

## ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТРОПОСФЕРНОЙ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛА НКА ГЛОНАСС ПО МОДЕЛИ, РАЗРАБОТАННОЙ В ВКА ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО

**Краснов В.М.<sup>1</sup>, Милосердова Е.Ю.<sup>1</sup>, Чернова Е.А.<sup>1</sup>,  
Шабалина А.Н.<sup>1</sup>, Яблонская В.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,  
vmkrasnov@yandex.ru

**Аннотация.** Данные радиозондов за 2014 и 2018 г использовались для проверки модели для регионов: Вашингтона, Сирии, Новосибирска и Японии. Расчеты по модели проводились как с коррекцией профилей по данным наземных наблюдений, так и без коррекции профилей.

Ключевые слова: тропосфера, радиоволна, модель, данные радиозондов.

В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского создана модель для расчета тропосферной задержки сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) ГЛОНАСС [1]. Модель является улучшенным вариантом модели Международного союза электросвязи МСЭ-РР.835-5 (02/2012). В частности, при расчете температуры и плотности атмосферы вместо Стандартной атмосферы США 1976 г. используется модель NRLMSISE-00, а влажность рассчитывается на основе стандарта ГОСТ 26352-84. В этом стандарте, в отличие от МСЭ-РР.835-5, осредненные профили влажности для широт: 10°, 30°, 50° и 70°с.ш. даны для четырех различных меридианов: 0°, 80°, 180° и 280°В.Д. Модель позволяет производить расчеты задержки навигационного сигнала в тропосфере для любой точки земного шара и для произвольных траекторий радиолучей. Задержки сигнала НКА в тропосфере определяется профилями диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) вдоль траектории радиоволны  $\epsilon = 1 + \frac{1.552 \cdot 10^{-4}}{T} \left( p + \frac{4810e}{T} \right)$ , где  $T$  - температура, К;  $p$  - давление, гПа;  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа.

Целью настоящей работы являлось проверить точность расчета тропосферной задержки сигналов НКА для регионов: Вашингтона, Сирии, Новосибирска и Японии. Для проверки модели использовались данные шаров-зондов (профили давления, температуры и влажности) за 2014 и 2018 годы. Задержка сигналов в тропосфере при вертикальном распространении радиоволн от спутника к приемнику рассчитывалась по формуле  $\Delta s = \int \sqrt{\epsilon} ds - s$ , где  $s$  – геометрический путь радиоволны в тропосфере. Расчеты тропосферной задержки проводились отдельно: по модели и экспериментальным данным шаров-зондов. Затем вычислялась разница в расчетах, которая для каждого дня 2014 и 2018 г.г. осреднялась помесячно.

Модель предусматривает также возможность корректировать профили на основе данных наземного наблюдения давления, температуры и влажности. Для этого случая также проводилось сравнения результатов расчета по модели и экспериментальным данным.

В таблице 1 представлены максимальные значения ошибок расчета задержки сигналов НКА ГЛОНАСС в тропосфере и соответствующие им среднеквадратичные отклонения для исследуемых регионов, в частности:  $m_1$  и  $\sigma_1$  - для модельных расчетов без коррекции профилей;  $m_2$  и  $\sigma_2$  - для модельных расчетов с коррекцией профилей по данным наземных наблюдений.

**Таблица 1 -** Максимальные значения ошибок расчета тропосферной задержки и соответствующие им среднеквадратичные отклонения (см)

Регион	2014г				2018г			
	$m_1$	$\sigma_1$	$m_2$	$\sigma_2$	$m_1$	$\sigma_1$	$m_2$	$\sigma_2$
Вашингтон	5.7	5.8	2	4	11.6	7.4	5	5.1
Сирия	17	3	12.2	3.3	16.6	2.3	11.9	3.4
Новосибирск	14.3	3.5	6.4	3	15.4	3.4	7.3	1.3
Япония	22	5	17.7	6.1	20	5	16.9	2.1

Видно, что коррекция модели с помощью результатов наземных измерений увеличивает точность расчета тропосферной задержки. Сезонный ход ошибок расчета оказался различным для различных регионов. Максимальные ошибки расчетов мало меняются при сравнении результатов за 2014 и 2018 г.г. для регионов: Сирии, Новосибирска и Японии - и почти в два раза возросли для региона Вашингтона.

#### Литература

1. Готюр И.А., Караваев Д.М., Краснов В.М., Кулешов Ю.В., Лебедев А.Б., Мешков А.Н., Щукин Г.Г. Оценка влажной компоненты тропосферной задержки радиоволн на основе модели и данных микроволновой радиометрии. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Нижний Новгород, 2017. Том: 60, № 3, С. 223-230.

### ESTIMATION OF TROPOSPHERIC DELAY OF RADIO WAVE OF GLONASS SYSTEM BASED ON MODEL DEVELOPED IN A.F. MOZHAISKY MILITARY SPACE ACADEMY AND RADIOSOUNDE DATA

Krasnov V.M.<sup>1</sup>, Miloserdova E. Yu.<sup>1</sup>, Chernova E.A.<sup>1</sup>,  
Shabalina A.N.<sup>1</sup>, Yablonskaya V.P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – *Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia, vmkrasnov@yandex.ru*

**Abstract.** Radiosonde data during 2014 and 2018 years were used to test the model for regions: Washington, Syria, Novosibirsk and Japan. We conducted the calculations with correction of the model using data of ground equipment and without correction of the model.

Key words: troposphere, radiowave, model, radiosonde data.