

## Текущее состояние работ ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ

© С. Л. Пасынок<sup>1</sup>, С. Ю. Антропов<sup>1</sup>, И. В. Безменов<sup>1</sup>, Н. А. Вострухов<sup>1</sup>, А. Э. Дроздов<sup>1</sup>,  
В. Е. Жаров<sup>1,2</sup>, И. Ю. Игнатенко<sup>1</sup>, Е. Н. Цыба<sup>1</sup>, В. Н. Федотов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВНИИФТРИ», пос. Менделеево, Моск. обл., Россия

<sup>2</sup>ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

### Реферат

В Главном метрологическом центре Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) непрерывно проводятся работы в области определения и прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ). Прежде всего это работы по осуществлению мероприятий в рамках ГСВЧ, которые включают: проведение навигационных и спутниковых лазерных дальномерных измерений на пунктах метрологического контроля Росстандарта, расположенных в городском поселении Менделеево и городах Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский; обработку результатов ГНСС, спутниковой лазерной дальнометрии (СЛД) и РСДБ-измерений ГСВЧ и международных служб; определение ПВЗ в рамках отдельных методов измерений; совместную обработку данных измерений и результатов определения ПВЗ в рамках отдельных методов измерений; а также формирование справочной информации о ПВЗ и ее распространение. Роль ФГУП «ВНИИФТРИ» как ГМЦ ГСВЧ закреплена Постановлением Правительства РФ № 225. Также в ГМЦ ГСВЧ ведутся работы по эксплуатации следующих средств: аппаратно-программных средств определения и прогнозирования ПВЗ на основе совместной обработки файлов измерений в формате SINEX, Коррелятора ГМЦ ГСВЧ, спутниковой дальномерной лазерной станции комплекса средств фундаментального обеспечения ГЛОНАСС «Точка» и сегмента обмена данными Росстандарта; проводятся исследования по вычислению орбит и поправок часов КА, а также обработке данных спутниковых альтиметрических измерений.

В статье приводится краткий обзор работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ в период с 2021 по 2023 гг. Оценка качества определений ПВЗ и других параметров проводится методом сравнения данных, полученных в ГМЦ ГСВЧ, с международными опорными данными о ПВЗ и данными других отечественных и зарубежных центров обработки и анализа данных (ЦОАД).

Результаты сравнения свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ.

**Ключевые слова:** параметры вращения Земли, ГНСС, СЛД, РСДБ, космическая альтиметрия.

*Контакты для связи:* Пасынок Сергей Леонидович ([pasynok@vniiftri.ru](mailto:pasynok@vniiftri.ru)).

**Для цитирования:** Пасынок С. Л., Антропов С. Ю., Безменов И. В., Вострухов Н. А., Дроздов А. Э., Жаров В. Е., Игнатенко И. Ю., Цыба Е. Н., Федотов В. Н. Текущее состояние работ ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ // Труды ИПА РАН. 2024. Вып. 69. С. 39–46.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.69.39-46>

## On the Current State of MMC SSTF Works for EOP Evaluation

S. L. Pasynok<sup>1</sup>, S. Yu. Antropov<sup>1</sup>, I. V. Bezmenov<sup>1</sup>, N. A. Vostruhov<sup>1</sup>, A. E. Drozdov<sup>1</sup>,  
V. E. Zharov<sup>2</sup>, I. Yu. Ignatenko<sup>1</sup>, E. N. Tsyba<sup>1</sup>, V. N. Fedotov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University, Moscow, Russia

### Abstract

The permanent works on evaluating and predicting the Earth's Orientation Parameters (EOP) values are provided in the Main Metrological Center of State Service of Time, Frequency and EOP evaluation (MMC SSTF). First of all, these works are provided within the functioning SSTF frame and include: the Satellite Laser Ranging (SLR) measurements taken at Federal Agency for technical regulation and metrology (ROSSTANDART) metrological control sites which are located in Mendeleevo (Moscow region) and Irkutsk city; the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) tracking at ROSSTANDART metrological control sites located in Mendeleevo (Moscow region) and the cities of Novosibirsk, Irkutsk, Khabarovsk and Petropavlovsk-Kamchatskii; processing GNSS, SLR and VLBI data of national and foreign services and EOP evaluation for every space geodetic technics separately; combining the data and the results of EOP evaluations and the formation of SSTF EOP bulletins and dissemination it's. The role of FSUE «VNIIFTRI» as MMC SSTF is stated by the Russian government decree № 225. The work is underway to operate the funds of EOP evaluation and prediction by the combination of SINEX files; SSTF programing correlator created by IAA RAS and SLR station of SLR2000 standards

«Tochka»; ROSSTANDART Center of data. The investigations of GNSS data processing for the evaluation of GNSS satellites orbits and clocks so as satellite altimetry data processing are also provided.

The works of MMC SSTF for EOP evaluation and prediction from 2021 to 2023 are briefly considered. The quality of EOP evaluated values and other parameters is evaluated using the method of comparison MMC SSTF data with IERS data and data of other national and international Analysis Centers (AC) and Data Centers (DC).

The comparison of the results testifies to high scientific and technical level of work carried out in MMC SSTF for evaluating and predicting EOP.

**Keywords:** Earth's orientation parameters, GNSS, SLR, VLBI, space altimetry.

*Contacts: Sergey L. Pasyuk (pasyuk@vniiftri.ru).*

**For citation:** Pasyuk S. L., Antropov S. Yu., Bezmenov I. V., Vostruhov N. A., Drozdov A. E., Zharov V. E., Ignatenko I. Yu., Tsyba E. N., Fedotov V. N. On the current state of MMC SSTF works for EOP evaluation // Transactions of IAA RAS. 2024. Vol. 69. P. 39–46.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.69.39-46>

## Введение

В Главном метрологическом центре Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) непрерывно проводятся работы в области определения и прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ). В статье представлен обзор работ, которые проводились в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ (ОППВЗ) в период с 2021 по 2023 гг.

Они включают:

— проведение мероприятий в рамках осуществления ФГУП «ВНИИФТРИ» функций ГМЦ ГСВЧ в части ОППВЗ;

— проведение работ по разработке и модернизации программ определения ПВЗ и эфемеридно-временной информации (ЭВИ) по спутниковым измерениям, программ обработки данных спутниковых альтиметрических измерений, а также внесение необходимых изменений в ранее разработанные программы;

— проведение работ по эксплуатации спутниковой дальномерной лазерной станции комплекса средств фундаментального обеспечения ГЛОНАСС (ЛС КСФО) «Точка», ЦОАД ГМЦ ГСВЧ и Коррелятора ГМЦ ГСВЧ, а также сегмента обмена данными (СОД) Росстандарта.

Большая часть этих работ проводится в рамках деятельности по осуществлению мероприятий Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли. ГСВЧ — межведомственная организация, объединяющая усилия государственных научных метрологических институтов Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (далее — Росстандарт), воинских частей, организаций и учреждений Министерства обороны РФ, а также организаций и учреждений Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, Министерства науки и высшего образования РФ, Федеральной службы государственной регистра-

ции, кадастра и картографии, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», Министерства промышленности и торговли РФ и Российской академии наук (далее — РАН) по определению времени, эталонных частот и ПВЗ. Деятельность ГСВЧ регламентируется положением «О Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли», утвержденным постановлением № 225 Правительства РФ от 23 марта 2001 г., а также другими нормативными документами.

Общее руководство ГСВЧ осуществляет Росстандарт, оперативное руководство ГСВЧ возложено на ГМЦ ГСВЧ.

## 1. Работы, выполняемые ФГУП «ВНИИФТРИ» в части ОППВЗ в рамках ГСВЧ

В части ОППВЗ в рамках ГСВЧ в ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняются следующие работы:

— проведение регулярных навигационных измерений ГНСС приемниками сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS, установленными на пунктах метрологического контроля (ПМК) Росстандарта, а также проведение регулярных спутниковых лазерных дальномерных измерений с помощью квантово-оптических систем (КОС), установленных в ФГУП «ВНИИФТРИ» и в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ»;

— проведение регулярных определений ПВЗ отдельно по каждому виду измерений (РСДБ, КОС, ГНСС);

— проведение регулярного определения и прогнозирования абсолютных значений ПВЗ на основе совместной обработки всей совокупности данных и обеспечение потребителей справочными данными ГСВЧ о ПВЗ.

Работы, выполняющиеся в рамках ГСВЧ, содержат элементы, повторяющиеся из года в год с некоторыми изменениями, что естественно для службы.

### 1.1. Проведение измерений

В период с 2021 г. и по настоящее время во ФГУП «ВНИИФТРИ» продолжается проведение регулярных навигационных измерений ГНСС с помощью высокоточных многочастотных и мультисистемных приемников ГНСС TOPCON NET-G3 и JAVAD SIGMA, расположенных на ПМК Росстандарта в п. Менделеево и гг. Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский. Результаты измерений использовались в ГМЦ ГСВЧ для цели определения ПВЗ по ГНСС-измерениям, а также передавались в отечественные и зарубежные базы данных. Приемники получают сигналы времени и частоты от водородных хранителей, входящих в состав Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭВЧ), что позволяет контролировать положение внутренней шкалы времени (ШВ) каждого приемника относительно ШВ водородного стандарта, от которого он получает частоту. Оперативный контроль осуществляется ежедневно по графикам разностей ШВ и результатам определения координат и поправок часов пунктов, вычисленным с помощью метода PPP (Precise Point Positioning). По результатам годового анализа оценивался тренд координат опорных точек пунктов и разброс координат пунктов относительно тренда. Совпадение наблюдаемого тренда и теоретического, опубликованного в последнем каталоге международной земной отсчётной основы (ITRF2020), в пределах погрешностей измерений свидетельствует о стабильном положении ПМК ГСВЧ в ITRF2020.

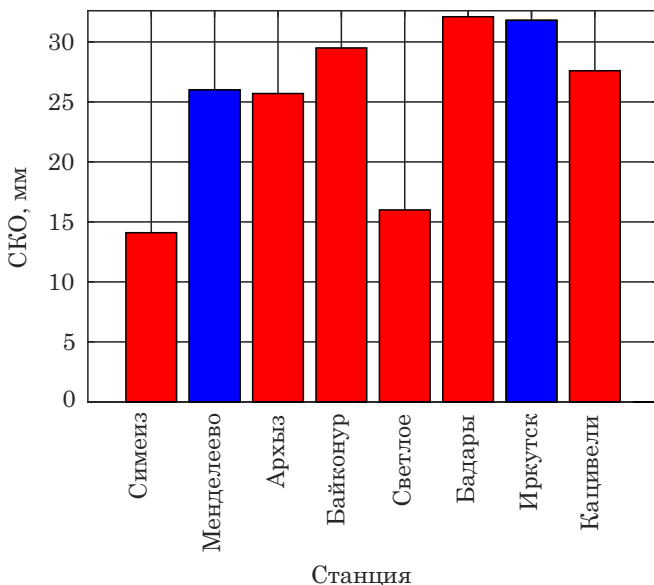


Рис. 1. СКО СЛД измерений некоторых из станций российской лазерной сети по данным бюллетеня Q3 ILRS

Также продолжались регулярные (по мере открытия погодных окон) спутниковые лазерные дальномерные измерения с помощью КОС «Сажень-ТМ-БИС», установленных в ФГУП «ВНИИФТРИ» и в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ».

Результаты ГНСС-измерений поступали в ГМЦ ГСВЧ в почасовом режиме, а результаты СЛД-измерений — в ежесуточном, по мере поступления результатов измерений. Также результаты измерений передавались в отечественные и (частично) зарубежные базы данных.

На рис. 1 показаны СКО СЛД измерений по данным бюллетеня Q3 Международной службы лазерной локации ILRS некоторых из станций российской лазерной сети, включая 1874 (Менделеево) и 1891 (Иркутск), изображенных синим цветом.

### 1.2. Определение ПВЗ по отдельным видам измерений космической геодезии

В 2021–2023 гг. в ГМЦ ГСВЧ продолжалась регулярная обработка измерений по каждому из видов измерений космической геодезии: РСДБ, измерений по результатам приема сигналов ГНСС и СЛД.

Для определения ПВЗ по ГНСС-измерениям использовались данные измерений с региональной сети пунктов ГСВЧ, расположенных в России и странах СНГ, включающей около 30 пунктов. Помимо средств ГНСС, установленных на ПМК Росстандарта, использовались данные ГНСС-измерений с пунктов РАН и Минобрнауки. Данные пунктов, расположенных на территории Украины, сейчас не доступны в ГМЦ ГСВЧ в связи с проведением СВО. Обработка проводилась с помощью программного обеспечения, основанного на методе PPP, с использованием подпрограмм программного комплекса BERNESE 5.0 (Dach et al., 2007).

Поскольку данных измерений отечественной сети лазерной спутниковой дальнометрии не достаточно для высокоточного определения ПВЗ, то обрабатывались также результаты измерений на зарубежных спутниковых лазерных дальномерах, доступные в базе данных Международной службы лазерной спутниковой дальнометрии (ILRS). Обработка ведется с помощью программы, разработанной в ГМЦ ГСВЧ (Тсуба, Volkova, 2020). На рис. 2 показано отклонение значений координаты полюса  $u_p$ , полученных в ГМЦ ГСВЧ по лазерным измерениям, от данных МСВЗ (отклонения изображены звездочками, их систематическая часть — сплошной линией. Остальные маркеры и линии — аналогичные величины для других ЦОАД).

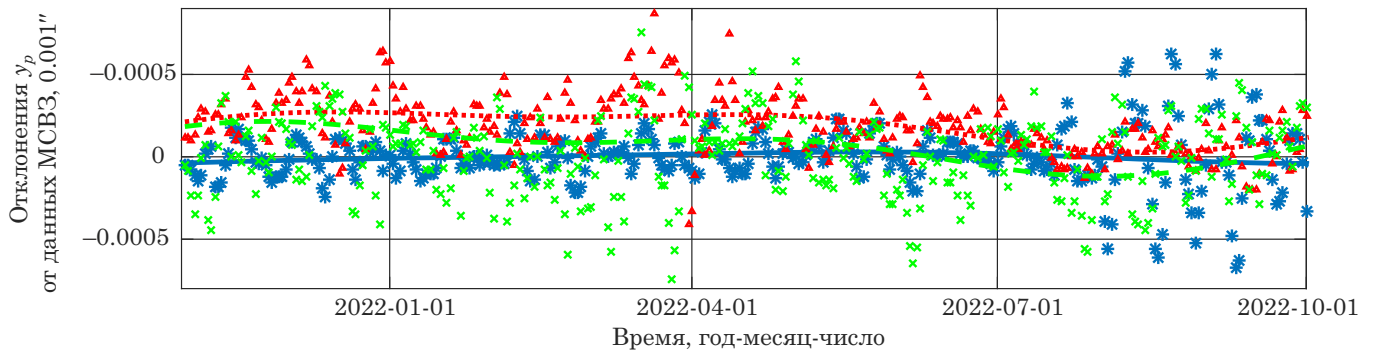


Рис. 2. Отклонение значений координаты полюса  $y_p$  от данных МСВЗ (пояснения в тексте)

Для определения ПВЗ по РСДБ-измерениям использовались данные корреляционной обработки Международной РСДБ-службы IVS и данные корреляционной обработки, полученные с Коррелятора РАН. Для вторичной (посткорреляционной) обработки данных международной сети РСДБ-станций был использован программный

комплекс «Ариадна», разработанный в ГАИШ МГУ ([Жаров, 2011](#)) и преобразованный в ГМЦ ГСВЧ для целей оперативной службы ПВЗ. На рис. 3 изображены отклонения друг от друга рядов значений  $UT1-UTC$ , полученных по часовым сессиям IVS в различных ЦОАД. Отклонения значений «Ариадны» показаны цветными маркерами.

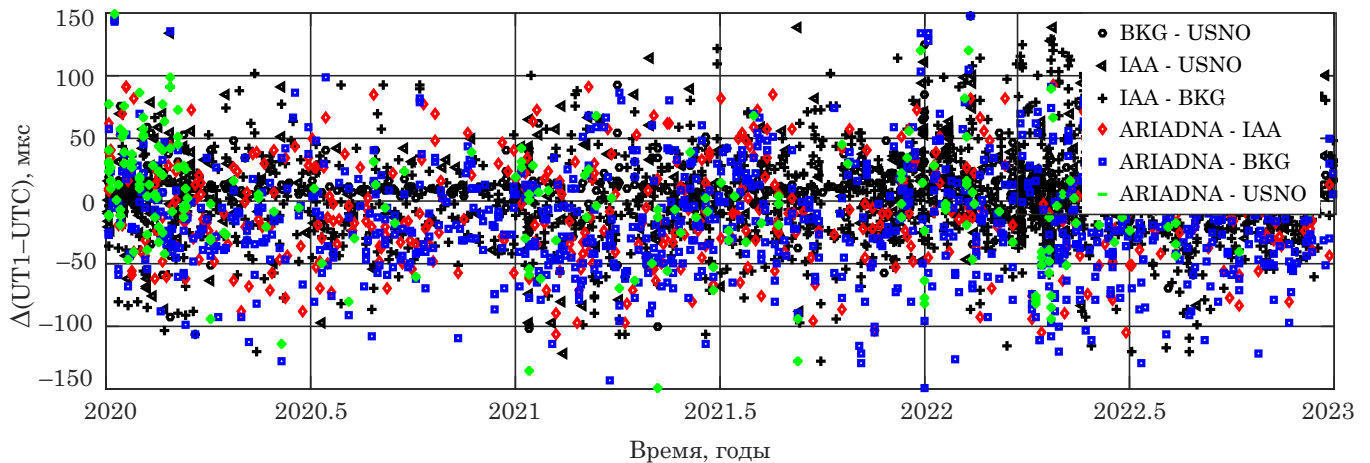


Рис. 3. Отклонения друг от друга рядов значений  $UT1-UTC$ , полученных по часовым сессиям IVS в различных ЦОАД

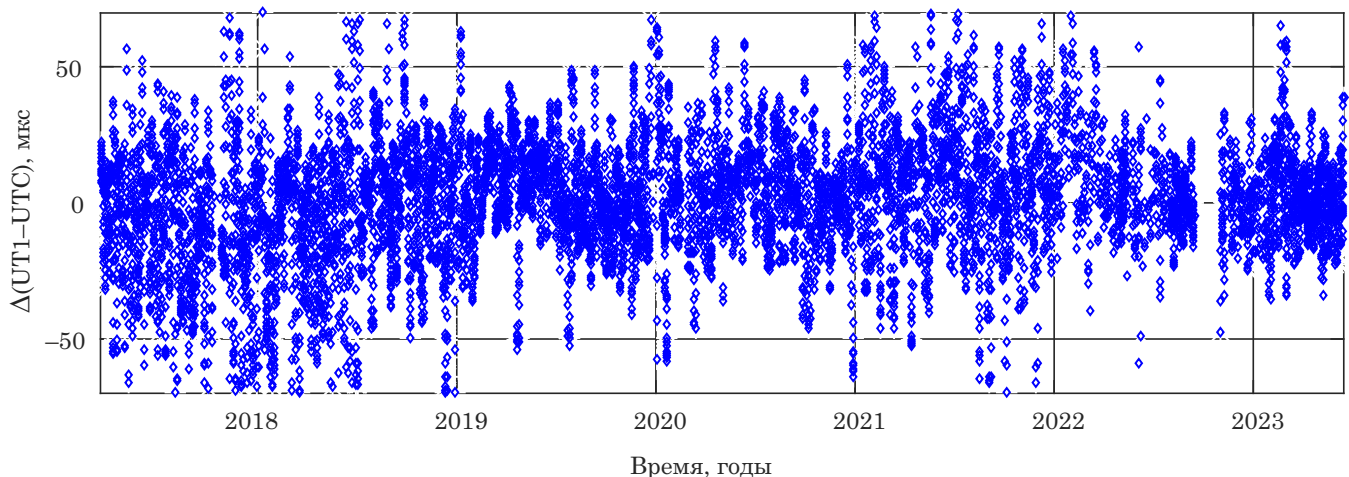


Рис. 4. Отклонения значений ряда  $UT1-UTC$ , полученного в ГМЦ ГСВЧ по результатам выполненной в ИПА РАН корреляционной обработки данных радиоинтерферометра на узлах колокации, от данных МСВЗ

Таблица

| Источник данных  | x,<br>угл. мкс | y,<br>угл. мкс | UT1–UTC,<br>мкс |
|------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Бюллетень E ГСВЧ | 80             | 90             | 19              |
| Bulletin A       | 50             | 50             | 16              |

В 2021–2023 гг. продолжалось использование в сводной обработке значений всемирного времени, полученных по данным радиоинтерферометра на узлах колокации, созданного в ИПА РАН. Использование этих измерений позволило значительно увеличить точность значений всемирного времени. Вторичная (посткорреляционная) обработка этих измерений, полученных и прошедших корреляционную обработку в ИПА РАН, проводится в ГМЦ ГСВЧ с помощью программного комплекса OCCAM ([Titov et al., 2001](#)). Отклонения этих результатов от данных МСВЗ (IERS) показаны на рис. 4.

### 1.3. Совместная обработка данных о ПВЗ и формирование бюллетеней с информацией о ПВЗ ГСВЧ

Как на ГМЦ ГСВЧ, на ФГУП «ВНИИФТРИ» возложена обязанность по формированию справочных данных о ПВЗ на основе совместной обработки данных о ПВЗ, полученных различными методами космической геодезии (РСДБ, СЛД, ГНСС) и в различных Центрах обработки и анализа данных (ЦОАД) ГСВЧ, и формирование на их основе бюллетеней со справочной информацией ГСВЧ. В 2021–2023 гг. в ГМЦ ГСВЧ продолжалась совместная обработка на уровне временных рядов, причем для определения окончательных значений ПВЗ в апостериорном режиме привлекались также данные измерений французской доплеровской спутниковой системы определения орбит искусственных спутников Земли DORIS.

В таблице представлены СКО от окончательных данных МСВЗ данных бюллетеня E ГСВЧ ([ФГУП «ВНИИФТРИ», 2023](#)) и аналогичных данных МСВЗ той же срочности Bulletin A ([IERS Annual Report, 2023](#)).

По результатам определения и прогнозирования ПВЗ формируются бюллетени ГСВЧ: оперативный Q, срочный A и кварталный E. Бюллетень Г с сообщением о введении дополнительной секунды в шкалу времени UTC(SU) в 2021–2023 гг. не формировался, так как среднегодовая продолжительность суток всемирного времени в этот период была меньше продолжительности атомных суток и необходимости ввода дополнительной секунды не возникло. Сформированные бюллетени распространялись в соответствии с утвержденным

списком рассылки посредством сети Интернет и по установленным каналам связи.

## 2. Проведение мероприятий по разработке и модернизации программ определения ПВЗ и ЭВИ по спутниковым измерениям

В части ОППВЗ в ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняются:

- работы по модернизации программного комплекса определения ПВЗ и ЭВИ по ГНСС-измерениям;
- работы по модернизации программного комплекса определения ПВЗ и орбит по СЛД-измерениям;
- работы по модернизации программного комплекса определения параметров гравитационного поля Земли и координат геоцентра по спутниковым измерениям.

Кроме того, в последнее время участились изменения в форматах и именах файлов, используемых для хранения и обработки данных измерений методами космической геодезии. Поэтому для поддержания в рабочем состоянии уже разработанных программ в них приходится вносить соответствующие изменения. Если бы такие изменения своевременно не вносились, то практически все из ранее разработанных программ на сегодняшний момент оказались бы неработоспособными.

### 2.1. Модернизация программного комплекса определения ПВЗ и ЭВИ по ГНСС

В ГМЦ ГСВЧ был разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) обработки и анализа данных навигационных измерений для определения ЭВИ по данным приема сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS ([Безменов, 2020](#)). В настоящее время проводятся работы по совершенствованию этого комплекса путем распараллеливания вычислений и переносу программ на новые высокопроизводительные системы для достижения возможности функционирования в оперативном и сверхоперативном режиме с заданными техническими характеристиками ([Безменов и др., 2023](#); [Дроздов, 2023](#)). На рис. 5 показаны отклонения сверхоперативных (ultra rapid) орбит, рассчитанных с помощью разработанного ПАК, от апостериорного сводного решения (final) Международной ГНСС-службы.

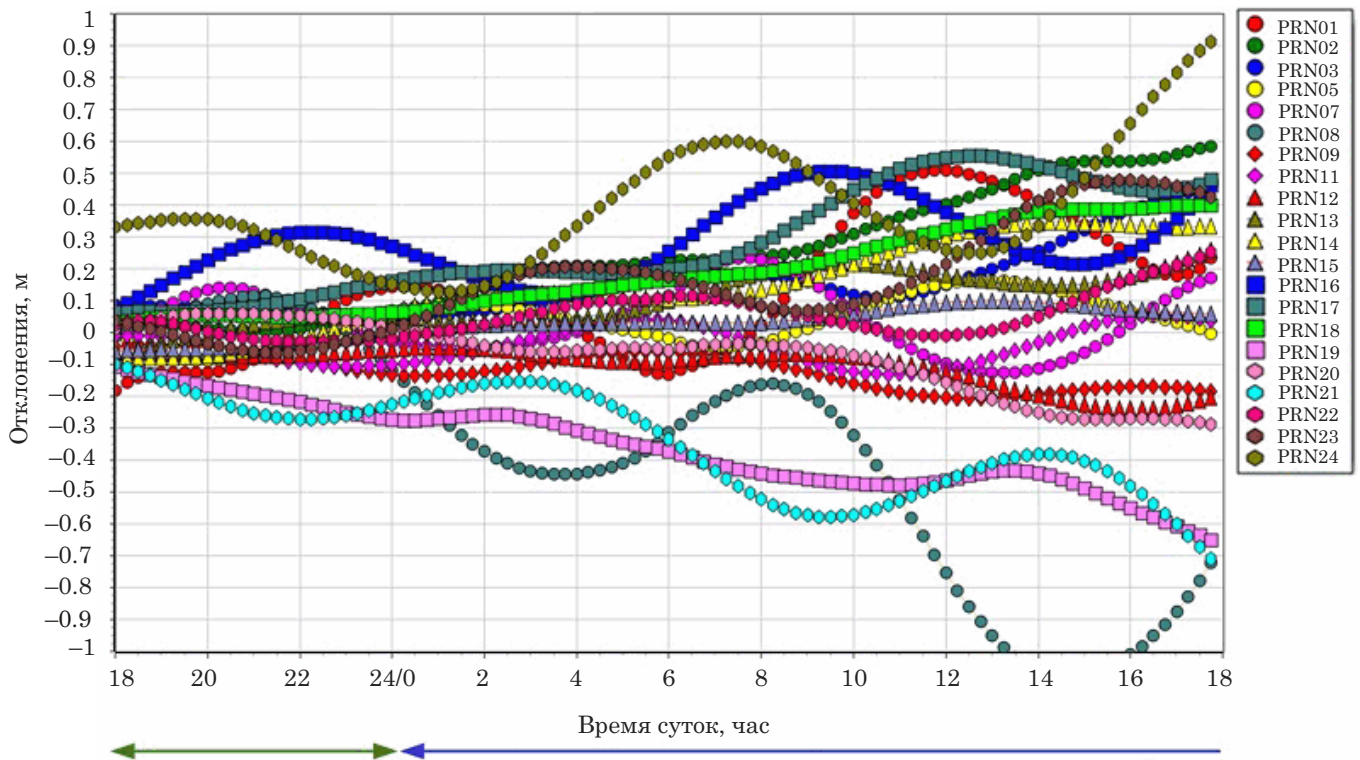


Рис. 5. Результат расчета сверхоперативных орбит с помощью разработанного в ГМЦ ГСВЧ программно-аппаратного комплекса

## 2.2. Модернизация программного комплекса определения ПВЗ и орбит по СЛД-измерениям

Также в ГМЦ ГСВЧ ведется разработка ПАК обработки и анализа данных СЛД-измерений, который определяет орбиты и ПВЗ в рамках одного

ПАК по данным спутниковых лазерных дальнометров. В настоящее время в ПАК внедрен современный адаптивный алгоритма интегрирования орбит, обладающий повышенной устойчивостью. Результаты обсуждаются в (Цыба и др., 2023).

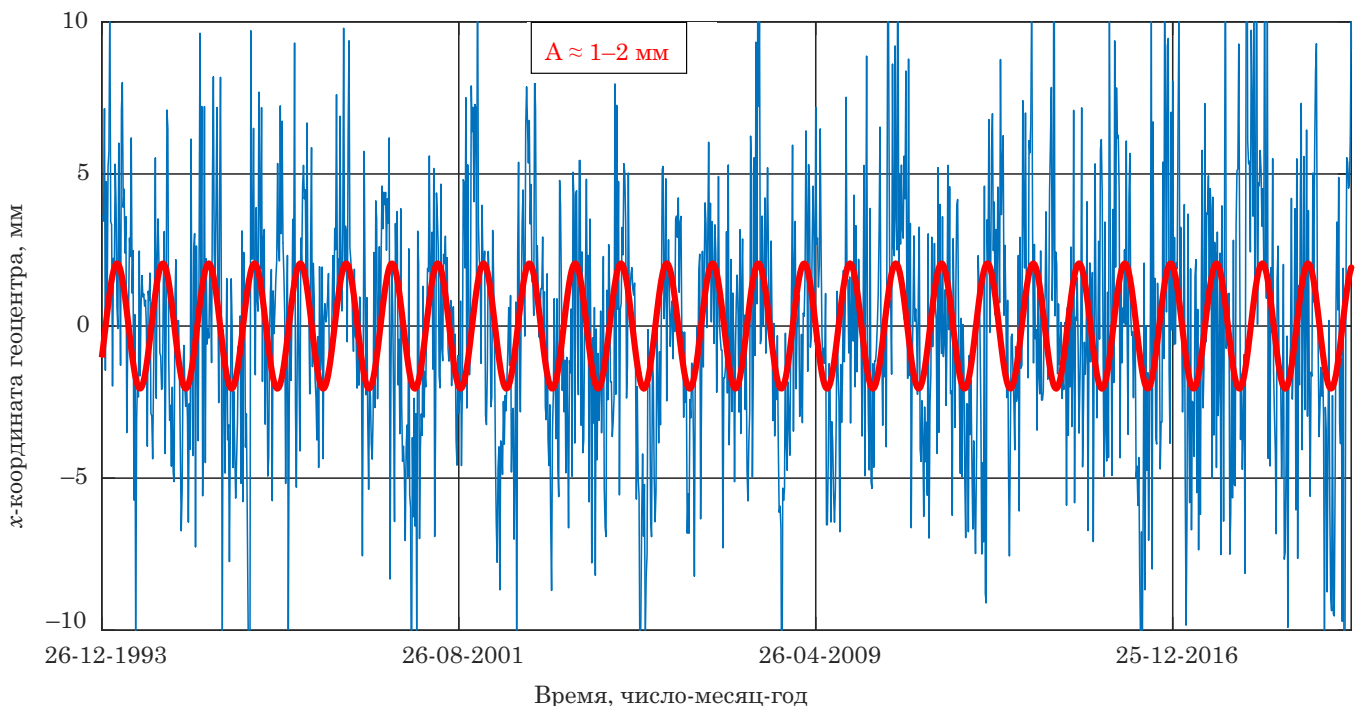


Рис. 6. Вариации значений  $x$ -координаты геоцентра ( $A$ -амплитуда)

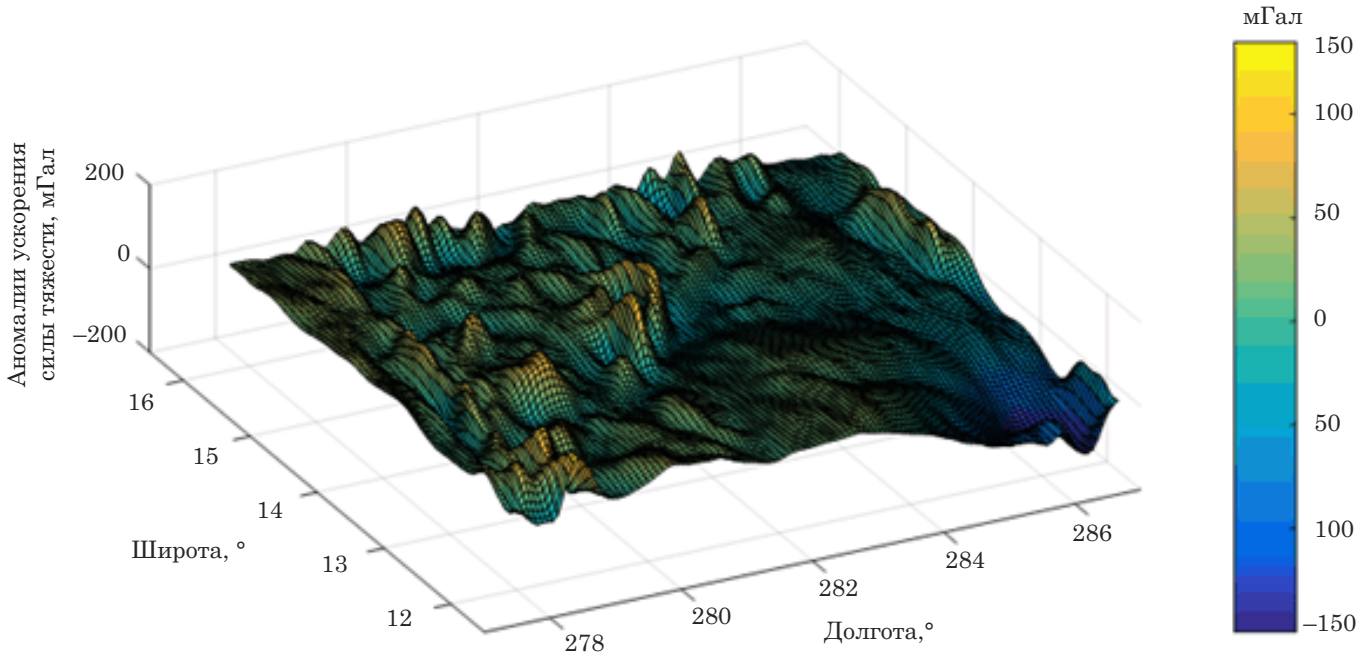


Рис. 7. Цифровая модель АСТ для акватории Карибского моря

### 2.3. Модернизация программ обработки альтиметрических измерений

Характеристики гравитационного поля Земли определяются в ГМЦ ГСВЧ с помощью обработки измерений спутниковых альтиметрических миссий (Цыба, Вострухов, 2023). Недавно в разработанный в ГМЦ ГСВЧ программный комплекс обработки спутниковых альтиметрических измерений был внедрен так называемый метод «удаления — восстановления» и выполнено построение цифровой модели АСТ (аномалий ускорения силы тяжести) для акватории Карибского моря. Для проверки результативности предложенного метода проведено сравнение построенной и описанной в (Цыба, Вострухов, 2023) модели гравитационного поля Земли для исследуемой территории с глобальной моделью EGM2008. В результате было получено, что СКО построенной модели от EGM2008 не пре-

вышает 4 мГал в открытом море и 14 мГал в прибрежной зоне. Этот результат по своим точностным характеристикам соответствует международному уровню. Это свидетельствует о результативности использованного метода и возможности его успешного применения для построения моделей гравитационного поля Земли других регионов. На рис. 6 показаны вариации значений  $x$ -координаты геоцентра, а на рис. 7 — АСТ, определенные с помощью модернизированного программного обеспечения.

### 3. Проведение работ по эксплуатации ранее созданного оборудования

С 2021 г. в ГМЦ ГСВЧ проводятся работы по эксплуатации ранее созданного оборудования: ЛС КСФО «Точка», ЦОАД ГМЦ ГСВЧ и Коррелятора ГМЦ ГСВЧ (рис. 8), а также СОД Росстандарта.



а)



б)

Рис. 8. Внешний вид а) коррелятора ГМЦ ГСВЧ и б) ЛС КСФО «Точка», установленной в Менделеево

## Заключение

В статье представлен краткий обзор работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ по следующим основным направлениям:

— осуществление мероприятий по выполнению функций в части осуществления мероприятий в рамках ГСВЧ;

— совершенствование аппаратно-программных средств в части определения и прогнозирования ПВЗ и ЭВИ;

— проведение эксплуатации ранее созданных в рамках ФЦП «ГЛОНАСС» средств.

Результаты сравнения с данными международных служб свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ.

## Литература

Безменов И. В. Вычисление орбит навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS в оперативном режиме во ФГУП «ВНИИФТРИ» // Альманах современной метрологии. 2020. № 1 (21). С. 83–100.

Безменов И. В., Пасынок С. Л., Дроздов А. Э. Применение высокопроизводительных вычислительных систем для формирования эфемеридно-временной информации о КА ГНСС и определения ПВЗ в оперативном режиме по данным измерений ГНСС // Тезисы докладов X всероссийской конференции с международным участием «КВНО-2023», 17–21 апреля 2023 г., Санкт-Петербург. 2023. С. 26.

Дроздов А. Э. Совершенствование системы распараллеливания программы определения ЭВИ в ГМЦ ГСВЧ // Тезисы докладов X всероссийской конференции с международным участием «КВНО-2023», 17–21 апреля 2023 г. Санкт-Петербург. 2023. С. 70.

Жаров В. Е. Основы радиоастрометрии. М: Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. С. 208–224.

Цыба Е. Н., Вострухов Н. А. Построение модели гравитационного поля Земли в пределах акватории Карибского моря по данным спутниковой альтиметрии // Измерительная техника. 2023. № 3. С. 16–20.

Цыба Е. Н., Пасынок С. Л., Панарин С. С. Совершенствование программно-аппаратных средств определения глобальных геодинамических параметров во ФГУП «ВНИИФТРИ» // Тезисы докладов X всероссийской конференции с международным участием «КВНО-2023», 17–21 апреля 2023 г., Санкт-Петербург. С. 195.

Bernese GPS Software, Version 5.0 / Ed. by R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. Astronomical Institute of Bern University, 2007.

IERS Annual Report 2019 / Ed. by W. R. Dick and D. Thaller. International Earth Rotation and Reference Systems Service, Central Bureau. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2023. 253 p.

Titov O., Tesmer V., Böhm J. OCCAM Version 5.0 Software. User Guide, AUSLIG Technical Report 7. Canberra: Australian Surveying and Land Information Group (AUSLIG), 2001.

Тыба Е., Волкова О. Determination of Earth orientation parameters by SLR in MMC SSTF FSUE VNIIFTRI // Proceedings of the Journées 2019, 7–9 October 2019. Paris: Observatoire de Paris, 2020. P. 159–162.