

# Уточнение координат станций из комбинирования РСДБ, ГНСС и ЛЛС данных



С. Л. Курдубов, С. М. Миронова, И. С. Гаязов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

kurdubov@iaaras.ru

## Абстракт

С помощью программного пакета SINCom [1] выполнено комбинирование результатов наблюдений, представленных в формате SINEX, с целью уточнения координат станций РСДБ-, ГНСС- и ЛЛС-наблюдений. Собраны SINEX-файлы различных центров анализа, полученные из обработки РСДБ-, ГНСС- и ЛЛС-наблюдений после выпуска последней реализации Международной земной системы координат (ITRF2014). Использованы также SINEX-файлы, полученные в ИПА РАН из обработки РСДБ-данных с помощью программного пакета QUASAR [2]. Осуществлена проверка входных SINEX файлов и преобразование их к единым априорным значениям параметров вращения Земли. Недельные SINEX-файлы, формируемые по ЛЛС-наблюдениям, были преобразованы в суточные для последующего комбинирования с суточными SINEX-файлами по данным РСДБ и ГНСС. Данные о параметрах локальных связей различных наблюдательных инструментов на пунктах колокации преобразованы в SINEX формат и включены в комбинирование. В качестве априорных значений координат станций использованы данные из каталога ITRF2014. Выполнено комбинирование преобразованных SINEX файлов и созданы ряды координат станций, из анализа которых построен каталог координат станций на заданную эпоху. Произведено сравнение полученного каталога с каталогом ITRF2014, а также координат РСДБ-станций с координатами из глобального решения.

## Схема функционирования программного пакета SINCom

Программный пакет SINCom предназначен для комбинирования SINEX-файлов, содержащих результаты обработки наблюдений. Пакет основан на стандартизованном формате SINEX и позволяет получить сводное решение как по различным типам наблюдений (вертикальная схема), так и в рамках одной техники (горизонтальная схема). Схема функционирования программного комплекса SINCOM представлена на рис. 1. SINCOM позволяет выполнить анализ решений, выделение локальных параметров, фиксирование, удаление или введение новых параметров, использование дополнительных данных, формирование результата в формате SINEX.

Процесс обработки входных SINEX-файлов в программном комплексе комбинирования состоит из 8 этапов:

1. чтение и анализ конфигурационного файла;
2. анализ входных SINEX-файлов с проверкой соответствия стандарту SINEX;
3. удаление наложенных ограничений с использованием приведённых в SINEX-файлах матриц ограничений;
4. приведение к одной эпохе;
5. приведение к одинаковым априорным данным;
6. формирование общей нормальной системы с наложением необходимых ограничений;
7. решение системы;
8. формирование выходного SINEX-файла.

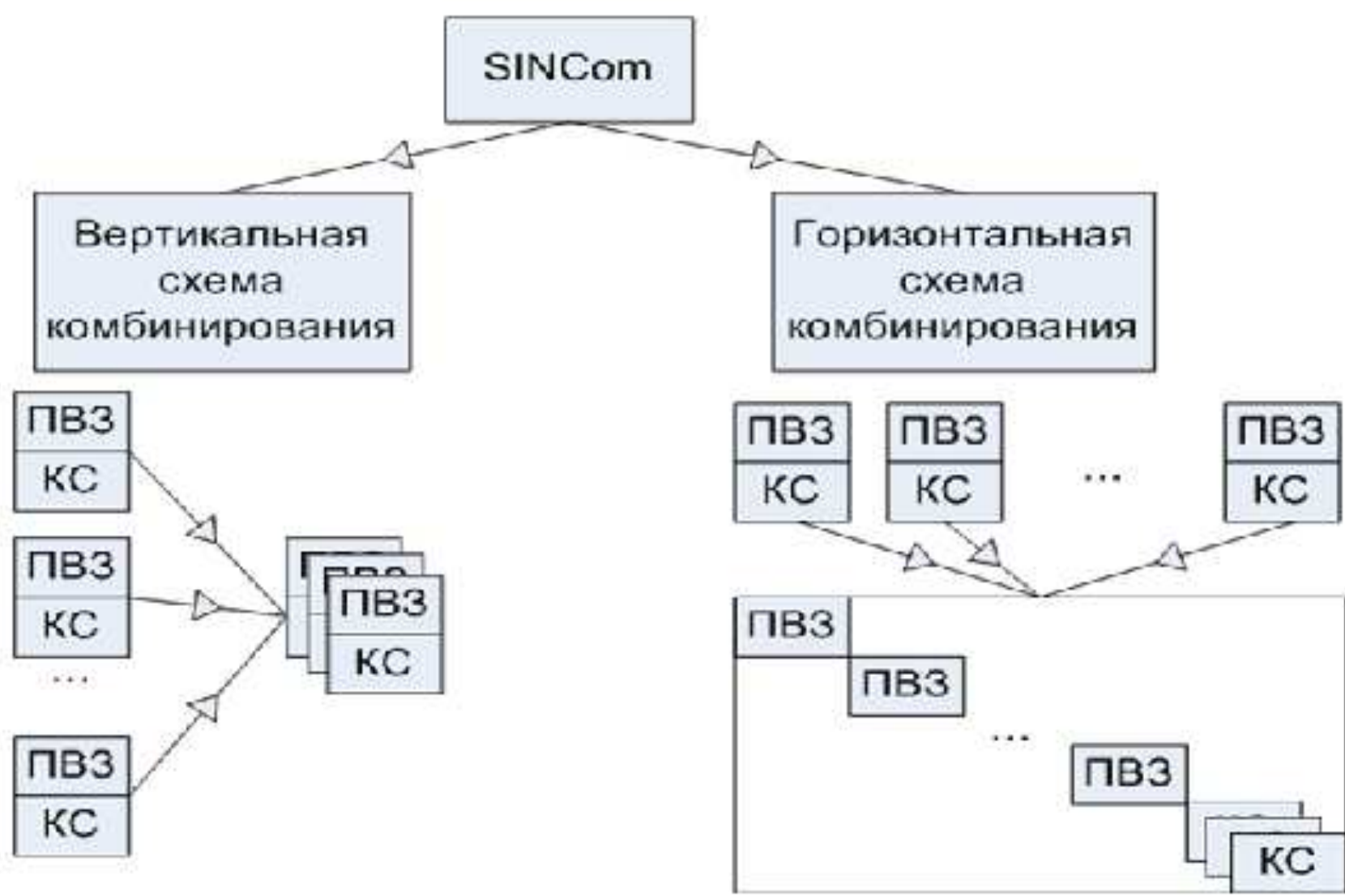


Рисунок 1. Схема функционирования программного комплекса SINCOM

## Результаты комбинирования

Рассматривалась задача уточнения координат РСДБ-, ГНСС- и ЛЛС-станций из комбинирования результатов обработки различных центров анализа. Результаты обработки представляются в формате SINEX-файлов, суточных для РСДБ и ГНСС техник, недельных для ЛЛС техники. Были скомбинированы SINEX-файлы за 2018 год, полученные центрами анализа ASI, BKG, GFZ, IAA (РСДБ); COD, ESA, JPL, MIT (ГНСС); ASI, ESA, GFZ (ЛЛС). Всего было скомбинировано 297 РСДБ, 1102 ГНСС и 1078 ЛЛС SINEX-файлов. Координаты 32 РСДБ станций, 476 ГНСС станций, 37 ЛЛС станций были уточнены.

Результаты комбинирования X,Y,Z координат станций Бадары, Зеленчукская, Светлое представлены на картинках 2, 3, 4. Поправки к координатам станций представлены в табл. 1.

Из анализа рис. 1-3 видно, что наибольший разброс имеют координаты ЛЛС станций. На картинках они изображены голубыми снежинками и имеют разброс порядка 0.05 м. Наиболее близки между собой координаты ГНСС станций. Они изображены красными кружочками и в среднем отстоят от априорных значений не более чем на 0.02 м. Разница между одиночными и комбинированными ГНСС координатами может быть объяснена различающимися эпохами, а также различными конфигурациями сетей станций. Результат комбинирования для ГНСС станций — оранжевые квадратики, в среднем располагается ближе к нулю по сравнению с некомбинированными данными ГНСС.

Согласно поправкам к координатам станций в табл. 1, уточнение априорных координат станций не превосходило нескольких мм. СКО отклонений координат станций также находится в пределах нескольких мм. СКО ГНСС станций оказались менее 1 мм. СКО ЛЛС станций несколько больше аналогичных значений для РСДБ станций и достигают порядка 1.5-2.5 мм.

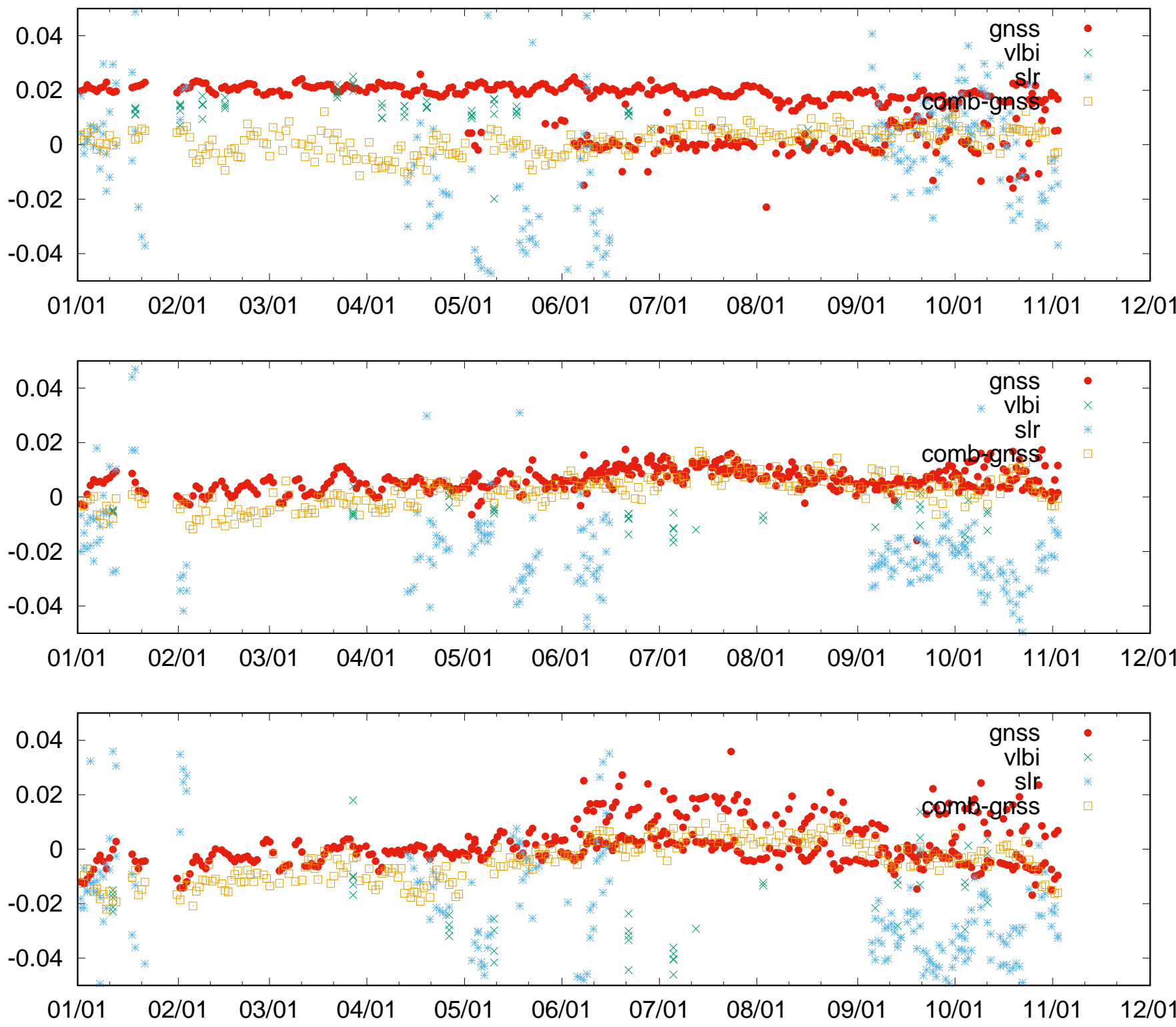


Рис. 1: Комбинирование за 2018 год X, Y, Z координат станции Бадары

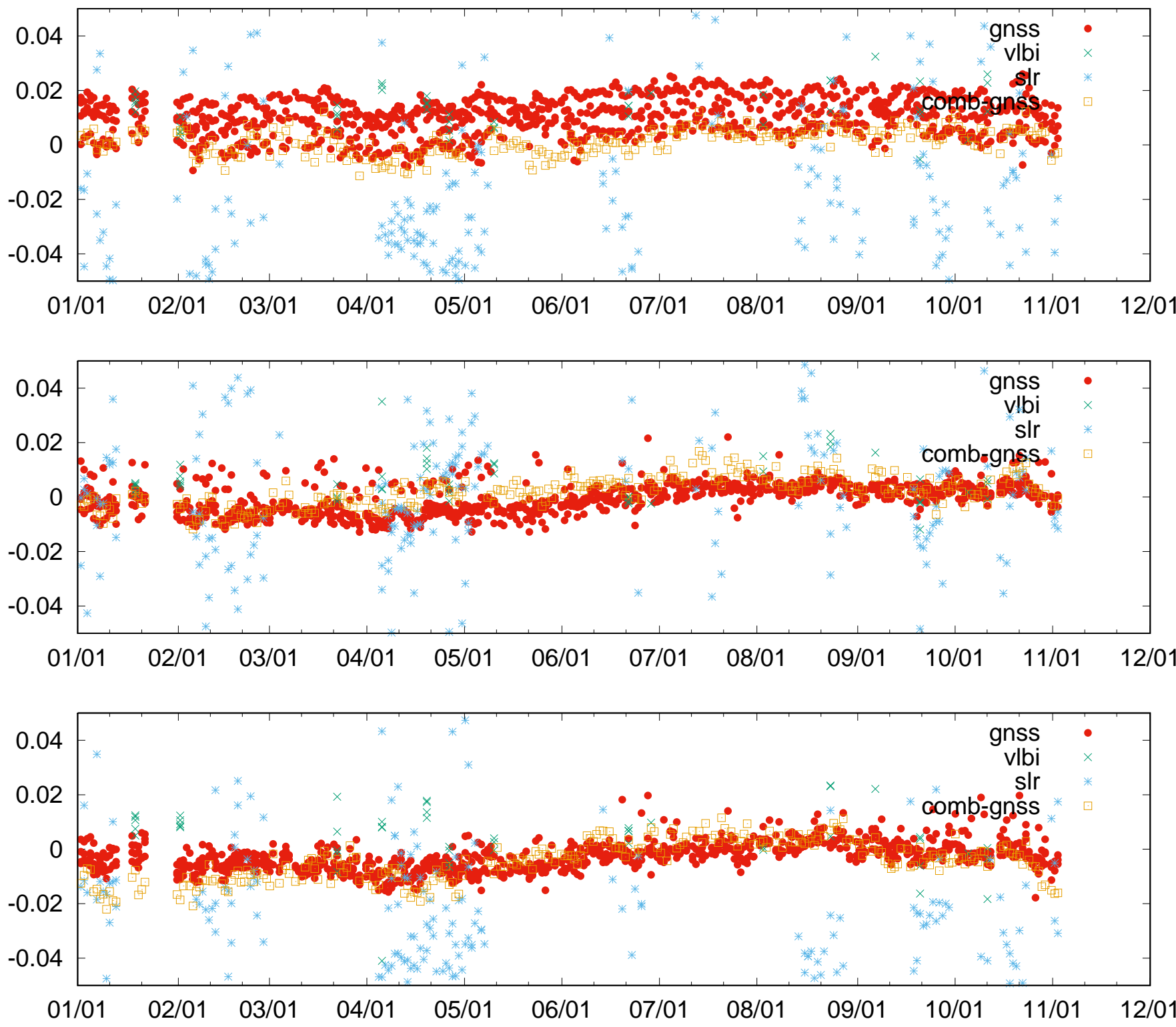


Рис. 2: Комбинирование за 2018 год X, Y, Z координат станции Зеленчукская

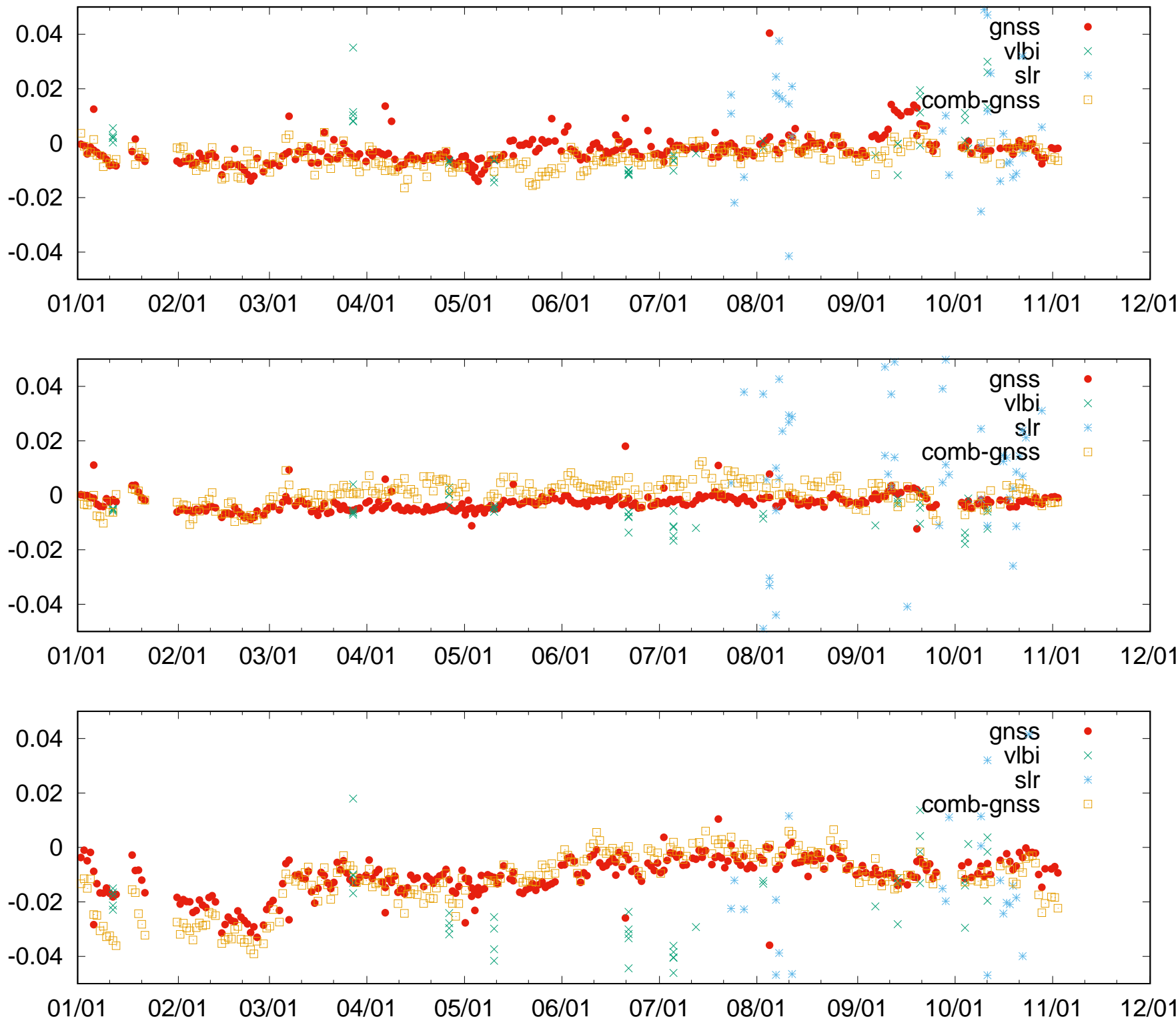


Рис. 3: Комбинирование за 2018 год X, Y, Z координат станции Светлое

Таблица 1: Поправки к априорным координатам станций Бадары, Зеленчукская, Светлое; каталог ITRF14

Техника	Станция	Координата	Среднее, мм	СКО, мм
РСДБ	Зеленчукская	X	1.33	0.74
РСДБ	Зеленчукская	Y	0.62	0.81
РСДБ	Зеленчукская	Z	0.45	1.09
РСДБ	Бадары	X	1.25	0.62
РСДБ	Бадары	Y	-0.04	0.56
РСДБ	Бадары	Z	0.66	1.06
РСДБ	Светлое	X	0.09	1.13
РСДБ	Светлое	Y	-0.65	0.49
РСДБ	Светлое	Z	-2.03	1.48
ГНСС	Зеленчукская	X	1.01	0.70
ГНСС	Зеленчукская	Y	-0.07	0.55
ГНСС	Зеленчукская	Z	-0.27	0.52
ГНСС	Бадары	X	1.33	0.96
ГНСС	Бадары	Y	0.63	0.41
ГНСС	Бадары	Z	0.19	0.82
ГНСС	Светлое	X	-0.23	0.54
ГНСС	Светлое	Y	-0.26	0.31
ГНСС	Светлое	Z	-1.06	0.72
С/ЛЛ	Зеленчукская	X	-1.72	2.54
С/ЛЛ	Зеленчукская	Y	0.01	2.18
С/ЛЛ	Зеленчукская	Z	-2.05	2.10
С/ЛЛ	Бадары	X	-0.45	2.10
С/ЛЛ	Бадары	Y	-1.98	1.42
С/ЛЛ	Бадары	Z	-2.19	1.88
С/ЛЛ	Светлое	X	0.64	2.04
С/ЛЛ	Светлое	Y	0.97	2.41
С/ЛЛ	Светлое	Z	-1.44	2.30

## Сравнение уточненных координат с ITRF2014 и с iaa2019a

Для сравнения уточненных из комбинирования координат были вычислены параметры Хельмерта (табл. 2, 3). Параметры Хельмерта были вычислены согласно одному из 7-параметрических преобразований Хельмерта (формула 1). В качестве координат  $X_1, Y_1, Z_1$  были взяты координаты из комбинирования РСДБ, ГНСС, ЛЛС станций, полученные путем осреднения с выбрасыванием отстоящих точек по критерию трех сигм. Координаты  $X_2, Y_2, Z_2$  — это координаты из каталога ITRF2014 либо iaa2019a (каталога станций, построенного из глобального уравнивания), приведенные на эпоху середины 2018 года. Во втором столбце табл. 2, 3 приведено количество общих станций, координаты которых отличались между собой не более чем на 0.1 м. В третьем столбце этих же таблиц приведено количество общих станций по двум каталогам.

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 & +R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & +R_x \\ +R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $X_1, Y_1, Z_1$  — координаты станций из первого каталога;  $X_2, Y_2, Z_2$  — координаты станций из второго каталога;  $R_x, R_y, R_z$  — параметры, отвечающие за поворот вокруг осей  $X, Y, Z$ ;  $dX, dY, dZ$  — параметры, отвечающие за смещение по осям  $X, Y, Z$ ;  $M$  — масштаб.

Таблица 2: Параметры Хельмерта  $dX, dY, dZ$

каталог	станции	общие	$dX$ , мм	$dY$ , мм	$dZ$ , мм
ITRF2014	474	549	-0.138	0.126	0.068
ITRF2014 VLBI	10	32	0.612	2.157	-6.446
iaa2019a	10	41	0.761	2.254	-6.579
ITRF2014 GNSS	428	476	0.152	-0.269	-0.088
ITRF2014 SLR	36	37	-4.558	7.153	6.436

Таблица 3: Параметры Хельмерта  $R_x, R_y, R_z, M$

каталог	станции	общие	$R_x$ , мкс	$R_y$ , мкс	$R_z$ , мкс	$M$
ITRF2014	474	549	1.23	1.34	-9.94	7.6e-10
ITRF2014 VLBI	10	32	-239.67	-314.08	-204.37	-7.1e-09
iaa2019a	10	41	-239.98	-310.35	-204.53	-6.8e-09
ITRF2014 GNSS	428	476	2.81	-1.72	0.10	-6.6e-11
ITRF2014 SLR	36	37	50.30	37.77	27.99	-4.7e-09

## Заключение

Произведено комбинирование РСДБ, ГНСС, ЛЛС SINEX-файлов за 2018 год. Выполнено сравнение уточненного из комбинирования каталога с текущей версией земной системы координат и с каталогом станций, уточненным из глобального уравнивания РСДБ наблюдений.

## Список литературы

1. Гаязов И. С., Губанов В. С., Братцева О. А., Курдубов С. Л. Разработка программных средств совместной обработки различных типов наблюдений // Труды ИПА РАН, вып. 23, 136–141 (2012).
2. Губанов В. С., Курдубов С. Л., Суркис И. Ф. Новая версия пакета QUASAR для обработки РСДБ-наблюдений // Труды ИПА РАН, вып. 16, 61–83 (2007).