

## ИОНОСФЕРНЫЕ МОДЕЛИ ГЛОНАСС, GPS, GEMTEC, BDGIM: СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ В ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ

<sup>1</sup>Д.А. Затолокин, <sup>1,2</sup>Ю.В. Ясюкевич, <sup>1</sup>А.С. Ясюкевич, <sup>2</sup>В.Б. Иванов

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
yasukevich@iszf.irk.ru

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
ivb@ivb.baikal.ru

## GLONASS, GPS, GEMTEC AND BDGIM IONOSPHERIC MODELS: COMPARISON OF POSITIONING PRECISION

<sup>1</sup>D.A. Zatolokin, <sup>1,2</sup>Yu.V. Yasyukevich, <sup>1</sup>A.S. Yasyukevich, <sup>2</sup>V.B. Ivanov

<sup>1</sup>Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia  
yasukevich@iszf.irk.ru

<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia  
ivb@ivb.baikal.ru

**Аннотация.** В настоящее время существует ряд ионосферных моделей предназначенных для коррекции навигационных измерений для одночастотных пользователей. В работе на примере данных для 2010 г. для четырех станций в азиатском секторе был проведен анализ точности модели Клобучара (GPS), модели ГЛОНАСС, модели Beidou (BDGIM) и разработки ИГУ GEMTEC. Результаты показывают, что на территории РФ в высоких и средних широтах худшие результаты соответствуют модели ГЛОНАСС, для экваториальных широт худшие результаты для модели BDGIM, лучшие для модели GPS; для высоких широт южного полушария лучшие результаты дает модель GEMTEC, худшие — BDGIM и GPS.

**Ключевые слова:** GPS, ГЛОНАСС, BDGIM, GEMTEC, одночастотный режим, модель.

**Abstract.** There are currently some ionosphere models for correcting navigational measurements for single frequency positioning. For 2010, using data from four stations in Asian sector the accuracy of Klobuchar (GPS), GLONASS, Beidou (BDGIM), and GEMTEC (Irkutsk State University development) simulations has been analyzed. The results show that in the territory of Russia at high and middle latitudes, the worst results are related to GLONASS and BDGIM (for equatorial latitudes) models, and the best ones — to GPS model. For high latitudes of the Southern Hemisphere, GEMTEC model shows the best results, BDGIM and GPS — the worst ones.

**Keywords:** GPS, GLONASS, BDGIM, GEMTEC, single frequency positioning, model.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство пользователей систем спутниковой навигации используют одночастотное оборудование. Вследствие того, что ионосфера вносит значительную ошибку в измерение дальности на частотах работы глобальных навигационных спутниковых систем, требуется регулярная коррекция одночастотных данных [Hofmann-Wellenhof et al., 2001]. Если модель Клобучара, используемая в GPS [Klobuchar, 1987] позволяет корректировать до ~50 % ошибки, то модель BDGIM [Yuan et al., 2019], как утверждают авторы, позволяет уменьшать ионосферную ошибку до ~70%. Кроме того, в последние годы появились модели долгосрочного прогноза, требующие малое число входных параметров, такие как, например, GEMTEC [Ivanov et al., 2011], требующая на вход только данные о индексе солнечной активности  $F10.7$ .

При этом зачастую не вполне понятна реальная эффективность применения таких моделей. В настоящей работе мы проводим сравнение моделей BDGIM, GEMTEC, GPS, ГЛОНАСС [GLONASS. Interface control document, 2016], для 4 станций в терминах качества позиционирования.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДОЛОГИЯ

В работе мы использовали данные [ftp://cddis.nasa.gov] в формате RINEX [Gurtner and Estey, 2007]. Для анализа использовались 4 станции

азиатского сектора: две станции в высоких и средних широтах РФ, одна приэкваториальная станция, одна станция в высоких широтах южного полушария (см. таблицу). Использовались данные для одного дня в каждом месяце 2010 г.

Координаты определялись на основе решения системы уравнений на дальности на основе псевдодальностных измерений с учетом коррекции по указанным выше моделям. Дополнительно проводился расчет для коррекции на основе глобальных ионосферных карт GIM – IGS [Hernández-Pajares et al., 2009]. Тропосферная задержка во всех решениях представлена моделью Саастамойнена [Saastamoinen, J., 1972] с использованием параметров метеоданных Стандартной модели атмосферы.

Наименование и координаты станций.

№	Название станции	Широта, °N	Долгота °E
1	cas1	66	110
2	cusv	13	100
3	irkj	52	102
4	nri1	102	69

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 приведены данные для станций cas1, cusv, irkj, nri1, соответственно, снизу вверх. Приведена полная ошибка позиционирования (слева) и ошибка в вертикальной плоскости (справа). Используемые модели указаны на панели.

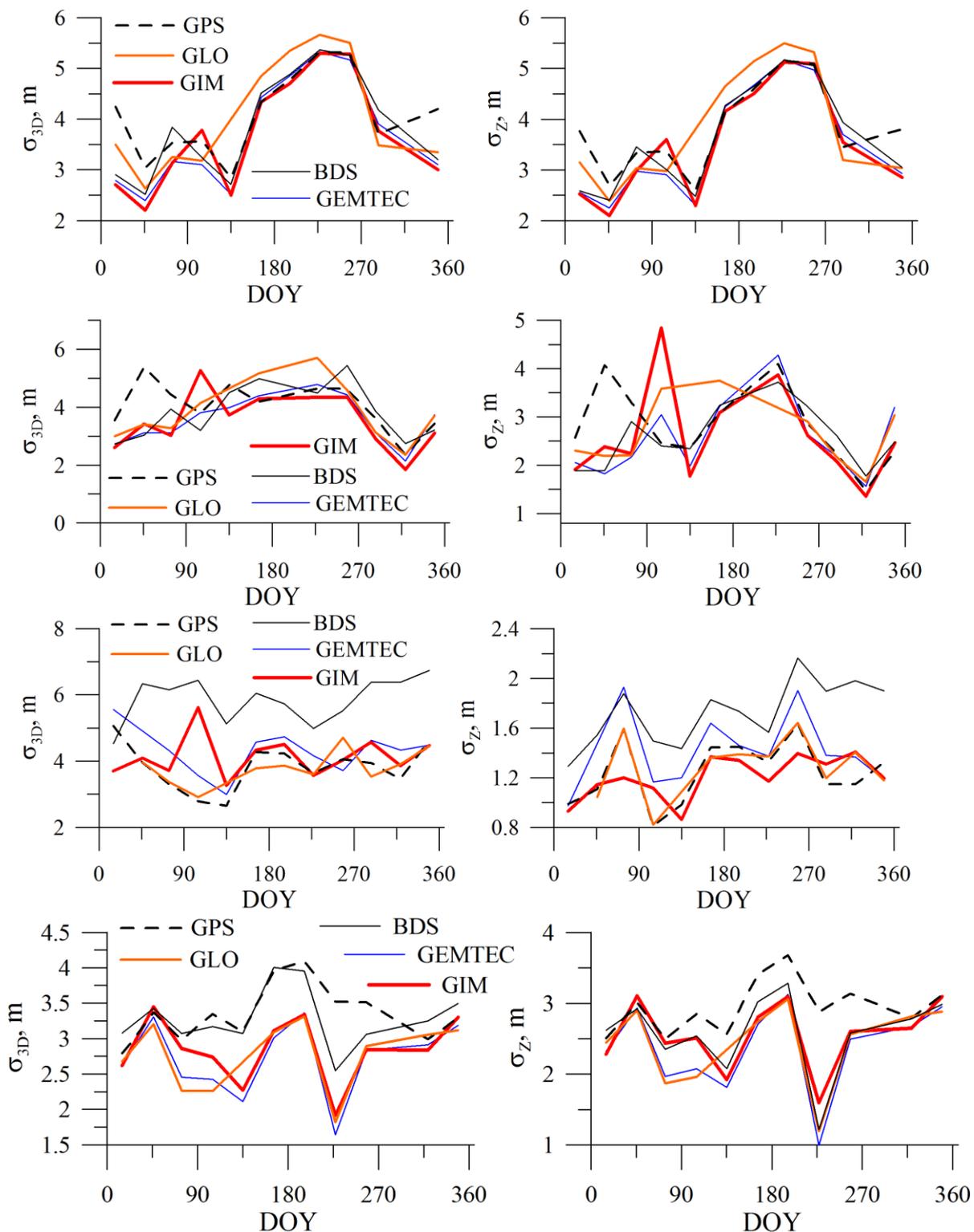


Рис. 1. Полная ошибка позиционирования (слева) и ошибка в вертикальной плоскости (справа) при использовании различных моделей для станции cas1, susv, irkj, nril (снизу вверх). Представлены данные для 2010 г.

Рисунок показывает, что точность большинства навигационных решений достаточно близка. Характерные значения полной ошибки составляют от полутора до 6–7 м. В ряде случаев реперные карты GIM показывают большую ошибку, чем использование моделей ионосферы. Так, например, для экваториальной станции susv модель Клобучара характеризуется меньшей ошибкой. Модель GEMTEC дает точность

сравнимую с другими моделями несмотря на то, что она основана только на одном параметре и не корректируется в течение суток.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прежде всего следует отметить высокую точность используемой модели GEMTEC при проведении позиционирования для всех четырех широтных

регионов. Из неожиданных результатов следует назвать наиболее низкую точность модели ГЛОНАСС на территории РФ. Несмотря на то, что модель Клобучара является достаточно старой, ее точность за счет успешной регулярной корректировки остается для корректировки вполне приемлемой.

Работа выполнена при поддержке гранта президента РФ МК-3265.2019.5.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

Gurtner, W., Estey, L. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11, Bern, Astronomical Institute, University of Bern. 2007. [hdl:10013/epic.43875](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:591-2007-0143875).

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 5<sup>th</sup> ed. New York, NY: Springer-Verlag. 2009. DOI: [10.1007/978-3-7091-6199-9](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6199-9).

Hernández-Pajares M., Juan J.M., Sanz J., Orus R., Garcia-Rigo A., Felten J., et al. The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998 // J. Geod. 2009. V. 83. P. 263–275. DOI: [10.1007/s00190-008-0266-1](https://doi.org/10.1007/s00190-008-0266-1).

Ivanov V.B., Gefan G.D., Gorbachev O.A. Global Empirical Modeling of the Total Electron Content of the Ionosphere for Satellite Radio Navigation Systems // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2011. V. 73. P. 1703–1707. DOI: [10.1016/j.jastp.2011.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2011.03.010).

Klobuchar J. Ionospheric Time-Delay Algorithms for Single-Frequency GPS Users // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1987. N 3. P. 325–331. DOI: [10.1109/TAES.1987.310829](https://doi.org/10.1109/TAES.1987.310829).

GLONASS. Interface control document. Obshchee opisanie systemy s kodovym razdeleniem signalov (General Description of System with Code Division of Signals), Moscow, AO Rossiiskie kosmicheskie systemy, 2016, Rev. 0.1.

Yuan Y., Wang N., Li Z., Huo X. The BeiDou global broadcast ionospheric delay correction model (BDGIM) and its preliminary performance evaluation results // NAVIGATION. 2019. V. 66. P. 55–69. DOI: [10.1002/navi.292](https://doi.org/10.1002/navi.292).

Saastamoinen J. Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, in The Use of Artificial Satellites for Geodesy, Geophys. Monogr. Ser. vol. 15, edited by S. W. Henriksen, A. Mancini, and B.H. Chovitz, 1972. P. 247–251.

URL: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov>.