48, n. 2 pp. 321-326.
5. *Schaer, S.*, Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System. PhD dissertation, Astronomical institute, University of Berne, Switzerland. 1999.
6. *D. Bilitza and Reinisch, B.*, International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters, *J. Adv. Space Res.*, doi:10.1016/j.asr.2007.07.048, 2008.