

Особенности мониторинга передачи времени через ГНСС в разных организациях

© П. П. Богданов, О. Е. Нечаева, А. Ю. Феоктистов

АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Рассмотрены особенности мониторинга передачи времени через глобальные навигационные спутниковые системы в разных организациях, и представлены результаты мониторинга передачи системных шкал времени и шкалы координированного времени UTC через системы GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou в 2023–2024 гг.

Результаты получены на основе данных отделения времени Международного бюро весов и мер, главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли и обработки измерений временного приемника на пункте Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли в Новосибирске.

Полученные результаты показывают следующее:

— в системе GPS погрешности передачи системной шкалы времени и UTC потребителям в 2023–2024 гг. не превышали ± 5 нс;

— в системе ГЛОНАСС в 2023 г. сохранялась систематическая погрешность передачи системной шкалы времени и UTC потребителям в пределах 35–50 нс. После проведенной в начале 2024 г. коррекции погрешности передачи системной шкалы времени ГЛОНАСС и UTC, за исключением отдельных интервалов, не превышали ± 10 нс;

— в системе Galileo погрешности передачи системной шкалы времени и UTC потребителям в 2023–2024 гг., за исключением отдельных интервалов, как правило, не превышали ± 5 нс;

— в системе BeiDou погрешности передачи системной шкалы времени и UTC в 2023–2024 гг. не превышали 10 нс.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, космический аппарат, шкала времени, шкала координированного времени, центральный синхронизатор.

Контакты для связи: Богданов Петр Петрович (pnvc@goz.ru).

Для цитирования: Богданов П. П., Нечаева О. Е., Феоктистов А. Ю. Особенности мониторинга передачи времени через ГНСС в разных организациях // Труды ИПА РАН. 2025. Вып. 75. С. 26–30.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.75.26-30>

Features of the Monitoring Time Broadcast Through GNSS in Various Organizations

P. P. Bogdanov, O. E. Nechaeva, A. Yu. Feoktistov

“Obukhov plant” JSC, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The paper considers the features of the monitoring time broadcast provided by Global Navigation Satellite Systems operated by various organizations. The monitoring results of system time scale and Universal Time Coordinated UTC broadcast through GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou in 2023–2024 are presented.

The results were obtained on the basis of data from the Time Department of the International Bureau of Weights and Measures, the Main Metrological Center of the State Time Service, Frequency and determination of the parameters of the Earth's rotation and processing of measurements of time receiver at the point of the State Time Service, Frequency and determination of the Earth's rotation parameters in Novosibirsk.

The results obtained show the following:

— For GPS, the errors in the system time scale and UTC broadcast to users in 2023–2024 were within ± 5 ns;

— For GLONASS, systematic errors in the system time scale and UTC broadcast persisted in 2023, with values of the systematic errors ranging from 35 to 50 ns. After corrections implemented at the beginning of 2024, the errors of the system time scale and UTC broadcast to users were reduced to within ± 10 ns;

— For Galileo, errors in the system time scale and UTC broadcast to users in 2023–2024 mostly remained within ± 5 ns, except for some intervals where the accuracy of system time scale generation decreased;

— For BeiDou, the errors in the system time scale and UTC broadcast to users during 2023–2024 were within ± 10 ns.

Keywords: Global Navigation Satellite System, space vehicle, time scale, Universal Time Coordinated, central synchronizer.

Contacts: Petr P. Bogdanov (bogdanov_pp@goz.ru).

For citation: Bogdanov P. P., Nechaeva O. E., Feoktistov A. Yu. Features of monitoring time transmission through GNSS in various organizations // Transactions of IAA RAS. 2025. Vol. 75. P. 26–30.
<https://doi.org/10.32876/AplAstron.75.26-30>

Введение

ГНСС предназначены для высокоточного определения местоположения, скорости движения, а также времени сухопутных, морских, воздушных и других видов потребителей. Для этого осуществляется синхронизация излучаемых сигналов бортовой шкалы времени (ШВ) всех космических аппаратов (КА) относительно системной ШВ и системной ШВ относительно принятой опорной ШВ путем передачи в составе навигационных сигналов соответствующих поправок на взаимное расхождение ШВ. Как правило, в качестве опорной ШВ используется реализация шкалы координированного времени UTC(i), которая поддерживается с определенной точностью относительно международной шкалы координированного времени UTC. Тем самым, любой потребитель, оснащенный калиброванным приемником, имеет возможность получить шкалу UTC.

В работе рассмотрены особенности мониторинга передачи времени через ГНСС GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou в разных организациях и представлены результаты анализа передачи системных ШВ и UTC через ГНСС в 2023–2024 гг. Результаты получены на основе данных отделения времени Международного бюро весов и мер (BIPM), главного метрологического центра (ГМЦ) Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) и обработки измерений средств на пункте ГСВЧ в Новосибирске.

1. Организации, осуществляющие проведение мониторинга передачи времени через ГНСС

Мониторинг передачи времени через ГНСС основан на обработке измерений абсолютно калиброванных временных приемников, расположенных на пунктах (в лабораториях времени), ШВ которых UTC(k) поддерживается с высокой точностью относительно UTC ([Defraigne et al., 2023](#)):

$$[UTC - bUTC_{GNSS}] = [UTC(k) - GNSSt] + [GNSSt - bUTC_{GNSS}] + [UTC - UTC(k)],$$

где $[UTC - bUTC_{GNSS}]$ — разность между UTC и прогнозным значением UTC, передаваемым в составе навигационных сообщений КА ГНСС;

$[UTC(k) - GNSSt]$ — «измеренное» значение разности между UTC и системной ШВ ГНСС;

$[GNSSt - bUTC_{GNSS}]$ — прогнозное значение разности между системной ШВ ГНСС и UTC(k);

$[UTC - UTC(k)]$ — расхождение UTC(k) относительно UTC.

Обработка измерений временных приемников осуществляется в соответствии с техническими директивами ([Allan, Thomas, 1994](#)); ([Defraigne, Petit, 2015](#)).

В настоящее время мониторинг передачи времени через ГНСС официально осуществляется следующими организациями:

— отделением времени Международного бюро весов и мер (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM);

— Главным метрологическим центром Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ).

В Институте радионавигации и времени (ИРВ) АО «Обуховский завод» мониторинг передачи времени через ГНСС осуществляется в рамках выполнения работ по анализу функционирования модернизированной системы синхронизации системы ГЛОНАСС в процессе опытной эксплуатации.

2. Проведение мониторинга передачи времени через ГНСС в BIPM

До мая 2024 г. в BIPM осуществлялся только мониторинг передачи времени через системы GPS на основе двухчастотных измерений по сигналам высокой точности (тип измерений L3P) приемника Z-XI3T в Парижской обсерватории (OP) и ГЛОНАСС на основе одночастотных измерений по сигналу высокой точности (тип измерений L1P) приемника TTS-3 в астрогеодинамической обсерватории (AOS) в Польше. С мая 2024 г. в BIPM проводится также мониторинг передачи времени через системы Galileo и BeiDou. При этом мониторинг передачи времени через все ГНСС стал реализовываться на основе нового подхода с использованием измерений калиброванных двухчастотных приемников по сигналам высокой точности в нескольких выбранных лабораториях времени по всему миру ([Defraigne, 2023](#)).

Результаты представлены на сайте BIPM в виде файлов utcgnss, содержащих следующие данные ([BIPM, 2025](#)):

— $[UTC - GNSSt]$ — «измеренное» значение разности между UTC и системной ШВ ГНСС, (среднее значение результатов измерений разности в данные сутки), т. е. погрешность передачи системной ШВ ГНСС относительно UTC;

— $[UTC - bUTC_{GNSS}]$ — разность между UTC и прогнозным значением UTC, передаваемым КА ГНСС, т. е. погрешность передачи UTC через ГНСС;

— $[Sigma]$ — месячная оценка СКО результатов измерений разности.

3. Проведение мониторинга передачи времени в ГМЦ ГСВЧ

В ГМЦ ГСВЧ мониторинг передачи времени через ГЛОНАСС и GPS в 2023–2024 гг. продолжал осуществляться на основе одночастотных измерений по сигналам стандартной точности (тип измерений L1C) приемника GTR51 на Государственном эталоне времени и частоты (ГЭВЧ).

Результаты представлялись в виде Бюллетеня З, включающего следующие данные ([ВНИИФТРИ, BULLETINS, 2025](#)):

— $[UTC(SU) - T(GPS)]$ — измеренное значение разности между UTC(SU) и системной ШВ GPS (среднее значение результатов измерений разности в данные сутки), т. е. погрешность передачи системной ШВ GPS относительно UTC(SU);

— $[UTC(SU) - UTC(USNO)_{GPS}]$ — разность между UTC(SU) и прогнозным значением UTC(USNO), передаваемым КА GPS, т. е. погрешность передачи UTC(USNO) через GPS;

— $[StDev]$ — суточная оценка СКО выборки $UTC(SU) - T(GPS)$ за данные сутки;

— $[UTC(SU) - T(GLO)]$ — измеренное значение разности между UTC(SU) и системной ШВ ГЛОНАСС (СКО результатов измерений разности в данные сутки), т. е. погрешность передачи системной ШВ ГЛОНАСС относительно UTC(SU);

— $[UTC(SU) - UTC(SU)_{GLO}]$ — разность между UTC(SU) и прогнозным значением UTC(SU), передаваемым КА ГЛОНАСС, т. е. погрешность передачи UTC(SU) через ГЛОНАСС;

— $[StDev]$ — суточная оценка выборки СКО $UTC(SU) - T(ГЛОНАСС)$ за данные сутки.

4. Проведение мониторинга передачи времени в Институте радионавигации и времени

В ИРВ для мониторинга передачи времени через систему ГЛОНАСС, а также системы GPS, Galileo и BeiDou используются результаты обработки одночастотных измерений по сигналам стандартной точности (тип измерений L1C, L1C, E1 и B1i) и двухчастотных измерений по сигналам высокой точности (тип измерений L3P, L3P, L3E и L3V) приемника GTR55 на пункте ГСВЧ в Новосибирске (Nm), доступные на сайте ФГУП «ВНИИФТРИ» ([ВНИИФТРИ, Atomic Time, 2025](#)).

Результаты формируются аналогично данным ГМЦ ГСВЧ.

5. Анализ результатов мониторинга передачи времени через ГНСС

Результаты мониторинга передачи времени через систему GPS в 2023–2024 гг. в разных организациях в виде зависимостей погрешности передачи системной ШВ и UTC представлены на рис. 1а и рис. 1б, через систему ГЛОНАСС — на рис. 2а и рис. 2б, через систему Galileo — на рис. 3а и рис. 3б и через систему BeiDou — на рис. 4а и рис. 4б.

Анализ полученных результатов показывает следующее. В системе GPS погрешности передачи системной ШВ и UTC потребителям в 2023–2024 гг. не превышали ± 5 нс. Некоторое отличие результатов по данным ВИРМ, ГМЦ ГСВЧ и ИРВ объясняется тем, что в качестве исходных данных используются разные типы измерений. Кроме того, в ГМЦ ГСВЧ и в ИРВ не учитывается расхождение UTC(SU) и UTC(Nm) относительно UTC.

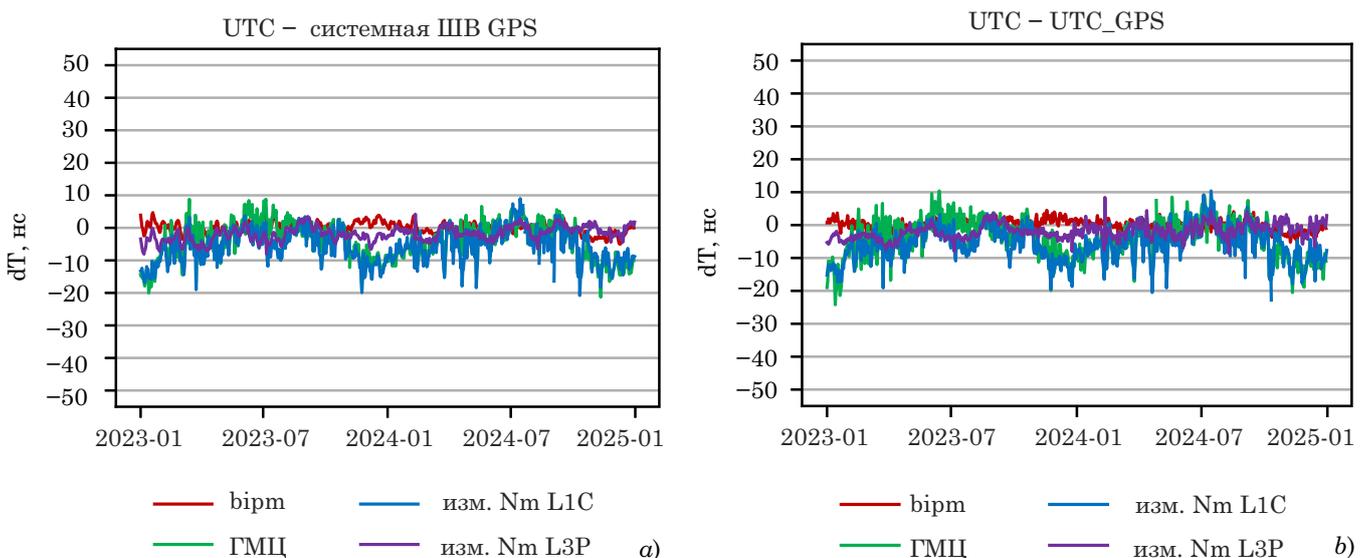


Рис. 1. Зависимости результатов мониторинга а) передачи системной ШВ через систему GPS) и б) передачи UTC через систему GPS

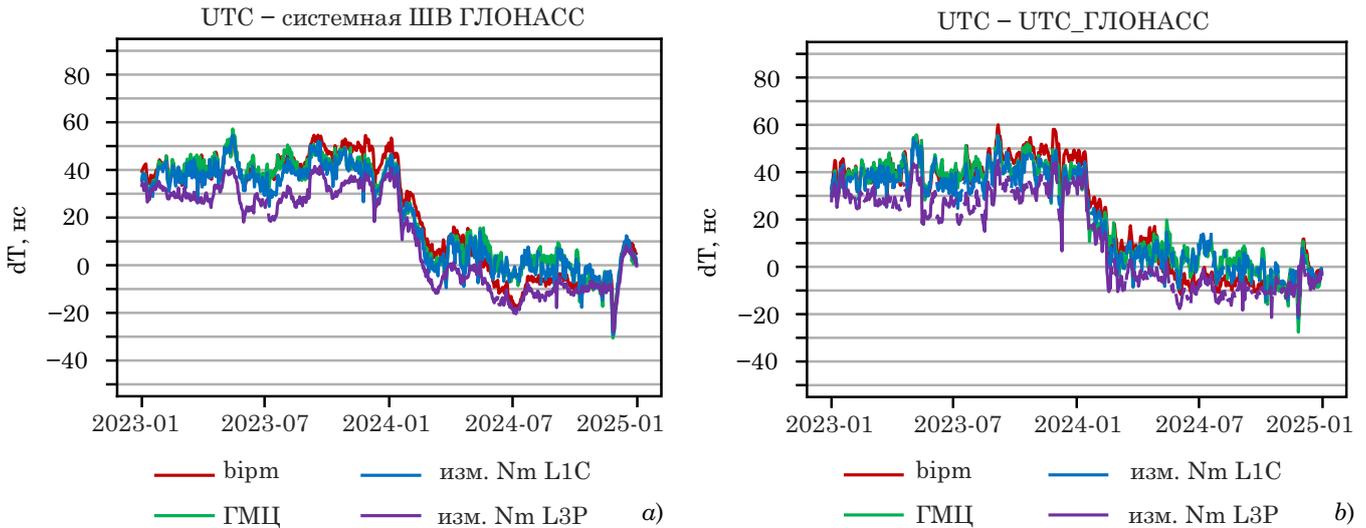


Рис. 2. Зависимости результатов мониторинга а) передачи системной ШВ через систему ГЛОНАСС и б) передачи UTC через систему ГЛОНАСС

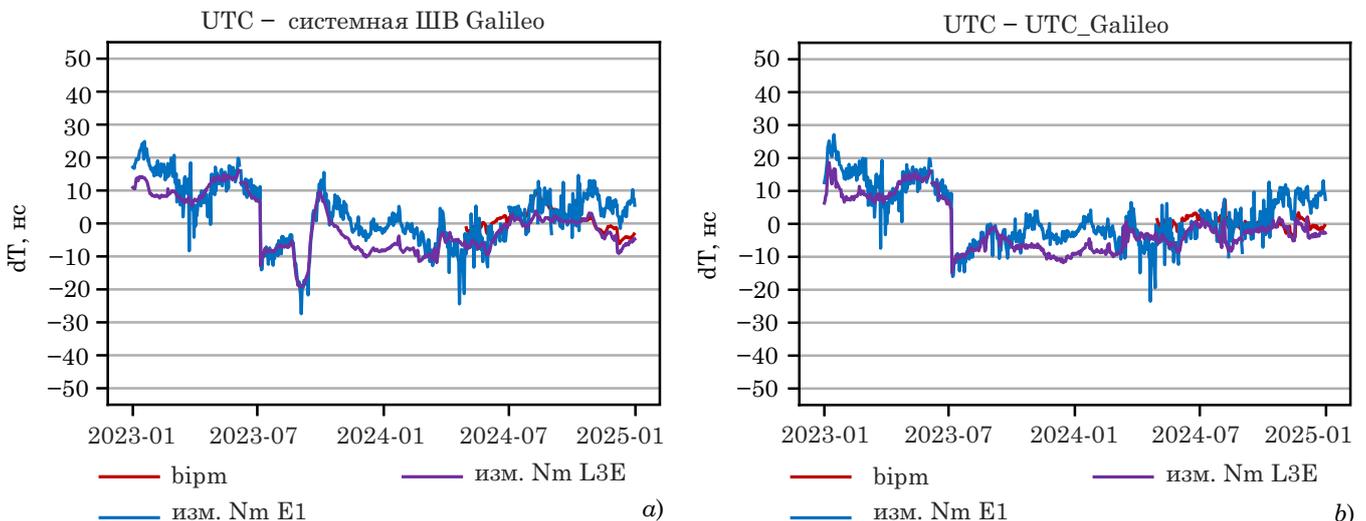


Рис. 3. Зависимости результатов мониторинга а) передачи системной ШВ через систему Galileo и б) передачи UTC через систему Galileo

В системе ГЛОНАСС в течение 2023 г. сохранялась систематическая погрешность передачи системной ШВ и UTC потребителям в пределах 35–50 нс. С целью исключения этой погрешности в начале 2024 г. была проведена поэтапная коррекция относительной задержки между внутренней ШВ опорного измерительного средства системы и ШВ центрального синхронизатора, на основе которой формируется системная ШВ ГЛОНАСС. Коррекция задержки проведена на интервале с 01.02.2024 по 05.03.2024 (по 1 нс каждые 3–4 суток). По результатам контроля установлено, что в дальнейшем на интервалах штатного функционирования ЦС погрешности передачи системной ШВ ГЛОНАСС и UTC не превышали ± 10 нс. Отличие результатов мониторинга по данным ВРМ, ГМЦ ГСВЧ и ИРВ объясняется также использованием разных типов измерений в качестве исходных данных и отсутствием учета в ГМЦ ГСВЧ

и ИРВ данных о расхождении UTC(SU) и UTC(Nm) относительно UTC.

В системе Galileo в 2023–2024 гг. наблюдалось ухудшение точности формирования системной ШВ на отдельных интервалах (с 25.08.2023 по 26.10.2023 и с 11.03.2024 по 20.03.2024) до ± 10 нс. При этом погрешность передачи времени UTC потребителям не превышала ± 5 нс. Некоторое отличие результатов мониторинга по данным ВРМ и по измерениям на пункте ГСВЧ в Новосибирске объясняется тем, что используемый на пункте приемник не является абсолютно калиброванным.

В системе BeiDou погрешности передачи системной ШВ и UTC потребителям в 2023–2024 гг. не превышали ± 10 нс. Отличие результатов мониторинга по данным ВРМ и по измерениям на пункте ГСВЧ в Новосибирске объясняется также недостаточной калибровкой приемника.

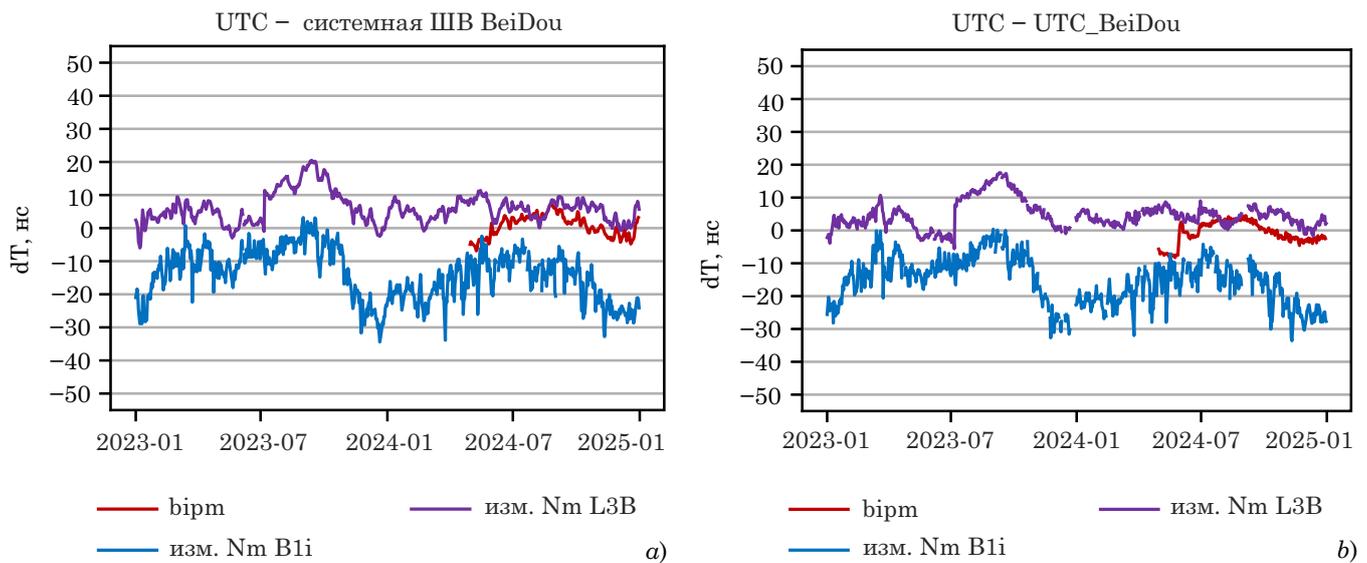


Рис. 4. Зависимости результатов мониторинга а) передачи системной ШВ через систему BeiDou и б) передачи UTC через систему BeiDou

Заключение

Полученные результаты показывают, что погрешности передачи системной ШВ и UTC через ГНСС GPS, ГЛОНАСС, Galileo и Beidou в 2023–2024 гг., как правило, не превышали $\pm(5\text{--}10)$ нс.

Различие результатов мониторинга передачи времени через ГНСС по данным разных организаций обусловлено, в первую очередь, использованием разных типов измерений и методик обработки измерений, а также недостаточной калибровки приемников.

В связи с этим представляется целесообразным согласование технологии мониторинга передачи времени через ГНСС, в первую очередь между ВРМ и ГМЦ ГСВЧ.

Литература

Allan D., Thomas C. Technical directives for standardization on gps time receiver software // Metrologia. 1994. 31. P. 69–79.

Defraigne P., Petit G. CGGTTS-V2E: an extended standard for GNSS time transfer // Metrologia. 2015. 52 (6) G1. 22 p. Doi: 10.1088/0026-1394/52/6/G1.

Defraigne P., Pinat E., Petit G., Meynadier F. Monitoring of the offset between UTC and its prediction broadcast by the GNSS // Metrologia. 60. 2023. Doi: 10.1088/1681-7575/ad0562.

Международное бюро весов и мер [Электронный ресурс]. URL: <ftp://bipm.org/> (дата обращения: 20.11.2025).

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений [Электронный ресурс]. URL: <ftp://ftp.vniiftri.ru/BULLETINS/Z/> (дата обращения: 20.11.2025).

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений [Электронный ресурс]. URL: <ftp://ftp.vniiftri.ru/AtomicTime/Nm/scales/> (дата обращения: 20.11.2025).