

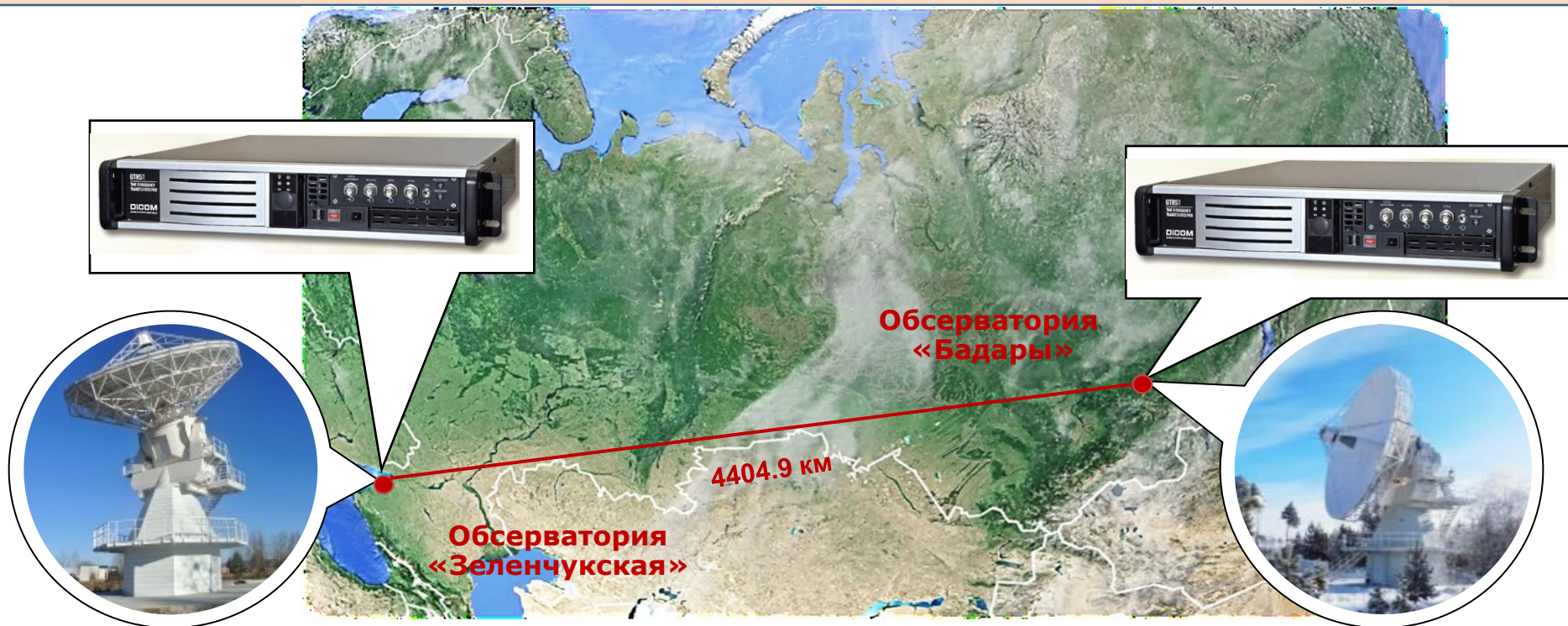
ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ШКАЛ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТ

А. А. Царук, Д. В. Иванов, Е.Т. Жуков, А.С. Карпичев

Институт прикладной астрономии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия



Сравнение шкал времени и частот обсерваторий РСДБ-комплекса «Квазар-КВО»



Приёмник сигналов времени и частоты ГНСС GTR51

Тип измерения: кодовый и по фазе несущей с привязкой на вход и выход 1 PPS

Точность:

Кодовое измерение:

< 0.5 нс (СКЗ) (данные CGGTTS, общ. представл. короткого базиса, GPS, GALILEO, ГЛОНАСС)

Радиотелескоп РТ-13

Время работы	1 час 3-4 раза в сутки
Диаметр антенны	13,2 м
Частоты приема (ГГц)	2.2-2.6/ 7.0-9.5 / 28.0-34.0
Полоса регистрации	8 x 512 МГц
Скорость записи	16 Гбит/с
Передача данных	e-РСДБ
Вносимая нестабильность частоты	<5·10 ⁻¹⁵ (1 час)

Применение радиоинтерферометра нового поколения для сличения шкал времени



Среднеквадратическая погрешность наблюдаемой (групповой) задержки между опорными точками радиотелескопов:

$$\sigma_{\tau} = SEFD / \eta S \sqrt{2 B_e T} (2 \pi B_e) = 4 \dots 27 \text{ нс}$$

SEFD – эквивалентная плотность потока шума системы

Диапазон	S (13 см)	X (3.5 см)	Ka (1 см)
Частота (ГГц)	2.2-2.6	7.0-9.5	28.0-34.0
SEFD (Ян)	1000	670	2100

T – интервал времени когерентного накопления (10-30 секунд)

η – коэффициент потерь в системе (0,6)

S -плотность потока излучения радиоисточника (0,49- 3,43 Ян)

B_e - эффективная ширина полосы наблюдений (512 МГц)

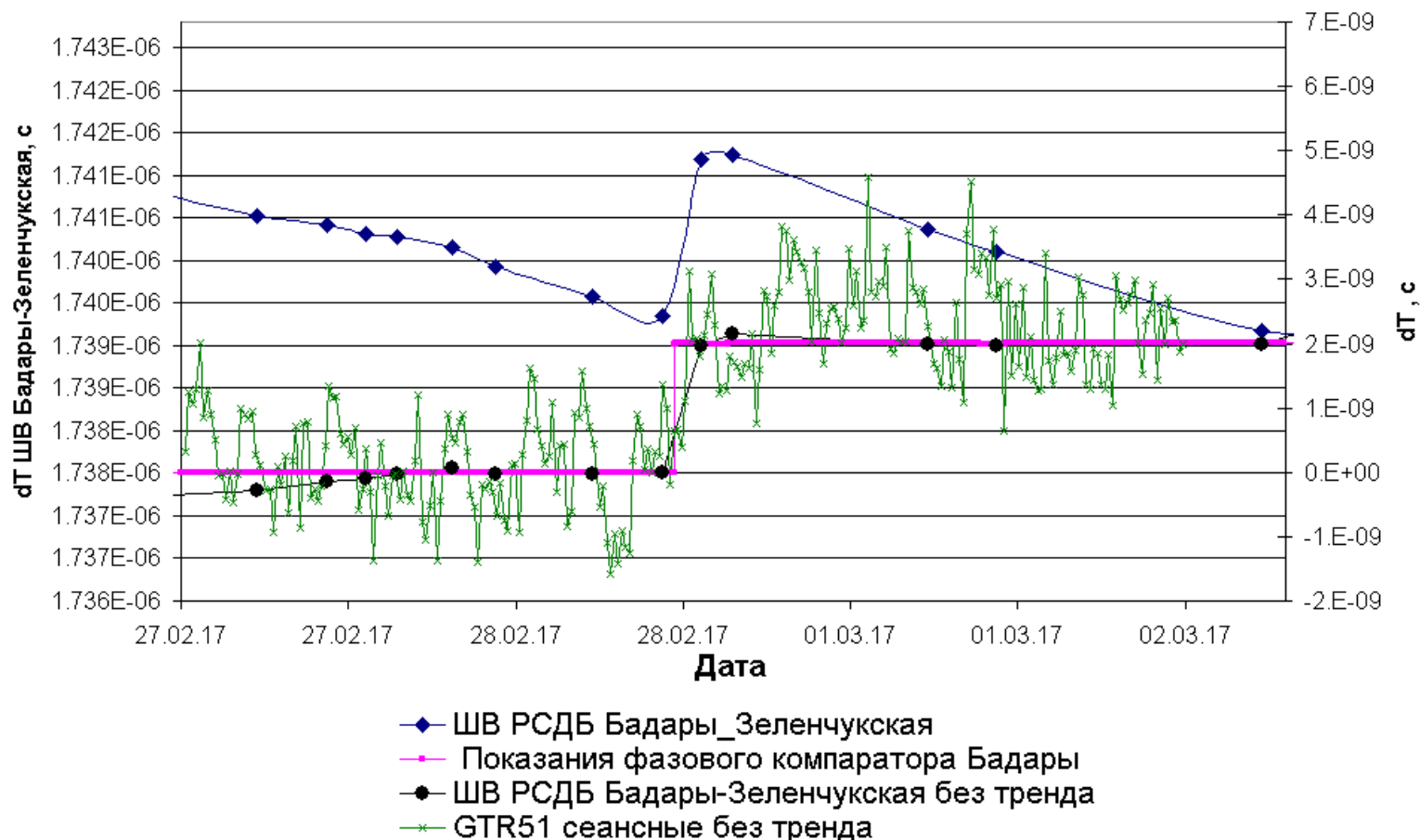
Суммарная точность модели в режиме вторичной обработки составляет порядка 3 мм, что соответствует 10 пс.



Измерение расхождения шкал времени при сдвиге фазы опорного сигнала в одной обсерватории



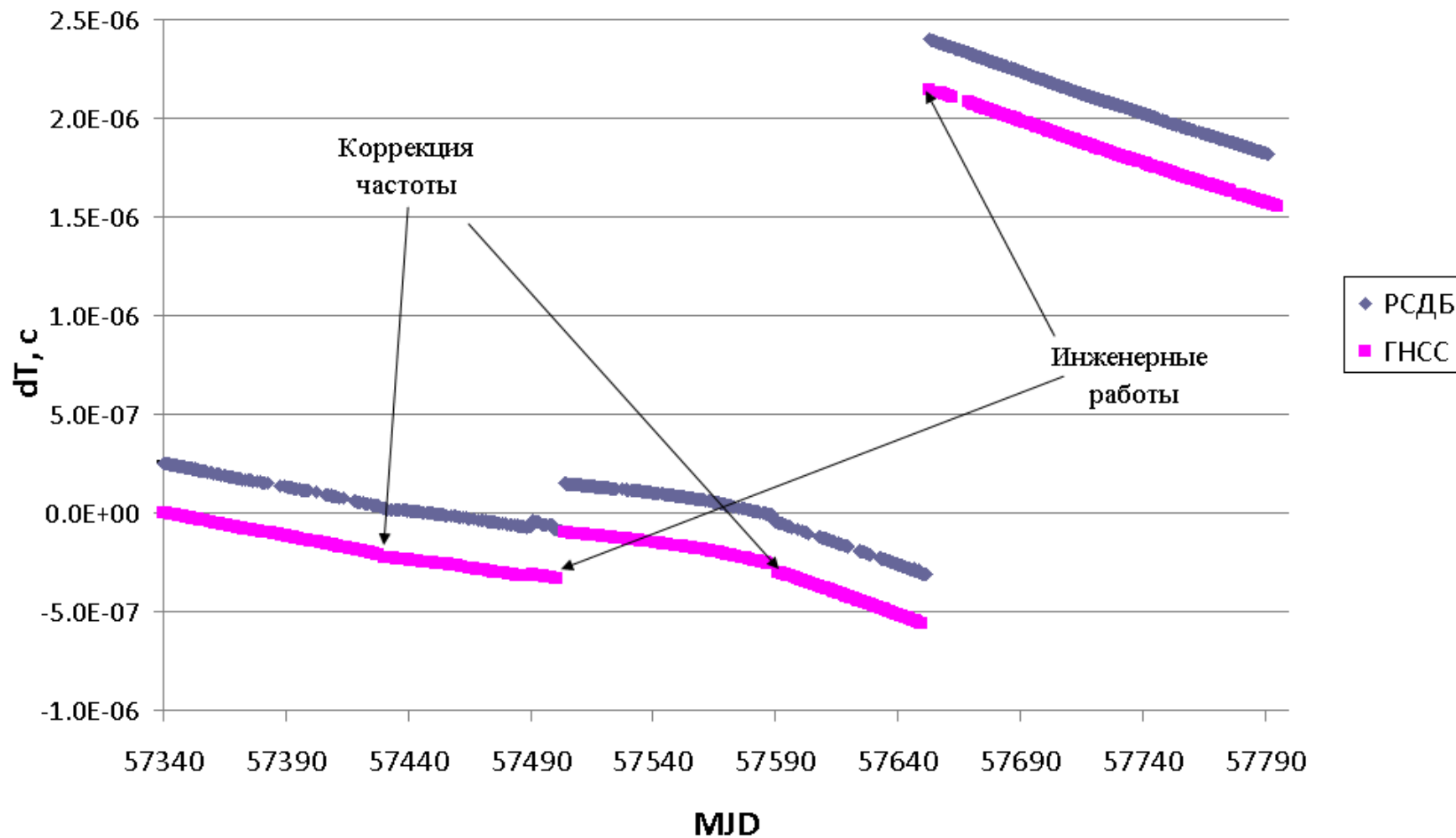
ШВ обсерватории Бадары была принудительно сдвинута на 2 нс между сеансами РСДБ-наблюдений R1059В и R1059С. Сдвиг шкалы зафиксирован на штатном фазовом компараторе обсерватории Бадары и при оценке данных расхождения ШВ обсерваторий



Расхождение шкал времени обсерваторий РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» с 13.11.2015 по 07.02.2017



Расхождение ШВ обсерваторий



Калибровка задержек в тракте передачи ШВ в РСДБ



Привязка расхождения шкал времени, получаемая метками РСДБ-наблюдений осуществляется к точке пересечения азимутальной и угломестной осей радиотелескопа.

Расхождение ШВ стандарта частоты и времени и ШВ Р

$$\Delta T_{\text{обсерватории}} = S_{\text{пересечения осей}} / c + t_{\text{каб}} + t_{\text{шспс}}$$

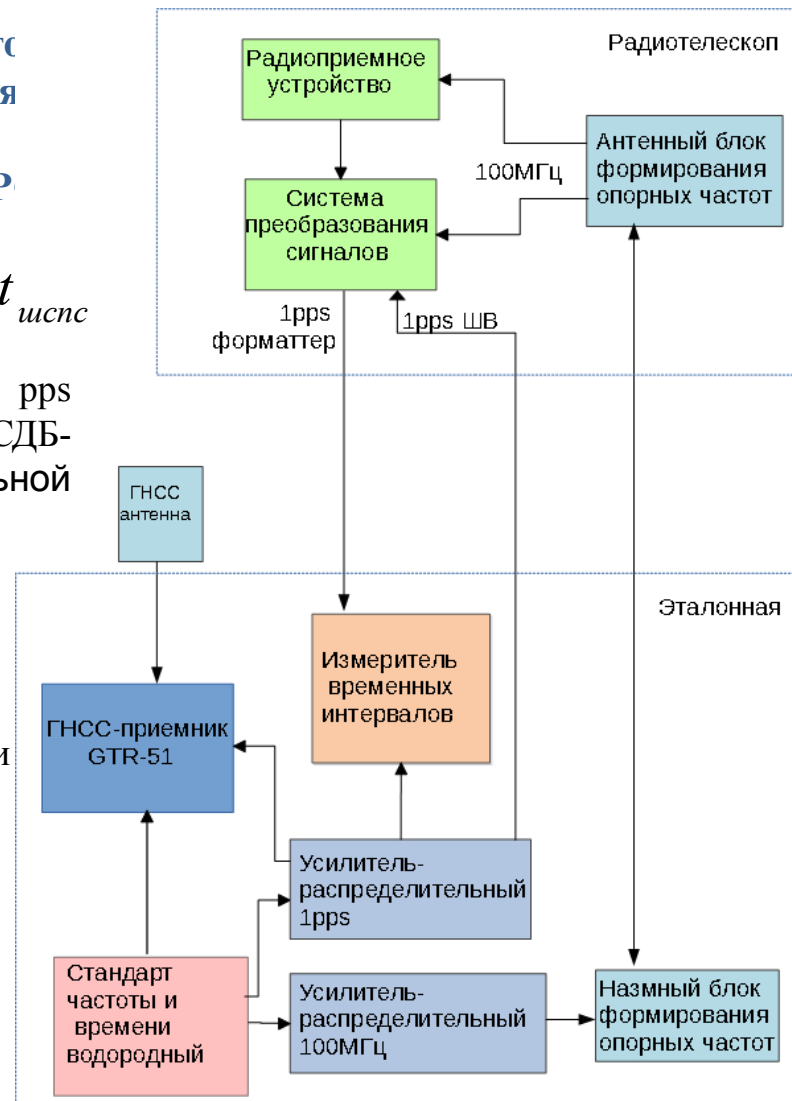
$S_{\text{пересечения осей}}$ - расстояние между разъёмом ШСПС (1 pps форматер), возвращающим секунду привязки РСДБ-наблюдений и точкой пересечения азимутальной и угломестной осей радиотелескопа.

Для антенн РТ-13 комплекса «КВАЗАР-КВО» составляет 2264мм.

c - скорость света

$t_{\text{каб}}$ - постоянная задержка в кабелях и устройствах при передаче внутри эталонной и УМ-кабины РТ-13

$t_{\text{шспс}}$ - величина, учитывающая задержку в ШСПС при формировании сигнала 1 Гц форматтера и изменяющуюся задержку в магистральных кабелях при передаче сигнала 1pps на РТ-13. Регистрируется на измерителе временных интервалов в эталонной.



Измерение задержки в ШСПС и магистральных кабелях

Agilent 53230A



Basic accuracy $\pm 12.8\text{ps}$

Задержки в кабелях и устройствах при передаче сигнала на РТ-13

Бадары = 573,1нс

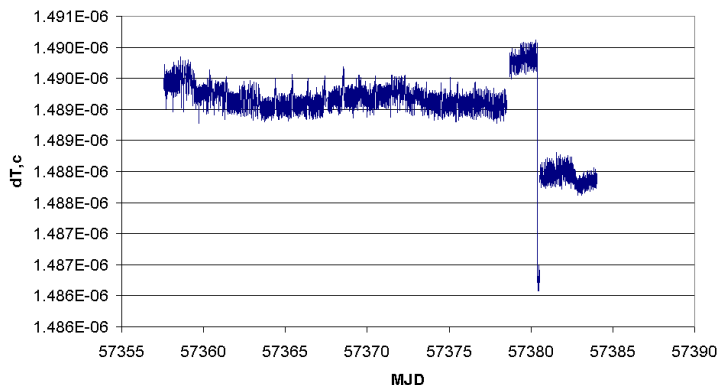
Зеленчукская = 811.3нс

Погрешность калибровки

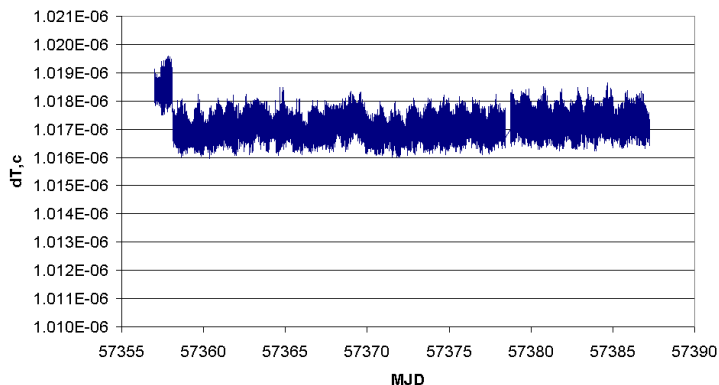
$$\delta_{\Delta T} = \sqrt{\delta_{\Delta T_Бадары}^2 + \delta_{\Delta T_Зеленчукская}^2} \leq 0,5\text{нс}$$

Погрешность калибровки тракта передачи 1pps в обсерваториях учитывает погрешности измерения всех кабелей и задержки в ШСПС

Зеленчукская ШСПС



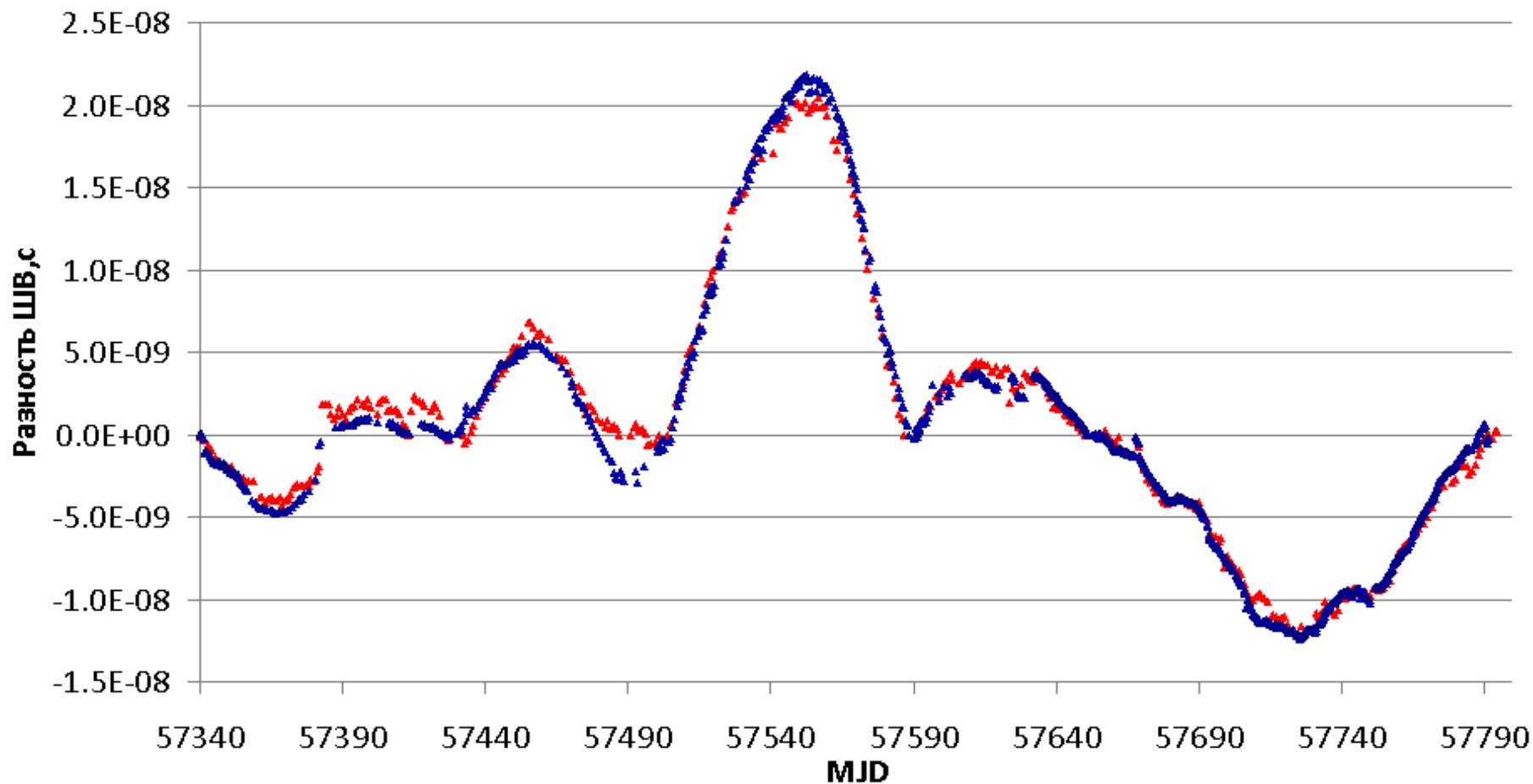
ШСПС Бадары



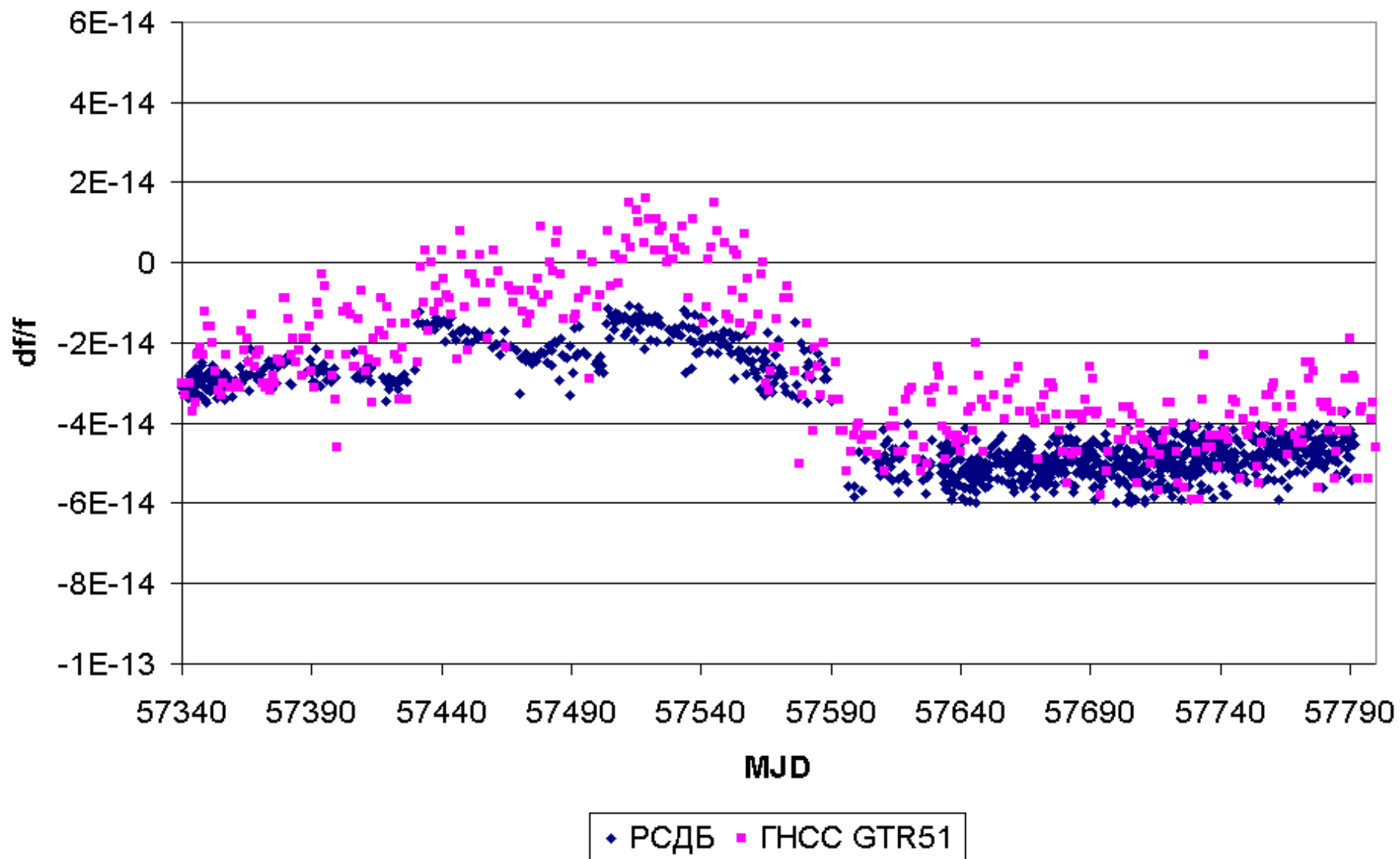
Расхождение шкал времени обсерваторий РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» с 13.11.2015 по 07.02.2017 с учетом калибровки задержек в тракте

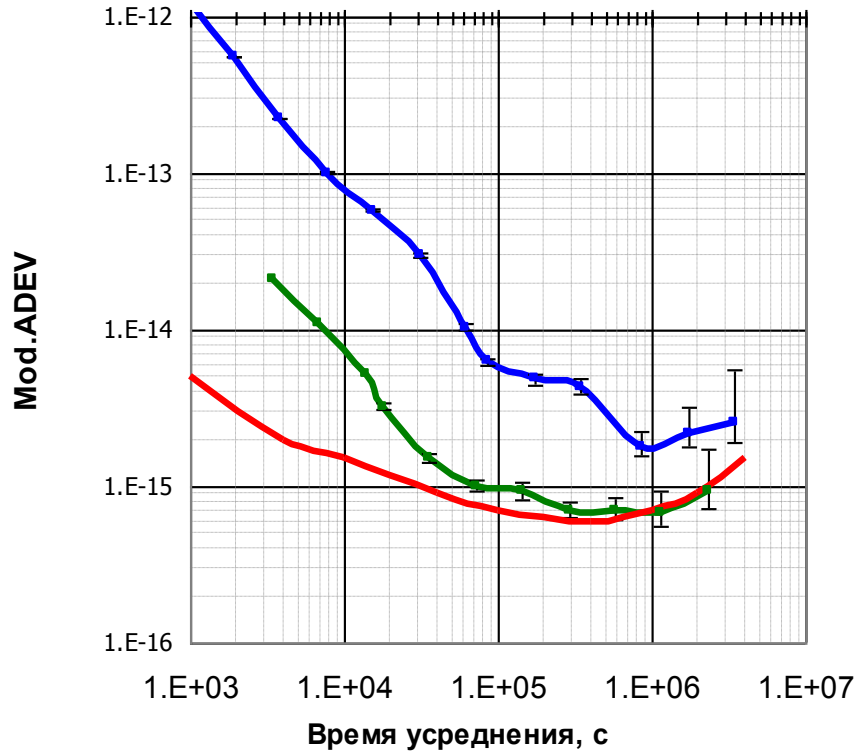


Разность ШВ Бадары-Зеленчукская

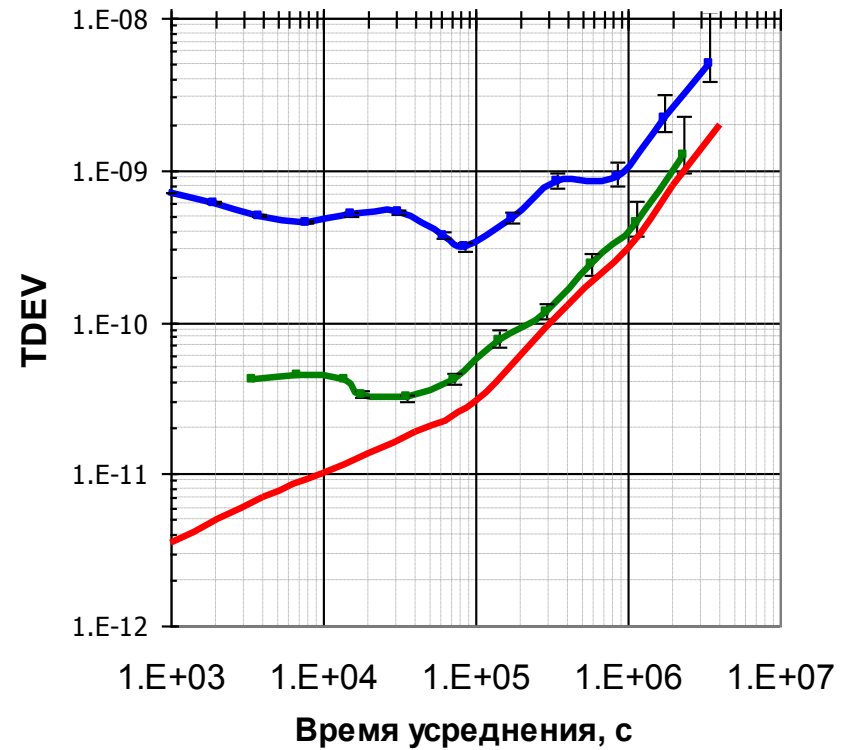


Результаты сличения частот обсерваторий Бадары и Зеленчукская РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» с 13.11.2015 по 07.02.2017



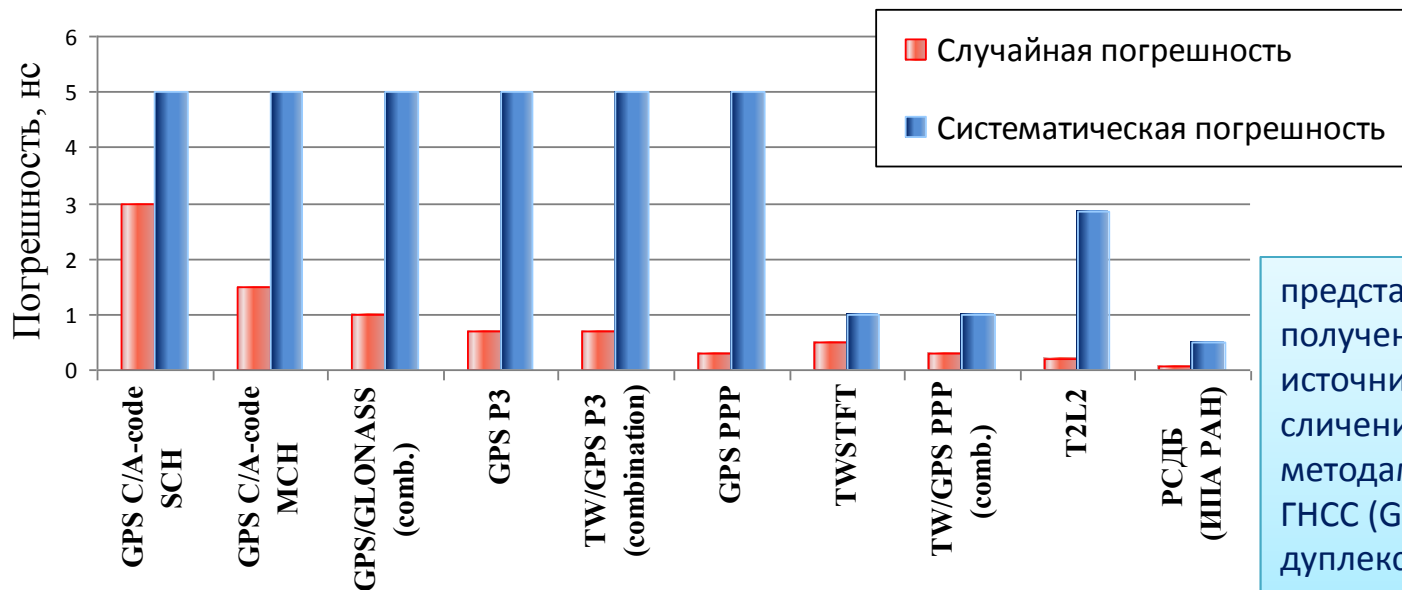


- ГНСС GTR51 Бадары-Зеленчукская
- РСДБ Бадары-Зеленчукская
- ВСЧВ 1003М



- ГНСС GTR51 Бадары-Зеленчукская
- РСДБ Бадары-Зеленчукская
- ВСЧВ 1003М

Точность современных методов сличения шкал времени



представлены данные, полученные из открытых источников по точности сличения ШВ различными методами такими, как ГНСС (GPS, ГЛОНАСС), дуплексный (TWSTFT), лазерная локация (T2L2) и РСДБ – наши данные.

Преимущества РСДБ метода сличения удалённых стандартов времени и частоты

Высокая точность сравнения ШВ (около 40 пикосекунд) и частот (порядка 10^{-15} на интервале усреднения более суток).

Оперативность - результаты сличений доступны через час после наблюдений

Большая дальность сличений - расстояние между радиотелескопами до 12 000 км

Наблюдение естественных радиоисточников - не используются сигналы ИСЗ

Спасибо!