

В. А. Петручок^{1}*

Оценка влияния вулканической деятельности на качество ГНСС-измерений

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
**vladenbob@yandex.ru*

Аннотация. Выполнена оценка влияния вулканической деятельности на качество ГНСС-измерений на пункте сети IGS BNOA, расположенном в Индонезии, в период извержения вулкана Семеру 4 декабря 2021 года, а также на пункте сети EFT CORS РКAM (Петропавловск-Камчатский) и пункте ФАГС ТИЛК (Тиличики) во время извержения вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. Показателями качества являлись теоретическое и фактическое количество эпох в суточном файле измерений, общее и удаленное количество измерений, количество срывов по причине влияния многолучевости и определения ионосферной задержки. В результате было выявлено, что качество ГНСС-измерений на пункте BNOA ухудшилось. Наблюдалось снижение общего количества эпох, а также увеличение количества срывов фазовых измерений по причине ионосферной задержки и влияния многолучевости не только в период извержения, но ещё за пару дней до извержения вулкана. На пунктах РКAM и ТИЛК влияние вулканической деятельности не наблюдалось, по причине удаленности от него. Актуальной задачей является выработка критериев оценки качества ГНСС-измерений во время вулканической деятельности и разделение физических смещений пункта от ошибок координатных определений. Данный анализ качества измерений постоянно действующих базовых станций в геодинамически активных регионах может дать адекватную оценку смещений земной поверхности и верно разделять источники этих смещений, так как вулканическая деятельность имеет свой тренд развития.

Ключевые слова: ГНСС-технологии, мониторинг вулканической активности, источники ошибок ГНСС-измерений, международная ГНСС-служба (IGS), федеральная сеть базовых станций (EFT CORS), фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС), TEQC UNAVCO

V. A. Petruchok^{1}*

Assessment of the impact of volcanic activity on the quality of GNSS measurements

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,
Russian Federation
**vladenbob@yandex.ru*

Abstract. The impact of volcanic activity on the quality of GNSS measurements was assessed at the IGS BNOA network point located in Indonesia during the eruption of the Semeru volcano on December 4, 2021, as well as at the EFT CORS PKAM network point (Petropavlovsk-Kamchatsky) and TILK FAGN point (Tilichiki) during the eruption of the Shiveluch volcano on April 11, 2023. Indicators the qualities were the theoretical and actual number of epochs in the daily measurement file, the total and remote number of measurements, the number of failures due to the influence of multipath and the determination of ionospheric delay. As a result, it was revealed that the quality of GNSS

measurements at the BNOA point deteriorated. There was a decrease in the total number of epochs, as well as an increase in the number of phase measurement failures due to ionospheric delay and the influence of multipath not only during the eruption, but also a couple of days before the eruption of the volcano. The influence of volcanic activity was not observed at the PKAM and TILK points, due to the distance from it. An urgent task is to develop criteria for assessing the quality of GNSS measurements during volcanic activity and to separate the physical displacements of the point from the errors of coordinate definitions. This analysis of the measurement quality of permanent base stations in geodynamically active regions can give an adequate assessment of the displacements of the Earth's surface and correctly separate the sources of these displacements, since volcanic activity has its own development trend.

Keywords: GNSS technologies, volcanic activity monitoring, sources of GNSS measurement errors, international GNSS service (IGS), federal network of base stations (EFT CORS), fundamental astronomical and geodetic network (FAGN), TEQC UNAVCO

Введение

В отличие от тектонической деформации, которая возникает главным образом в результате скольжения по разломам (источники сдвига), вулканическая деформация возникает главным образом в результате объемных или дилатационных источников, таких как расширение или сжатие дамбы, порога или другого магматического тела. Нагнетание магмы в подповерхностные слои путем интрузии или удаление магмы из подповерхностных слоев по мере ее извержения вызывает изменения подповерхностного давления, которые приводят к деформации на поверхности. Вулканическая деформация обычно приводит к горизонтальным смещениям, которые ориентированы радиально от вулкана или по направлению к нему и включают значительное оседание или поднятие. При этом прогноз извержений вулканов по выявленным деформациям остается сложной задачей, поскольку перед извержением вулкана, даже крупным, величина деформаций может быть значительна, а может быть практически не заметна.

В связи с этим, постоянные ГНСС-измерения в вулканически активных регионах широко распространены, так как обеспечивают непрерывной координатной информацией исследовательскую и мониторинговую деятельность. В частности, во время извержения вулкана качество ГНСС-измерений подвергается сильным воздействиям, таким как: физическое смещение пункта, изменение состава атмосферы и тропосферных задержек, электризация атмосферы и пр. Поэтому возникает актуальная задача разделения влияния разных факторов с целью выявления физических смещений пунктов для адекватной оценки.

Методы и материалы

В статье Е.Г. Гиенко, В.А. Петручка «Анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS в период извержения вулкана» [1] выполнялась оценка смещений координат пункта IGS BNOA (Индонезия) в период извержения вулкана по результатам ГНСС-измерений, но при этом оказалось, что сами измерения были низкого качества из-за влияния тропосферы и других факторов. Поэтому смещения координат были не изменением положения точек в пространстве, а скорее в результате ошибок координатных определений. Возникла необходимость более де-

тального анализа качества ГНСС-измерений при мониторинге вулканической деятельности.

В настоящем исследовании произведен анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS BNOA (Индонезия) во время извержения вулкана Семеру в декабре 2021г (338 день от начала года), а также на пункте сети EFT CORS РКAM (Петропавловск-Камчатский) и пункте ФАГС TILK (Тиличики) во время извержения вулкана Шивелуч в апреле 2023 г (101 день от начала года).

Анализ качества ГНСС-измерений в настоящем исследовании производился с помощью программной утилиты TEQC UNAVCO [2]. Эта утилита дает возможность оценить качество входных данных, выявить проблемы с ГНСС измерениями, записанными в файлах. Teqc формирует полный отчет об оценке качества измерений в котором можно проанализировать влияние эффекта многопутности, ионосферную задержку, параметр «сигнал/шум», и другие виды погрешностей.

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.

Пункт EFT CORS РКAM [5] расположен на расстоянии 445 км от вулкана Шивелуч. Файлы ГНСС-измерений были взяты с сайта EFT CORS [6] за 2 дня до извержения вулкана и 4 дня после.

Пункт ФАГС TILK [7] расположен на расстоянии 515 км от вулкана Шивелуч. Файлы ГНСС-измерений были взяты с сайта RGS [7] за 2 дня до извержения вулкана и 4 дня после.

Анализ качества «сырых» измерений был произведен в программной утилите TEQC [2]. Такой метод анализа позволяет количественно оценить влияние ионосферной задержки и многолучевости, а также количество срывов фазовых циклов.

Критерии для анализа результатов были следующие:

- теоретическое и фактическое количество эпох в суточном файле измерений;
- общее количество измерений;
- удаленное количество измерений;
- количество срывов из-за определения ионосферной задержки;
- количество срывов из-за влияния многолучевости.

На рисунке 1 представлена гистограмма теоретического и фактического количества эпох в суточном файле измерений пункта BNOA в период извержения вулкана, номера точек, подписи по горизонтали, соответствуют дню от начала года, извержение вулкана произошло на 338 день.

На пункте BNOA максимальная разница эпох (617) выявлена на следующий день (339) после извержения вулкана. На уменьшение фактического количества эпох в момент (338 день) и за два дня до извержения вулкана (336-337 день) и афтершоков (345-347 день) повлияло само извержение и локальные землетрясения.

На пунктах ТІЛК и РКАМ было равное теоретическое и фактическое количество эпох, в связи со значительным отдалением от вулкана Шивелуч и отсутствием пепла в атмосфере.

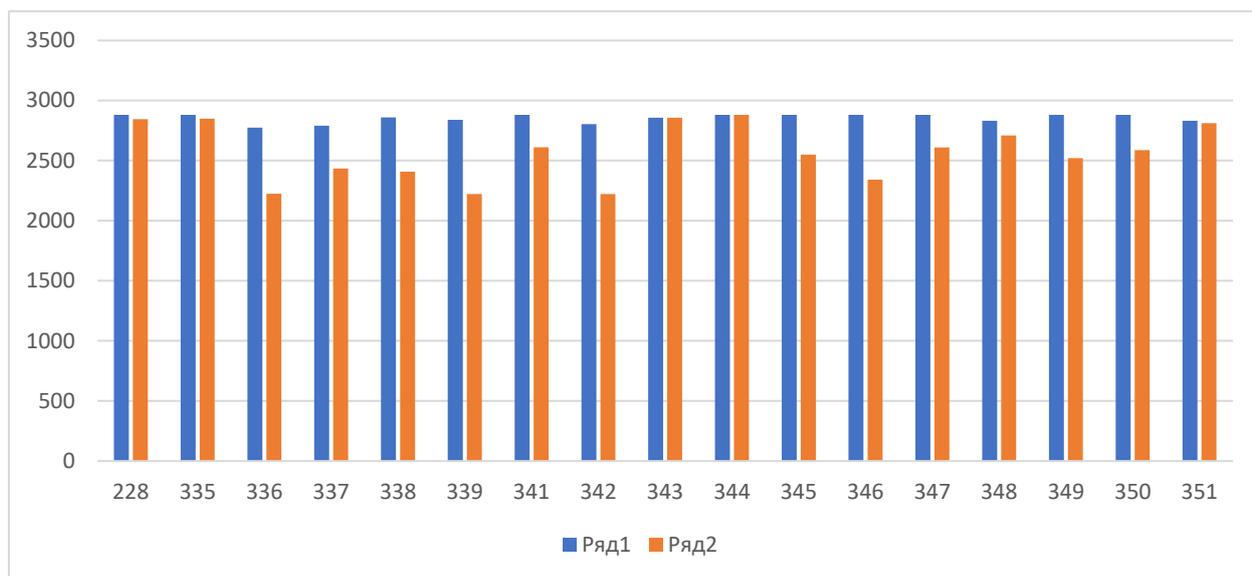


Рис. 1. Теоретическое (ряд 1) и фактическое (ряд 2) количество эпох на пункте ВНОА

На рисунках 2, 3, 4 представлены гистограммы количества срывов фазовых циклов по причине ионосферной задержки и многопутности в суточном файле измерений на пунктах: ВНОА, РКАМ, ТІЛК. По вертикали отмечено количество срывов, по горизонтали дни от начала года.

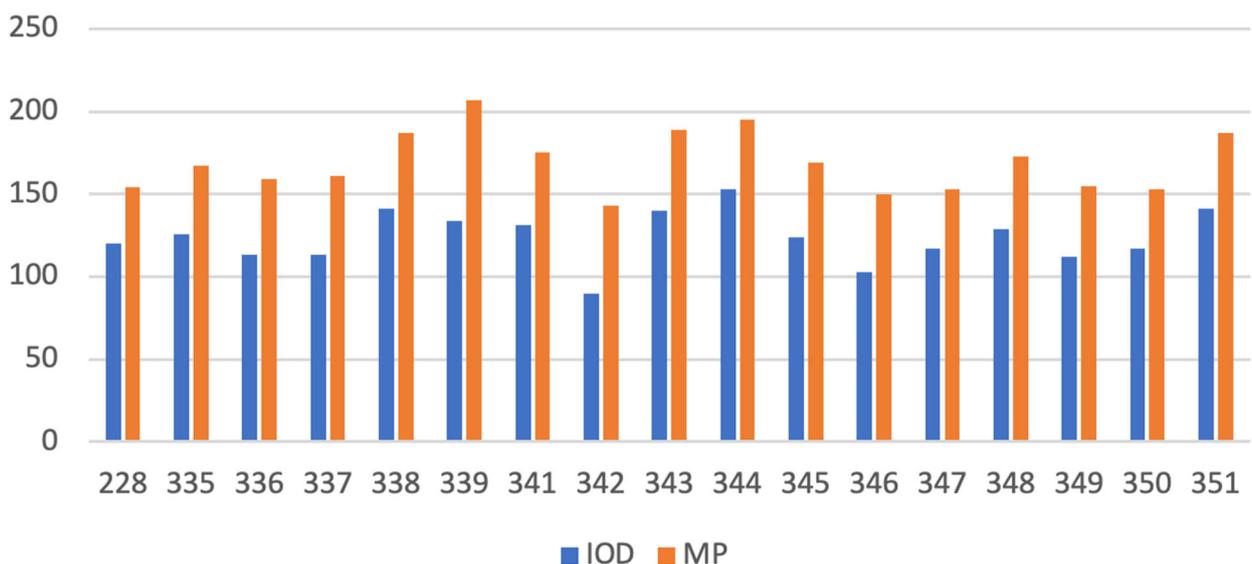


Рис. 2. Количество срывов фазовых циклов по причине ионосферной задержки (IOD) и многопутности (MP) на пункте ВНОА

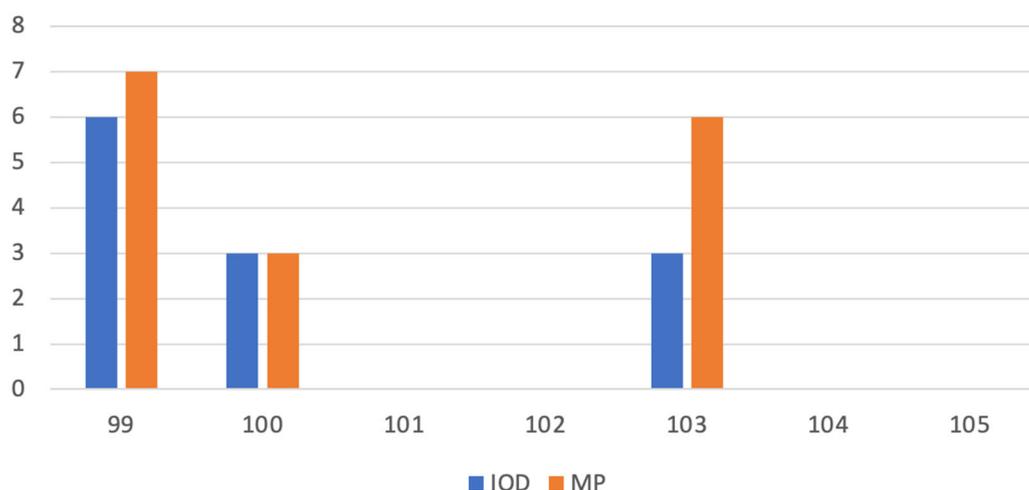


Рис. 3. Количество срывов фазовых циклов по причине ионосферной задержки (IOD) и многопутности (MP) на пункте РКАМ

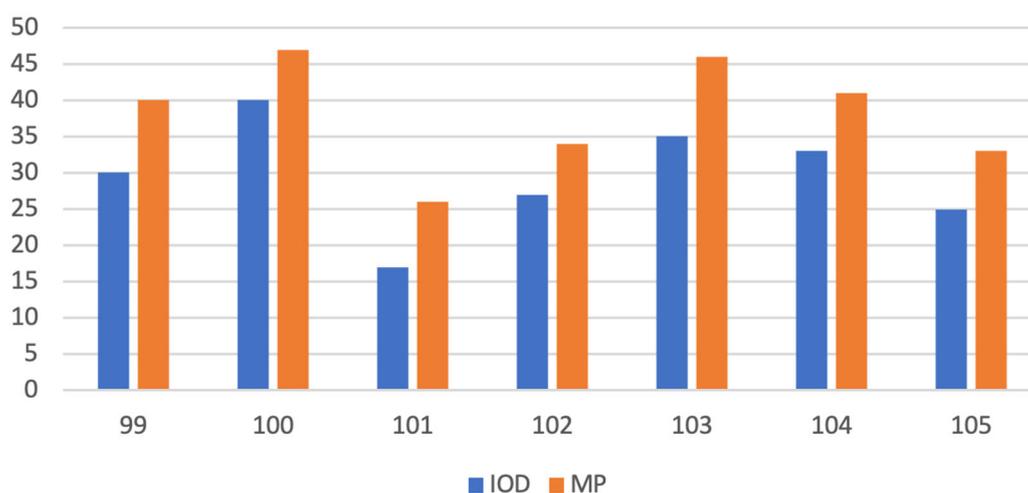


Рис. 4. Количество срывов фазовых циклов по причине ионосферной задержки (IOD) и многопутности (MP) на пункте TILK

На гистограмме для пункта ВНОА можно отметить увеличение срывов фазовых циклов в момент извержения и два дня после (338,339,341 день), а также с пятого дня извержения по седьмой (343-345 день), по причине обильного выделения пепла в атмосферу и направления ветра в сторону пункта IGS. Количество срывов по причине ионосферной задержки в момент извержения (338 день) достигают значения 141, максимальное количество срывов 153 пришло на 344 день. Также количество срывов по причине многопутности в момент извержения достигают значения 187, максимальное количество срывов 207 пришло на второй день извержения (339 день).

В тоже время, пункты TILK и РКАМ показывают среднестатистические значения в связи с расстоянием и относительно слабой силой извержения вулкана.

На рисунках 5,6,7 слева представлены графики общего количества измерений, справа графики удаленных измерений.

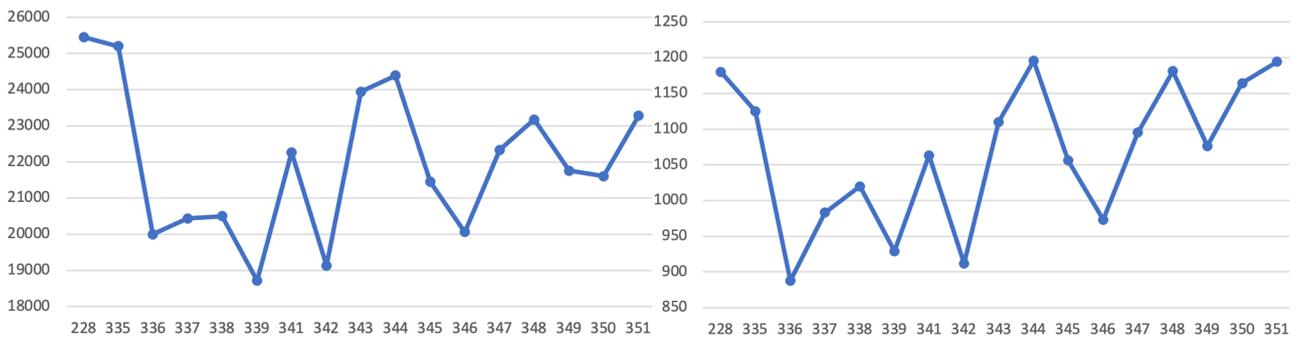


Рис. 5. Общее и удаленное количество измерений на пункте ВНОА

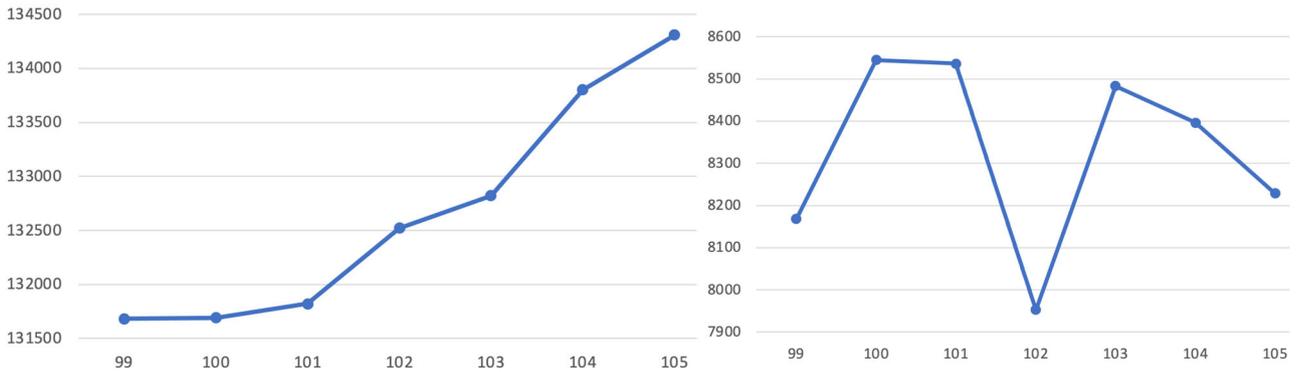


Рис. 6. Общее и удаленное количество измерений на пункте РКАМ

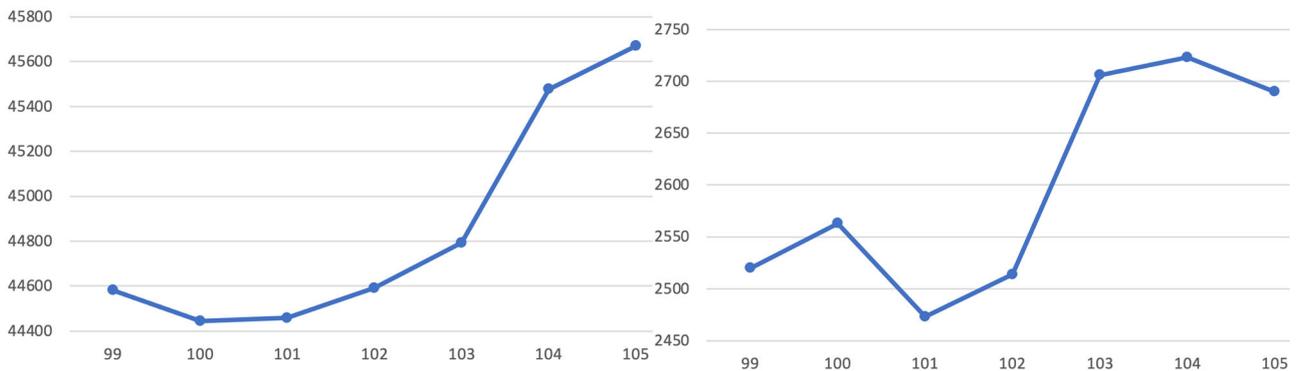


Рис. 7. Общее и удаленное количество измерений на пункте ТІЛК

На пункте ВНОА графики общего и удаленного количества измерений схожи, в связи с этим можно сделать вывод, что удаляется одинаковое количество измерений в процентном соотношении. Также прослеживается резкое падение количества измерений в связи вулканической активности и последующее восстановление в связи затуханием извержения.

На пункте РКАМ график общего количества измерений идет по возрастающей, в тоже время график удаленных измерений практически изначально на пиковом уровне. Что может являться предвестником, и использоваться для изучения и прогнозирования вулканической активности.

На пункте ТІЛК графики, как и на пункте ВНОА схожи.

Заключение

Анализируя результаты оценки качества ГНСС-измерений на пунктах ВНОА, РКАМ, ТИЛК в период извержения вулкана, можно отметить прямую зависимость между расстоянием пунктов от вулкана и качеством измерений. А также рассмотреть разницу между геодинамическими активностями, и как влияет сила извержения на измерения.

Пункт ВНОА подвергся сильному влиянию от извержения, можно отметить большую разность количества теоретического значения эпох и фактического (максимальная разность 617 эпох), следует отметить, что количество фактических эпох упало ещё за два дня до извержения, и этот фактор можно учитывать для дальнейшего мониторинга и прогнозе геодинамических событий.

Были замечены увеличение срывов из-за ионосферной задержки (максимальное значение 151 на 344 день от начала года), а также оценено влияние многопутности.

Также нужно обозначить, что на уменьшение общего количества измерений и фактического количества эпох повлияло само извержение вулкана и локальные землетрясения, а вот на количество срывов фазовых циклов по причине определения ионосферной задержки и многопутности повлияло обильное выделение пепла вулканом в первую неделю извержения.

В предыдущей статье [1] наблюдались аналогичные ухудшения качества измерений на пункте ВНОА перед и в момент извержения, афтершоки и последующее успокоение вулкана. По параметрам невязок фазовой псевдодальности, графикам тропосферной задержки и физическим смещениям пункта.

На пункте РКАМ процент удаленных измерений относительно общего количества в момент извержения вулкана Шивелуч возрос, что может являться показателем вулканической активности. Извержение этого вулкана не оказало какого-либо влияния на качество ГНСС-измерений на пункте ТИЛК, вследствие его большой удаленности.

Используемая в экспериментах утилита TEQC UNAVCO [2] (&teqc +qc) является простым и эффективным инструментом анализа качества ГНСС-измерений. С помощью нее можно оценить количество удаленных измерений плохого качества и, что ценно, можно определить причины снижения качества измерений (из-за влияния ионосферы или из-за многопутности).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Гиенко, Е. Г. Анализ качества ГНСС-измерений на пункте IGS в период извержения вулкана / Е. Г. Гиенко, В. А. Петручок // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2023. – № 2. – С. 147-152. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-2-147-152. – EDN DPJPKB. – Текст : непосредственный.

2 TEQS - Tutorial. – Текст : электронный // <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html> [сайт]. – URL: <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/tutorial/tutorial.html> (дата обращения 18.11.2023). – Режим доступа : общ. доступ.

3 IGS International GNSS Service. – Текст : электронный // <https://igs.org/> [сайт]. – URL: <https://igs.org/about/> (дата обращения 18.11.2023). – 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 18.11.2023). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

5 Федеральная сеть базовых станций. – Текст : электронный // <https://eft-cors.ru/?ysclid=lp40ybon7f38282953> [сайт]. – URL: <https://igs.org/about/> (дата обращения 18.11.2023). – Режим доступа : общ. доступ.

6 CORS Сеть базовых станций. – [Электронный ресурс] // <https://eft-cors.ru/?ysclid=lp40ybon7f38282953> : [сайт]. – URL: <https://bp.eft-cors.ru/basestations> (дата обращения 18.11.2023). – Режим доступа : общ. доступ.

7 RGS Centre. – [Электронный ресурс] // <https://rgs-centre.ru/fags-map> : [сайт]. – URL: <https://rgs-centre.ru/data-download> (дата обращения 18.11.2023). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

© В. А. Петручок, 2024