

## Анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS в период извержения вулкана

*Е. Г. Гиенко<sup>1\*</sup>, В. А. Петручок<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\*e-mail:elenagienko@yandex.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS BNOA, расположенном в Индонезии, в период извержения вулкана Семеру 4 декабря 2021 года. Показателями качества являлись скачки координат пункта, срывы фазовых циклов ГНСС-измерений, величина невязок фазовых измерений, изменения тропосферной задержки. В результате было выявлено, что качество ГНСС-измерений ухудшилось не только в период его извержения, но еще за несколько дней до извержения вулкана. Наблюдались многочисленные срывы фазовых циклов и скачки тропосферной задержки, что сказалось на разбросе значений координат, превышающем их средние квадратические погрешности. Изменения координат в период извержения вулкана были вызваны, скорее всего, ошибками ГНСС-измерений, чем физическим смещением положения пункта. Актуальной задачей является разделение физических смещений положений пунктов во время извержения вулкана (сопровождающегося, как правило, землетрясениями) и смещений координат, вызванных ошибками ГНСС-измерений. Анализ качества ГНСС-измерений на постоянно действующих базовых станциях, расположенных в геодинамически активных регионах, может дать адекватную оценку смещений пунктов во время извержения вулкана и верно интерпретировать источник этих смещений, а также предоставить ценную информацию для прогноза геодинамических явлений, наряду с другими геофизическими и геодезическими методами.

**Ключевые слова:** ГНСС-технологии, мониторинг вулканической активности, источники ошибок ГНСС-измерений, международная ГНСС-служба (IGS), метод точного точечного позиционирования (PPP)

## Analysis of the GNSS-measurements quality at the IGS point during the volcanic eruption

*E. G. Gienko<sup>1\*</sup>, V.A.Petruchok<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,  
Russian Federation  
\*e-mail:elenagienko@yandex.ru

**Abstract.** The quality of GNSS measurements at the IGS BNOA (Indonesia) during the eruption of the Semeru volcano on December 4, 2021 was analyzed. The quality indicators were bias of the coordinates, loss of the phase cycles, the magnitude of the phase measurement residuals, changes in the tropospheric delay. As a result, it was revealed that the quality of GNSS-measurements deteriorated during not only its eruption, but also a few days before the volcanic eruption. Numerous disruptions of phase cycles and jumps in tropospheric delay were observed, which affected the spread of coordinate values exceeding their average square errors. The changes in coordinates during the volcanic eruption were most likely caused by errors in GNSS measurements, rather than a physical displacement of the point position. An actual task is to separate the physical displacements of the

points positions during a volcanic eruption (accompanied, as a rule, by earthquakes) and coordinate displacements caused by errors in GNSS-measurements. An analysis of the quality of GNSS measurements at permanent base stations located in geodynamic active regions can provide an adequate assessment of the point displacements during a volcanic eruption and correctly interpret the source of these displacements, as well as provide valuable information for the prediction of geodynamic phenomena, along with other geophysical and geodetic methods.

**Keywords.** GNSS technologies, volcanic activity monitoring, sources of GNSS measurement errors, international GNSS Service (IGS), precise point positioning (PPP) method

### *Введение*

В настоящее время постоянные ГНСС-измерения в геодинамически активных регионах широко распространены, поскольку обеспечивают исследователей непрерывной координатной информацией. Однако, ГНСС-измерения не являются безошибочными, их точность зависит от многих факторов. В частности, во время извержения вулканов большое влияние на качество координатных определений оказывают изменение состава атмосферы, ее электризация и пр. Поэтому возникает актуальная задача разделения физических смещений положений пунктов во время извержения вулкана (сопровождающегося, как правило, землетрясениями) и смещений координат, вызванных ошибками ГНСС-измерений. Полученные результаты могут дать адекватную оценку смещений пунктов во время извержения вулкана и верно интерпретировать источник этих смещений.

В статье произведен анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS BNOA во время извержения вулкана Семеру (Индонезия) 4 декабря 2021 г, с целью выявления источников ошибок ГНСС-измерений, влияющих на координатные определения.

### *Результаты*

Пункт IGS BNOA [3] расположен на расстоянии 260 км от вулкана Семеру. Файлы ГНСС-измерений были взяты с сайта CDDIS [4] за 3 дня до извержения вулкана и 11 дней после, а также за три месяца до события.

Координаты пункта вычислялись методом точного точечного позиционирования (Precise Point Positioning, PPP) с помощью онлайн-сервиса CSRS-PPP [2]. Такой метод обработки ГНСС-измерений позволяет оценить не только координаты, но и тропосферную задержку радиосигнала [1]. На выбранные даты из отчетов по обработке были получены координаты пункта с оценкой точности, файлы и графики тропосферной задержки, а также графики, характеризующие невязки кодовых и фазовых измерений.

Критерии для анализа результатов были следующие:

- смещения координат;
- наличие срывов фазовых циклов;
- величина невязок фазовых измерений;
- величина тропосферной задержки.

На рис. 1,2,3 представлены графики изменения геоцентрических пространственных координат X,Y,Z пункта BNOA в период извержения вулкана, номера

точек соответствуют дню от начала года, извержение вулкана произошло на 338 день (рис. 1–3). Средние квадратические погрешности координат (СКП) приведены из отчета по обработке, характеризуют внутреннюю сходимость решения.

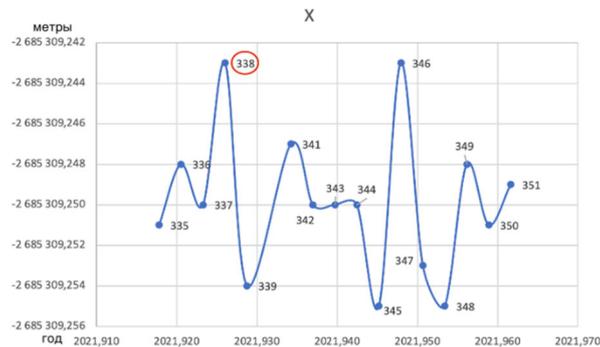


Рис. 1. Изменение координат пункта ВНОА по оси X.  
Среднее значение СКП: 6-7 мм

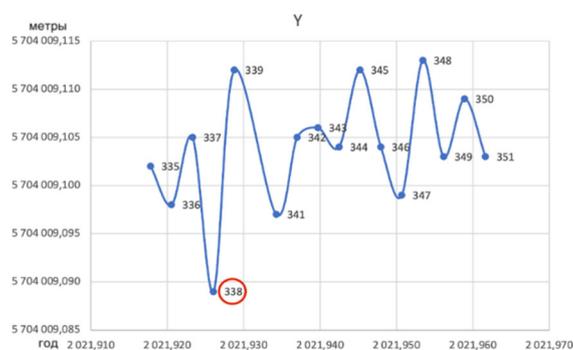


Рис. 2. Изменение координат пункта ВНОА по оси Y  
Среднее значение СКП: 14 мм

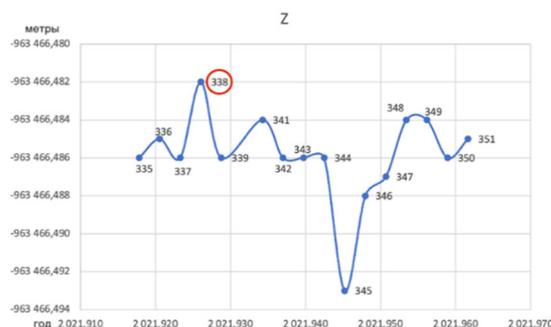


Рис. 3. Изменение координат пункта ВНОА по оси Z  
Среднее значение СКП: 4 мм

Вывод: по трем графикам, представленным выше, можно увидеть смещение координат пункта в день землетрясения и извержения вулкана (338 день), а также последующие афтершоки (335–337 день). Разброс значений (максимальное-минимальное) по координате X – 12 мм, по Y – 24 мм, по Z – 11 мм, что в несколько раз превышает СКП определения координат.

Смещения координат, показанные на графиках, могут быть вызваны не изменением положения самого пункта, физически, а плохим качеством ГНСС-измерений во время извержения вулкана, когда происходит большой выброс пепла и пыли в атмосферу, ее электризация, что влияет на тропосферную задержку и вызывает срывы фазовых циклов.

По данным отчета, в день извержения вулкана 4 декабря 2021 года (338 день от начала года) доля фиксированного решения составляла 84,65%, а на следующий день качество измерений заметно упало из-за многочисленного пепла в атмосфере и последующих взрывов вулкана, и доля фиксированного решения составила 63,83%. Но за 3 дня до извержения (335 день), фиксированное решение составляло 90,17%. Извержение вулкана успокоилось к 343–344 дню, и фиксированное решение составило 92,32%

На рис. 4 приведены графики невязок измерений фазовых псевдодальностей на 338 и 339 дни от начала года, где наблюдается множество срывов фазовых циклов. Наибольший разброс невязок составляет  $\pm 4$  см.

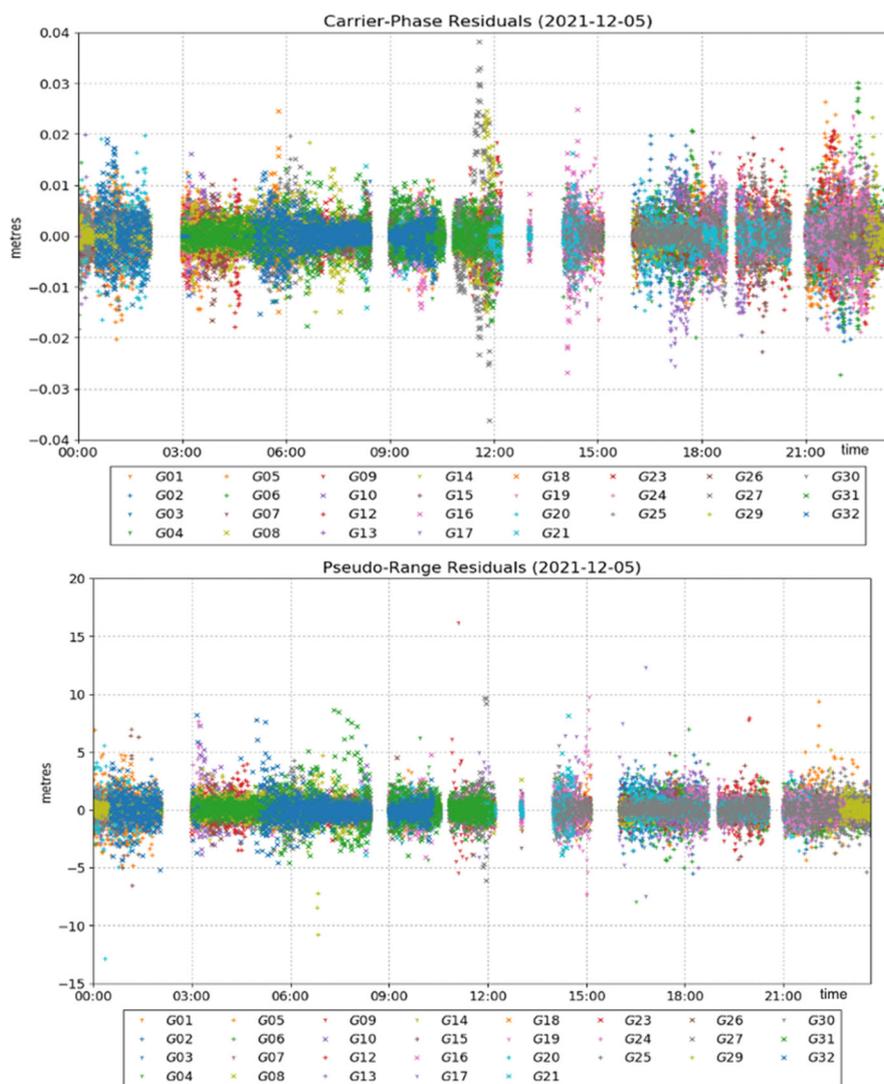


Рис. 4. Графики невязок фазовой псевдодальности на 338 и 339 день

Качество ГНСС-измерений определяется величиной тропосферной задержки, особенно ее изменением. На рис. 5 приведены графики тропосферной задержки за 3 месяца до извержения и на несколько дней в период извержения вулкана.

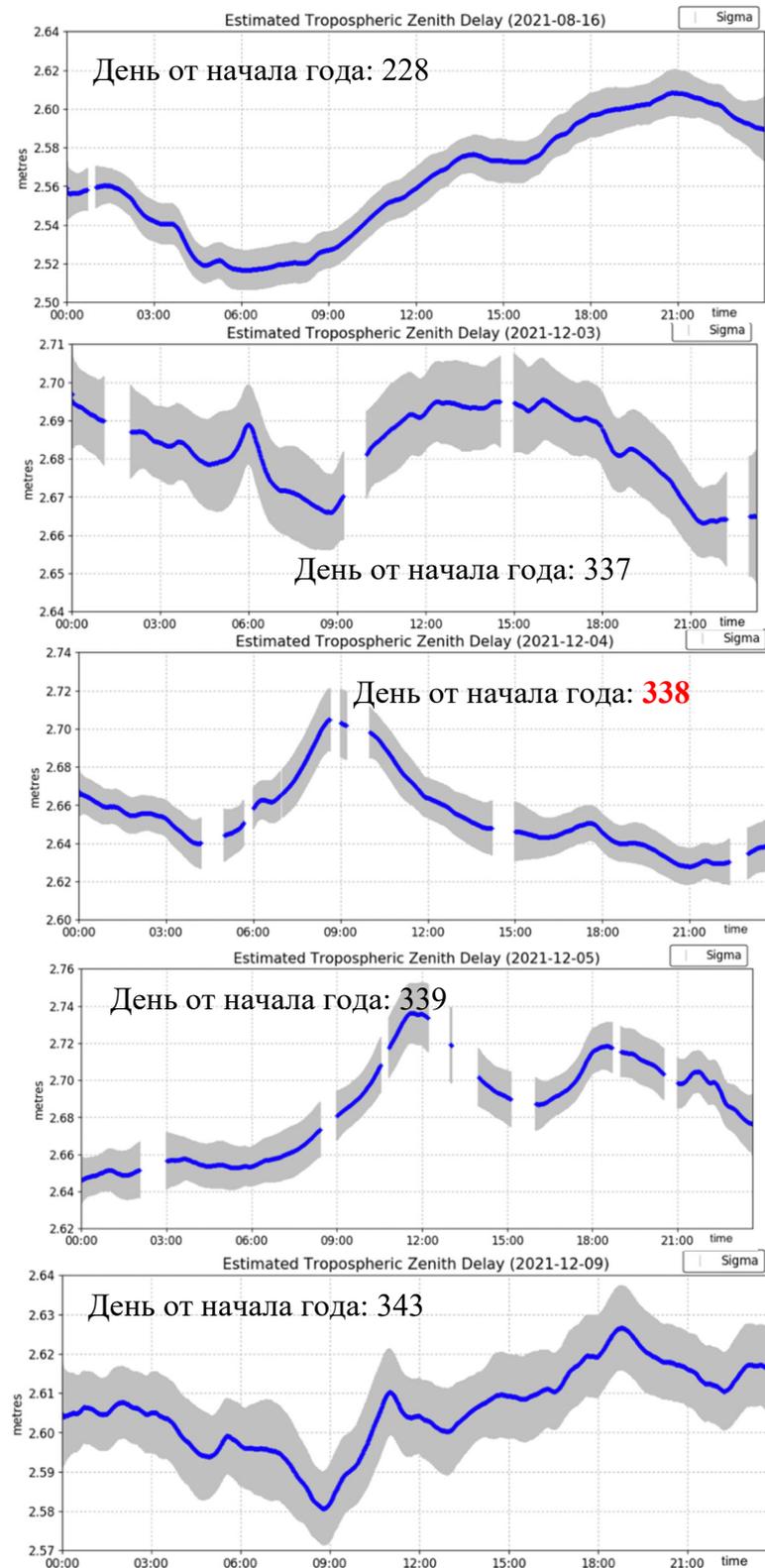


Рис. 5. Зенитная тропосферная задержка

На графиках тропосферной задержки наблюдаются пропуски, соответствующие срывам фазовых циклов (см. рис. 5). Средняя квадратическая погрешность определения тропосферной задержки составила величину около 2 см в период извержения вулкана, и 1 см в спокойный день.

Следует отметить, что качество ГНСС-измерений на пункте ВНОА, характеризующееся, в основном, срывами фазовых циклов, упало еще за два дня до извержения вулкана, и этот фактор можно учитывать при мониторинге и прогнозе геодинамических событий.

### *Заключение*

Анализируя результаты обработки ГНСС-измерений на пункте ВНОА в период извержения вулкана, можно отметить изменение координат (разброс значений до 24 мм при СКП от 4 до 14 мм), многочисленные срывы фазовых циклов, меньший процент фиксированных решений, изменения тропосферной задержки. Качество ГНСС-измерений ухудшилось за несколько дней до извержения вулкана.

Изменения координат пункта ВНОА в период извержения вулкана могут быть вызваны, скорее всего, ошибками ГНСС-измерений, чем физическим смещением пункта. Важной задачей является разделение смещений, вызванных ошибками координатных определений, и физических смещений вследствие вулканической деятельности или землетрясений.

По результатам выполненных исследований можно сказать, что анализ качества ГНСС-измерений на постоянно действующих базовых станциях, расположенных в геодинамически активных регионах, может дать ценную информацию для прогноза геодинамических явлений, наряду с другими геофизическими и геодезическими методами.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гиенко, Е. Г. Применение глобальных спутниковых навигационных систем в геодезии и навигации : практикум / Е. Г. Гиенко, К. М. Антонович, Л. А. Липатников. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 101 с. – Текст : непосредственный.
2. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP). – [Электронный ресурс] // <https://www.canada.ca/en.html> : [сайт]. – URL: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (дата обращения 14.05.2022). – Режим доступа : для авториз. пользователей.
3. IGS International GNSS Service. – Текст : электронный // <https://igs.org/> [сайт]. – URL: <https://igs.org/about/> (дата обращения 14.05.2022). – Режим доступа : общ. доступ.
4. The Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS). – [Электронный ресурс] // <https://cddis.nasa.gov/index.html> : [сайт]. – URL: <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/> (дата обращения 14.05.2022). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

© Е. Г. Гиенко, В. А. Петручок, 2023