

ГРАДИЕНТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРОПОСФЕРНОЙ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛОВ ГНСС

Калинников В.В., Хуторова О.Г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Наклонные тропосферные задержки, присутствующие в измерениях сигналов спутников ГНСС, как правило моделируются с помощью зенитной тропосферной задержки, считающейся одинаковой для всех спутников. Для учета горизонтальной анизотропии тропосферы все чаще стали включаться в обработку данных ГНСС градиентные параметры задержки северного и восточного направлений. В отличие от зенитной тропосферной задержки, имеющей величину около 2.5 м, градиентные параметры типично варьируются на уровне субмиллиметров и обычно не превышают 2 мм.

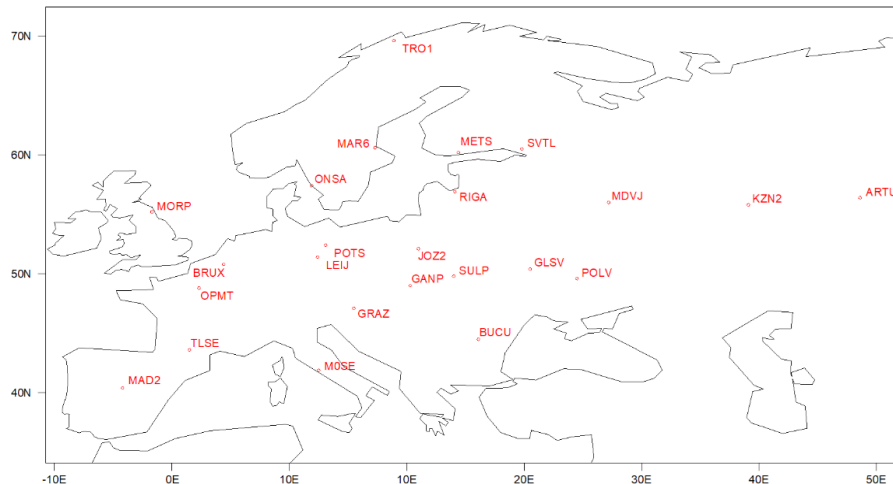


Рис. 1. Карта использованных ГНСС станций

Во многих работах показано, что введение градиентных параметров значительно улучшает повторяемость координат ГНСС станций и позволяет понижать угол отсечки [1-5]. Отмечается также,

что повторяемость координат увеличивается с увеличением дискретности оценивания градиентных параметров [6-7]. В новейших исследованиях предлагаются модели с большим числом градиентных параметров, чтобы лучше моделировать сложную геометрию тропосферных неоднородностей [8-9].

Вместе с тем, по нашему мнению, было бы полезным обратить внимание на некоторые закономерности распределения поля градиентных параметров. На рисунке 1 показаны ГНСС станции Международной Службы ГНСС, данные с которых за период 2015-2017 гг использованы в этом исследовании. Обработка всех этих измерений за трехлетний период проводилась методом Precise Point Positioning (PPP) в приложении TropoGNSS, разработанном в Казанском университете. В результате получены ряды градиентных параметров с шагом 5 минут.

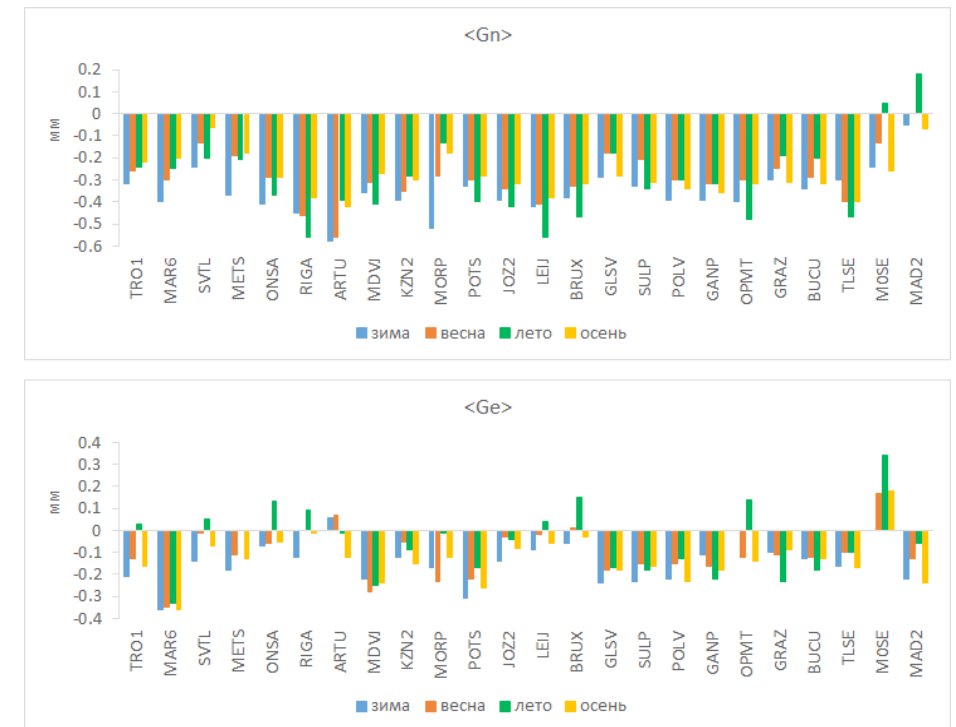


Рис. 2. Средние сезонные значения северного (G_n) и восточного (G_e) градиентных параметров по станциям

На рисунке 2 показаны вычисленные по трехлетним рядам средние сезонные значения градиентных параметров. Северный градиентный параметр на большинстве станций имеет отрицательное значение во все сезоны. Восточный градиентный параметр показывает немного меньшую магнитуду, но тоже обычно имеет отрицательное значение. Следовательно, полный градиентный параметр обычно направлен в юго-западном направлении. Это в целом совпадает с выводами работы [10]. Фаза годового хода различна. Можно лишь отметить, что северный градиентный параметр наиболее выражен не в переходные периоды, т.е. либо зимой, либо летом. Восточный градиентный параметр в свою очередь на многих станциях летом наименее отрицателен, а на некоторых и вовсе встречаются положительные значения.

Сезонные вариации градиентных параметров, показанные на рисунке 3, как правило превышают средне сезонные значения. Имеется явный сезонный ход: наибольшие вариации наблюдаются летом, а наименьшие зимой.



Рис. 3. Сезонные вариации градиентных параметров

Кроме всего прочего, возникает вопрос: градиенты индекса рефракции какого характерного масштаба отражают градиентные параметры? Для этого мы исследовали шесть базовых линий между станциями ГНСС в Среднем Поволжье с длинами 20,35,54,68,101 и 120 км. Для каждой базовой линии вычислялся коэффициент корреляции градиента зенитной тропосферной задержки между концами базовой линии с компонентой вектора градиентного параметра, направленной вдоль базовой линии. Было установлено, что максимум коэффициент корреляции достигает на базовой линии 54 км и составляет около 70%.

Таким образом нами установлено, что градиентные параметры тропосферной задержки имеют закономерности своего распределения, а следовательно, должны учитываться по крайней мере в статических ГНСС приложениях для получения несмещенных значений оцениваемых параметров.

Литература

1. Ahn Y.W., Kim D., Dare P. Positioning impacts from imbalanced atmospheric GPS network errors // Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. Fort Worth, TX, USA. 2007. P. 2302–2312.
2. BarçSever Y. E., Kroger P. M., Borjesson J. A. Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver // J. Geophys. Res.-Sol. Ea. 1998. Vol. 103. P. 5019–5035.
3. Meindl M., Schaer S., Hugentobler U., Beutler G. Tropospheric gradient estimation at CODE: Results from global solutions // J. Meteorol. Soc. Jpn. 2004. Vol. 82. P. 331–338.
4. Miyazaki S., Iwabuchi T., Heki K., Naito I. An impact of estimating tropospheric delay gradients on precise positioning in the summer using the Japanese nationwide GPS array // J. Geophys. Res.-Sol. Ea. 2003. Vol. 108. P. 2335–2351.
5. Xu Y., Jiang N., Xu G., Yang Y., Schuh H. Influence of meteorological data and horizontal gradient of tropospheric model on precise point positioning // Adv. Space Res. 2015. Vol. 56. P. 2374–2383.
6. Lu C., Li X., Li Z., Heinkelmann R., Nilsson T., Dick G., Ge M., Schuh H. GNSS tropospheric gradients with high temporal resolution and

- their effect on precise positioning // J. Geophys. Res.-Atmos. 2016. Vol. 121. P. 912–930.
7. Zhou F., Li X., Li W., Chen W., Dong D., Wickert, J., Schuh H. The Impact of Estimating High-Resolution Tropospheric Gradients on Multi-GNSS Precise Positioning // Sensors. 2017. Vol. 17. P. 756–768.
8. Masoumi S., McClusky S., Koulali A., Tregoning P. A directional model of tropospheric horizontal gradients in Global Positioning System and its application for particular weather scenarios // J. Geophys. Res.-Atmos. 2017. Vol. 122. P. 4401–4425.
9. Landskron D., Böhmer, J. Refined discrete and empirical horizontal gradients in VLBI analysis // J. Geodesy. 2018. Vol. 92. P. 1387–1399.
10. Kalinnikov V.V., Khutorova, O.G., Teptin, G.M. Influence nonuniformity of the atmospheric water vapor field on the phase measurements of radio signals from global navigation satellite systems, Radiophys. Quant. El+. 2013. Vol. 56. P. 88–94.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-1 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р.Р. Назаров, Л.И. Булатова
ООО «Эридан»

Космические программы по наблюдению Земли играют существенную роль в развитии науки и в совершенствовании понимания процессов на Земле. Одна из таких значимых программ, под названием Copernicus, была запущена Европейским Космическим Агентством (ESA).

Программа направлена на достижение глобальных, непрерывных, автономных, высококачественных, широкого диапазона наблюдений за Землей. Цель программы Copernicus заключается в использовании огромного объема глобальных данных со спутников, наземных, воздушных и морских измерительных систем для получения своевременной, качественной, близкой к реальному времени информации, услуг и знаний, а также в обеспечении автономного и независимого доступа к информации, которая может быть использована для местных и региональных потребностей. Одним из преимуществ программы Copernicus является то, что данные и информация, подготовленные в рамках программы, предоставляются на бесплатной основе всем ее пользователям и общественности в целом.

Космический компонент Copernicus включает в себя семейство Sentinel, состоящее из пяти специальных миссий, каждая из которых имеет по 2 спутника. С момента запуска Sentinel-1A в 2014 году Европейский Союз запустил процесс вывода на орбиту еще почти 20 спутников до 2030 года. Первый в серии, Sentinel-1(A,B), несет в себе усовершенствованный радиолокационный прибор для обеспечения всепогодной, дневной и ночной подачи изображений поверхности Земли. Спутники Sentinel-1(A,B) оснащены радаром с синтезированной апертурой (SAR) для съемок в С-диапазоне (длина волны 5,6 см). Режим Interferometric Wide Swath является основным для получения данных о земной поверхности для данных спутников. Ширина полосы обзора составля-