

**I. Деятельность ГСВЧ****ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГМЦ ГСВЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В 2017 ГОДУ**

**И.Ю. Блинов, С.Л. Пасынок, И.В. Безменов, И.Ю. Игнатенко,  
Е.Н. Цыба, Н.А. Вострухов, Н.П. Редькина, А.Н. Синёв,  
Е.В. Сысак, М.А. Чинилина, В.Р. Шлегель, А.Г. Жестков.**

*ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.,  
blinov@vniiftri.ru*

*В настоящей статье приводятся результаты годового анализа результатов оперативного определения параметров вращения Земли (ПВЗ) в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году по результатам работ Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения ПВЗ (ГМЦ ГСВЧ) в части определения и прогнозирования ПВЗ.*

*The present article contains results of the annual analysis of results of immediate determination of Earth rotational parameters (ERP) in the Main metrological centre of State service of Time and Frequency in 2017 year based on results of works of the Main metrological centre of the State service time and frequency and determination of ERP (MMC SSTF) in the part of determination and forecast of ERP.*

*Ключевые слова: ГМЦ ГСВЧ, параметры вращения Земли*

**1. Введение**

Работы по теме ГСВЧ, согласно «Положению об управлении метрологии Государственного агентства по техническому регулированию и метрологии», утвержденному приказом Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ (РОССТАНДАРТА) № 1217 от 14 сентября 2005 года, находятся в ведении Управления метрологии РОССТАНДАРТА, также как метрологическая служба и иные государственные службы обеспечения единства измерений.

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) – это межведомственная организация, объединяющая усилия различных министерств, ведомств и организаций РФ по осуществлению научно-технической и метрологической деятельности по воспроизведению национальной шкалы времени и эталонных частот, по определению параметров вращения Земли, а также по обеспечению потребности государства в эталонных сигналах времени и частоты и в информации о параметрах вращения Земли [1,2]. Руководство деятельностью ГСВЧ осуществляет РОССТАНДАРТ.

Правовой основой деятельности ГСВЧ являются:

– Постановление Правительства РФ № 225 "Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли" от 23 марта 2001 года;

– Постановление Правительства РФ № 323 "Об утверждении положения о полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию ГНСС ГЛОНАСС в интересах обеспечения обороны и безопасности государства, социально-экономического развития РФ и расширения международного сотрудничества, а также в научных целях" от 30 апреля 2008 года.

Кроме этого, в настоящей статье упоминаются также результаты деятельности ГМЦ ГСВЧ, полученные в рамках других работ ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ.

## **2. ФГУП «ВНИИФТРИ» как ГМЦ ГСВЧ**

Служба определения ПВЗ ГСВЧ состоит из подсистемы технических средств, подсистемы обработки и анализа данных, а также подсистемы сбора и передачи измерительной информации и распространения информации о ПВЗ.

Подсистема технических средств ГСВЧ для целей определения ПВЗ в настоящее время состоит из:

– пунктов измерений по результатам приема сигналов ГНСС GPS\ГЛОНАСС, принадлежащих различным ведомствам (РОССТАНДАРТ, РАН, Минобрнауки, РОСРЕЕСТР и др.). В состав пунктов РОССТАНДАРТА входят пункты измерений, расположенные во ФГУП «ВНИИФТРИ» (Менделеево, Московская обл.), ФГУП «СНИИМ» (г. Новосибирск) и филиалах ФГУП «ВНИИФТРИ» (Восточно-Сибирском (г. Иркутск), Дальневосточном (г. Хабаровск) и Камчатском (г. Петропавловск-Камчатский));

– радиоинтерферометрических средств со сверхдлинными базами (РСДБ), представленными РСДБ-комплексом КВАЗАР-КВО, созданным в институте прикладной астрономии РАН (ИПА РАН);

– пунктов лазерной спутниковой дальнометрии РОСКОСМОСА, РАН и Минобороны.

Подсистема обработки и анализа данных службы определения ПВЗ ГСВЧ включает:

– Центр обработки и анализа данных ПВЗ РАН (ИПА РАН);  
– Центр обработки и анализа данных ПВЗ Роскосмоса (ЦУП ЦНИИ МАШ);

– Центр анализа ПВЗ и геодинимических данных ИНАСАН;  
– Центр сводной обработки и определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ, Менделеево, Московская обл.

Научное, методическое и оперативное обеспечение работы ГСВЧ осуществляет Главный метрологический центр (ГМЦ) ГСВЧ, функции которого осуществляет научно-исследовательское отделение НИО-7 ФГУП

«ВНИИФТРИ». В деятельности ГСВЧ по определению ПВЗ, кроме вышеупомянутой функции НИО-7, ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняет также функции Центра обработки и анализа данных (ЦОАД), а также и пункта измерений ведомственной измерительной сети РОССТАНДАРТА для целей определения ПВЗ.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» и ГОСТ 8.310-78 «Государственная служба стандартных справочных данных», для обеспечения единства измерений в пространстве необходимо, чтобы во всех ведомствах и отраслях деятельности страны использовались одни и те же значения физических констант и величин, устанавливающих небесную и общеземную системы координат, а также параметров вращения Земли.

Совокупность параметров вращения Земли образует принятую опорную шкалу направлений в пространстве. Согласно VIM, принятая опорная шкала (англ. conventional reference scale) – шкала значений величины, установленная официальным соглашением. Такое соглашение закрепляется соответствующим нормативным актом (постановлением, стандартом и т.д.). Согласно Постановлению Правительства РФ № 225 от 23 марта 2001 года, роль по формированию и распространению опорных значений ПВЗ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ».

Спецификой определения ПВЗ является то, что точные значения ПВЗ неизвестны и для ПВЗ не существует эталона. Поэтому, чтобы обеспечить близость опорных значений ПВЗ к точным значениям, необходимо проводить тщательную научно-исследовательскую работу и мониторинг с целью оперативного определения значений систематических погрешностей различных данных о ПВЗ, чтобы в результате их совместной обработки получить значения ПВЗ, по возможности, наиболее близкие к их точным значениям.

Такая совместная обработка различных измерительных данных о ПВЗ, полученных организациями – участниками ГСВЧ, проводится в ГМЦ ГСВЧ в ежесуточном режиме по методике, разработанной в 2006 году и введенной с 18 июля 2006 г. в эксплуатацию [3].

Также во ФГУП «ВНИИФТРИ» проводятся работы по определению опорных значений координат и поправок часов космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС, поскольку ФГУП «ВНИИФТРИ» является ведущим предприятием РОССТАНДАРТА в области координатно-временных измерений и имеет статус Главного метрологического центра (ГМЦ). Совместная обработка данных и оценка их точностных характеристик проводится по алгоритму, разработанному и внедренному в ГМЦ ГСВЧ [4], на основе фундаментальных принципов, изложенных в работе [5].

### **3. Проведение и сбор данных навигационных измерений в ГМЦ ГСВЧ**

ГМЦ ГСВЧ является одним из пунктов измерений для целей определения ПВЗ ведомственной сети метрологических пунктов РОССТАНДАРТА, включающей помимо ГМЦ ГСВЧ пункты, расположенные в городах Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский. Навигационные измерения на этих пунктах регулярно проводятся, начиная с 2001 года.

Пункт измерений для целей определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ в настоящее время оборудован высокоточной навигационной двухчастотной аппаратурой NET-G3 TOPCON и SIGMA JAVAD JNSS, а также спутниковым лазерным дальномером ММКОС «Сажень-ТМ» производства ОАО «НПК «СПП».

Навигационные приемники ГМЦ ГСВЧ получают высокоточные эталонные сигналы с ведущего стандарта Государственного первичного эталона времени и частоты РФ (ГЭВЧ). Благодаря этому внутренняя шкала времени этих приемников обладает очень высокой стабильностью, что является одним из факторов, обеспечивающим высокое качество измерений. Возможные скачки внутренней шкалы времени приемников относительно шкалы времени ведущего генератора контролируются с помощью ИВИ с точностью до десятых долей наносекунды. Результаты навигационных измерений с приёмников ГМЦ ГСВЧ, а также остальных приёмников сети поступают в ГМЦ ГСВЧ через сеть Интернет по протоколу FTP. В 2017 году передача файлов измерений осуществлялась в виде файлов в формате RINEX по регламенту, введенному в 2014 году. Также осуществлялась передача текстовых файлов, содержащих данные сличений шкалы времени приемников с опорной шкалой.

В 2017 году с сети метрологических пунктов РОССТАНДАРТА было получено около 35000 часовых файлов в формате RINEX (включая файлы измерений, файлы навигационных сообщений для ГНСС GPS и ГЛОНАСС и файлы сличений) общим объемом около 30 Гбайт.

Поступающая в ГМЦ ГСВЧ измерительная информация подвергается первичной обработке. Исходными данными являются файлы навигационных измерений в формате RINEX. По регламенту, разработанному М.Б. Кауфманом и И.В. Безменовым в 2014 году, производились: контроль полноты и целостности информации, а также предварительная оценка точности. Поскольку, согласно стандартам международной службы IGS, данные измерений должны быть сгруппированы в суточные файлы, начинающиеся в 0 часов UT, полученные файлы RINEX при необходимости подвергаются операциям «разрезания» и «склеивания» при помощи специально для этого предназначенных программ.

В соответствии с принятыми в последнее время в мире стандартами для оперативного сбора информации, ее обработки и анализа данные ГНСС-измерений поступают от ГНСС-приемников, расположенных на пунктах метрологического контроля РОССТАНДАРТА ежечасно. Прием данных производится с помощью программы, осуществляющей сбор оперативных данных в формате почасовых RINEX-файлов, их обработку и последующую рассылку на ftp-серверы организаций из заданного списка.

Программа состоит из нескольких программных модулей, запускаемых в автоматическом режиме с помощью планировщика задач (в системах LINUX и Windows). Контроль за ее выполнением осуществляется через log-файлы, сформированные в процессе работы программы и сохраняемые в соответствующем каталоге ftp-сервера ГМЦ.

Данные от 5-ти пунктов измерений, расположенных в р. п. Менделеево и городах Иркутске, Хабаровске, Новосибирске и Петропавловске-Камчатском, передаются по каналам внутренней связи (MDVJ) и Интернета (остальные пункты) ежечасно (за исключением суточного файла сличений, передаваемого 1 раз в сутки). Четырехбуквенные обозначения пунктов KHAS и PETS являются рабочими и не совпадают с соответствующими обозначениями IGS.

В состав передаваемых файлов входят:

- t-файлы с данными интервалов времени, синхронизированного с приемником местного эталона времени,
- d-файлы наблюдений в формате RINEX/Hatanaka,
- n-файлы навигационных сообщений ГЛОНАСС,
- g-файлы навигационных сообщений GPS.

Для приема данных в ГМЦ ГСВЧ организован FTP-сервер (с доступом по общему для всех пунктов паролю). Этот сервер имеет один общий для всех каталог INCOMING, в который поступают данные. Никаких исправлений или удалений уже переданных данных не допускается. Управляющая программа сервера несколько раз в час просматривает и контролирует содержимое каталога INCOMING, освобождая его от файлов, прошедших контроль, либо признанных браком. В первом случае файлы попадают в общедоступную базу данных для их дальнейшей обработки, во втором – в корзину garbage для последующего выяснения причин брака (посторонний файл, ошибка формата и т.д.).

В целях экономии объема машинной памяти и времени пересылки данных производится также уплотнение файлов RINEX. Файлы измерений преобразуются в формат «компактный RINEX» (Hatanaka), в котором экономия объема достигается за счет исключения повторяющихся фрагментов и сокращения разрядности чисел путем перехода от самих измерений к их последовательным разностям. Для взаимного преобразования между этими

двумя кодами используется программа, рекомендованная IGS. Кроме того, полученные файлы уплотняются стандартными средствами архивации, принятыми в операционных системах MS DOS и Windows (архивы ZIP, ARJ и др.).

Перед тем, как архивировать полученные файлы данных измерений и передавать их для дальнейшего использования, необходимо их проконтролировать, чтобы исключить возможные грубые ошибки, которые могут появиться на этапах регистрации измерений, их преобразования и передачи. С другой стороны, контроль данных измерений позволяет оперативно отслеживать работу аппаратуры и выявлять появление скрытых неисправностей. Для проверки полноты и качества данных измерений используется программа TEQC ассоциации UNAVCO (США). Эта программа обладает широкими функциональными возможностями, в том числе – табличным и графическим представлениями параметров движения спутников, результатов измерений и их погрешностей по каждому спутнику и совокупную статистику. Предварительный контроль файлов измерений в формате RINEX с помощью этой программы предусматривает:

- контроль целостности файлов, локализации сбойных строк с неправильным форматом;
- просмотр диаграммы прохождения наблюдавшихся спутников, выявление пропусков или сбойных участков для отдельных спутников (например, измерения только на одной частоте);
- анализ точности измерений псевдодальностей по всей совокупности наблюдений, по каждой частоте и по каждому спутнику.

Переработанные данные архивируются и сохраняются в базе данных, открытой для доступа по паролю для участников совместной работы. Выполнение перечисленных операций производится в ГМЦ ГСВЧ и на пунктах наблюдений при помощи как собственных и общеупотребительных программ, так и программ фирмы-изготовителя приемников.

В течение отчетного периода сбор и предварительная обработка данных в соответствии с описанной выше технологией осуществлялась в автоматизированном режиме на основе управляющей программы, созданной ГМЦ ГСВЧ в 2003 г. и модернизированной в последующие годы. Под действием этой программы главный компьютер центра ПВЗ включается каждое утро в 6 часов московского времени и активизирует выполнение последовательности рабочих программ. Полученные выходные файлы данных переносятся на общедоступный FTP-сервер ГМЦ ГСВЧ (<ftp.vniiftri.ru>) и посылаются на сервер базы данных международной службы IGS, а также другим потребителям.

Для преобразования файлов сличений внутренней шкалы приемника со шкалой опорных часов использовалась программа, составленная в ГМЦ

ГСВЧ, которая приводит файлы к единому формату и группирует их по суточным интервалам (регламентом измерений формат файлов сличений не оговорен, так как зависит от используемой в пунктах ГСВЧ регистрирующей аппаратуры). Результатом работы программы являются суточные файлы сличений внутренней шкалы времени приемника с опорной с шагом 30 секунд. Эти данные, как раз и служат для привязки результатов временных измерений приемниками к шкале каждой службы времени UTC(k).

Результаты предварительной обработки ежедневных данных со всех пяти пунктов сети в 2017 году регулярно помещались на сервер ГМЦ ГСВЧ для дальнейшего использования их с целью определения ПВЗ и в системе внешних сличений ГСВЧ. Для вычислений ПВЗ в течение отчетного периода использовались измерения только спутников GPS, которые объединялись с данными измерений других GPS-приемников, образующих сеть ГСВЧ. Одним из промежуточных этапов обработки измерений является вычисление текущих координат пунктов измерений, по которым затем вычисляются ПВЗ. Анализ годовой последовательности полученных таким образом координат пункта позволяет оценить точность работы действующего на нём приемника.

На рис. 1 точками показаны изменения вычисленных на каждые сутки значений составляющих координат (E – по параллели, N – по меридиану) по отношению к их априорным значениям на начало года для трёх пунктов сети: MDVJ, IRKJ и NOVМ. Прямыми линиями показан среднегодовой ход изменения координат (линейный тренд).

Существование тренда является следствием тектонического движения евроазиатской материковой плиты. Вычисленные значения скоростей изменений составляющих координат (в единицах мм/год) для этих трёх пунктов приведены в таблице 1 в колонке “тренд вычисл.”, а в соседней колонке содержатся соответствующие значения, выбранные (и преобразованные от системы XYZ к NE) из официального каталога координат ITRF2014, которая введена с 29 января 2017 года. Как следует из таблицы 1, скорости изменений измеренных значений плановых координат для первых трех приемников довольно хорошо согласуются с принятыми средними многолетними значениями.

Для ускорения и облегчения процесса контроля результатов сличений внутренних шкал времени приёмников и стандартов частоты в течение отчетного периода использовался программный модуль графического представления разностей этих шкал времени (ШВ) TGRAF.

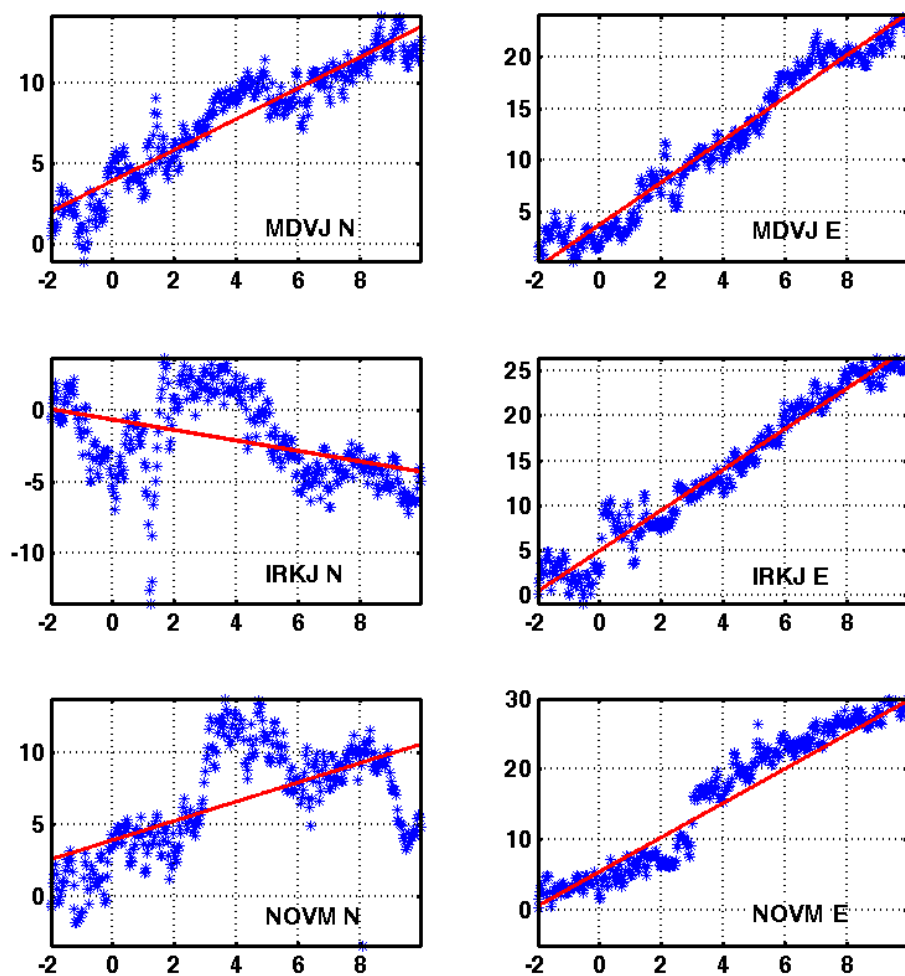


Рис. 1. Изменения координат (в мм) пунктов MDVJ, IRKJ и NOVМ с ноября 2016 года по ноябрь 2017 года (время в месяцах от начала 2017 года)

Он ежесуточно в автономном режиме (без участия оператора, по запуску команды планировщика задач Windows) собирает файлы сличений и на основе содержащейся в них информации строит рисунки, показывающие разности внутренних ШВ приёмников и PPS, задающих их частоту сигналов опорной частоты. Фрагмент такого суточного графика за 1 мая 2017 года показан на рис. 2.

Результаты сохраняются в файлах с наименованием timeDOY0.YYp.jpg формата JPEG (Joint Photographic Experts Group – по наименованию организации-разработчика), где: DOY – номер дня в году; YY – две последние цифры года.



Таблица 1

## СКО и годовые изменения координат антенн приемников

Четырехбуквенное ITRF - наименование пункта	Колич. суток	Коорд.	СКО (мм)	Тренд вычисл. (мм/год)	Тренд ITRF (мм/год)
MDVJ (ГМЦ ГСВЧ, Менделеево)	363	N E	3 4	14,4 27,0	11,7 22,7
NOVM (ФГУП «СНИИМ», Новосибирск)	365	N E	2 2	1,6 27,0	0,1 26,3
IRKJ (ВС филиал ФГУП «ВНИИВТРИ», Иркутск)	365	N E	3 4	-10,1 30,9	-6,7 25,2

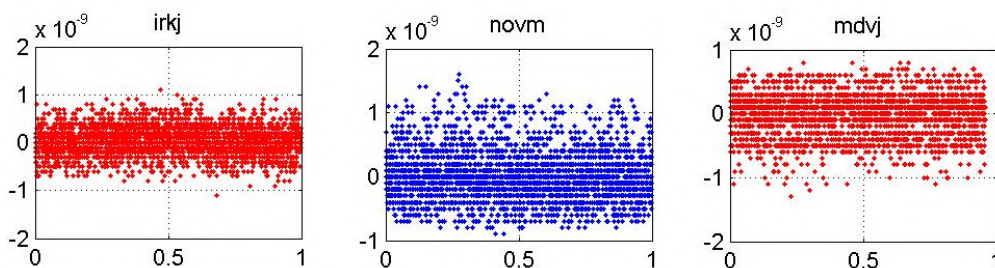


Рис. 2. Разности в секундах внутренних ШВ приёмников и сигналов PPS опорной частоты (по горизонтальной оси отложено время в сутках, по вертикальной – разности ШВ в секундах)

#### 4. Проведение лазерных измерений в ГМЦ ГСВЧ и ВС филиале ФГУП «ВНИИФТРИ»

Спутниковые лазерные дальномерные измерения проводятся в ГМЦ ГСВЧ с 1994 года. С 18 декабря 2011 года в ГМЦ ГСВЧ эксплуатируется модернизированная малогабаритная квантовая оптическая система (ММОС) «Сажень-ТМ» [6]. Станция зарегистрирована в Международной службе лазерной локации (ILRS) и обменивается данными на паритетной основе. Международный регистрационный номер 1874, «Mendeleev». Общий вид станции изображен на рис. 3.

В июле 2013 года в Восточно-сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» на территории астрогеодинамического полигона была введена в работу малогабаритная модульная квантово-оптическая система "Сажень-ТМ" (ММОС "Сажень-ТМ") в стационарном исполнении, разработанная АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборо-

строения». Система предназначена для проведения траекторных измерений и уточнения параметров орбит КА. Места размещения аппаратуры на полигоне выбраны с таким расчетом, чтобы установленные на них средства измерений находились в непосредственной близости, но не создавали помех друг другу. Аппаратная и павильон находятся на расстоянии около 25 метров друг от друга (рис. 4). Международный регистрационный номер станции ВС филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» – 1891 [7].



Рис. 3. Общий вид изделия «Сажень-ТМ», расположенного во ФГУП «ВНИИФТРИ»



Рис. 4. Месторасположение аппаратной и павильона с аппаратурой ММКОС на полигоне ВС филиала ФГУП «ВНИИФТРИ»

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 655 от 21 мая 2014 года квантовые оптические системы, расположенные во ФГУП «ВНИИФТРИ» и ВС филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» введены в Организационную структуру Государственной службы времени и частоты и определения параметров вращения Земли Российской Федерации, утвержденную приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 324 от 6 февраля 2007 года.

Особое внимание уделяется достоверности получаемых данных и метрологическому обеспечению измерений. Впервые в мировой практике нами была разработана и внедрена методика непосредственной передачи единицы длины от Государственного специального эталона длины.

Контроль измерений дальности производится с применением как средств, входящих в состав ЛС, так и заимствованных из состава Государственного специального эталона длины. В качестве основного опорного средства используется эталон-переносчик, который, в свою очередь, калибруется на линейке эталона длины. Кроме того, при калибровке КОС и контроля ее метрологических характеристик используются дополнительные отражатели. Контроль и калибровка осуществляются на измерительном базисе, размеща-

*Альманах современной метрологии, 2018, № 13*

емом в непосредственной близости от КОС. СКО измерения лазерным эталоном сравнения в диапазоне длин 24 м - 3000 м для приведенного примера составляет 0,00037 м.

Контроль систематической составляющей погрешности привязки к национальной шкале времени и калибровка КОС также осуществляются с привлечением как измерительного базиса, так и средств измерения времени и частоты.

Контрольный базис строится как дистанция между нуль-пунктом дальномера и геодезическим опорным пунктом, расположенным на расстоянии 30...100 м от КОС. Геодезический опорный пункт должен быть снабжен средствами принудительной центровки и средствами однозначной установки приборов. Рабочая точка установленных приборов должна находиться в горизонте (или с небольшим превышением).

Сличение КОС производится при помощи эталона сравнения и осуществляется в несколько этапов. Пример проведения таких работ для изделия «Сажень ТМ» представлен на следующем рис. 5.

Принимаемый полезный сигнал, отраженный от космического аппарата, представляет собой единичные фотоны, и для правильного функционирования узлов временной привязки аппаратуры измерителя интервалов времени калибровочный сигнал должен быть ослаблен до этих же величин.

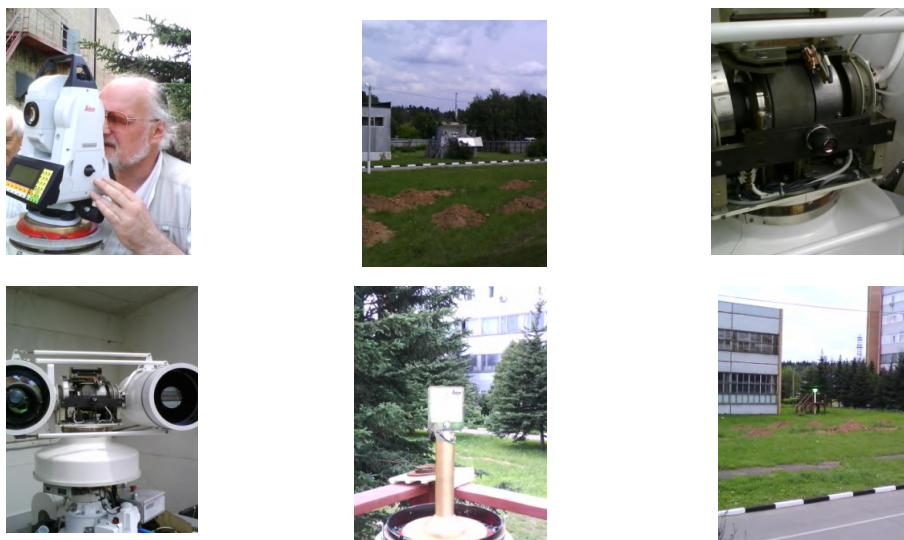


Рис. 5. Проведение работ по калибровке ЛС на примере изделия «Сажень ТМ»

Это можно осуществить путем подбора нейтральных светофильтров в оптическом тракте при использовании многоканального амплитудного анализатора, включенного в тракт приема отраженного сигнала. Кроме того, анализатор позволяет проводить точную настройку и контроль фотоприем-

ника отраженного сигнала с целью минимизации его шумов и нестабильности времени задержки при максимально возможном при этих условиях квантовом выходе, что позволяет уменьшить как неконтролируемые систематические ошибки, так и случайные составляющие погрешности системы в целом.

Длина опорного базиса измеряется при помощи эталона сравнения от геодезического опорного пункта до отражателя с внесением необходимых поправок. Опорно-поворотное устройство КОС наводится на базисный пункт, и измерения проводятся непосредственно через апертуру телескопа. Для этого непосредственно в нуль-пункт КОС или размещается в тракте распространения оптического сигнала, на известном и контролируемом расстоянии помещается дополнительный отражатель. Значение этого расстояния должно быть занесено в формуляр КОС (АВР-КОС). Дополнительные места размещения отражателя (при возможности) – непосредственно возле стартового и стопового фотоприемников с аналогичным контролем этих расстояний.

Следующей операцией является перенос отражателя на место эталона сравнения. При этом конструкция установки должна обеспечивать однозначное соответствие базовой точки эталона сравнения и отражателя при их перестановке. После чего производятся измерения установленной базисной дистанции при помощи КОС. По результатам измерений определяется аддитивная поправка КОС.

При проведении работ по калибровке КОС необходимо контролировать метеопараметры на концах базовой линии. Это необходимо для вычисления атмосферной поправки при проведении измерений на базисе.

Калибровка КОС в части временной привязки измерений к шкале времени UTC(SU) осуществляется путем определения суммарной задержки в электрических трактах и проверяется на измерительном базисе.

Основным видом деятельности ММКОС «Сажень-ТМ» является лазерная локация геодинимических спутников «Лагеос 1», «Лагеос 2», «Эталон 1», «Эталон 2» с целью определения параметров вращения Земли (рис. 6).

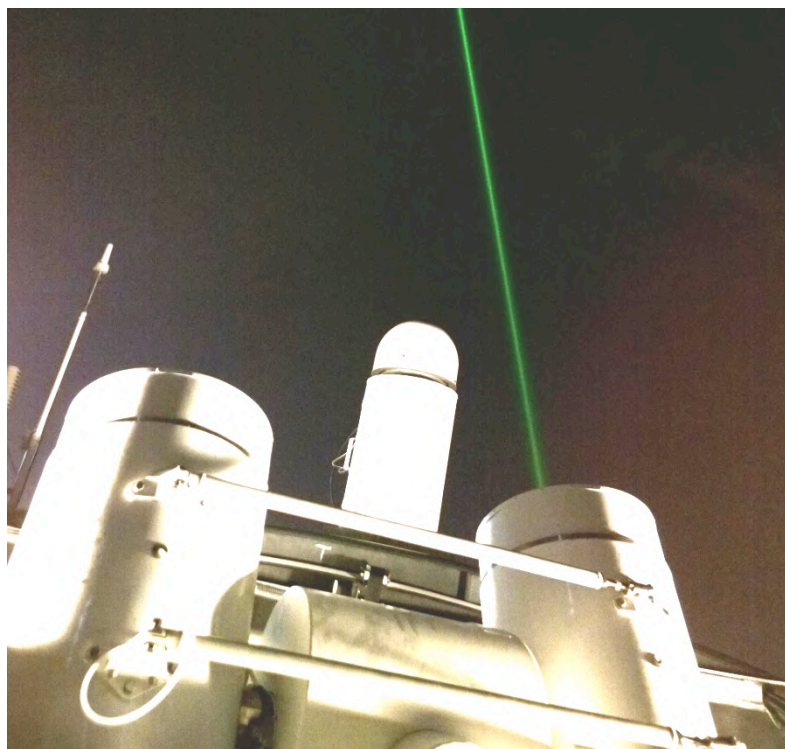


Рис. 6. Ночная лазерная локация спутников

В последнее время в мировой практике лазерной локации этим спутникам уделяется повышенное внимание и, как следствие, значительно увеличилось количество наблюдений данных объектов.

Наблюдения проводятся на регулярной основе, среднее количество сеансов составляет 120...160 в месяц в зависимости от погодных условий, условий прохождения спутников и ряда других.

Всего по спутникам LAGEOS-1 и LAGEOS-2 во ФГУП «ВНИИФТРИ» получено около полутора тысяч нормальных точек в течение 2017 года. Результаты этих измерений совместно с данными измерений других станций использовались для цели определения ПВЗ по лазерным измерениям в ГМЦ ГСВЧ.

В таблице 2 приведена статистика наблюдений в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» по спутникам за отчетный период. Отдельно приведены результаты наблюдений различных классов спутников за дневной и ночной периоды, а также итоговое число наблюдений спутников и число спутников, использованных для оперативного вычисления ПВЗ в отделе определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ».

Таблица 2

Объем выполненных на ММКОС  
ВС филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» наблюдений в 2017 г.

Дата	День				Ночь				Итого	Итого для ПВЗ
	Lageos	Glonass	Etalon	Другие	Lageos	Glonass	Etalon	Другие		
Январь										
Февраль										
Март	51	61	1	93		19		56	281	265
Апрель	21	18		73		2		3	117	116
Май		1		27	1			8	37	37
Июнь	1			4					5	5
Июль	3	11		30					44	44
Август	27	53	1	126	10	30	1	15	263	257
Сентябрь	32	61	3	101	10	23	2	35	267	250
Октябрь	12	40	1	75	3	16	1	18	166	157
Итого:	147	245	6	529	24	90	4	135	1180	1131

Сводная статистика сеансов измерений по пунктам и космическим аппаратам приведена в следующей таблице 3.

Таблица 3. Сводная статистика сеансов измерений  
по пунктам и космическим аппаратам

Пункт	Сеансов наблюдений Lageos	Сеансов наблюдений высокоорбитальных спутников	Число нормальных точек по Lageos
Менделеево (MDVS)	85	328	1272
Иркутск (IRKL)	172	390	1186

Также в целях геодинимического обеспечения ГЛОНАСС, ММКОС «Сажень-ТМ» участвуют в наблюдательных компаниях по измерениям дальностей до космических аппаратов (КА) российской глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.

В 2017 году во ФГУП «ВНИИФТРИ» смонтирована лазерная станция комплекса средств фундаментального обеспечения (ЛС КСФО) ГЛОНАСС (рис. 7).



Рис. 7. Монтаж купола ЛС КСФО

ЛС КСФО оборудована спутниковым лазерным дальномером нового поколения, который позволит повысить точность измерений в разы.

### **5. ГМЦ ГСВЧ как центр обработки и анализа данных**

ГМЦ ГСВЧ выступает также как Центр обработки и анализа данных (ЦОАД), осуществляющий обработку и определение ПВЗ по каждому виду измерений по отдельности. Кроме того, в ГМЦ ГСВЧ проводятся работы по определению координат и поправок часов КА ГЛОНАСС и GPS.

#### **5.1 Определение ПВЗ по данным ГНСС в ГМЦ ГСВЧ**

Использование данных ГНСС для целей определения ПВЗ было начато в ГМЦ ГСВЧ с 1987 года, когда для определения координат полюса и продолжительности суток в ГМЦ ГСВЧ начали использоваться данные радио-контроля орбит ГЛОНАСС. Оперативные вычисления ПВЗ по данным фазовых измерений сигналов ГНСС были начаты в ГМЦ ГСВЧ в 1999 году. Обработка результатов измерений сети из 15 пунктов велась тогда в еженедельном режиме.

В настоящее время, обработка данных измерений ГНСС примерно с 40 пунктов проводится в ГМЦ ГСВЧ в ежесуточном режиме с использованием



программного комплекса ПК BERNESE5.0 [8] по алгоритму, разработанному и внедренному в 2006 году [3], на основе метода высокоточного точечного позиционирования (PPP). Этот метод состоит в использовании безразностных фазовых измерений для решения навигационной задачи по известным точным координатам спутников и поправкам бортовых часов. Из сопоставления полученных текущих координат пунктов с их каталожными значениями определяют затем значения всемирного времени и координат полюса.

Основными этапами обработки по этому методу являются:

1) прием данных измерений с пунктов ГСВЧ и из международной базы данных CDDIS, а также координат спутников и поправок бортовых часов. Файлы наблюдений представлены в упакованном виде в формате «компактный RINEX», файлы орбит (координаты ИСЗ с шагом 15 минут и поправки их бортовых часов относительно шкалы времени GPS) - в формате SP3;

2) распаковка и преобразование наблюдений во внутренний формат программы BERNESE. Сглаживание кодовых измерений по фазовым;

3) численное интегрирование движений ИСЗ; результат – координаты спутников на каждую эпоху измерений;

4) решение навигационной задачи по кодовым измерениям отдельно для каждого пункта с целью определения поправок часов приемников на каждую эпоху измерений;

5) контроль качества измерений, отбраковка грубых значений и измерений, непригодных по другим причинам (например, данные только на одной частоте, спутник низко над горизонтом, «рваный» ряд измерений с частыми пропусками и т.п.). На этом же этапе выполняется попытка восстановления пропущенного целого числа циклов несущих частот в случаях кратковременных пропусков в фазовых измерениях («склейка» отрезков последовательности измерений);

6) уравнивание кодовых и фазовых измерений на каждом пункте методом наименьших квадратов с включением в качестве неизвестных: координат пункта, поправок часов приемника, задержек сигналов в тропосфере;

7) анализ остаточных уклонений и оценка точности. При обнаружении грубых измерений – исключение их и переход на этап 6 для повторного вычисления;

8) вычисление ПВЗ путем уравнивания методом наименьших квадратов полученных координат всех пунктов.

В течение 2017 года в ГМЦ ГСВЧ выполнялись регулярные оперативные вычисления ПВЗ на основе обработки фазовых измерений GPS, ведущихся на территории России и других стран СНГ. В состав пунктов измерений вошли пункты вышеупомянутой сети пунктов метрологического контроля РОССТАНДАРТА, а также пункты РАН и Минобрнауки. Методика проведения измерений на этих пунктах аналогична изложенной выше. Отличия

состоят только в том, что большинство приемников РАН и Минобрнауки не имеет эталонных сигналов и, соответственно, не проводит сличений внутренней шкалы времени приемника. Сама же внутренняя шкала времени таких приемников формируется от встроенного кварцевого генератора. Для целей определения ПВЗ это допустимо, так как для пространственных задач поправки часов приемника – неизвестные, исключаемые из уравнений при решении навигационной задачи.

Сеть всех этих пунктов охватывает довольно большой диапазон по долготе (от  $22^\circ$  до  $166^\circ$  в.д.) и по широте (от  $39^\circ$  до  $72^\circ$  с.ш.), что создает благоприятные геометрические условия при решении задачи определений ПВЗ. Однако для определения точных параметров движения спутников важно вести наблюдения на всем протяжении их орбит, для чего размещение пунктов должно быть глобальным. С учетом этого обстоятельства методика обработки измерений построена таким образом, что определяемыми величинами считаются только ПВЗ и координаты пунктов региональной сети. В качестве земной системы координат при вычислениях была принята система ITRF2014 Международной службы вращения Земли (МСВЗ). Значения прямоугольных координат пунктов наблюдений в ITRF2008 даны на эпоху 2005.0. Для приведения координат на эпоху наблюдений в каталоге даны также скорости их изменений, происходящих из-за движения континентальных плит. Вычисления выполнялись по отдельности для каждого суточного сеанса измерений (от 0 до 24 часов UT).

Вычисленные значения ПВЗ получены на 0 часов UT каждых суток. Из них формируется наращиваемый файл, который далее используется в совместной обработке с данными других центров обработки и анализа данных. Известно, что всемирное время не может быть определено, опираясь только на спутниковые измерения. Однако возможно определять всемирное время синтетическим методом: тренд всемирного времени брать из РСДБ и определять из спутниковых измерений продолжительность суток (LOD). Тогда интегрируя LOD, с учётом известного из РСДБ тренда, можно достаточно точно вычислить значения всемирного времени, что и было реализовано в используемой программе. В 2017 году точность (СКО) определённых в ГМЦ ГСВЧ таким образом по GPS значений всемирного времени составила 21 мкс.

В настоящее время в ГМЦ ГСВЧ разработан прототип новой программы определения ПВЗ по данным ГНСС измерений на базе программного комплекса BERNESE5.2. Внедрение этой программы в регулярную работу службы позволит повысить точность ПВЗ, определяемых в ГМЦ ГСВЧ по данным ГНСС. В программе предусмотрена возможность выдачи результатов обработки измерений в виде стандартизованных SINEX-файлов, что необходимо для перехода ГМЦ ГСВЧ на новую методику совместной обработ-

ки различных данных.

## 5.2 Определение координат и поправок часов КА ГНСС в ГМЦ ГСВЧ

Как известно, эфемеридно-временная информация (ЭВИ) космических аппаратов (КА) ГНСС (ГЛОНАСС и GPS), включающая в себя координаты и поправки часов КА, является основой для многих приложений в области космической геодезии, проведения кадастровых работ, точного позиционирования объектов, как неподвижно расположенных на поверхности Земли, так и перемещающихся в околоземном пространстве. Ряд Аналитических центров, как за рубежом, так и на территории РФ, осуществляют расчеты орбит и поправок часов КА ГНСС в оперативном режиме по данным, полученным со станций слежения, входящих в международную сеть IGS. Получаемые разными Центрами значения ЭВИ при этом могут отличаться друг от друга. Поскольку точные значения координат орбит остаются неизвестными, то для получения опорных значений прибегают к процедуре комбинирования. Именно таким образом, начиная с 1993 г., получают т.н. точные орбиты IGS (США) для спутников GPS. Аналогичная процедура в рамках программы IGLOS-PP (International GLONASS Service Pilot Project) применяется Центром NOAA/NGS (США) с 2004 г. до настоящего момента для получения орбит КА ГЛОНАСС. Данные по орбитам ГЛОНАСС формируются этим Центром на основе комбинированной обработки девяти Аналитических центров и выкладываются в виде готовых продуктов на зарубежных серверах.

Возрастающая роль данных по орбитам КА ГЛОНАСС, используемых в решении многих прикладных задач космической геодезии, диктует необходимость иметь аналогичные продукты, формируемые уполномоченной российской метрологической организацией, которые могли бы служить официальными данными на территории РФ.

Работы по созданию программного обеспечения для формирования ЭВИ были начаты в ГМЦ ГСВЧ в 2007 году в рамках ОКР по ФЦП ГЛОНАСС. В результате в 2011 году была завершена разработка программы определения орбит и поправок часов КА ГЛОНАСС, входящая в состав опытного образца комплекса аппаратно-программных средств формирования и передачи сводной апостериорной эфемеридно-временной информации (КАС ЭВО). В этой программе [9] для построения орбит и вычисления поправок часов КА ГЛОНАСС использовались данные от семи зарубежных и двух российских ЦОАД, и формирование орбит происходило с задержкой в две недели. Т.е. орбиты вычислялись в апостериорном режиме и по своей срочности соответствовали окончательным орбитам, формируемым Международной ГНСС

службой (IGS).

Для решения сформулированной выше задачи не только в апостериорном, но и в срочном и оперативном режимах в Главном метрологическом центре Государственной службы времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) ФГУП «ВНИИФТРИ» была инициирована разработка программно-аппаратного комплекса формирования эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС (ПАК ЭВИ КА ГНСС). Данный комплекс предназначен для выполнения в непрерывном автоматическом режиме следующих задач:

1. Сбор измерительной информации (в формате RINEX n/g/d), поступающей с пунктов слежения за КА ГНСС на серверы международных баз данных, и размещение ее в БД ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ».

2. Расчет орбит и поправок часов космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС в трех следующих режимах:

- а) оперативном с задержкой в 6 часов и периодичностью 4 раза в сутки;
- б) срочном с задержкой в 1 сутки и периодичностью 1 раз в сутки;
- в) апостериорном с задержкой в 2 недели и периодичностью 1 раз в сутки.

3. Формирование отчетов и распространение ежедневно и еженедельно соответствующей информации через ftp-сервер ГМЦ ГСВЧ в формате SP3.

Для контроля точности вычисления ЭВИ КА ГНСС по разработанной в ГМЦ ГСВЧ методике были проведены тестовые расчеты за период: 01.01.2013 – 31.01.2013. Алгоритм программы и результаты тестовых вычислений по ней подробно рассмотрены в работе [10]. Здесь же приведем только основные результаты:

– используемая схема обработки показала по данным тестовых расчетов быструю сходимость (2–3 итерации) процесса уточнения орбит КА ГНСС. Для установления параметров орбит отдельных КА требовались дополнительные итерации;

– проведенные за указанный выше промежуток времени расчеты орбит и поправок часов показали, что: а) значения СКП, вычисленных в ГМЦ ГСВЧ орбит VNF КА GPS, оказались не более 2 см (сравнение проводилось с апостериорными орбитами IGS); б) СКП вычисленных орбит VNF КА ГЛОНАСС составили ~ 4-5 см (сравнение с апостериорными орбитами IGL);

– проведенный анализ значений оцененных Аналитическими центрами (см. таблицу 4) поправок часов КА GPS за 01.01.2013, показал, что: а) СКП вычисленных в ГМЦ ГСВЧ поправок часов КА GPS по сравнению с аналогичными данными IGS составили ~1 нс для всех КА; б) суммарная СКП, вычисленная по всем КА, составила 1.18 нс. Из 9 рассмотренных Центров меньшее СКП оказалось только у GRG: 1.04 нс;

– проведенный анализ значений оцененных Аналитическими центрами (см. таблицу 5) поправок часов КА ГЛОНАСС за 01.01.2013 показал, что:

а) СКП вычисленных в ГМЦ ГСВЧ поправок часов КА ГЛОНАСС по сравнению с референсными значениями составили ~1–2 нс для всех КА; б) суммарная СКП, вычисленная по всем КА, составила 0.99 нс; в) поправки часов, представляемые IGL, отличаются от поправок навигационных сообщений на величину постоянного сдвига, обусловленного разностью системных ШВ GPS и ГЛОНАСС (~320 нс). На рис. 8 поправки IGL представлены после устранения этого сдвига.

Таблица 4

Центры обработки и анализа данных, значения которых были использованы при анализе поправок часов КА GPS

№	Название	Аббревиатура
1	Международная служба ГНСС США	IGS
2	Европейский центр определения орбит, г. Берн, Швейцария	COD
3	Министерство природных ресурсов Канады	EMR
4	Европейское космическое агентство, Германия	ESA
5	Национальный центр космических исследований, Франция	GRG
6	Массачусетский технологический институт, США	MIT
7	Центр обработки и анализа данных – NOAA/NGS, США	NGS
8	СВОЭВП, РФ	PMK
9	Данные из навигационных сообщений	BRD
10	ГМЦ ГСВЧ ФГУП ВНИИФТРИ, РФ	VNF

Таблица 5

Центры обработки и анализа данных, значения которых были использованы при анализе поправок часов КА ГЛОНАСС

№	Название	Аббревиатура
1	Европейское космическое агентство, Германия	ESA
2	Национальный центр космических исследований, Франция	GRG
3	Информационный Аналитический центр ГЛОНАСС, ЦНИИМАШ, РФ	IAC
4	Центр обработки и анализа данных – NOAA/NGS, США	IGL
5	СВОЭВП, РФ	PMK
6	Данные из навигационных сообщений	BRD
7	ГМЦ ГСВЧ ФГУП ВНИИФТРИ, РФ	VNF

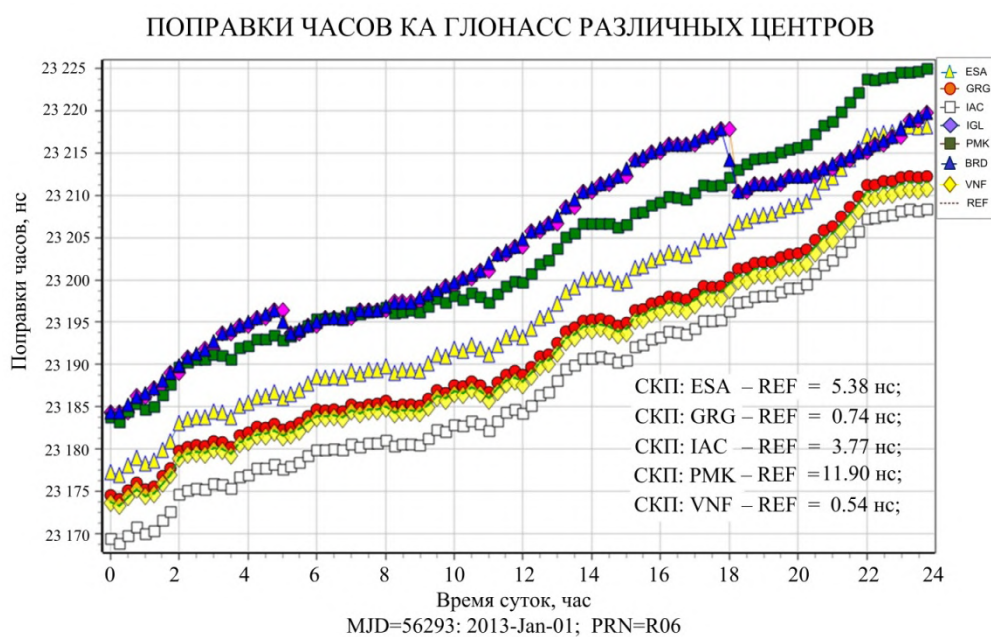


Рис. 8. Поправки часов КА ГЛОНАСС (PRN=R06), полученные в ГМЦ ГСВЧ (VNF) и в других Центрах

### 5.3 Определение ПВЗ по данным лазерных измерений в ГМЦ ГСВЧ

С 1995 г. в ГМЦ ГСВЧ были начаты вычисления ПВЗ по данным спутниковой лазерной дальнометрии двух пассивных геодезических спутников ЛАГЕОС. Обработка лазерных наблюдений выполнялась при помощи программы ITALAS, разработанной по заказу ГМЦ ГСВЧ в Институте теоретической астрономии РАН и модифицированной во ВНИИФТРИ в 1997 г. и затем в 2000 г. Однако, в силу непрерывного роста требований к точности определения ПВЗ по данным лазерной дальнометрии, возможности, заложенные в вычислительной программе ИТАЛА3, к началу 2010 года были исчерпаны, и оперативное определение ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ с января 2010 г. было приостановлено. Для возобновления определения ПВЗ по результатам лазерных измерений в ГМЦ ГСВЧ необходимо было разработать новый программно-аппаратный комплекс, который бы соответствовал актуальным требованиям к точности определения ПВЗ.

В 2014 году в ГМЦ ГСВЧ была завершена разработка нового программно-аппаратного комплекса, предназначенного для вычисления ПВЗ по данным лазерной локации ИСЗ (Lageos 1, Lageos 2), который с мая 2015 года

используется ГМЦ ГСВЧ в ежесуточном определении ПВЗ [11]. Результаты определения ПВЗ по данным СЛД, полученные с помощью разработанного этого аппаратно-программного комплекса, участвуют в совместной обработке всех данных о ПВЗ и вносят вклад в формируемые выходные данные ПВЗ ГСВЧ.

Ежесуточно в Центр обработки и анализа данных (ЦОАД) ГМЦ ГСВЧ поступает измерительная информация со всех активных измерительных пунктов сети Международной службы лазерной локации спутников и Луны (ILRS). Список станций наблюдения, измерения которых использовались для вычисления ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году, и общее число обработанных нормальных точек представлены в таблице 6 и на рис. 9 соответственно. Программа в автоматическом режиме (без участия оператора) анализирует полученные данные и выполняет в оперативном режиме расчет ПВЗ.

Таблица 6  
Список станций спутниковой лазерной дальнометрии, измерения которых использовались для вычисления ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году

№	ID	SITE	№	ID	SITE
1	1824	Golosiv, Ukraine	20	7237	Changchun, China
2	1868	Komsomolsk, Russia	21	7249	Beijing, China
3	1873	Simeiz, Russia	22	7308	Koganei, Japan
4	1874	Mendeleev 2, Russia	23	7358	Tanegashima, Japan
5	1879	Altay, Russia	24	7403	Arequipa, Peru
6	1884	Riga, Latvia	25	7405	Concepcion, Chile
7	1886	Arkhyz, Russia	26	7406	SanJuan, Argentina
8	1887	Baikonur, Kazakhstan	27	7501	Hartebeesthoek, SouthAfrica
9	1888	Svetloe, Russia	28	7810	Zimmerwald, Switzerland

Продолжение таблицы 6

<b>10</b>	1889	Zelenchukskya, Russia	<b>29</b>	7821	Shanghai, China
<b>11</b>	1890	Badary, Russia	<b>30</b>	7824	SanFernando, Spain
<b>12</b>	1891	Irkutsk, Russia	<b>31</b>	7825	MtStromlo, Australia
<b>13</b>	1893	Katzively, Crimea	<b>32</b>	7838	Simosato, Japan
<b>14</b>	7080	McDonald Observatory, Texas	<b>33</b>	7839	Graz, Austria
<b>15</b>	7090	Yarragadee, Australia	<b>34</b>	7840	Herstmonceux, UK
<b>16</b>	7105	Greenbelt, Maryland	<b>35</b>	7841	Potsdam, Germany
<b>17</b>	7110	MonumentPeak, California	<b>36</b>	7845	Grasse, France
<b>18</b>	7119	Haleakala, Hawaii	<b>37</b>	7941	Matera, Italy
<b>19</b>	7124	Tahiti, FrenchPolynesia	<b>38</b>	8834	Wetzell, Germany

Результаты вычислений и вся собранная измерительная информация хранится в базе данных ГМЦ ГСВЧ. Среднеквадратические отклонения (СКО) определения ПВЗ за 2017 год координат земного полюса X и Y за прошедшую часть отчётного периода приведены в таблице 7.



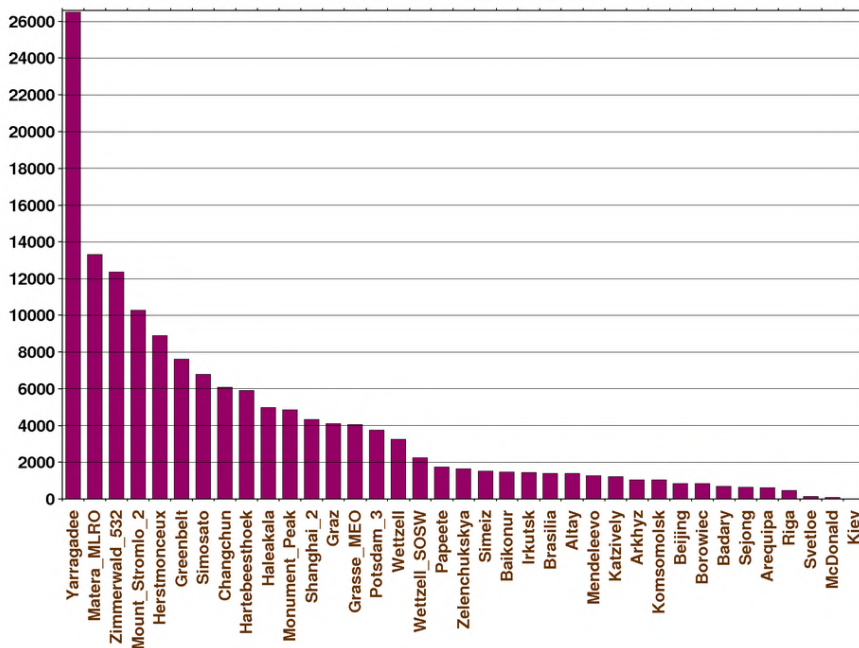


Рис. 9. Общее число обработанных нормальных точек для ИСЗ ЛАГЕОС 1 и ЛАГЕОС 2

Сравнение СКО определения ПВЗ по данным лазерной спутниковой дальнометрии с ведущими российскими центрами обработки и анализа данных (ИПА РАН и ИАЦ КВНО (ФГУП ЦНИИмаш)) показывает, что точность вычисления координат полюса в ГМЦ ГСВЧ соответствует точностям последних (рис. 10 и рис. 11).

Таблица 7

Точность ПВЗ, вычисленных в ГМЦ ГСВЧ по данным СЛД

Отклонения	X (0,001")	Y (0,001")
Систематические	+0,02	+0,02
СКО	0,08	0,10

В 2017 году была реализована возможность выдачи результатов обработки лазерных измерений в виде стандартизованных SINEX-файлов, что необходимо для перехода ГМЦ ГСВЧ на новую методику совместной обработки различных данных. В настоящее время формирование SINEX файлов по лазерным измерениям происходит в ежесуточном режиме. Результаты сохраняются на сервере ЦОАД ГМЦ ГСВЧ.

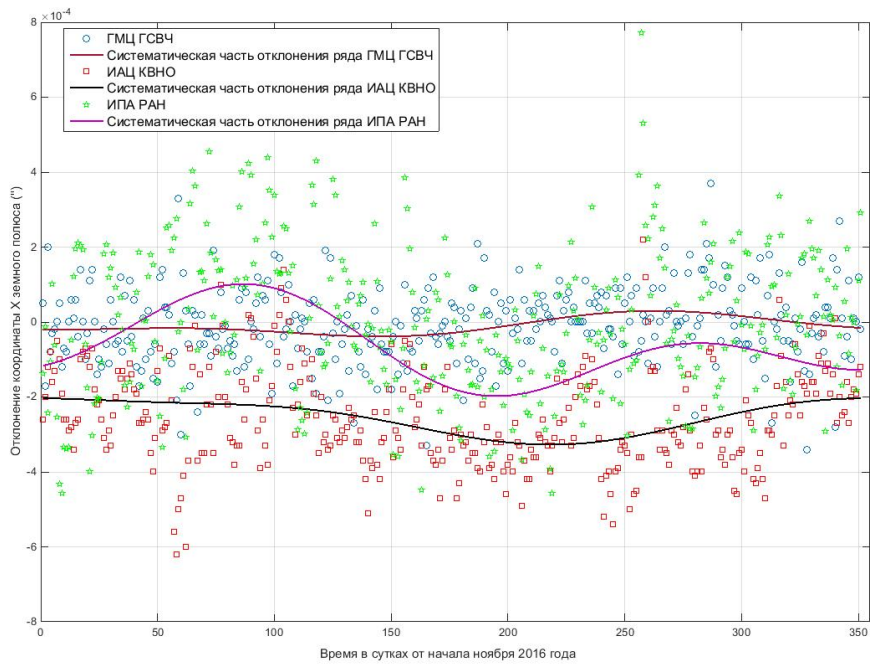


Рис. 10. Отклонения определений X- координаты полюса средствами лазерной локации, вычисленных в GMЦ ГСВЧ, ИПА РАН и ИАЦ ЦНИИМАШ, от данных МСВЗ

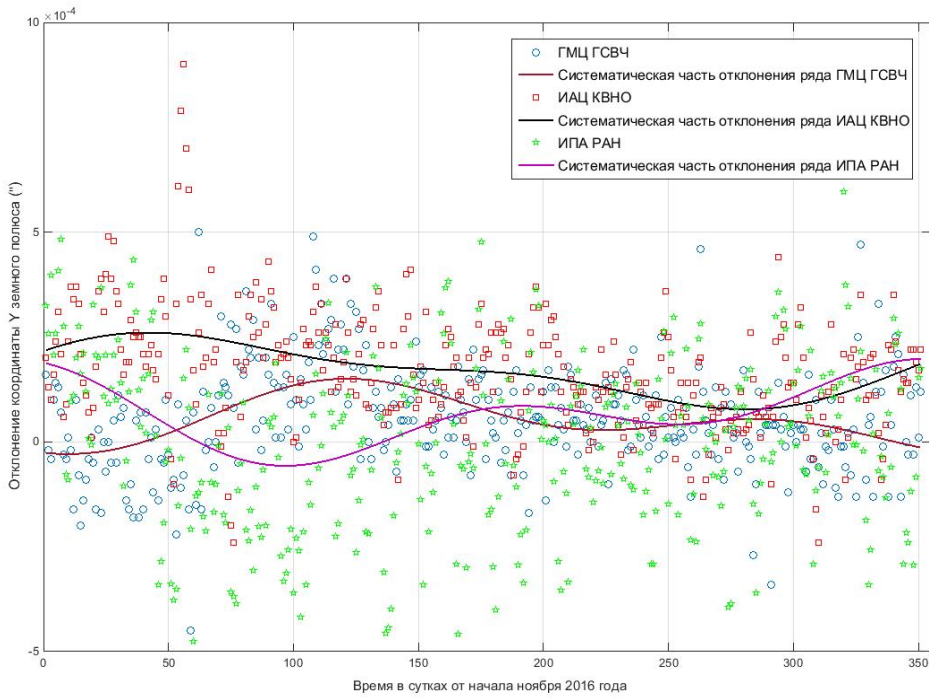


Рис. 11. Отклонения определений Y- координаты полюса средствами лазерной локации, вычисленных в GMЦ ГСВЧ, ИПА РАН и ИАЦ ЦНИИМАШ, от данных МСВЗ

Используя многолетний опыт обработки лазерных измерений в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году была завершена разработка программного средства определения всемирного времени по наблюдениям Луны. Точность определения всемирного времени составляет 60 мкс. Графический интерфейс программы показан на рис. 12.

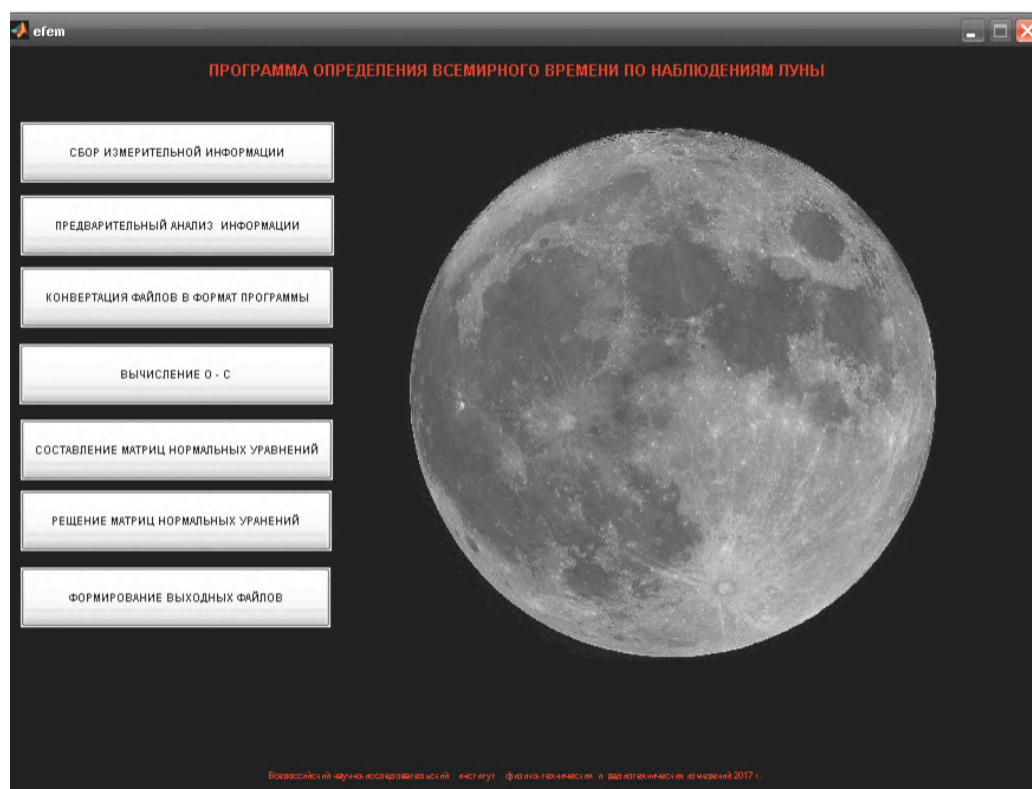


Рис. 12. Графический интерфейс программы определения всемирного времени по наблюдениям Луны

#### 5.4 Определение ПВЗ по данным РСДБ измерений в ГМЦ ГСВЧ

Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – РСДБ позволяет определять полный набор параметров вращения Земли: координаты полюса (ориентировка Земли по отношению к оси ее суточного вращения), поправки к углам нутации (ориентировка оси вращения в инерциальной системе координат), всемирное время и длительность суток (текущая фаза и период суточного вращения). Как и в использовавшемся в прежние годы астрооптическом методе, определение ПВЗ здесь сводится к измерению направлений

непосредственно на объекты с известными положениями в инерциальной системе, но метод РСДБ обладает гораздо более высокой точностью. Достигается это, однако, ценой использования аппаратуры чрезвычайной сложности, сооружение которой требует значительных капитальных затрат.

В настоящее время отечественные измерительные РСДБ - средства представлены РСДБ-комплексом КВАЗАР-КВО, созданным в Институте прикладной астрономии РАН (ИПА РАН). В состав РСДБ-комплекса КВАЗАР-КВО входят всего 3 обсерватории, поэтому для достижения более высоких точностей приходится привлекать также и данные сеансов измерений на зарубежных РСДБ-телескопах из состава сети Международной РСДБ службы, которые проводятся ежесуточно и в которых участвует одновременно до 11 телескопов, разнесенных по поверхности всего Земного шара. Проведение российских РСДБ-сеансов позволило добиться независимости российской шкалы ПВЗ от данных зарубежных измерений на новом, более высоком уровне точности, чем при использовании астрооптических измерений.

С марта 2017 года в экспериментальном режиме используются также данные с двухэлементного радиоинтерферометра на узлах колокации (ДРУК), созданного ИПА РАН, полученные в результате корреляционной обработки на корреляторе РАН.

С точки зрения службы ПВЗ, данные измерений можно разбить на две группы:

1) «сетевые» многобазовые сеансы, в которых участвуют более двух станций, и продолжительность наблюдений составляет много часов (обычно – сутки);

2) однобазовые сеансы, в которых задействовано только две станции (чаще всего это КОКЕЕ (США) и WETTZELL (Германия)), имеющие продолжительность один час.

Многобазовые «сетевые» сеансы, вообще говоря, позволяют получить информацию о всех пяти параметрах вращения Земли (UT1-UTC,  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $d\psi$ ,  $d\epsilon$ ).

Однобазовые сеансы используются только для вычисления UT1-UTC.

Непосредственные записи результатов первичных измерений (запись шумовых сигналов квазаров) на дисковом носителе доставляются в тот или иной центр корреляционной обработки (ЦКО), оснащенный мощным специализированным вычислительным средством – коррелятором, на котором производится взаимная корреляционная обработка измерений для каждой пары пунктов (базы). Результатом этой обработки являются задержки – разности моментов прихода на две антенны сигналов от одного и того же внегалактического радиоисточника, которые и являются исходными результатами РСДБ-измерений для всех астрогеодезических определений.

В течение отчётного периода проводились наблюдения на всех трех станциях отечественного РСДБ-комплекса КВАЗАР-КВО как совместно с пунктами международной РСДБ сети, так и по собственной российской программе. Корреляционная обработка измерений по российским программам проводилась в ЦКО ИПА РАН, а результаты выкладывались на ftp-сервер ИПА РАН. Всего за отчётный период на ftp-сервере ИПА РАН доступно 410 файла с измерениями в формате NGS общим объемом 14,8 МБайт.

С марта 2017 года в экспериментальном режиме использовались также данные с двухэлементного радиоинтерферометра на узлах колокации (ДРУК), созданного ИПА РАН, полученные в результате корреляционной обработки на корреляторе РАН. Всего на ftp-сервере ИПА РАН по авторизованному доступу доступно 3914 файлов в формате NGS общим объёмом 219,5 Мбайт. Такое большое число файлов измерений объясняется большей частотой проведения сессий (4-5 раз в сутки).

РСДБ наблюдения в течение описываемого периода в мире проводились по различным программам, которые отличаются составом пунктов наблюдений, длительностью измерительных сеансов (от 1 до 24 часов) и периодичностью их выполнения (например, 1 раз в неделю или ежедневно). Эти данные размещают в мировых базах данных, общедоступных через Интернет.

Первые версии результатов корреляционной обработки в формате DBN, содержащие задержки принятых сигналов, появляются в базе данных CDDIS, а также в ее «зеркала» примерно через сутки после наблюдений, но случаются и задержки до 2 – 3 недель. Всего в международных базах данных за период с 1 ноября 2016 года по 31 октября 2017 года доступен 2271 файл измерений в двоичном формате общим объемом 3,02 ГБайт. Из них 1194 файла общим объемом 1,68 ГБайт содержат измерения в X-диапазоне.

Список станций, измерения на которых обрабатывались в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году, их двухбуквенная аббревиатура оценке погрешности, страна и число сеансов Международной РСДБ службы (IVS) (однобазовых и многобазовых), в которых участвовала станция, приведен в таблице 8.

В последней колонке таблицы 8 указано участие каждой станции в определениях ПВЗ (число суток).

Таблица 8

Список РСДБ станций и число обработанных сеансов по программам IVS

Станция	Обозн.	Страна	Сеансы		Число суток активности станции
			одноба- зовые	многоба- зовые	
BADARY	Bd	Россия	0	39	32
BR-VLBA	Br	США	0	7	7
DSS65A	6a	Испания	0	4	3
EFLSBERG	Eb	Германия	0	2	2
FD-VLBA	Fd	США	0	6	6
FORTLEZA	Ft	Бразилия	0	77	68
HART15M	Ht	Южная Африка	0	111	99
HARTRAO	Hh	Южная Африка	0	26	22
HN-VLBA	Hn	США	0	7	7
HOBART12	Hb	Австралия	0	71	62
HOBART26	Ho	Австралия	0	24	19
KASHIM11	K1	Япония	0	13	10
KASHIM34	Kb	Япония	0	11	8
KATH12M	Ke	Австралия	0	110	99
KOGANEI	Kg	Япония	0	4	3
KOKEE	Kk	США	185	84	162
KOKEE12M	K2	США	185	84	162
KP-VLBA	Kp	США	0	7	7
LA-VLBA	La	США	0	7	7
MATERA	Ma	Италия	0	42	40
MEDICINA	Mc	Италия	0	28	23
MK-VLBA	Mk	США	0	7	7
NL-VLBA	Nl	США	0	6	6
NOTO	Nt	Италия	0	14	10
NOTOX	Nx	Италия	0	14	10
NYALES20	Ny	Норвегия	2	152	108
ONSALA60	On	Швеция	0	39	33
OV-VLBA	Ov	США	0	7	7
PIETOWN	Pt	США	0	7	7
SC-VLBA	Sc	США	0	6	6
SESHAN25	Sh	Китай	4	33	24
SVETLOE	Sv	Россия	0	37	29
TSUKUB32	Ts	Япония	11	24	27
URUMQI	Ur	Китай	0	7	5
WETTZ13N	Wn	Германия	3	109	69
WETTZELL	Wz	Германия	295	184	311
YARRA12M	Yg	Австралия	0	113	99
ZELENCHK	Zc	Россия	0	37	30

Определения ПВЗ по результатам РСДБ измерений проводятся в ГМЦ ГСВЧ с 2004 г. с помощью программного комплекса ОССАМ [12], адаптированного к условиям оперативной службы [13]. В настоящее время он ис-

пользуется для обработки часовых РСДБ-сеансов.

С 2012 года по 2017 для получения полного набора ПВЗ из обработки данных РСДБ-измерений использовался программный пакет VieVS, разработанный в Венском технологическом университете и модернизированный М.Б. Кауфманом для целей ведения оперативной службы.

С февраля 2017 года для получения полного набора ПВЗ из обработки данных РСДБ-измерений в ГМЦ ГСВЧ используется программа «Ариадна» [14], адаптированная к условиям оперативной службы в ГМЦ ГСВЧ [15]. Использование программы VieVs с февраля 2017 года прекращено.

В состав этого программного комплекса также входит подпрограмма, разработанная Жаровым В.Е., которая выдаёт результаты обработки суточных РСДБ-сеансов в виде стандартизованных SINEX-файлов по мере поступления результатов их корреляционной обработки. В настоящее время задержка поступления этих результатов составляет около полутора недель, что означает, что эти SINEX-файлы будут учтены только при формировании окончательных данных о ПВЗ.

Точностные характеристики результатов определения ПВЗ по данным РСДБ в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году приведены в таблице 9.

Таблица 9

Точность определения ПВЗ, вычисленных в ГМЦ ГСВЧ, по данным РСДБ

	$X$	$Y$	$UT1-UTC$	$UT1-UTC$	$dX_c$	$dY_c$
	0,001 "		0,001 с (сут.)	0,001 с (час.)	0,001 "	
СКО по внутренней сходимости	0,19	0,17	0,010	0,029	0,10	0,10
СКО от данных МСВЗ	0,26	0,25	0,024	0,030	0,12	0,27

Сравнение СКО определения ПВЗ по данным РСДБ с данными Центра обработки и анализа данных РАН и международных служб показывает, что точность вычисления ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ соответствует точностям последним.

### 5.5 Определение ПВЗ по всей совокупности данных

Основной задачей Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ

ГСВЧ) в части задачи определения ПВЗ является определение справочных значений ПВЗ, обязательных к применению на территории РФ, в режиме службы и распространение их заинтересованным потребителям по каналам связи. С метрологической точки зрения справочные значения ПВЗ играют двоякую роль. С одной стороны, они обеспечивают единство измерений в области координатно-временных определений в части использования единых значений ПВЗ, а с другой стороны, играют роль принятых опорных значений.

Согласно Международному словарю основных и общих терминов в метрологии (International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)), опорное значение величины (reference quantity value) – это значение величины, используемое как основа для сравнения со значением величины того же рода.

Опорным значением величины может быть истинное значение измеряемой величины (статья 2.11), в таком случае оно неизвестно, или приписанное (стандартизованное) значение величины (статья 2.12), в таком случае оно известно.

Опорное значение величины, со связанной с ним неопределенностью измерения, обычно сопровождается ссылкой на:

- a) материал, например, стандартный образец;
- b) прибор, например, стабилизированный лазер;
- c) исходную процедуру измерений (статья 2.7);
- d) сличение эталонов.

(статья 5.18).

**К о м м е н т а р и й** (РМГ91-2009) – По смыслу обобщенное понятие «приписанное (стандартизованное) значение величины» (статья 2.12) охватывает понятие «действительное значение величины» — значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Причиной, по которой построение опорных значений ПВЗ представляет собою фундаментальную практическую и теоретическую метрологическую проблему, является то, что не существует эталона ПВЗ, поскольку такой гипотетический эталон потребовал бы несколько экземпляров Земли, изготовленных одинаковым образом и помещенных в одинаковые условия, что совершенно невозможно. Однако, возможно разработать и использовать для определения опорных значений ПВЗ первичную референтную методику.

Первичная референтная методика измерений (англ. primary reference measurement procedure, primary reference procedure фр. procedure de mesure primaire, f; procedure opératoire primaire, m) – референтная методика измерений, которая используется для получения результата измерения без срав-



нения с эталоном единицы величины того же рода (VIM, статья 2.8).

Еще до начала совместной обработки (комбинирования) необходимо определиться, на каком этапе обработки она будет осуществляться.

Совместная обработка данных на уровне измерений может проводиться путем совместного решения системы уравнений, в правых частях которой стоят в том или ином виде результаты измерений. При этом, если в правых частях стоят непосредственные результаты измерений (задержки для РСДБ, псевдодальности для ГНСС и DORIS, дальности для СЛД), то говорят о решении на уровне условных уравнений.

Если же в правых частях системы уравнений стоит результат перемножения транспонированной матрицы условных уравнений, весовой матрицы и столбцов результатов измерений, то говорят о решении на уровне нормальных уравнений. Следует заметить, что в зарубежной литературе совместная обработка на уровне нормальных уравнений, которые представлены в формате SINEX, именуется как «комбинирование на уровне измерений».

Совместная обработка данных о ПВЗ на уровне временных рядов предполагает, что совместное решение ищется путем образования взвешенного среднего из отдельных рядов ПВЗ, полученных по различным видам измерения в различных ЦОАД.

Кроме того, применяется многоуровневая совместная обработка, в которой разные составляющие исходного материала обрабатываются на различных уровнях. Например, временной ряд значений ПВЗ, определенных по РСДБ и СЛД, получается в результате совместной обработки на уровне измерений; ряд ПВЗ, определенных по ГНСС, – на уровне матриц нормальных уравнений, а результирующий ряд ПВЗ получается путем совместной обработки на уровне временных рядов двух вышеупомянутых рядов ПВЗ.

В 2017 году вычисление опорных оперативных значений ПВЗ ГМЦ ГСВЧ осуществляется в соответствии с первичной референтной методикой комбинирования на уровне временных рядов, разработанной и внедренной Кауфманом М.Б. в 2006 году для обеспечения ежесуточного формирования опорных значений ПВЗ ГСВЧ [3]. Несомненным преимуществом совместной обработки на уровне временных рядов, в сравнении с обработкой на других двух уровнях, является ее простота, надежность, компактность, минимальные требования к объему дискового пространства и быстродействию средств вычислительной техники. При переходе к обработке на двух остальных уровнях сложность алгоритмов и требования к объему дискового пространства и быстродействию средств вычислительной техники значительно возрастают. Для целей оперативного определения ПВЗ, требования к точности которых не такие высокие (но зато требования к оперативности очень строгие), этот метод и на сегодняшний день употребляется как в практике Международной службы вращения Земли и опорных систем отсчета

(МСВЗ), так и в практике ГСВЧ.

Результирующие значения ПВЗ в 2017 году образовывались путем комбинирования 9 независимых рядов, формируемых в ГМЦ ГСВЧ, ИПА РАН, ЦУП и ИАЦ ЦНИИМАШ. Список используемых рядов и технических средств приведен в таблице 10.

Таблица 10

Источники данных определений ПВЗ в 2017 году

	Центр вычислений	Технич. средства определений ПВЗ	Определяемые параметры
1	ГМЦ ГСВЧ	GPS	X, Y, UT1
2	ГМЦ ГСВЧ	РСДБ	X, Y, UT1, dψ, dε
3	ГМЦ ГСВЧ	Лаз. локация ИСЗ	X, Y
4	ИПА РАН	Лаз. локация ИСЗ	X, Y, UT1
5	ИПА РАН	GPS	X, Y, UT1
6	ИПА РАН	РСДБ	X, Y, UT1, dψ, dε
7	СВОЭВП	GPS/ГЛОНАСС	X, Y, UT1
8	ИАЦ КВНО	Лаз. локация ИСЗ	X, Y
9	ИАЦ КВНО	GPS	X, Y

Согласно принятой методике, предусмотрены следующие основные этапы совместной обработки:

- исключение систематических погрешностей индивидуальных рядов ПВЗ;
- образование средневзвешенных значений ПВЗ;
- прогнозирование;
- анализ результатов и оценка точности;
- формирование бюллетеней с выходными данными.

Как показывает анализ и многолетний опыт, среди указанных рядов наиболее устойчивыми в систематическом отношении являются ряды РСДБ и GPS. С 2016 года, именно среднее из их сглаженных значений принято в качестве российской опорной системы ПВЗ.

До 1 августа 2016 года это среднее вычислялось по рядам РСДБ и GPS ГМЦ ГСВЧ. С 1 августа 2016 это среднее вычисляется в процессе двухступенчатой обработки, при которой оно вычисляется по сводным рядам, определённым отдельно по всем РСДБ и отдельно по всем спутниковым измерениям.

Для остальных рядов вычисляются систематические поправки путем экс-

понижения отклонений ПВЗ от опорных значений. После учета этих поправок образуются средние из значений ПВЗ каждого ряда с весами, принятыми на основании оценки точности за предшествующий календарный год.

Вычисления ПВЗ на всех этапах производятся по отдельности для каждого из параметров – всемирного времени и координат полюса. Полученные значения ПВЗ относятся к 0 час. UT каждых суток.

Вычисления по принятой методике ведутся тремя циклами:

- ежесуточно определяются оперативные значения ПВЗ на истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;
- еженедельно (каждый четверг) перерабатываются накопленные измерения за истекшую календарную неделю, уточняются систематические погрешности используемых независимых рядов и вычисляются срочные значения ПВЗ;
- спустя 5 недель после завершения очередного календарного месяца перерабатываются все накопленные за этот месяц измерения и вычисляются окончательные значения ПВЗ.

Такой режим вычислений позволяет быстро, хотя и с ограниченной точностью, получать текущие значения и прогноз ПВЗ, а затем уточнять их по мере поступления новых данных измерений. Так, при вычислении оперативных и срочных значений ПВЗ используется ограниченный набор наблюдений, доступных на момент обработки. В частности, данные РСДБ при определении оперативных значений ПВЗ не используются, т.к. результаты их измерений поступают в зарубежные базы данных с задержкой (иногда в 2–3 недели).

В течение года оценка точности вычисленных значений ПВЗ производилась по сходимости между собой суточных значений отдельных определений. Вычисленные по внутренней сходимости средние за год значения СКО приведены в таблице 11.

Таблица 11

Точность определений ПВЗ в 2017 г. по внутренней сходимости

	$U=UT1-UTC$	X	Y
Ср. кв. отклонения	0,008 мс	0.000039 "	0.000035 "

Для суждения о величине и дрейфе систематических погрешностей вычисленных значений ПВЗ используются их сопоставления с соответствующими данными Международной службы вращения Земли (МСВЗ), которые рассматриваются как принятые опорные значения. На рис. 13 – 15 показаны отклонения полученных за отчетный период окончательных значений ПВЗ ГСВЧ от данных МСВЗ (стандартного ряда EOP C04).

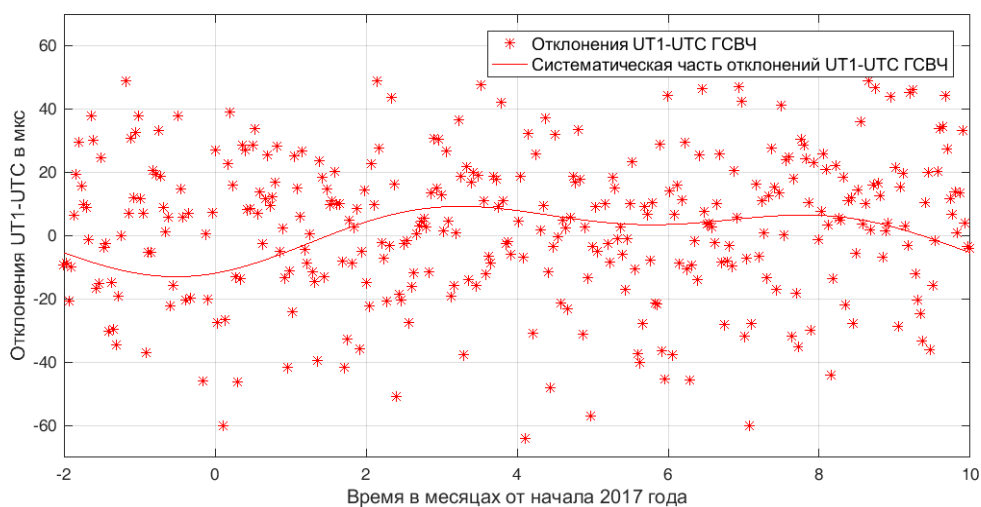


Рис. 13. Отклонения окончательных значений  $UT1-UTC$  от данных МСВЗ

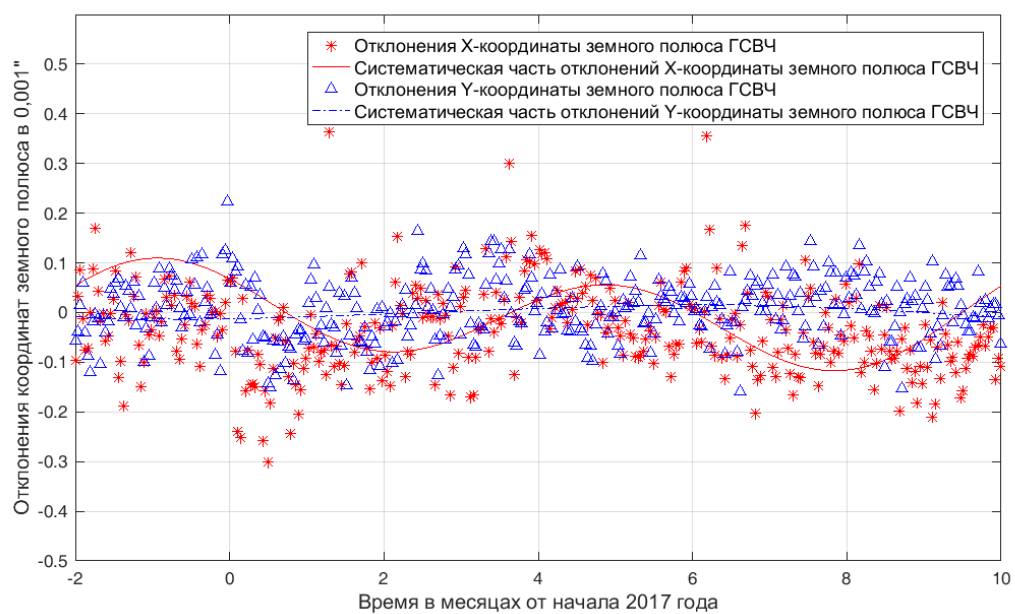


Рис. 14. Отклонения окончательных значений  $X$  и  $Y$  от данных МСВЗ

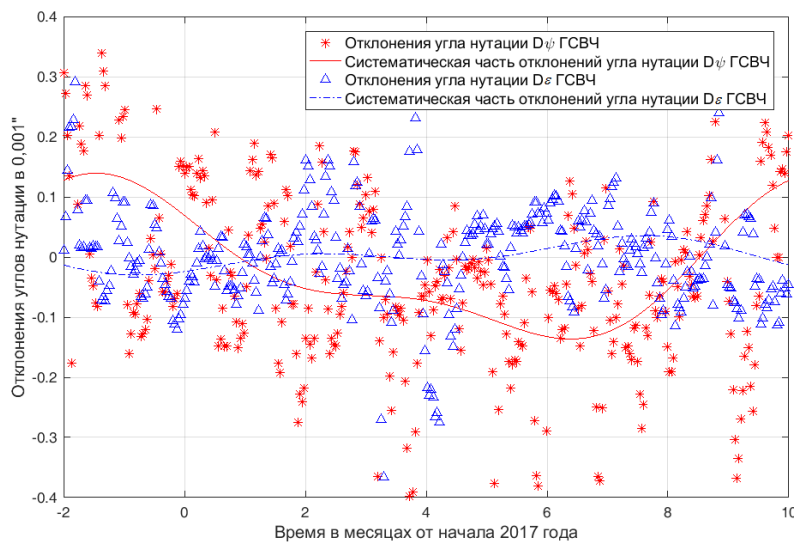


Рис.15. Отклонения окончательных значений углов нутации  $d\psi$  и  $d\varepsilon$  от данных МСВЗ

Видно, что точность окончательных данных ГМЦ ГСВЧ соответствует точности международных данных той же срочности. Поскольку данные МСВЗ получены по гораздо более представительной по точности и по объему совокупности наблюдений, эти оценки можно рассматривать как косвенную характеристику точности окончательных ПВЗ ГСВЧ (в дополнение к оценке по внутренней сходимости).

## 5.6 Прогнозирование ПВЗ

Вычисляемые на основе обработки наблюдений значения ПВЗ относятся к прошедшим интервалам времени, когда эти наблюдения выполнялись. Однако часто бывает нужно знать информацию о значениях ПВЗ непосредственно в текущий момент времени, хотя бы и с ограниченной точностью. Такая необходимость возникает, например, для обеспечения при практической навигации в реальном времени с помощью космических навигационных систем. С этой целью ГМЦ ГСВЧ в процессе вычислений ПВЗ осуществляет их прогнозирование и сообщает предсказанные значения потребителям в оперативных бюллетенях, передаваемых по каналам связи, в бюллетенях серии А "Всемирное время и координаты полюса", а также в составе радиосигналов точного времени.

В течение прошедшего периода использовался алгоритм, разработанный М.Б. Кауфманом и введенный с 18 июля 2006 года. Он состоит в следующем.

На первом этапе из последовательности вычисленных значений ПВЗ исключаются тренд и регулярные периодические составляющие. Параметры этих составляющих определяются методом наименьших квадратов по предшествующим рядам ПВЗ.

Из значений всемирного времени исключается еще влияние короткопериодической приливной неравномерности вращения Земли, вычисляемое по теоретическим формулам.

Затем для каждого из 50 суток, следующих за последними моментами времени, для которых были вычислены ПВЗ, осуществляется предвычисление ПВЗ с учётом сглаженного ряда предшествующих значений.

Наконец, для получения прогнозируемых ПВЗ к полученным по этой формуле значениям добавляются исключенные ранее регулярные составляющие.

Прогнозирование ПВЗ выполняется ежесуточно на 30 суток вперед (результаты публикуются в электронных бюллетенях серии "Q") и еженедельно на 7 недель вперед (бюллетени "A"), а в виде информации dUT1.

На рис. 16 показаны результаты оценки точности прогнозирования ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ: среднеквадратические погрешности, вычисленные по отклонениям прогнозных значений от окончательных.

Буквами Q и A обозначены кривые, построенные по данным, соответственно ежесуточных и еженедельных вычислений.

Как следует из графиков, погрешности ежесуточных прогнозов в среднем выше, чем еженедельных. Это объясняется тем, что при оперативных вычислениях используется лишь ограниченный набор измерительных данных, доступных к моменту обработки.

Предвычисленные разности между всемирным и координированным временем  $UT1-UTC$ , округленные до 0,02 с и выраженные в виде поправок  $DUT1+dUT1$ , передавались радиостанциями ГСВЧ одновременно с сигналами времени позиционным кодом. Порядок кодирования информации о разности шкал  $UT1-UTC$  определяется в бюллетене ГСВЧ «Эталонные сигналы частоты и времени» серии В.

Поправки  $DUT1$ , вычисляемые Международной службой вращения Земли, передаются радиостанциями всего мира, а дополнительная поправка  $dUT1$ , передаваемая радиостанциями ГСВЧ, определяется по результатам прогнозирования всемирного времени в ГМЦ ГСВЧ.

На рис. 17 и в таблице 12 для периода с ноябрь 2016 года по ноябрь 2017 года показано, насколько предвычисленные и переданные кодом поправки  $DUT1+dUT1$  соответствовали действительным значениям  $UT1-UTC$ .

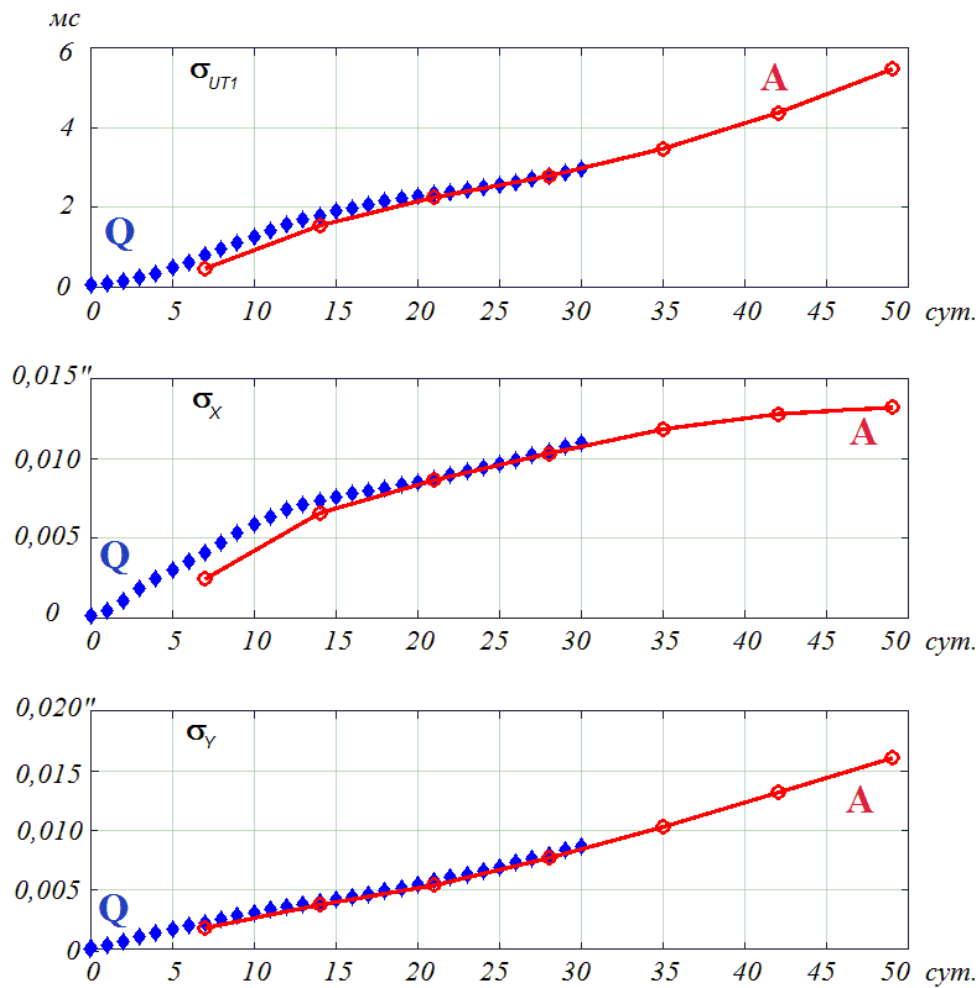


Рис.16. Погрешности прогнозирования ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ в 2017 году

Как видно из рис. 17, расхождения между ними в течение этого периода не выходили за пределы  $\pm 0,015$  с, а большую часть года (362 суток) - за пределы  $\pm 0,010$  с. Это значит, что потребители могли определять всемирное время, пользуясь приемами сигналов времени и кодов  $DUT1+dUT1$ , с погрешностью не хуже  $\pm 0,015$  с, а с вероятностью 99% – не хуже  $\pm 0,010$  с.

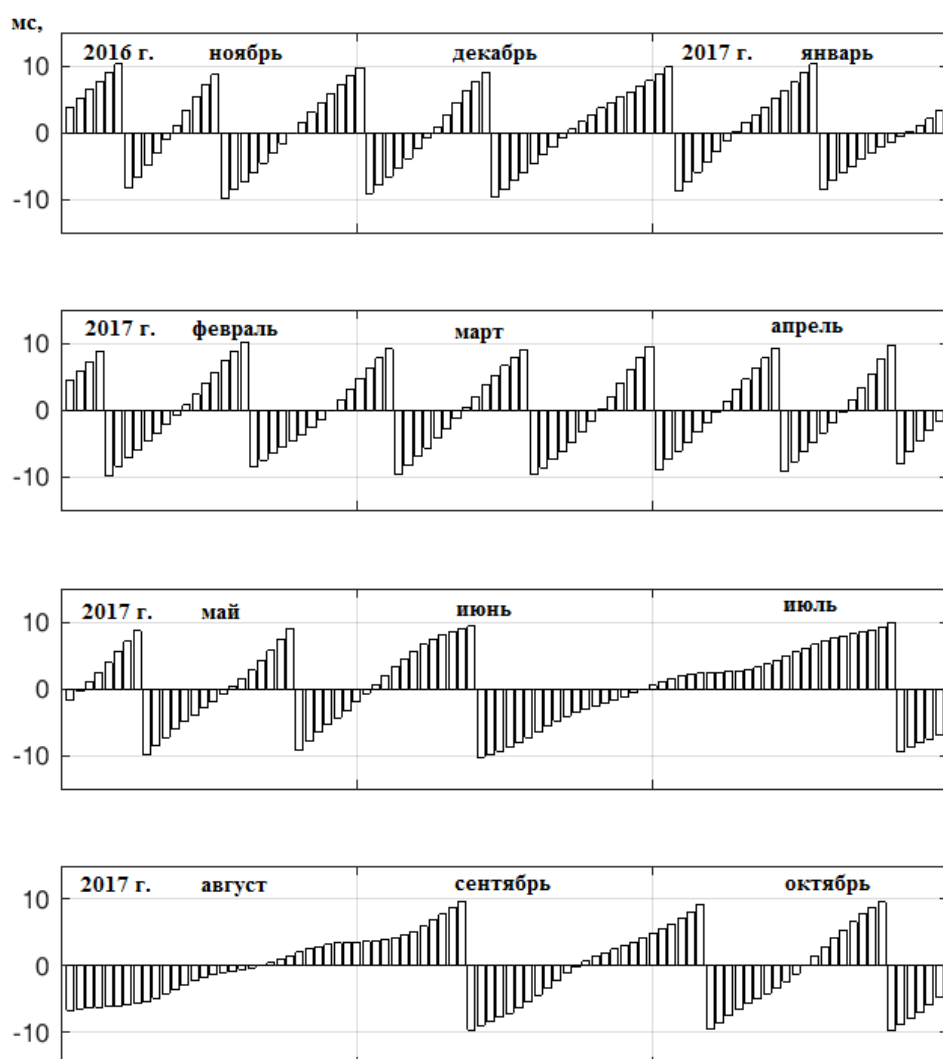


Рис.17. Разности между переданными кодом значениями  $DUTI+dUTI$  и действительными значениями  $UTI-UTC$

### 5.7 Исследование изменений скорости вращения Земли на основе совместной обработки всей совокупности данных

Для характеристики суточного вращения Земли наряду со шкалой всемирного времени  $UTI$ , описывающей изменение фазы этого процесса, используют также угловую скорость и период (длительность суток). Изучение колебаний этих параметров позволяет делать выводы о перераспределениях



масс внутри планеты, атмосферной циркуляции и связях с другими геофизическими и космическими процессами, что немаловажно и с практической точки зрения.

Таблица 12

Точность кодированных значений  $DUT1+dUT1$  в 2017 году

Уклонения (мс)	Количество суток	Доля года (%)
0 – 5	185	51
5 – 10	177	48
10 – 15	3	1

Поэтому данные об изменениях скорости вращения Земли и эксцесса длительности суток (отклонения от 86400 секунд SI) регулярно вычисляются и публикуются в бюллетенях ГСВЧ серии E.

Величина вариаций угловой скорости находится на уровне восьмого знака после запятой или, другими словами, составляет десятки миллиардных долей по абсолютной величине. Несмотря на столь малую величину, изменение кинетической энергии Земли, соответствующее вариациям угловой скорости вращения значительно из-за огромных размеров планеты. Например, относительное изменение угловой скорости вращения Земли на одну миллиардную долю приводит к изменению кинетической энергии вращения примерно на 0,4 секстиллиона ( $4 \cdot 10^{20}$ ) Дж, что сопоставимо с энергией выделяющейся ежегодно в результате землетрясений.

Относительные вариации угловой скорости вращения Земли имеют сложную структуру. Они содержат:

- многолетние квазипериодические вариации с отклонением от среднего значения примерно на  $4 \cdot 10^{-8}$ , хорошо заметные на промежутках времени в сотню лет (рис. 18);

- сезонные вариации угловой скорости вращения Земли, полностью укладываемые в полосу  $\pm 15$  миллиардных относительно среднегодового значения;

- короткопериодические вариации с периодами в пределах квартала (где максимальная гармоника имеет период чуть меньше двух недель) и амплитудой около  $5 \cdot 10^{-9}$ ;

- вековой тренд, связанный с вековым замедлением вращения Земли (угловая скорость уменьшается примерно на 20 миллиардных за сто лет).

Вековой тренд очень мал, он становится хорошо заметен только на длительных промежутках времени, сравнимых с несколькими сотнями и даже тысячами лет (рис. 18).

Одновременное за год аналитическое уравнивание суточных значений разностей  $UT1-TAI$  позволяет получить оценку средней скорости вращения

Земли, систематического изменения ее в течение года и параметры сезонных изменений. Для выполнения такого анализа были использованы 365 разностей  $UT1(SU)-UTC$ , полученных при вычислении ПВЗ в течение прошедшего года с учетом разности  $TAI-UTC$ , составляющей 37 секунд времени (с 1 января 2017 года). Для этого уравнения погрешностей представляются в виде:

$$A + Bt + Ct^2 + D\sin(\omega t) + E\cos(\omega t) + F\sin(2\omega t) + G\cos(2\omega t) - U = v, \quad (1)$$

где  $t$  - число суток от начала тропического года;

$$\omega = 2\pi/365,24;$$

$$U = UT1(SU)-TAI;$$

$v$  – случайные отклонения.

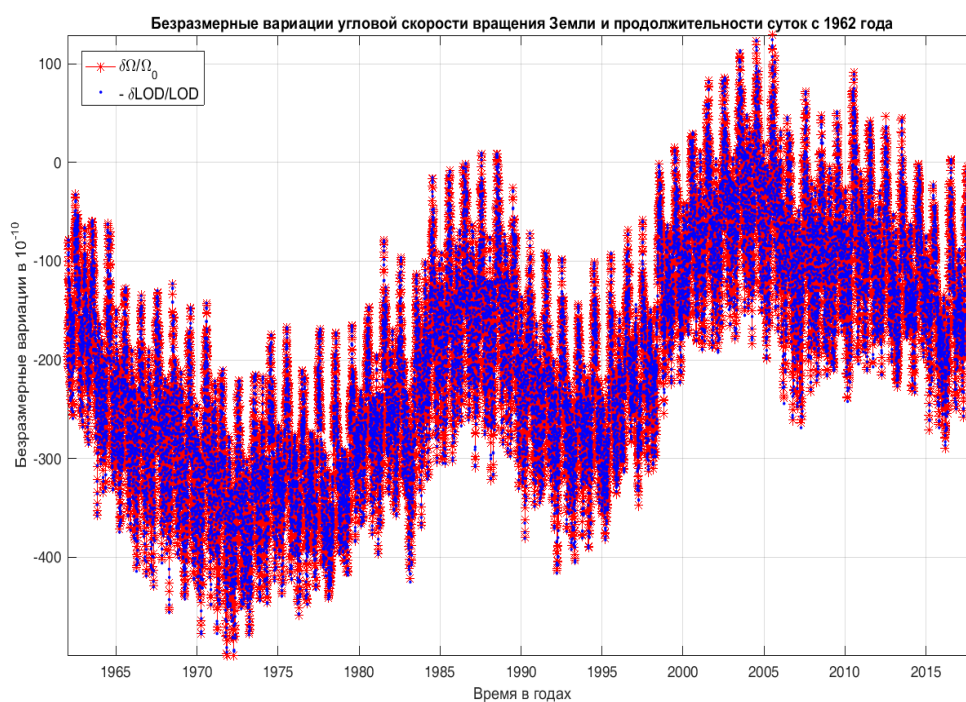


Рис. 18. Изменения угловой скорости вращения Земли с 1962 года

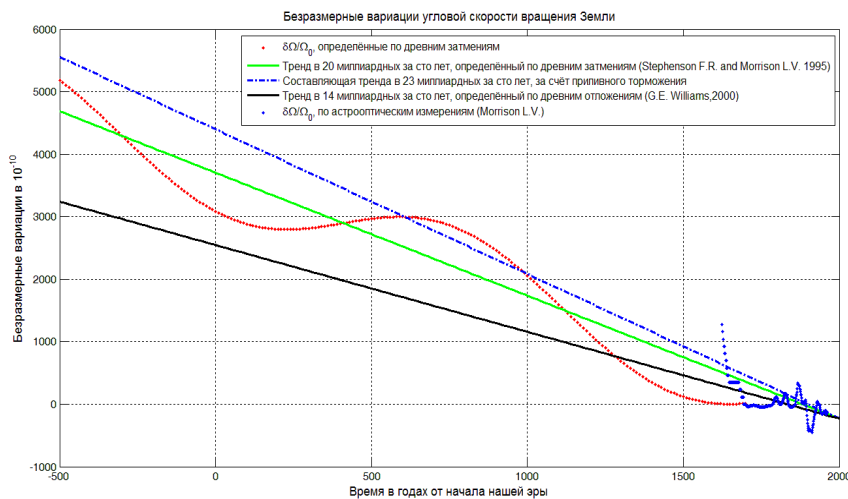


Рис. 19. Вековые изменения угловой скорости вращения Земли по различным данным

В результате решения указанных уравнений методом наименьших квадратов были получены значения коэффициентов (в секундах) и их средне-квадратические отклонения. Учитывая их значения, выражение для сезонных изменений разностей  $UT1(SU)-UTC$  для периода с ноябрь 2016 года по ноябрь 2017 года имеет следующий вид (амплитуды даны в секундах, фазы – в сутках):

$$\Delta Ts = 0,0248 \sin \omega(t + 135,9) + 0,0095 \sin 2\omega(t + 158,1).$$

Амплитуды годичной и полугодичной волн определены со средними квадратическими погрешностями в 0,00043 с и 0,00014 с; начальные фазы – с СКО 1,0 сут. и 0,4 сут. соответственно.

Из сравнения полученного выражения со стандартной формулой МСВЗ, полученной усреднением выражения для сезонных разностей за многолетний период:

$$\Delta Ts_{\text{МСВЗ}} = 0,0251 \sin \omega(t + 153,5) + 0,0092 \sin 2\omega(t + 157,4)$$

следует, что годовая амплитуда изменений скорости вращения Земли, вычисленная за период с ноября 2017 года по декабрь 2017 года, почти совпала с её средним многолетним значением (разница составила чуть более 1% ).

По коэффициентам В и С вычислено значение хода всемирного времени по отношению к атомному для середины 2017 года, т.е. для 1 июля 2017 г. (рис. 20), равное  $-1,03$  мс/сутки, что в пересчете на относительное отклонение скорости вращения Земли  $\Delta\omega/\omega$  составляет  $-119 \cdot 10^{-10}$ .

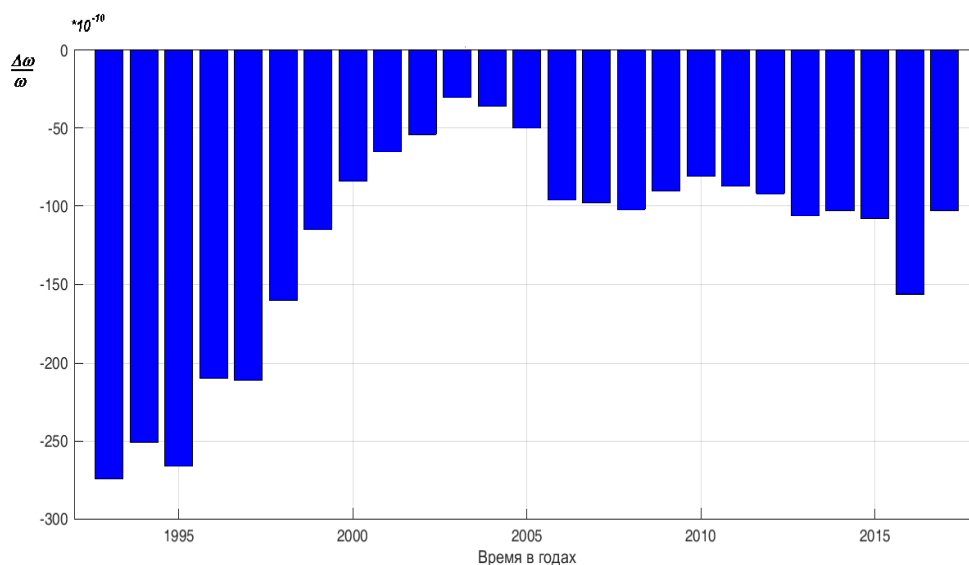


Рис. 20. Изменения среднегодовой скорости вращения Земли за последние 24 года

Сравнение этого значения с аналогичным значением для 1 июля 2016 года показывает, что средняя скорость вращения Земли в 2017 году возросла в сравнении с 2016 годом (на 24%). Таким образом, средняя угловая скорость вращения Земли в 2017 году начала возрастать после достижения своего локального минимума в 2016 году.

Обычно угловая скорость вращения Земли достигает минимального за год значения в марте-апреле, а максимального за год значения в июле-августе. Такой разброс сроков связан с тем, что на сезонные составляющие (главные на годовом интервале) накладываются ещё и короткопериодические составляющие вариаций угловой скорости вращения Земли, а также небольшой тренд. Поэтому дата наступления максимума или минимума угловой скорости вращения Земли на годовом интервале зависит от результата их суперпозиции.

По данным Главного метрологического центра Государственной службы времени,

частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) полная угловая скорость вращения Земли в 2017 году достигла своего годового минимума (т.е. минимального в 2017 году значения) 25 апреля 2017 года, а годового максимума - 31 августа 2017 года (рис. 21).

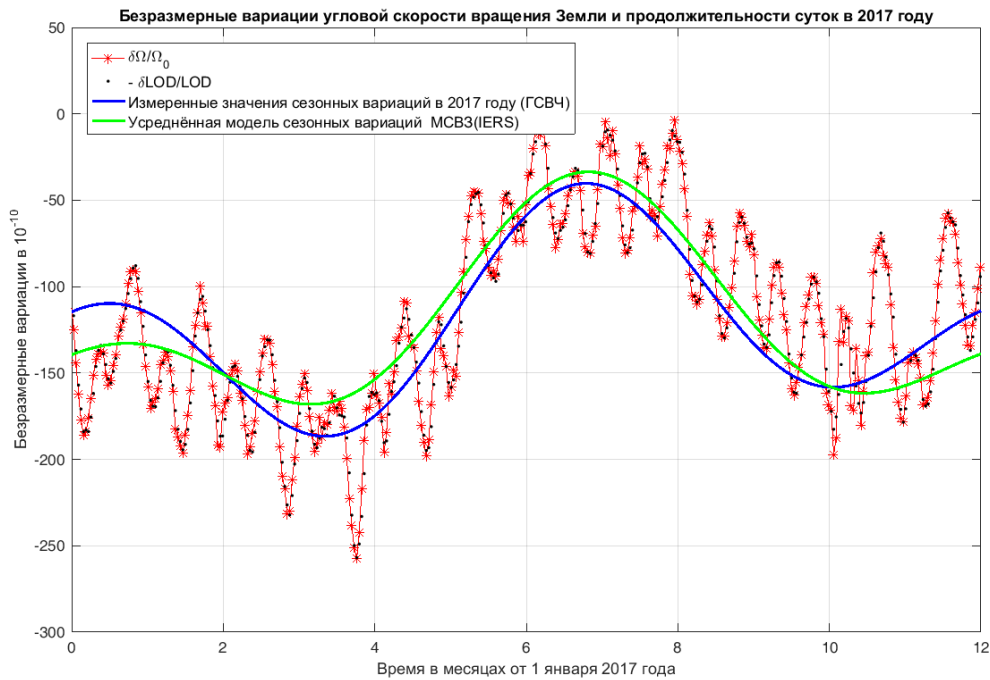


Рис. 21. Изменения скорости вращения Земли за последние в 2017 году

Главная сезонная составляющая вариаций угловой скорости вращения Земли в 2017 году достигла своего годового минимума 8 апреля 2017 года, годового максимума - 1 августа 2017 года (рис. 20).

На рисунке зелёным цветом изображена эмпирическая модель Международной службы вращения Земли и опорных систем отсчёта (МСВЗ, IERS), полученная путём усреднения амплитуд и фаз сезонных вариаций по многолетним измерениям. Определённая из измерений сезонная составляющая для 2017 года несколько отличается от этой усреднённой модели (на рисунке она выделена синим цветом). Чёрными точками изображены относительные вариации продолжительности суток со знаком минус, которые практически совпадают со значениями относительных вариаций угловой скорости вращения Земли.

В последнее время, в связи с обсуждением необходимости учёта эффектов общей теории относительности поднимается вопрос о необходимости учёта влияния углового ускорения вращения Земли на результаты высокоточных экспериментов. Следует заметить, что угловое ускорение Земли достаточно мало (рис. 22) и составляет несколько единиц  $10^{-18} \text{ с}^{-2}$ , которому соответствует радиальный градиент ускорения в  $10^{-9} \text{ Э}$  ( $1 \text{ Э} = 10^{-9} \text{ с}^{-2}$ ) и линейное ускорение на поверхности Земли в несколько единиц нГал ( $1 \text{ нГал} = 10^{-11} \text{ м/с}^2$ ).

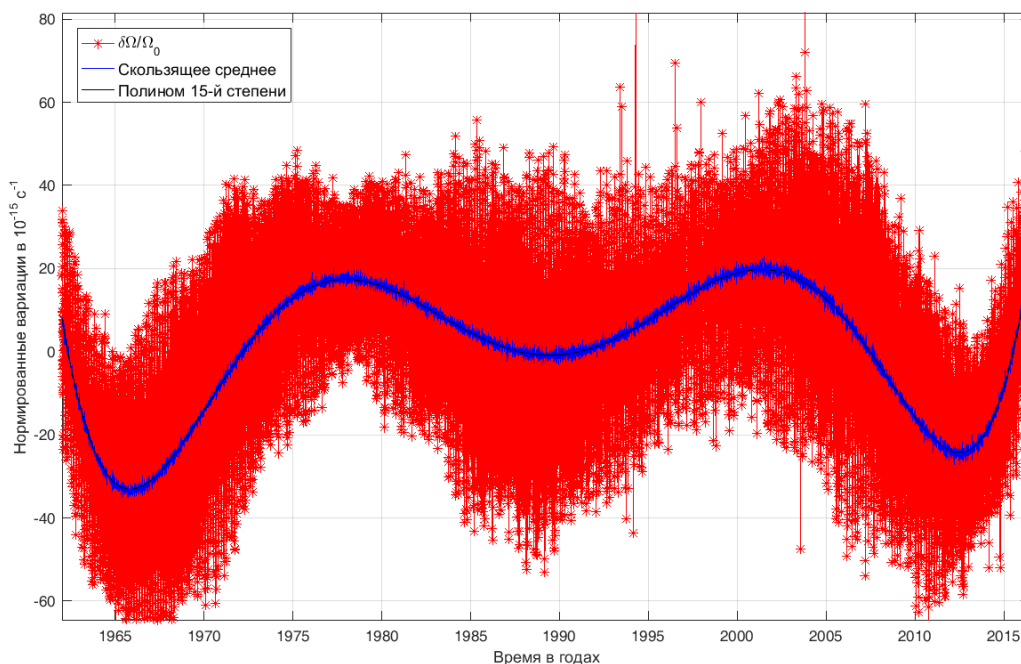


Рис. 22. Нормированное угловое ускорение Земли (долгопериодическая составляющая оценивалась по скользящему среднему и аппроксимации полиномом шестнадцатой степени значений, приведенных на рис. 18, с последующим их дифференцированием по времени)

### 5.8 Распространение данных ПВЗ ГСВЧ

Совместная обработка результатов определений ПВЗ различными техническими средствами выполняется в Центре сбора и обработки данных в составе ГМЦ ГСВЧ. В задачи Центра входит координация и оперативный контроль определений ПВЗ, сбор и накопление результатов наблюдений, их математическая обработка с целью получения по данным всех измерительных средств текущих значений и прогноза ПВЗ, доведение их до потребителей.

Результаты вычислений оперативных, срочных, окончательных и прогнозируемых значений ПВЗ передаются потребителям при помощи следующих средств:

- электронная почта;
- общедоступная через Интернет база данных;
- публикация в недельных и квартальных бюллетенях;
- передача по радио в составе сигналов точного времени.

В соответствии с Протоколом информационного взаимодействия между ГМЦ ГСВЧ и АЦУС «Цель» оперативные данные о ПВЗ передавались в АЦУС ежедневно по выделенному автоматизированному каналу связи в целях обеспечения ГЛОНАСС данными о ПВЗ.

Информационно-программной основой Центра является комплекс программ и база данных, обеспечивающие:

- управление приемом, предварительный контроль и накопление поступающих результатов наблюдений,
- совместную математическую обработку данных и вычисление ПВЗ,
- анализ и оценку точности результатов,
- подготовку оригиналов бюллетеней для их издания и оперативных сводок для передачи потребителям по протоколу FTP и электронной почте.

Проводившиеся в течение года работы выполнялись с суточной, недельной, месячной, квартальной и годичной периодичностью. Суточный цикл включал прием от российских и зарубежных станций и баз данных результатов спутниковых и РСДБ наблюдений, их совместную обработку, вычисление оперативных значений ПВЗ и их прогноза, выдачу данных потребителям. По мере поступления новых измерительных данных еженедельно производилась совместная обработка и вычисление срочных значений ПВЗ. Файлы с данными наблюдений готовились по установленному формату. Данные наблюдений методом лазерной локации ИСЗ Лагос выбирались из международной базы данных CDDIS. Данные фазовых измерений сигналов ГЛОНАСС и GPS принимались из пунктов ГСВЧ и некоторых других российских пунктов непосредственно, а измерения других пунктов – через международные базы данных.

Совместная обработка полученных данных и вычисление оперативных значений ПВЗ выполнялась ежедневно до 10 часов утра московского времени, а вычисление срочных значений ПВЗ выполнялись каждый четверг. Результаты вычислений – значения всемирного времени и координат полюса – сразу же передавались в организации, нуждающиеся в срочной информации о ПВЗ, и оформлялись в виде оригиналов электронных и печатных бюллетеней "Всемирное время и координаты полюса". Срочные данные (серии А и Q). Бюллетени А (рис. 23) издавались тиражом 110 экз. и рассылались в заинтересованные организации, в том числе зарубежные, по утвержденному списку.

В 2017 году было издано 52 бюллетеня А.

Электронные версии бюллетеней А и Q размещались на доступном по имени анонимous FTP-сервере ГМЦ ГСВЧ (<ftp.vniiftri.ru>). С 18.02.2016 в соответствии с разрешением Росстандарта (исх. № СГ-2111/04 от 19.02.2016) на сервер ГМЦ ГСВЧ выкладываются также бюллетени А с углами нутации.

Федеральное агентство по  
техническому регулированию  
и метрологии

ФГУП "ВНИИФТРИ"

ISSN 0135-2415

## БЮЛЛЕТЕНЬ А - 2185

20 ноября 2017 г.

### ВСЕМИРНОЕ ВРЕМЯ И КООРДИНАТЫ ПОЛЮСА

Дата (0h UT)	MJD	UT1(SU)-UTC (с)	X(SU) (")	Y(SU) (")
С Р О Ч Н Ы Е   Д А Н Н Ы Е				
2017 г.				
Нояб. 7	58064	+0,274949	+0,17185	+0,25161
8	58065	+0,273902	+0,17064	+0,25033
9	58066	+0,272864	+0,16920	+0,24925
10	58067	+0,271733	+0,16769	+0,24795
11	58068	+0,270493	+0,16640	+0,24676
12	58069	+0,269173	+0,16499	+0,24611
13	58070	+0,267778	+0,16339	+0,24573
П Р О Г Н О З				
2017/18 г.				
Нояб. 20	58077	+0,25889	+0,1520	+0,2417
27	58084	+0,25291	+0,1399	+0,2380
Дек. 4	58091	+0,24301	+0,1262	+0,2377
11	58098	+0,23343	+0,1105	+0,2380
18	58105	+0,22582	+0,0961	+0,2393
25	58112	+0,22106	+0,0764	+0,2442
Янв. 1	58119	+0,21276	+0,0646	+0,2479

#### ОБЪЯСНЕНИЯ:

MJD - модифицированная юлианская дата;  $MJD = JD - 2400000,5$ ;  
 UT1(SU), X(SU), Y(SU) - шкала всемирного времени и координаты  
 полюса Государственной службы времени и частоты - ГСВЧ;  
 UTC - шкала координированного времени;  
 TA(SU) - шкала атомного времени ГСВЧ;  
 Разность шкал  $UTC - TA(SU) = -33,17276$  с (с 1 июля 2015 г.).  
 $-34,17276$  с (с 1 января 2017 г.).

ФГУП "ВНИИФТРИ",  
п/о Менделеево, Московская обл.,  
Россия, 141570

Телефон (495) 660-57-21  
Факс (495) 660-17-41  
E-mail: nio7@vniiftri.ru

Рис. 23. Печатная форма бюллетеня А ГСВЧ



Предвычисленные значения всемирного времени сообщались на радиостанции ГСВЧ, которые передавали их позиционным кодом одновременно с сигналами точного времени. Кодовая информация о разностях UT1-UTC состояла из двух частей: DUT1 с дискретностью 0,1 с, рекомендуемой МСВЗ, и предвычисленной нами поправки dUT1 с округлением до 0,02 с.

Ежемесячно производилась переработка накопленного материала наблюдений и вычислялись окончательные значения ПВЗ, которые публиковались один раз в месяц на оборотной стороне бюллетеней серии А и в квартальных бюллетенях серии Е.

Квартальные бюллетени содержали также данные о длительности суток и изменениях скорости вращения Земли, сведения о переданной по радио кодовой информации о всемирном времени, сравнение вычисленных значений ПВЗ с данными МСВЗ, значения ПВЗ по результатам обработки измерений GPS, лазерной локации ИСЗ Лагос и РСДБ, сопоставления между собой результатов определений ПВЗ различными техническими средствами. Бюллетень издавался тиражом 145 экз. и также рассылался в организации по утвержденному списку.

На сегодняшний день практически каждая организация имеет собственный Web-сайт, который дает представление о её деятельности и достижениях, позволяет расширить пространство контактов и информационного обмена.

В 2014 г. был разработан экспериментальный Web-ресурс, который являлся прообразом сайта Центра сводной обработки и определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ (ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ). С 2015 года он доступен и для внешних пользователей (рис. 24).



Рис. 24. Общий вид Web-ресурса

Сайт ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ, расположенный на субдомене [rvz.vniiftri.ru](http://rvz.vniiftri.ru), в 2017 году был усовершенствован как в части программного, так и информационного наполнения.

В информационной части:

- добавлена графическая информация – диаграммы ГСВЧ для движения земного полюса (в метрах и секундах дуги, также вариаций угловой скорости), обновляемые ежедневно в автоматическом режиме;
- скорректирована схема проезда в разделе Контактная информация;
- совместно с администраторами соответствующих сервисов добавлена и уточнена справочная информация о сайте службы ПВЗ для популярных поисковых систем,

По результатам анализа данных, собранных сервисом «Яндекс-метрика», дополнено оформление главной страницы сайта и изменено меню.

В раздел «Новости» добавлено 6 информационных сообщений о важных событиях в области определения ПВЗ, произошедших в 2017 году.

В части технической поддержки:

- проводится адаптация сайта под новое программное обеспечение, установленное в этом году на сервере ФГУП «ВНИИФТРИ» - [vniiftri.ru](http://vniiftri.ru), с учетом обновления интерпретатора PHP;
- все страницы сайта перекодированы в «UTF-8 без BOM», также сделана «версия для печати», что соответствует общепринятым нормам Интернет и создает дополнительные удобства для пользователей;
- внутренняя (программная) структура сайта частично скорректирована с учетом требований SEO для лучшего взаимодействия с поисковыми системами.

Бюллетени ГМЦ ГСВЧ доступны по ftp протоколу по адресу <ftp://ftp.vniiftri.ru/>, на который также можно выйти через сайты ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ (рис. 25) и страницу ГМЦ ГСВЧ сайта ФГУП «ВНИИФТРИ» (<http://www.vniiftri.ru/index.php/ru/struct/gsvch>).

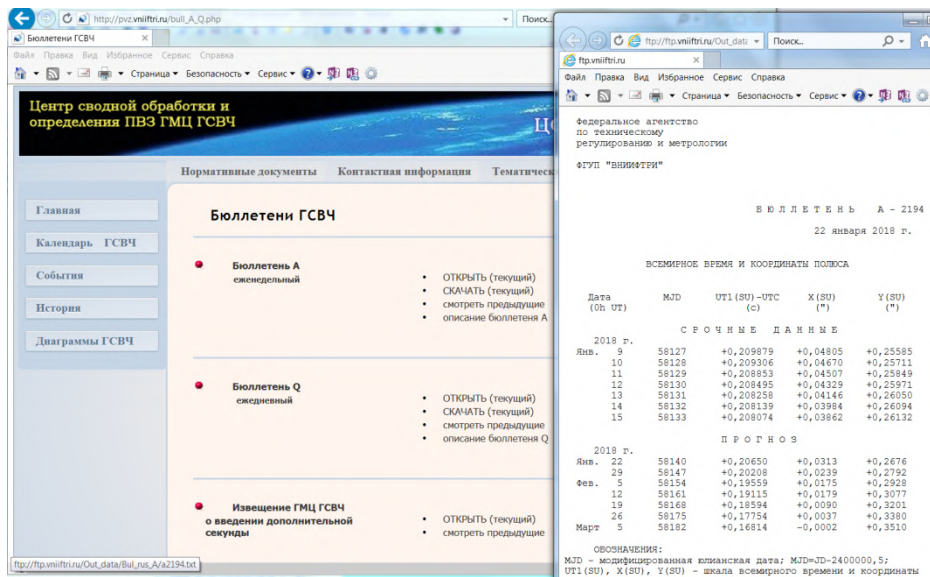


Рис. 25. Доступ к бюллетеням А через сайт ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ

### Заключение

Деятельность ГМЦ ГСВЧ, направленная на определение ПВЗ, в 2017 году, осуществлялась в соответствии с календарными планами и техническими заданиями на проведение работ. Все работы выполнены в срок и на высоком научно-техническом уровне. Совершенствование аппаратно-программных средств ГМЦ ГСВЧ в 2017 году было направлено на повышение точности и оперативности данных о ПВЗ.

Значения ПВЗ по результатам совместной математической обработки фазовых измерений сигналов GPS/ГЛОНАСС, измерений РСДБ и лазерной локализации ИСЗ Лагеос, были вычислены и доведены до потребителей с заданной точностью, периодичностью и оперативностью.

### Литература

1. Блинов И.Ю., Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли как основа фундаментального сегмента ГЛОНАСС, Труды ИПА РАН, вып. 23, 36–40.
2. Блинов И.Ю. О Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли и направлениях ее развития// Экономика качества, № 2(10), 2015 ([http://eq-journal.ru/archive/2015/номер-2\(10\)/номер-посвящен-90-летию-росстандарта/st-10-8.html](http://eq-journal.ru/archive/2015/номер-2(10)/номер-посвящен-90-летию-росстандарта/st-10-8.html), электронный журнал).
3. Кауфман М.Б. Точные методы измерения параметров вращения Земли в интересах навигационно-временных определений- Точные измерения для высоких технологий. Монография– Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ» 2008, 80 –118.
4. Bezmenov I.V., Pasynok S.L. GLONASS orbit\clock combination in VNIIFTRI, Proceedings of the Journées 2014 "Systemes de reference spatio-temporels", Z. Malkin and N. Capitaine (eds), Pulkovo observatory, 2015, ISBN 978-5-9651-0873-2 & ISBN 978-2-901057-70-3, pp. 215-216.
5. Beutler G., Kouba J. and T. Springer, 1995, Combining the orbits of the IGS Analysis Centers, Bulletin Geodesique, 69, pp. 200-222.
6. Игнатенко И.Ю., Жестков А.Г., Шлегель В.Р., Емельянов В.А., Метрологические аспекты лазерно-локационных измерений, Метрология времени и пространства. Материалы VIII Международного симпозиума. Сборник тезисов докладов, ISBN 978-5-903232-63-5, 14-16 сентября 2016 г., г. Санкт-Петербург.-Менделеево: ФГУП "ВНИИФТРИ", 2016, стр. 192.
7. Отчёт по теме «Осуществление мероприятий по обеспечению непрерывного функционирования пункта метрологического контроля ГСВЧ Восточно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» в 2017 году», г. Иркутск, 2017 г.
8. Bernese GPS Software. Version 5.0. // Univ. of Bern, 2006.
9. Bezmenov I.V., Pasynok S.L. GLONASS orbit\clock combination in VNIIFTRI, Proceedings of the Journées 2014 "Systemes de reference spatio-temporels", Z. Malkin and N. Capitaine (eds), Pulkovo observatory, 2015, ISBN 978-5-9651-0873-2 & ISBN 978-2-901057-70-3, pp. 215-216.
10. Безменов И.В., С.Л. Пасынок, Оценка метрологических характеристик международных опорных значений параметров вращения Земли, Определение эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС в срочном режиме по данным измерений, Альманах современной метрологии, №11, 2017, ISSN 2313-8068, стр. 104-120.

11. Цыба Е.Н. Вычисление параметров вращения Земли по результатам спутниковой лазерной дальнометрии международной сети ILRS.- Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 32, 2015.
12. Titov O., V. Tesmer, J.Bohm (2001). OCCAM5.0 Users Guide, AUSLIG Technical Report 7, Canberra.
13. Пасынок С.Л. Вычисление ПВЗ по данным РСДБ-наблюдений в ГСВЧ, Тезисы докладов Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение», 11-15 апреля 2005 г., Санкт-Петербург, стр. 235.
14. Жаров В.Е. Основы радиоастрометрии, М: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2011, С. 208-224.
15. Жаров В.Е., Пасынок С.Л., Синёв А.Н., Определение параметров вращения Земли из РСДБ наблюдений с помощью программного комплекса «Ариадна», Тезисы докладов седьмой Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2017), 17-21 апреля 2017 г., стр. 123-124.