

*А. П. Карпик, А. В. Мареев\*, Д. С. Мамаев, И. Е. Дорогова*

## **Мониторинг качества спутниковых измерений на пунктах ФАГС**

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: a.v.mareev@sgugit.ru

**Аннотация.** Сервис оценки качества спутниковых измерений – важная составляющая служб постояннодействующих базовых станций ГНСС. Сервис позволяет отслеживать качество наблюдений на станциях и предпринимать необходимые действия в случае выявления критических показателей, например, замены антенн и кабелей при ухудшении интегральных показателя сигнал-шум ГНСС. В статье представлен краткий обзор сервисов мониторинга качества спутниковых наблюдений постояннодействующих базовых станций, рассмотрены основные показатели качества, основное программное обеспечение для вычисления интегральных характеристик по файлам ГНСС-измерений. Представлен сервис мониторинга качества спутниковых наблюдений для фундаментальной астрономо-гравиметрической сети (ФАГС) Российской Федерации.

**Ключевые слова:** Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть, показатели качества ГНСС измерений, MonCenterLib

*A. P. Karpik, A. V. Mareev\*, D. S. Mamaev, I. E. Dorogova*

## **Monitoring of the satellite measurements quality on FAGN**

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

**Abstract.** Satellite measurements quality check service is an important component of permanent GNSS base station services. The service allow to monitor the quality of observations at stations and take the necessary actions in case of identifying critical indicators, for example, replacing antennas and cables when the GNSS signal-to-noise decreases. The article presents a brief overview of services for monitoring the quality of satellite observations of permanent base stations, considers the main quality indicators, the main software for calculating integral characteristics from GNSS measurements. A service for monitoring the quality of satellite observations for the Fundamental Astronomical Gravimetric Network (FAGN) of the Russian Federation is presented

**Keywords:** Fundamental Astronomical Gravimetric Geodetic Network, GNSS measurements quality, MonCenterLib

### ***Введение***

Необходимыми элементами высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС являются надежные системы контроля качества измерений и стабильности положения пунктов. Для высокоточного вычисления координат пунктов ГГС важно иметь специальный сервис для непрерывного контроля качества получаемых решений.

При этом важно иметь систему сервисов с открытой архитектурой, позволяющую профессиональному сообществу независимо и объективно оценивать ка-

чество мониторинга спутниковых геодезических сетей. Для реализации такого сервиса нет препятствий, так как существует много открытого программного кода для обработки спутниковых измерений и анализа временных рядов.

### *Сервисы мониторинга качества спутниковых измерений*

Мониторинг качества спутниковых измерений и оценка стабильности является неотъемлемыми частями современных сервисов, предоставляющих доступ к высокоточной координатно-эфемеридной информации. В сервисе сети международной ГНСС-службы IGS эта информация с 2022 года отображается прямо на сайте по выбору карточки пункта [1]. На странице карточки пункта можно увидеть следующий перечень информации, характеризующей качество измерений и стабильность пунктов:

- 1) изменения на станции за все время эксплуатации: изменения типа приемника и программного обеспечения, смены используемой антенны;
- 2) контакты организации, владеющей станцией;
- 3) отображение общего объема записанных данных спутниковых измерений. Информация характеризует соотношение между ожидаемым и фактическим количеством спутниковых наблюдений по каждой системе в отдельности на каждый момент времени;
- 4) количество зафиксированных срывов счета фазовых циклов за выбранный пользователем период наблюдений;
- 5) интегральные значения стандартных отклонений показателей переотражения сигналов на пункте;
- 6) информация о задержках в предоставлении RINEX-файлов, характеризующая качество интернет-соединения и менеджмента при предоставлении данных в центр обработки IGS;
- 7) разности координат по каждой из компонент, полученные из еженедельных решений, с координатами, вычисленными по кусочной кинематической модели. Узлами этой кинематической модели являются выявленные скачки в координатах базовой станции;
- 8) временные ряды координат, полученные из ежедневных SINEX-решений.

В таком виде сервис начал свою работу с июня 2022 года. К сожалению, на сайте не удалось найти информацию о существовании какого-либо API для доступа к базе данных показателей мониторинга.

На сайтах служб ГНСС-сетей, предназначенных для геодинамического мониторинга, также можно найти сервисы, позволяющие оценивать качество спутниковых наблюдений. Например, сеть Geonet от Новозеландской геодезической службы, обладает таким сервисом [2]. Доступ к базе данных показателей качества предоставляется по API. Таким образом, постоянно обновляемые данные мониторинга могут использоваться для анализа сторонними службами и сервисами. Показатели контроля качества и стабильности предоставляются посредством значений  $avgMP1$  и  $avgMP2$ , характеризующих величину многолучевости на станции мониторинга. Эти показатели вычисляются с помощью программы

TEQC [3]. Также сервис предоставляет временные ряды координат по каждой из компонент в отдельности в виде CSV-файла. На сайте приводится информация о стратегии автоматической обработки данных при геодезическом мониторинге.

В российских сервисах предоставления данных для высокоточного спутникового позиционирования по сигналам ГНСС в качестве характеристики качества можно встретить только информацию, характеризующую полноту данных спутниковых наблюдений. При этом пользователь не сможет найти информацию о причинах отсутствия файлов. К сожалению, пользователям приходится самостоятельно определять данные характеристики, что существенно затрудняет процесс планирования геодезических работ с использованием данных с сервиса ФАГС [4].

### *Показатели качества спутниковых наблюдений.*

Для мониторинга качества наблюдений на пунктах геодезической сети используются следующие группы характеристик:

- 1) показатели качества связи (передачи данных со станции на сервер);
- 2) интегральные показатели качества спутниковых измерений.

К последним характеристикам относятся:

- 1) интегральные значения соотношения сигнал-шум за период наблюдений;
- 2) количество срывов счета циклов наблюдений фазы за сеанс и их моменты;
- 3) количество эпох со скачками в часах приемника;
- 4) коэффициенты, характеризующие переотражение сигналов ГНСС на станции.

Соотношение сигнал-шум вычисляется в спутниковом приемнике в процессе сеанса. Сигнал-шум есть отношение амплитуды принимаемого сигнала к амплитуде шума на соответствующей частоте. Эта характеристика вычисляется для каждого наблюдаемого спутника ГНСС на протяжении всего сеанса. Для определения качества наблюдений имеет смысл определять интегральное значение сигнал-шум всем по всем сигналам и по всему сеансу спутниковых наблюдений. Считается, что сеанс спутниковых наблюдений характеризуется высоким качеством измерений, если среднее интегральное значение сигнал-шум по всем сигналам преодолевает отметку в 40 дБ.

Определение момента потери счета циклов наблюдаемой фазы сигнала является необходимым элементом в обработке, поскольку эффективная оценка координат станции возможна только внутри сеанса, где счет циклов непрерывен. В случае срыва слежения фазы цикл инициализации и определения значения целочисленной неоднозначности приходится начинать заново. Срыв слежения за фазой сигнала может возникать в результате влияния различных факторов, среди которых: наличие электромагнитных помех на станции, экранирование, проблемы в антенных кабелях и в самой антенне. Поэтому большое количество срывов может являться указанием на наличие технических проблем на станции. В качестве характеристики, позволяющей выявлять разрывы в слежении за фазой,

используется линейная комбинация из измеренного значения псевдодальности по навигационного коду и фазе несущей [5]:

$$L_6 = L_W - P_N = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 - f_2 P_2) = \frac{c}{f_1 - f_2} (N_1 - N_2) , \quad (1)$$

где  $f_1, f_2$  – частоты сигналов  $L1$  и  $L2$ ;

$L_1, L_2$  – значения фазы сигнала на частотах  $L1$  и  $L2$  соответственно;

$P_1, P_2$  – значения псевдодальностей, измеренных по коду  $P1$  и  $P2$  соответственно;

$N_1, N_2$  – оценки значений целочисленных неоднозначностей на частотах  $L1$  и  $L2$ .

В основе определения разрывов лежит гипотеза о том, что в случае потери счета фазовых циклов разница линейных комбинаций (1) между эпохами наблюдений превзойдет наперед заданную величину:

$$L_6(t_2) - L_6(t_1) > k\sigma_{L_6} , \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент, принимаемый равным 4 (определен эмпирически);

$\sigma_{L_6}$  – ошибка определения комбинации  $L_6$ .

Большое значение для анализа временных рядов имеют характеристики переотражения сигналов на станции. Эта информация используется для определения ковариационных матриц при оценке параметров кинематической модели методом наибольшего правдоподобия. Многопутность вызывает появление во временных рядах периодического сигнала и шума, коррелирующего с периодом повторения созвездия ГНСС. Для анализа наличия источников переотражения сигналов используются комбинации из псевдодальности, полученной по дальномерному коду и фазе сигнала. При этом в комбинации различных дальномерных кодов и фаз получают целый ряд показателей переотражения [5]:

$$MP_k = P_k - L_i - \beta(L_i - L_j) = P_k + \alpha L_i + \beta L_j , \quad (3)$$

где  $k, i, j$ , – индексы используемых в комбинации дальномерного кода и фазы сигнала.

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  представляют собой комбинации следующего вида:

$$\alpha = \frac{(f_j^2 + f_k^2)f_i^2}{(f_i^2 + f_j^2)f_k^2}; \beta = \frac{(f_i^2 + f_k^2)f_j^2}{(f_i^2 + f_j^2)f_k^2} . \quad (4)$$

Для определения показателей качества спутниковых измерений существует три основные программы: Anubis [5], TEQC [6], VKG ntrip client [7].

Anubis используется для мониторинга качества на станциях в сети EuroRef. Программа позволяет анализировать качество спутниковых наблюдений по файлу RINEX 3 версии. Anubis распространяется без ограничений и публикуется с открытым исходным кодом. Важным преимуществом программы является то, что она разрабатывается согласно подходам объектно-ориентированного программирования.

### Результаты

На основе программы Anubis разработан сервис мониторинга качества спутниковых наблюдений на пунктах сети ФАГС [4]. Сервис использует инструменты библиотеки MonCenterLib [8] и Nicharts [9]. Из библиотеки MonCenterLib используются модули для скачивания файлов измерений, эфемерид, запуска скриптов обработки данных на основе программ Anubis и НЕСТОР. Сервис наполняет базу данных мониторинга (на схеме «БД ФАГС мониторинг», рис 1) по мере появления новых файлов спутниковых наблюдений в базе службы RGS-centre.

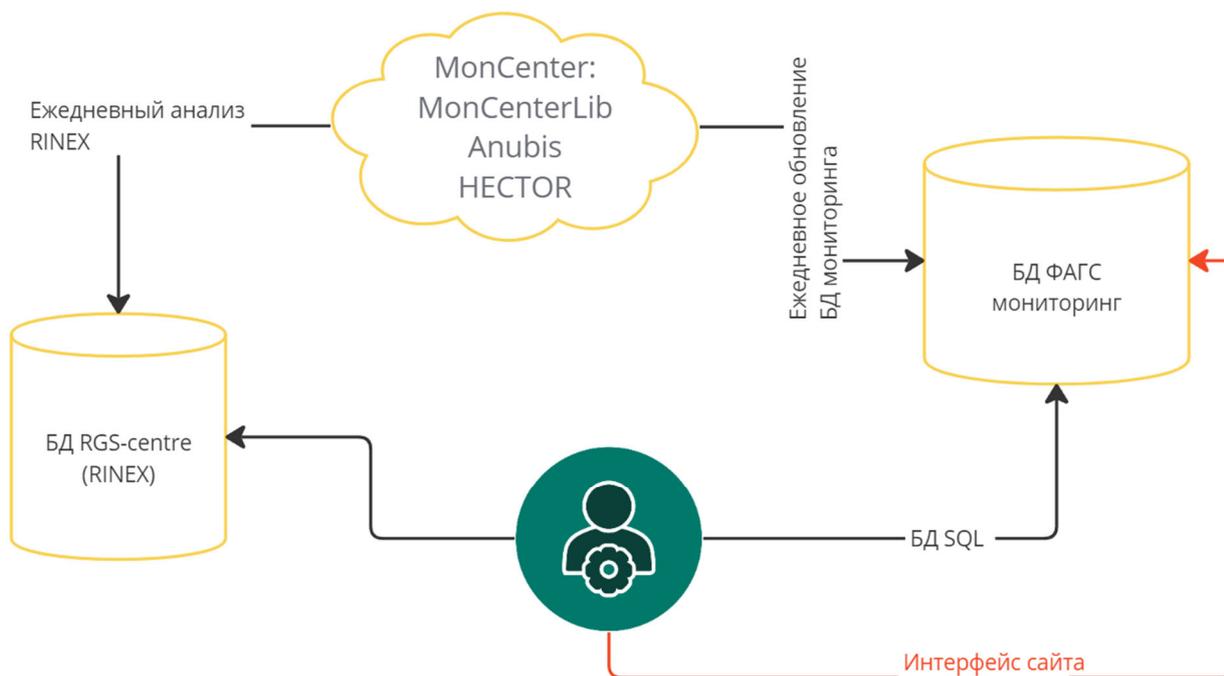


Рис. 1. Схема сервиса мониторинга качества

Пользователь может взаимодействовать с базой данных мониторинга качества через web-интерфейс сайта. При помощи инструментов Nicharts можно просматривать историю изменений основных характеристик качества спутниковых наблюдений, например, показателей многолучевости (рис 2). Также на сайте до-

ступно скачивание обновляемой SQL базы данных характеристик качества спутниковых наблюдений за всю публичную историю работы службы RGS-centre.

Визуализация на сайте реализована таким образом, что для каждой характеристики представлено отдельное окно графика. У пользователя есть возможность масштабировать графики за весь период работы станции ФАГС. Также на сайте можно выбирать частоту, с которой требуется отображать интегральные характеристики качества. В этих окнах пользователь может выбирать характеристики, связанные с каждой системой ГНСС в отдельности. Интерфейс отображения показателей качества на сайте Moncenter повторяет интерфейс службы EUREF [10].

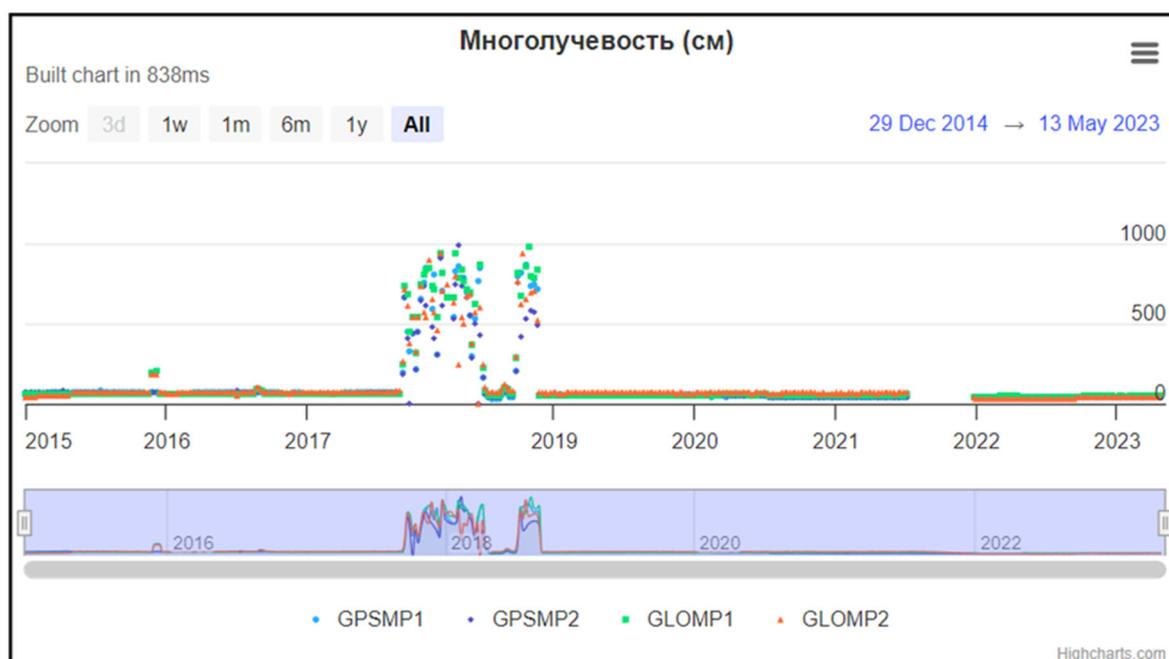


Рис. 2. Окно визуализации показателей многолучевости

### *Заключение*

Современные службы ГНСС-геодезических сетей содержат сервисы контроля качества и стабильности данных. Для пользователей наличие такой информации позволяет корректно выполнять планирование сеансов спутниковых определений и анализировать результаты измерений.

На основе библиотек MonCenterLib, Highcharts и программы Anubis сотрудниками СГУГиТ спроектирован и разработан онлайн-сервис контроля характеристик качества спутниковых измерений для Фундаментальной астрономо-геодезической сети Российской Федерации. На сайте [11] доступна база данных характеристик качества ГНСС-измерений за всю публичную историю работы сервиса RGS-centre.

С помощью анализа характеристик качества ГНСС-измерений операторы службы ФАГС могут своевременно выявлять проблемы в работе базовых станций. Архив интегральных показателей качества может использоваться для про-

ведения процедуры взвешенного МНК при определении координат с помощью станций ФАГС.

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-Квант»  
№ 121111600209-4.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 IGS Network – URL: <https://network.igs.org/> (дата обращения: 02.06.2023).
- 2 GeoNet: GNSS Time Series Notes – URL: [https://www.geonet.org.nz/data/supplementary/gnss\\_time\\_series\\_notes](https://www.geonet.org.nz/data/supplementary/gnss_time_series_notes) (дата обращения: 20.09.2022).
- 3 TEQC - The Toolkit for GNSS Data – URL: <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>.
- 4 Центр точных эфемерид RGS-CENTRE – URL: <https://rgs-centre.ru/> (дата обращения: 06.05.2023).
- 5 G-Nut/Anubis: Open-Source Tool for Multi-GNSS Data Monitoring with a Multipath Detection for New Signals, Frequencies and Constellations / P. Vaclavovic, J. Dousa // IAG 150 Years. – 2015. – Т. 143. – Гл. – С. 775–782. – DOI: 10.1007/1345\_2015\_97.
- 6 TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data / L. H. Estey, C. M. Meertens // GPS Solutions. – 1999. – Т. 3. – № 1. – С. 42–49. – DOI: 10.1007/PL00012778.
- 7 BKG Ntrip Client | Help – URL: <https://software.rtcn-ntrip.org/export/HEAD/ntrip/trunk/BNC/src/bnchelp.html> (дата обращения: 20.09.2022).
- 8 Mamaev, D. MonCenterLib / D. Mamaev – 2022. – URL: <https://github.com/DanielMamaev/MonCenterLib>.
- 9 Interactive javascript charts library // Highcharts. – URL: <https://www.highcharts.com/blog/homepage21may/>.
- 10 EUREF Permanent GNSS Network – URL: [http://epncb.oma.be/\\_networkdata/data\\_quality/index.php](http://epncb.oma.be/_networkdata/data_quality/index.php) (дата обращения: 02.06.2023).
- 11 MonCenter – URL: [http://moncenter.ru/fags\\_monitoring/](http://moncenter.ru/fags_monitoring/) (дата обращения: 02.06.2023).

© А. П. Картик, А. В. Мареев, Д. С. Мамаев, И. Е. Дорогова, 2023