

## Текущие работы ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ

© С. Л. Пасынок<sup>1</sup>, И. В. Безменов<sup>1</sup>, И. Ю. Игнатенко<sup>1</sup>, В. С. Иванов<sup>1</sup>, Е. Н. Цыба<sup>1</sup>, В. Е. Жаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВНИИФТРИ», р. п. Менделеево, Россия

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

### Реферат

Работы по оперативному определению ПВЗ в Главном метрологическом центре Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) ведутся с момента создания ФГУП «ВНИИФТРИ» — с 1954 г. Роль ФГУП «ВНИИФТРИ» как ГМЦ ГСВЧ закреплена Постановлением Правительства РФ № 225. Также ФГУП «ВНИИФТРИ» участвует в работе ГСВЧ в качестве источника измерительных данных и Центра обработки и анализа данных.

В 2020 г. сводные данные о ПВЗ формировались на основе совместной обработки девяти независимых рядов, полученных в ИПА РАН, АО «ЦНИИмаш» и ГМЦ ГСВЧ. Использование при обработке данных радиоинтерферометра на узлах колокации, созданного ИПА РАН, позволило существенно увеличить точность определения сводных значений Всемирного времени и их прогнозирования. Оперативное формирование сводной информации о ПВЗ в результате совместной обработки всех данных о ПВЗ и оперативная передача бюллетеней потребителям осуществлялись ежедневно.

Также ФГУП «ВНИИФТРИ» вносит вклад в международную и отечественные базы данных посредством передачи навигационных и измерительных данных, которые выполняются во ФГУП «ВНИИФТРИ» и его филиалах, расположенных в городах: Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский. В ГМЦ ГСВЧ проводится ежедневная обработка результатов, полученных спутниковыми и лунными лазерными дальномерами, ГНСС- и РСДБ-измерений с целью определения ПВЗ по отдельным видам измерений. Также в ГМЦ ГСВЧ проводится ряд работ в экспериментальном режиме для совершенствования методов и средств обработки, а также анализа данных измерений различных видов. Ведутся работы по вычислению орбит, поправок часов космических аппаратов, а также обработка данных спутниковых альтиметрических измерений.

Работы в части определения ПВЗ проводятся на высоком научно-техническом уровне. Для повышения точности и оперативности определения ПВЗ запланированы работы как по совершенствованию методов и средств обработки/анализа данных измерений, так и по совершенствованию оборудования измерительных пунктов.

В целом настоящая статья носит информационный характер и посвящена обзору работ, выполняемых в 2020 г. и начале 2021 г. в ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ.

**Ключевые слова:** ПВЗ, РСДБ, ГНСС, СЛД, ЛЛД, комбинирование, ГСВЧ.

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

**Для цитирования:** Пасынок С. Л., Безменов И. В., Игнатенко И. Ю., Иванов В. С., Цыба Е. Н., Жаров В. Е. Текущие работы ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ // Труды ИПА РАН. 2021. Вып. 57. С. 28–33.  
<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.57.28-33>

## Current Activities of MMC SSTF in the EOP Evaluation Field

S. L. Pasynok<sup>1</sup>, I. V. Bezmenov<sup>1</sup>, I. Yu. Ignatenko<sup>1</sup>, V. S. Ivanov<sup>1</sup>, E. N. Tsyba<sup>1</sup>, V. E. Zharov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Physical-Technical and Radiotechnical Measurements, Mendeleevo, Moscow region, Russia

<sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute, MSU, Moscow, Russia

### Abstract

The operative Earth's orientation parameters (EOP) evaluation activity has been carried out in the Main Metrological Center of State Service for Time, Frequency and EOP evaluation (MMC SSTF) from time of the FSUE VNIIFTRI creating (from 1954). The role of VNIIFTRI as MMC SSTF is stated by government decree №225. Besides this, VNIIFTRI participates in SSTF activity as a source of measurable data and as an Analysis Center (AC).

In 2020 combined EOP values were formed by combination of nine independent EOP series which were obtained in IAA RAS, JSC TSNIIMASH and MMC SSTF. The using of IAA RAS VGOS antennas data allows significantly increased the accuracy of combined UT1 values and accuracy of UT1 prediction. The formation of operative EOP information by combination and dissemination of EOP information are provided in daily mode. Besides this, VNIIFTRI give the contribution in national and international databases by the transfer of GNSS and SLR data of observations which are carried out in VNIIFTRI and its branches located in Novosibirsk, Irkutsk, Khabarovsk and Petropavlovsk-Kamchatsky. The pro-

cessing of geodetic technics (GNSS, SLR and VLBI) observations data is providing in MMC SSTF in daily mode for EOP evaluation purpose.

A number of pilot activities are under way to improve methods and tools for processing and analyzing measurement data of various types is carried out in MMC SSTF. The evaluation of orbits and corrections of spacecraft clocks, as well as the processing of satellite altimetric measurements are also carried out.

The work on the EOP evaluation is carried out at a high scientific and technical level. In order to improve accuracy and efficiency of EOP evaluation, work is planned both to improve methods and tools for processing and analyzing measurement data, and to improve the equipment of measuring sites.

In general, the paper is for informational purposes and is written to overview the works carried out in 2020s and early 2021 at the MMC SSTF in terms of determining the EOP.

**Keywords:** EOP, VLBI, GNSS, SLR, LLR, combination, SSTF.

*Contacts: Sergey L. Pasyonok (pasyonok@vniiftri.ru).*

**For citation:** Pasyonok S. L., Bezmenov I. V., Ignatenko I. Yu., Ivanov V. S., Tsyba E. N., Zharov V. E. Current activities of MMC SSTF in the EOP evaluation field // Transactions of IAA RAS. 2021. Vol. 57. P. 28–33.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.57.28-33>

## Введение

Работы по оперативному определению ПВЗ в Главном метрологическом центре ГМЦ ГСВЧ ведутся с момента создания ФГУП «ВНИИФТРИ» — с 1954 г. Они начались в эпоху астрооптических наблюдений. По мере появления новых видов измерений результаты использовались для целей определения ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ: с 1987 г. начали использоваться данные радио-контроля орбит ГЛОНАСС и спутниковых доплеровских измерений ГЕО-ИК, с 1995 г. — результаты спутниковых дальномерных наблюдений пассивных геодезических спутников Lageos, с 1998 — результаты GPS-измерений, с 2004 г. — измерений РСДБ, а с 2019 г. — РСДБ-измерений с помощью сети быстроповоротных широкополосных 13-метровых антенн нового поколения (стандарта VGOS), созданных ИПА РАН. Также постепенно совершенствовались и средства астрономо-геодезических измерений на пунктах метрологического контроля Росстандарта ([ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ. История](#)).

Традиционно работы ГМЦ ГСВЧ в области определения ПВЗ подразделяются на два типа: работы, связанные с осуществлением функций ГМЦ ГСВЧ в рамках службы ГСВЧ, и работы, связанные с совершенствованием оборудования и программного обеспечения, а также пробными (пилотными) расчетами, для апробирования разработанных алгоритмов и программ. Первый тип работ содержит элементы, повторяющиеся из года в год с некоторыми изменениями. Второй тип работ отражает поиск, исследования и эксперименты, проводимые в ГМЦ ГСВЧ для совершенствования его средств.

## Работы, осуществляемые в ГМЦ ГСВЧ в рамках ГСВЧ

ГСВЧ — межведомственная организация, которая объединяет усилия различных министерств, ведомств и подведомственных им научно-технических организаций в части работ по установлению точных значений времени, частоты,

национальной шкалы времени UTC(SU), ПВЗ и по обеспечению единства измерений в этих областях. Ее деятельность закрепляется Постановлением Правительства РФ № 225 от 23 марта 2001 г. с последующими изменениями. Согласно этому документу, руководство ГСВЧ осуществляет Росстандарт, а научное, методическое и оперативное обеспечение работы ГСВЧ возложено на ГМЦ ГСВЧ.

В международном масштабе задачи определения ПВЗ и времени, частоты и международной координированной шкалы времени UTC разделены: первая задача является одной из трех основных видов деятельности, осуществляемых IERS, а вторая находится в рамках деятельности BIPM. На IERS помимо задачи определения ПВЗ также возложены еще две масштабные задачи: установление и поддержание земной и небесной опорных систем (ITRS и ICRS), а также их реализаций (ITRF и ICRF). С 2003 г. IERS вместе с IAG вошла в еще более крупную структуру — GGOS для обеспечения координации, модернизации и гармоничного развития астрономо-геодезических опорных систем, которые были объединены в единую Глобальную геодезическую опорную систему GGRS ([IAG, 2021](#)), представляющую собой совокупность:

- международных земной и небесной опорных систем (ICRS и ITRS), связь между которыми определяется ПВЗ;

- международной опорной системы ускорений силы тяжести (IGRS);

- международной опорной системы физических высот (IVRS).

Под физическими высотами здесь подразумеваются расстояния между уровнями высоты, определяемыми эквипотенциальными поверхностями поля силы тяжести. Шкала физических высот реализуется в виде шкал нормальных (Россия), ортометрических (США) и нормально-ортометрических высот.

В рамках IERS оперативное определение и прогнозирование ПВЗ возложено на Центр оперативных определений и прогноза IERS (IERS Rapid

Service/Prediction Center (RS/PC) for EOP), роль которого выполняет военно-морская обсерватория Соединенных Штатов Америки (ВМО США, USNO). В настоящее время USNO проводит оперативные определения и прогнозирование ПВЗ по результатам совместной обработки (комбинирования) около двадцати оперативных временных рядов, которые формируются различными Центрами обработки и анализа (ЦОАД, АС) IERS, в том числе и в ИПА РАН. То есть совместная обработка при оперативном определении ПВЗ как в отечественной, так и в зарубежной службе пока проводится на уровне временных рядов. Основными видами измерений, которые используются при оперативном определении ПВЗ, являются:

- измерения РСДБ;
- измерения, полученные по результатам приема сигналов ГНСС;
- измерения, полученные спутниковыми и лунными лазерными дальномерами (СЛД и ЛЛД).

При определении окончательных данных о ПВЗ в апостериорном режиме привлекаются также данные измерений французской доплеровской спутниковой системы определения орбит ИСЗ — DORIS.

В рамках ГСВЧ оперативное определение и прогнозирование ПВЗ осуществляет ГМЦ ГСВЧ путем совместной обработки (комбинирования) временных рядов, полученных по отдельным видам измерений (РСДБ, ГНСС и СЛД) в российских ЦОАД. В 2020 г. оперативные значения ПВЗ определялись на основе совместной обработки (комбинирования) девяти независимых временных рядов, полученных в ГМЦ ГСВЧ, ИПА РАН и Информационно-аналитическом центре Координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) АО «ЦНИИмаш».

Начиная с марта 2019 г. при комбинировании значений всемирного времени используются данные радиоинтерферометра на узлах колокации, созданного в ИПА РАН. Использование этих измерений позволило значительно увеличить точность значений всемирного времени. Обработка ведется с помощью программного комплекса OSSAM (Titov, Tesmer and Böhm, 2001).

По результатам определения и прогнозирования ПВЗ формируются бюллетени ГСВЧ: оперативный Q, срочный A и кварталный E. Бюллетень G с сообщением о введении дополнительной секунды в шкалу времени UTC(SU) в 2020 г. не формировался, так как вращение Земли ускорилось.

Разность UT1–UTC до 2017 г. имеет характерный пилообразный вид: резкий взлет в момент введения дополнительной секунды и плавный спуск до следующего ее введения. В 2020 г. спуск кривой UT1–UTC затормозился, а сейчас наблюда-

ется тенденция к его подъему. Если локальное ускорение среднегодовой угловой скорости вращения Земли продолжится в том же темпе, то характер зубцов изменится: будет плавный подъем и резкое падение во время вычитания скачущей секунды (то есть секунду нужно будет вычитать, а не добавлять).

Данные о ПВЗ распространялись не только в печатной форме, но также и по сети Интернет, электронной почте, а также в составе эталонных сигналов частоты и времени. Через ftp-сервер ФГУП «ВНИИФТРИ» (<ftp.vniiftri.ru>) оперативные бюллетени ГСВЧ доступны по анонимному доступу. Они также доступны через сайт Центра сводной обработки и определения (ЦСОО) ПВЗ ГМЦ ГСВЧ.

Во ФГУП «ВНИИФТРИ» имеется измерительная сеть, состоящая из средств ГНСС и СЛД, расположенных на пунктах метрологического контроля Росстандарта в р. п. Менделеево (mdvj, mdvl), Новосибирске (novm), Иркутске (irkj, irkl), Хабаровске (khas) и Петропавловске-Камчатском (pett). Эти средства измерений обеспечены эталонными сигналами и частотами с эталонов времени и частоты наивысшего ранга. Все пять пунктов входят в состав фундаментальной астрономо-геодезической сети, три пункта (Менделеево, Иркутск и Новосибирск) входят в ITRF и IGS TRF два пункта (Менделеево и Иркутск) являются пунктами с частичной колокацией (ГНСС и SLR) и входят в LTRF, один пункт (Менделеево) входит также в EPN.

Данные измерений поступают в ГМЦ ГСВЧ, Центр ГК и ИПД, IGS, EDC, EPN. С июня 2021 г. они также поступают в ФЦ (Федеральный центр сбора, хранения, применения и предоставления гражданским потребителям навигационной информации) АО «ЦНИИмаш» (ФЦ, 2021). Измерения ведутся в непрерывном режиме с шагом дискретизации 30 с. Формируются файлы измерений в почасовом режиме и используются в ГМЦ ГСВЧ совместно с данными других приемников (в том числе с пунктов РСДБ-комплекса КВАЗАР-КВО, созданного ИПА РАН) для определения ПВЗ по результатам измерений отечественной сети ГНСС.

Суточные файлы ГНСС-измерений пунктов IGS (Менделеево, Иркутск и Новосибирск) доступны на ftp-сервере ФГУП «ВНИИФТРИ» (<ftp.vniiftri.ru>) по анонимному доступу и выкладываются в папку JPS\_Rinex/YYYY/DOY на сервере с задержкой в 1 сут. Погрешность измерений контролируется на всех этапах обработки:

- оперативно по мере формирования RINEX-файлов по кодовым измерениям;
- при определении ПВЗ с помощью метода PPP;
- апостериорно с помощью метода двойных разностей фазовых измерений.

Шкала времени приемника сличается с эталонными сигналами с помощью частотомеров, работающих в режиме измерителей интервалов времени. Величины трендов пунктов, определенные по наблюдениям, согласуются с трендами ITRF2014 в пределах ошибок измерений, что свидетельствует о стабильности положений пунктов в ITRF.

Измерения с помощью спутниковых лазерных дальномеров ММКОС «Сажень-ТМ-БИС», расположенных в Менделеево и Иркутске, выполняются в ГМЦ ГСВЧ по мере открытия погодных окон. Перед измерениями дальномер калибруется с помощью калибровочного базиса. Длина самого калибровочного базиса контролируется при помощи эталона-переносчика (тахеометра), который получает единицу длины от Государственного первичного специального эталона единицы длины, созданного в НИО-8 ФГУП «ВНИИФТРИ». Кроме того, обеспечивается метрологическая прослеживаемость шкалы времени лазерных станций к Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени.

Для определения ПВЗ наибольшее значение имеют пассивные геодезические спутники достаточно большого размера и не слишком удаленные (чтобы было достаточно много откликов), а также не слишком близкие (чтобы атмосфера не слишком искажала орбиту спутника). Оптимальными для этой цели являются Lageos-1 и Lageos-2. Далее идут такие аппараты, как Эталон-1 и Эталон-2. Остальные же аппараты с лазерными уголковыми отражателями для оперативного определения ПВЗ не имеют большого значения (Здесь не рассматривается возможное косвенное использование их результатов такого типа как, например уточнение модели атмосферы на основе слежения за ними и последующее уточнение оперативных значений ПВЗ на основе использования уточненной модели влияния атмосферы и тому подобное).

В ГМЦ ГСВЧ также ведется обработка результатов измерений для получения результатов их обработки («продуктов»). С целью определения ПВЗ ежедневно обрабатываются:

— результаты ГНСС-измерений по данным измерений пунктов сетей Росстандарта, РАН (в том числе с приемников, расположенных на пунктах РСДБ-комплекса КВАЗАР-КВО, созданного в ИПА РАН), Росреестра, Минобрнауки — с помощью программного комплекса BERNESSE5.0 ([Dach, Hugentobler et al., 2007](#));

— результаты СЛД-измерений с помощью программы, разработанной в ГМЦ ГСВЧ ([Tsyba and Volkova, 2020](#));

— вторичная (посткорреляционная) обработка отдельных измерительных сессий РСДБ.

Посткорреляционная обработка РСДБ-измерений (задержек, полученных на Корреляторах

IERS) международной сети РСДБ-станций велась в ГМЦ ГСВЧ в 2020 г. с помощью программного комплекса «Ариадна», разработанного в ГАИШ МГУ (автор Жаров В. Е., ([Жаров, 2011](#))) и преобразованного в ГМЦ ГСВЧ для целей оперативной службы ПВЗ. Расхождения оперативных значений всемирного времени, полученных с помощью «Ариадны», со значениями других отечественных и международных ЦОАД сравнимы с расхождениями этих ЦОАД друг с другом ([Zharov and Pasynok, 2020](#)), что свидетельствует о высоком качестве программного комплекса.

### Работы, осуществляемые в ГМЦ ГСВЧ в рамках пилот-проектов

Одной из работ, осуществляемой в ГМЦ ГСВЧ и имеющей статус пилот-проекта, является работа по определению эфемерид и поправок к бортовым часам КА ГНСС. Целью этой работы является формирование в ГМЦ ГСВЧ альтернативной эфемеридно-временной информации для КА ГНСС. К настоящему времени разработано программное обеспечение по формированию эфемеридно-временной информации КА ГЛОНАСС и GPS в апостериорном ([Безменов, Пасынок, 2015](#)), срочном ([Безменов, Пасынок, 2017](#)) и оперативном режимах ([Безменов, 2020](#)). Формирование орбит и поправок часов в срочном и оперативном режимах выполняется в результате обработки данных ГНСС-измерений, полученных от станций слежения за спутниками ГНСС, входящих в глобальную сеть IGS. Исходными данными для расчётов эфемеридно-временной информации в оперативном режиме являются часовые RINEX-файлы (в форматах d/g/n), содержащие результаты измерений кодовых и фазовых псевдодальностей на двух несущих частотах. Общее количество станций варьируется от 350 до 450.

В настоящее время программно-аппаратный комплекс работает в режиме тестирования, целью которого является совершенствование программного обеспечения, улучшение точностных характеристик вычисляемых эфемерид КА и повышение оперативности получения конечного результата. Для улучшения точностных характеристик используются новые методы предварительной обработки измерительных данных.

В части обработки РСДБ-измерений в ГМЦ ГСВЧ ведутся работы по совершенствованию программы обработки «Ариадна» для расширения ее возможностей.

Также в экспериментальном режиме проводятся работы по определению орбит геодезических КА, определению всемирного времени по данным измерений лазерной локации Луны ([Tsyba and Volkova, 2020](#)), определению уклонений отвесной линии по данным спутниковой альтиметрии ([Цыба, 2019](#)), ведутся исследования для примене-

ния технологии машинного обучения (нейронных сетей) для прогнозирования орбит и построения цифровой модели гравитационного поля Земли на акватории Мирового океана ([Цыба, Пасынок, 2019](#)). С помощью разработанного программного обеспечения обработки результатов лазерных измерений также можно определять координаты геоцентра.

В 2019–2020 гг. продолжалось формирование SINEX-файлов для отдельных измерительных сессий и оперативное определение ПВЗ на основе совместной обработки SINEX-файлов с помощью программного комплекса на основе пакета SINCom ([Brattseva, Gayazov et al., 2014](#)) в режиме исследований с привлечением международных SINEX-файлов. Основным препятствием к внедрению метода обработки на основе SINEX-файлов в службу ГСВЧ является недостаточное (в сравнении с оперативными данными временных рядов) число доступных оперативных отечественных решений в формате SINEX.

### Планы развития возможностей службы ПВЗ ГМЦ ГСВЧ

Повышение точности определения значений всемирного времени и координат небесного полюса связано с использованием данных измерений с РСДБ-сетей нового поколения (стандарта VGOS) на основе малых быстроповоротных антенн нового поколения с широкополосной приемной системой. До сих пор ФГУП «ВНИИФТРИ» принимал участие только во вторичной (посткорреляционной) обработке таких измерений. Однако запланировано расширить участие в этих работах. Институт обладает программным Коррелятором ГМЦ ГСВЧ, разработанным в ИПА РАН, который способен обрабатывать первичные РСДБ-измерения. В ближайшем будущем в ГМЦ ГСВЧ планируется начать регулярные вычисления с целью определения задержек в результате корреляционной обработки данных «сырых» измерений с сети 13-метровых антенн РСДБ-комплекса «КВАЗАР-КВО», созданного ИПА РАН.

Если повышение точности значений всемирного времени и координат небесного полюса связано с РСДБ нового поколения, то повышение точности определения координат земного полюса связано преимущественно с развитием ГНСС-технологий. Это объясняется огромным числом и большим охватом поверхности Земли измерительными станциями ГНСС. Кроме того, в настоящее время глобальные спутниковые системы ГНСС переживают бурное развитие. Появились новые ГНСС, такие как Beidou и Galileo, причем по последним оценкам, проведенным в ИАЦ КВНО, точность Beidou сравнима с GPS, а точность Galileo примерно в 2 раза выше. Таким образом, при укомплектовании пунктов измерений мультиси-

стемными многочастотными ГНСС-приемниками нового поколения и включении их измерений в обработку точность и оперативность определения координат земного полюса должны значительно повыситься.

GGOS ([IAG, 2021](#)) ставит задачу достичь точности в 1 мм в определении координат на поверхности Земли, что в части ПВЗ означает достижение точности в 2 кс по всемирному времени и 30 мс дуги по координатам полюса. Такие точности находятся на пределе возможностей имеющихся и перспективных средств измерений. Поэтому важную роль играют методы предварительной обработки измерений, которые также будут развиваться.

При увеличении числа привлекаемых измерений понадобится существенно повысить производительность вычислений. Этого планируется добиться за счет более широкого привлечения алгоритмов распараллеливания. Хотя сейчас алгоритмы распараллеливания также применяются, однако при увеличении числа обрабатываемых в оперативном режиме данных ГНСС-измерений в разы не удастся выполнить требования по оперативности без значительного расширения их использования.

В настоящее время растут требования по оперативности, в качестве конечной цели заявлен переход к обработке в реальном времени. Однако при оперативной работе не всегда доступны все необходимые для расчета параметров данные измерений. В этом случае недостающие данные можно заменить прогнозом и получить более оперативное решение.

Важнейшей и самой ресурсоемкой задачей, конечно, является переход на средства измерений нового поколения, провозглашенный GGOS. В настоящее время, проходят испытания лазерные станции комплекса средств фундаментального обеспечения ГЛОНАСС (ЛС КСФО) «Точка», расположенные в ФГУП «ВНИИФТРИ» и его Восточно-Сибирском филиале. Новые станции отвечают стандарту SLR2000 ([Degnan, McGarry et al., 1996](#)), а СКО определения наклонных дальностей для них будет достигать единиц миллиметров.

### Заключение

Результаты сравнения данных о ПВЗ ГСВЧ с аналогичными данными международных служб в 2020 г. свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ.

### Литература

*Безменов И. В.* Вычисление эфемерид и временных поправок навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS в оперативном режиме по данным

измерений // Измерительная техника, 2020. № 1. С. 11–17.

*Безменов И. В., Пасынок С. Л.* Формирование опорных значений координат и поправок часов КА ГЛОНАСС // Альманах современной метрологии. 2015. № 2. С. 143–158.

*Безменов И. В., Пасынок С. Л.* Определение эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС в срочном режиме по данным измерений // Альманах современной метрологии. 2017. № 1. С. 104–120.

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

Федеральный центр сбора, хранения, применения и предоставления гражданским потребителям навигационной информации. [Электронный ресурс]. URL: <https://fcnd.ru/> (дата обращения 30.09.2021).

Центр сводной обработки и определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ. Центр сводной обработки и определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ [Электронный ресурс]. URL: <http://pvz.vniiftri.ru> (дата обращения 30.09.2021).

Центр сводной обработки и определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ. История. Основные этапы развития Службы ПВЗ ГМЦ ГСВЧ [Электронный ресурс]. URL: <http://pvz.vniiftri.ru/chronology.php> (дата обращения 30.09.2021).

*Цыба Е. Н., Пасынок С. Л.*, Предварительные результаты построения геоида акватории Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии в ГМЦ ГСВЧ // Сборник тезисов докладов Восьмой Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2019), г. Санкт-Петербург, 15–19 апреля 2019 г. 2019. С. 191.

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

*Brattseva O., Gayazov I., Kurdubov S., Suvorkin V.* SINCom – the new program package for combined processing of space geodetic observations // Proceedings of the Journées 2014 "Systemes de Reference Spatio-Temporels". Ed. by Malkin and N. Capitaine. Pulkovo observatory, 2015. P. 250–251.

*Degnan J., McGarry J. et al.* SLR2000: An inexpensive, fully automated, eyesafe satellite laser ranging system. Proceedings of the 10th International Workshop on Laser Ranging Instrumentation, Shanghai – China. 1996. P. 367–377.

Description of the global geodetic reference frame. IAG. [Электронный ресурс]. URL: <https://iag-aig.org/topic/3> (дата обращения 10.09.2021).

*Zharov V., Pasyonok S.* SAI-VNF VLBI Analysis Center in 2019–2020 // IVS 2019–2020 Annual Report. GGOS Requirements for Core Sites, GGOS. 2020. URL: <https://ivscc.gsfc.nasa.gov/publications/br2019+2020/acsai-vniiftri.pdf> (дата обращения 16.08.2021).

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

*Tsyba E., Volkova O.* Determination of Earth orientation parameters by SLR in MMC SSTF FSUE VNIIFTRI // Proceedings of the Journées, 7–9 October, 2019. Observatoire de Paris, 2020. ed. by C. Bizouard. P. 159–162.