

## **Анализ синфазных помех в региональных ГНСС-сетях**

**© В. Л. Горшков, Н. В. Щербакова**

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В рядах положений ГНСС-станций иногда присутствуют вариации, имеющие вид импульсных помех, не связанных с тектоническими подвижками станций и продолжающиеся до нескольких недель. Зачастую эти вариации одновременно присутствуют в положениях регионально близких ГНСС-станций как синфазные искажения. Основной причиной этих возмущений, особенно в вертикальных компонентах, предполагаются разного рода нагрузочные эффекты.

По сети ГНСС и метеостанций Балтийского региона исследовано влияние метеорологических параметров (атмосферное давление, температура и толщина снежного покрова) на возникновение этих синфазных помех (СП). СП присутствуют на станциях, отстоящих друг от друга иногда на сотни километров и зачастую коррелируют с давлением и другими метеоданными. Это свидетельствует о несовершенстве применяемых моделей нагрузок и/или о недостаточной плотности сетей метеостанций, по которым вычисляются эти нагрузки. Наиболее часто СП возникают в зимний период и, частично, могут быть обусловлены величиной снежного покрова, не рассматриваемого в моделях нагрузок.

**Ключевые слова:** нагрузочные эффекты в положениях ГНСС-станций, синфазные помехи в сетях станций, влияние метеорологических параметров на положения станций.

### **Введение**

Для геодинамических исследований на основе ГНСС-данных помимо всех современных модельных коррекций в рядах положений, необходим анализ их систематических, в основном, сезонных и сдвиговых ошибок и их последующая фильтрация. Помимо этого, в рядах положений присутствуют кратковременные вариации, зачастую про-

являющиеся синхронно на многих станциях на расстояниях в сотни километров друг от друга. Эти вариации в положениях региональных ГНСС-сетей присутствуют как синфазные искажения, имеющие характер внезапных, как правило, краткосрочных помех (СП). Выявление подобных возмущений в положениях станций первоначально использовалось для повышения достоверности определения сейсмически обусловленных подвижек в сетях станций [1]. Их статистической фильтрации для уменьшения ошибок положений посвящено ряд работ [2, 3]. Поскольку СП проявляются и заметны, в основном, в вертикальных компонентах, то основной причиной этих возмущений, предполагаются разного рода нагрузочные эффекты.

### Данные

По данным ГНСС-станций и близких к ним метеостанций (рис. 1) исследованы возможные метеорологические причины СП в вертикальных составляющих положений ( $Up$ ) регионально близких ГНСС-станций. Ежесуточные положения станций вычислены с помощью стратегии PPP пакета GIPSY (6.3) с применением всех модельных редуциций, а также коррекций за атмосферные и гидрологические нагрузки по данным из [4]. Метеоданные по температуре ( $T$ ), давлению ( $P$ ) и высоте снежного покрова ( $Snow$ ), интерполировались на моменты ГНСС наблюдений по архивным данным из [5].

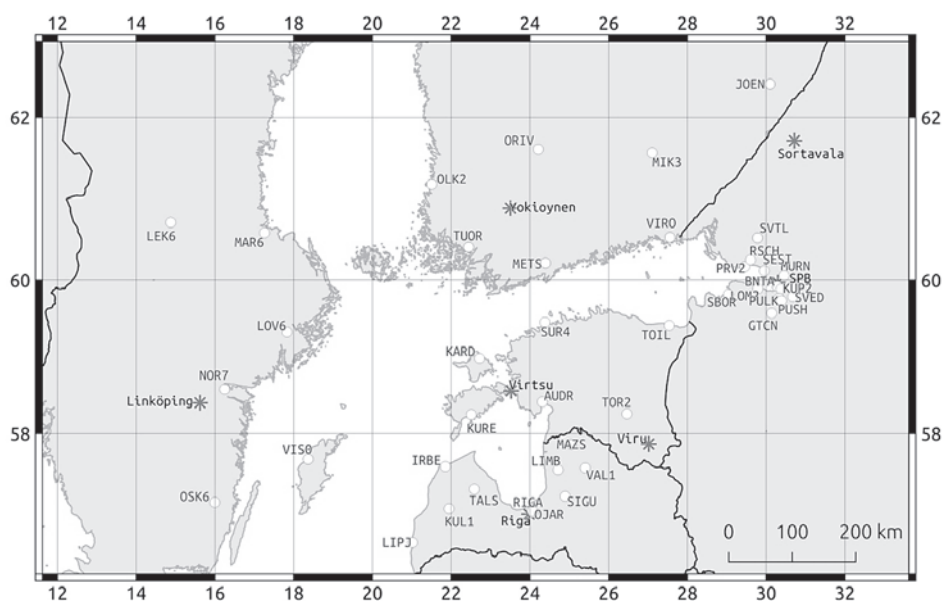


Рис. 1. Карта ГНСС-станций (кружки) и метеостанций (снежинки)

## Результаты

На рис. 2 для примера представлены  $Up$ -компоненты (за вычетом линейного тренда) всех станций Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также по две станции Эстонии и Финляндии. Видно, что СП сосредоточены, в основном, в зимние месяцы и покрывают территории в сотни километров. Естественно предположить, что СП вызваны выпадением снега, не учитываемого в моделях нагрузок. Однако, как видно на рис. 3, это предположение не подтверждается, так как, например, зимой 2014, когда СП были максимальны ( $> 10$  мм), снега повсеместно выпало наименьшее за многие годы количество. Кроме того, сама величина возмущения в 10–15 мм предполагает более 1 метра плотного снежного покрова, в то время как его практически не было, кроме как в Сортавале (~ 20 см).

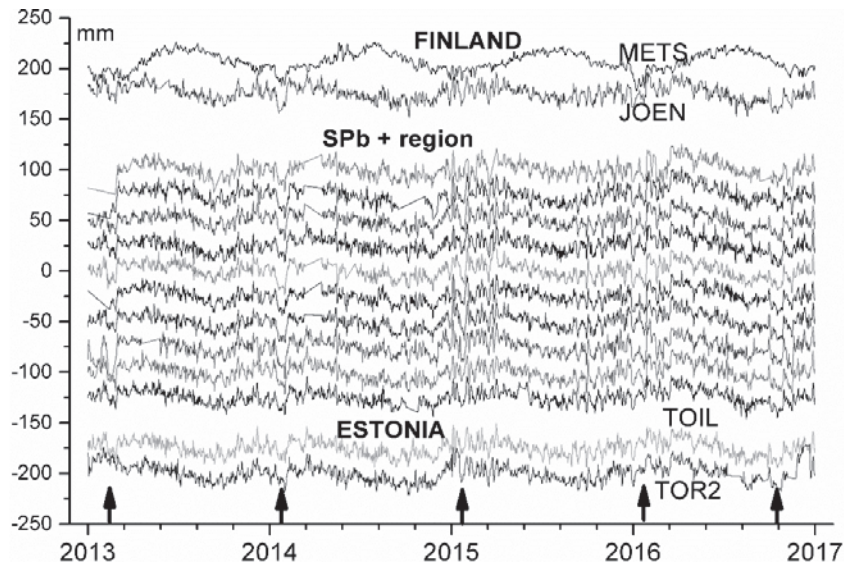


Рис. 2.  $Up$ -компоненты ряда ГНСС-станций. Стрелками отмечены СП

Рассмотрим роль температуры ( $T$ ) на синхронные помехи в исследуемой сети ГНСС-станций. Из рис. 3 видно, что зимой 2014 и 2016 годов в периоды СП устойчиво держалась отрицательная температура  $T < -20$  °С, что увеличивало атмосферные нагрузки ( $AL$ ) за счёт большей плотности воздуха (примерно на 10 %). Кроме того, в отличие от соседних зим  $T$  не поднималось до 0 °С, что не давало стаять снежному покрову. И совсем малый эффект ( $< 1$  мм) оказывает высота антенн над поверхностью из-за температурного сжатия опорных эле-

ментов антенн. Все эти температурные эффекты действуют слабо, но в одну сторону, на наблюдаемые вариации вертикальной составляющей, однако на количественном уровне не обеспечивают наблюдаемые СП.

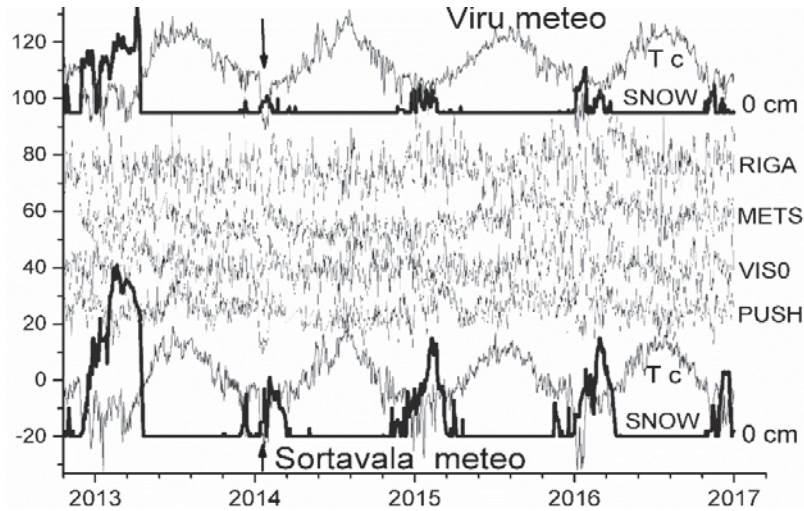


Рис. 3.  $U_p$ -компоненты ряда ГНСС-станций и данные с ближайших метеостанций

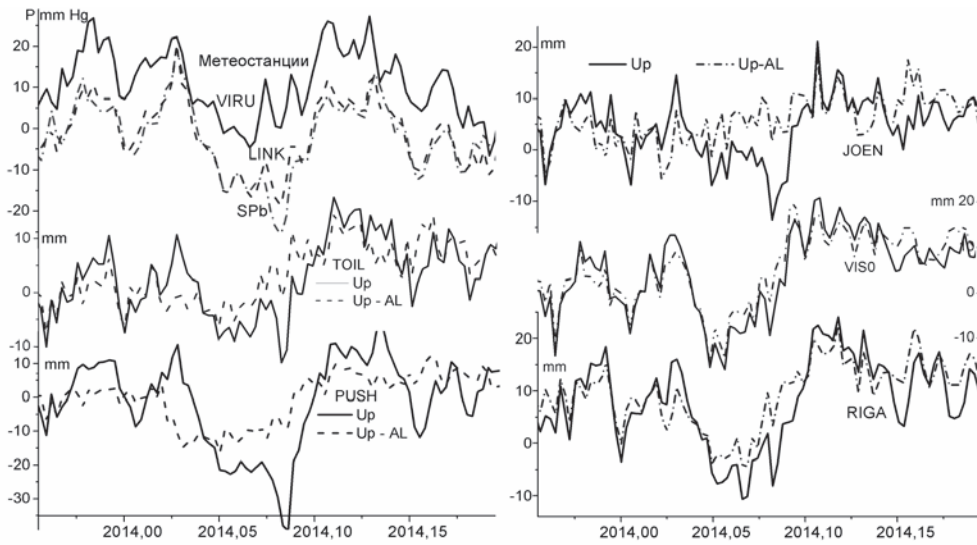


Рис. 4. Вариации атмосферного давления на ряде метеостанций (верхний левый график, за вычетом 760 мм ртутного столба, инвертировано) и  $U_p$  компоненты ряда ГНСС-станций без учёта и с учётом атмосферных нагрузок (AL)

Рассмотрим влияние атмосферного давления ( $P$ ), на модельную атмосферную нагрузку ( $AL$ ). На рис. 4 для нескольких метео- и ГНСС-станций из разных прибалтийских регионов приведены вариации  $P$  и  $U_p$  как с учётом, так и без учёта  $AL$  для зимы 2014 года. Видно, что вариации атмосферных нагрузок  $AL$ , повторяя  $P$ , тем не менее, для многих ГНСС-станций слабо компенсируют СП. Следовательно, модельное  $P$ , как основной фактор, вызывающий  $AL$ , плохо представляет реальное поле  $P$  на крупномасштабной сетке. Либо для вычисления  $AL$  необходимо больше членов разложения.

### **Выводы**

— После учёта всех модельных нагрузок в рядах положений ГНСС-станций помимо легко исключаемых низкочастотных и сезонных вариаций остаются помехи импульсного характера с амплитудой в вертикальной составляющей до 20 мм и с продолжительностью до двух недель, характерной для синоптических погодных вариаций.

— Эти помехи синхронно присутствуют на ГНСС-станциях, отстоящих иногда на сотни километров, что характерно для атмосферных образований типа циклонов, и коррелируют с некоторыми метеорологическими параметрами (в основном, с давлением), таким образом свидетельствуя о несовершенстве применяемых моделей нагрузок и/или о недостаточной плотности сетей метеостанций.

— Наиболее часто эти помехи возникают в зимний период и частично могут быть обусловлены величиной снежного покрова, не рассматриваемого в моделях нагрузок.

### **Литература**

1. *Wdowinski S., Bock Y., Zhang J., Fang P., Genrich J.* Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake // *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 1021(B8):18057-18070 · August 1997 doi: 10.1029/97JB01378. — 1997.

2. *Dong D., Fang P., Bock Y., Webb F., Prawirodirdjo L., Kedar S., Jamason P.* Spatiotemporal filtering using principal component analysis and Karhunen-Loeve expansion approaches for regional GPS network analysis, *J. Geophys. Res.*, 111, B03405, doi:10.1029/2005JB003806.

3. *Bin Liu, Wujiao Dai, Wei Peng, Xiaolin Meng.* Spatiotemporal analysis of GPS time series in vertical direction using independent component analysis // *Earth, Planets and Space*, 2015, 67:189, doi: 10.1186/s40623-015-0357-1 — 2016.

4. Электронный ресурс: <http://massloading.net/>, arXiv:1503.00191 [physics.geo-ph].

5. Электронный ресурс: <https://rp5.ru/>.

## **Analysis of the Common Mode Errors in the Regional GNSS Networks**

**V. L. Gorshkov, N. V. Scherbakova**

Positions of GNSS stations can have non-tectonic variations in the form of the impulse noise which may last for several weeks. The analysis of GNSS data in the regional monitoring networks indicates that these position variations are often present simultaneously in the whole region as an in-phase disturbance. These spatial correlated variations in the GNSS networks are usually caused by the so-called common-mode error (CME). Various loading effects are assumed as the main reason of the CME.

The influence of various meteorological parameters (the atmospheric pressure; and temperature and thickness of snow) on the appearance of these CME is searched in this study by the GNSS and meteorological data in the Baltic region. The GNSS data was processed by the GIPSY6.3 software tools; then all atmospheric and land water loading effects were taken into account. These CMEs are observed sometimes by the GNSS stations which are many hundred kilometers away from each other and often correlate with the atmospheric pressure and other meteorological parameters.

This reveals an imperfection in the loading models used and/or inadequate amounts of meteorological stations included in the loading calculation. The CMEs appear in wintertime especially often being explained partly by snow level which is not used in the loading models.

**Keywords:** Loading effects in GNSS stations, common-mode errors in GNSS networks, influence of meteorological parameters on GNSS-station positions.