

**О. А. Хода**

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

## ОБРАБОТКА ЭТАЛОННОЙ ТЕСТОВОЙ КАМПАНИИ EPN В ЦЕНТРЕ АНАЛИЗА ГНСС-ДАННЫХ ГАО НАН УКРАИНЫ

---

У Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України було оброблено еталонну тестову кампанію EPN за допомогою програмного комплексу «Bernese GPS Software ver. 5.0». Показано, що комбінований розв'язок еталонної тестової кампаниї покращується при включені до нього розв'язку ГАО НАН України.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Начиная с октября 2003 г. в Центре анализа ГНСС-данных Главной астрономической обсерватории НАН Украины (ГАО) проводится регулярная обработка наблюдений, полученных на восточноевропейских перманентных ГНСС-станциях. Естественно, возникает вопрос о качестве выполненной обработки. Долгое время одним из критериев качества было сравнение полученного решения с комбинированным решением Европейской перманентной ГНСС-сети (EPN) путём определения параметров преобразования Гельмерта между этими двумя решениями.

Понятно, что этот способ не идеален, так как сравниваемые решения включали в себя разное количество перманентных станций, покрывающих разные по площади территории. Кроме того, для задания системы координат использовались различающиеся наборы референцных станций.

Эталонная тестовая кампания EPN позволяет избежать вышеназванных проблем. Идея эталонной тестовой кампании появилась на Рабочей встрече центров анализа ГНСС-данных EPN в г. Варшаве (ноябрь 2010 г.) [7]. Каждый центр анализа должен был обработать наблюдения GPS-спутников, выполненных на определённых

перманентных станциях в определённый период времени. Сравнение индивидуальных решений каждого центра анализа с комбинированным решением позволяет определить качество полученных решений.

Для эталонной тестовой кампании были выбрана сеть, состоящая из 30 станций, расположенных на территории Европы (рис. 1), и период наблюдений, соответствующий GPS-неделе 1381 (25 июня — 1 июля 2006 г., дни года 176—182). При обработке должны использоваться абсолютные модели вариаций фазовых центров комбинаций антenna—купол, комбинированные точные эфемериды GPS-спутников и параметры вращения Земли, полученные в результате кампании Международной ГНСС-службы (IGS) репроцессинга GPS-данных (IGS Repro1) [4] и представленные в системе координат IGS05.

Эталонная тестовая кампания EPN была обработана в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины с помощью программного комплекса «Bernese GPS Software ver. 5.0» [2] в соответствии требованиям EPN [3]. Обработка была выполнена в следующей последовательности.

1. Предварительная обработка суточных сессий наблюдений.
2. Получение оценок координат для отдельного дня наблюдений.
3. Получение оценок координат для недели.
4. Получение финальных значений зенитных тропосферных рефракций для всех станций.

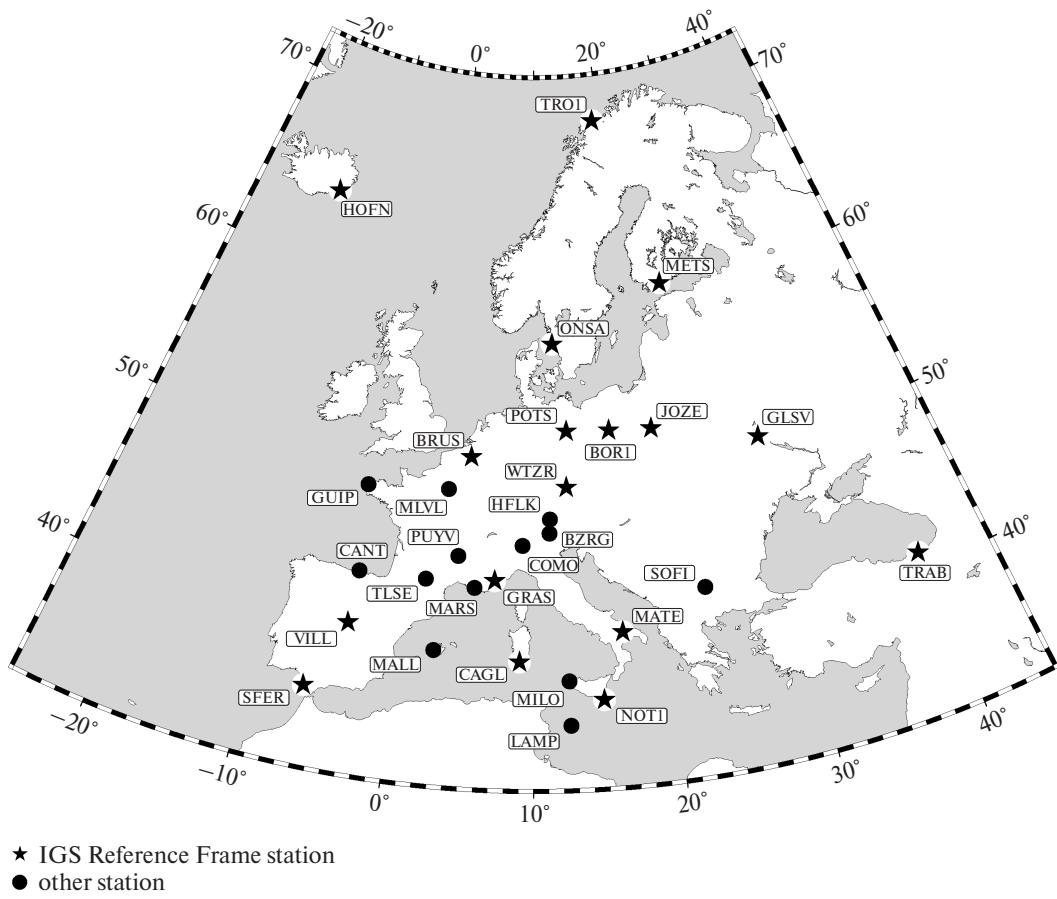


Рис. 1. Расположение GPS-станций

Схема получения решения показана на рис. 2 и 3. Подробнее процедура обработки описана в работе [1].

Система координат IGS05 задавалась путём ограничения No-Net Translation на координаты референцных станций (BOR1, BRUS, CAGL, GLSV, GRAS, HOFN, JOZE, MATE, METS, NOT1, ONSA, POTS, SFER, TRAB, TRO1, VILL, WTZR) из соответствующего каталога. Вычисленные координаты станций сети приведены в табл. 1.

Полученный файл недельного решения (обозначенного как *MAO*) в формате SINEX [6] был отослан Координатору анализа данных EPN в Федеральное агентство картографии и геодезии (BKG, Германия).

Для получения комбинированного недельного решения (обозначенного как *EUQ*) вместе с

решением ГАО НАН Украины использовалось семнадцать решений тринадцати центров анализа ГНСС-данных (табл. 2). Стоит заметить, что из восемнадцати решений двенадцать было получено с помощью программного комплекса «Bernese GPS Software», пять — с помощью программного обеспечения GIPSY—OASIS [8], одно — с помощью программного обеспечения GAMIT/GLOBK [5].

Средние значения повторяемости координат станций (критерия точности оценки координат) для комбинированного решения *EUQ* составили 0.88 мм, 1.08 мм и 2.28 мм для северной, восточной и высотной составляющих соответственно. В то же время средние значения повторяемости координат станций для комбинированного решения, полученного без учёта решения ГАО НАН Украины, составили 0.91 мм, 1.11 мм и

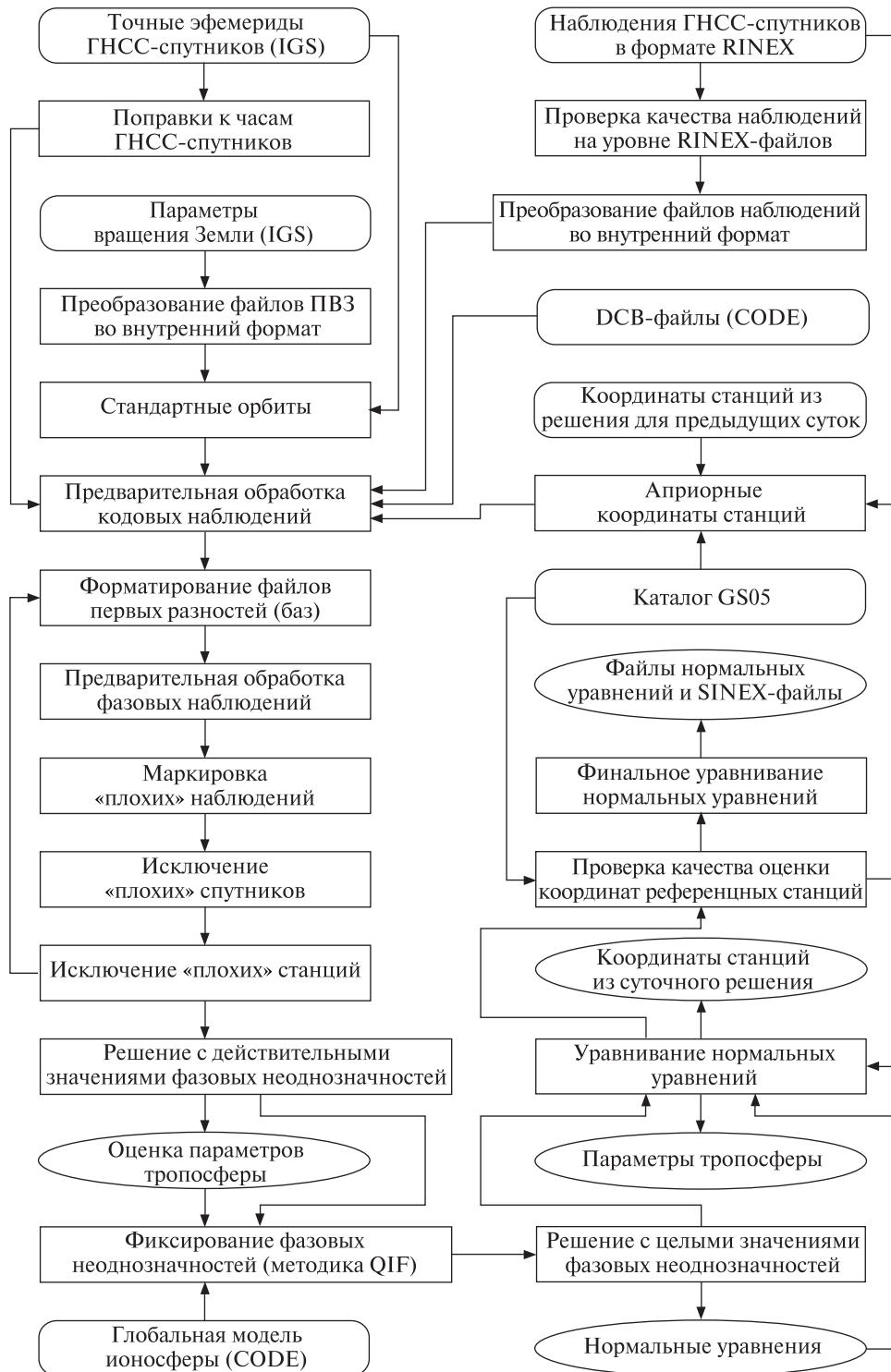


Рис. 2. Диаграмма получения суточного решения

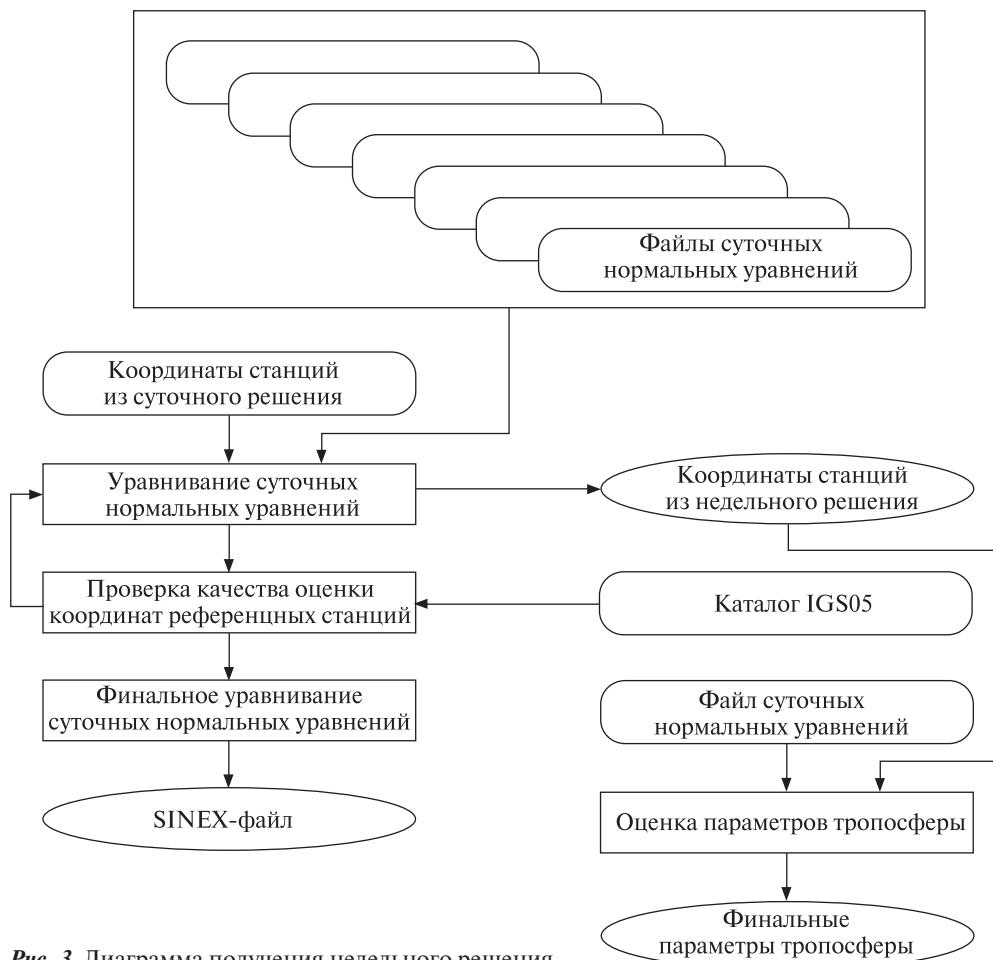


Рис. 3. Диаграмма получения недельного решения

Таблица 1. Координаты станций, система координат: IGS05, эпоха: 28 июня 2006 г. 12:00 (время GPS)

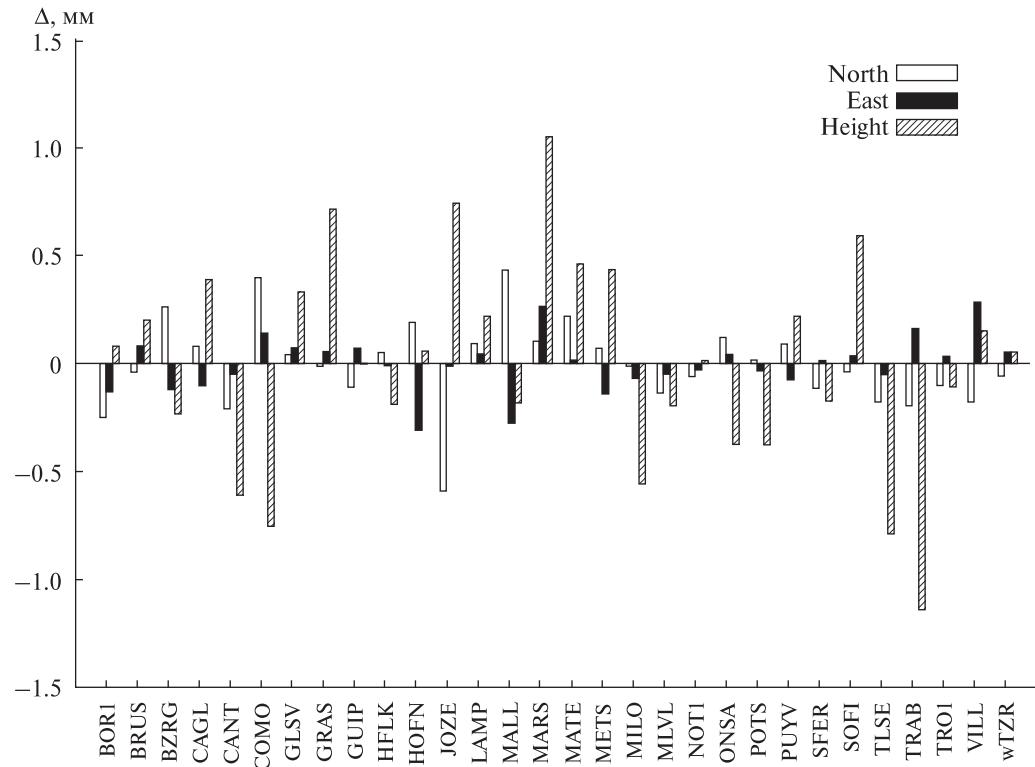
Идентификатор	Номер DOMES	Станция	X, м	Y, м	Z, м
BOR1	12205M002	Боровец (Польша)	3738358.4289	1148173.7329	5021815.7855
BRUS	13101M004	Брюссель (Бельгия)	4027893.7274	307045.8450	4919475.1341
BZRG	12751M001	Больцано (Италия)	4312657.4700	864634.6846	4603844.4518
CAGL	12725M003	Кальяри (Италия)	4893378.8033	772649.8198	4004182.1806
CANT	13438M001	Сантандер (Испания)	4625924.4617	-307096.4909	4365771.4121
COMO	12761M001	Комо (Италия)	4398306.2593	704149.8864	4550154.6872
GLSV	12356M001	Киев/Голосеево (Украина)	3512888.9258	2068979.9024	4888903.2228
GRAS	10002M006	Грас/Коссоль (Франция)	4581690.8865	556114.8639	4389360.8155
GUIP	10004M501	Гипава (Франция)	4226392.7388	-326080.2446	4749929.4043
HFLK	11006S003	Инсбрук (Австрия)	4248505.0336	855575.7700	4667172.3099
HOFN	10204M002	Хёбн (Исландия)	2679689.9665	-727951.2033	5722789.3317
JOZE	12204M001	Юзефослав (Польша)	3664940.1371	1409153.8868	5009571.3980
LAMP	12706M002	Лампедуза (Италия)	5073164.7372	1134512.5931	3683181.1681
MALL	13444M001	Пальма (Испания)	4919369.4552	225499.8754	4039849.8480

Окончание табл. 1

Идентификатор	Номер DOMES	Станция	X, м	Y, м	Z, м
MARS	10073M008	Марсель (Франция)	4630532.7517	433946.3431	4350142.7484
MATE	12734M008	Матера (Италия)	4641949.5314	1393045.4571	4133287.4834
METS	10503S011	Метсяхови (Финляндия)	2892570.7623	1311843.4673	5512634.1539
MILO	12758M001	Трапани — Мило (Италия)	4911058.9459	1096340.3248	3906215.0348
MLVL	10092M001	Марн-ла-Валле (Франция)	4201576.9468	189860.1171	4779064.8084
NOT1	12717M004	Ното (Италия)	4934546.2069	1321265.0391	3806456.1419
ONSA	10402M004	Онсала (Швеция)	3370658.5190	711877.1588	5349786.9669
POTS	14106M003	Потсдам (Германия)	3800689.6130	882077.4091	5028791.3334
PUYV	10065M001	Ле-Пюи-ан-Веле (Франция)	4504322.1010	305405.2446	4491277.4177
SFER	13402M004	Сан-Фернандо (Испания)	5105518.9941	-555145.8501	3769803.3918
SOFI	11101M002	София (Болгария)	4319372.0652	1868687.8118	4292063.9481
TLSE	10003M009	Тулуса (Франция)	4627851.8136	119640.0467	4372993.5673
TRAB	20808M001	Трабзон (Турция)	3705250.3392	3084421.7197	4162044.7870
TRO1	10302M006	Тромсё (Норвегия)	2102928.4499	721619.4652	5958196.2664
VILL	13406M001	Вильяфранка (Испания)	4849833.6787	-335048.9968	4116014.9506
WTZR	14201M010	Ветцель (Германия)	4075580.5303	931853.8211	4801568.1490

Таблица 2. Центры анализа ГНСС-данных

Код решения	Центр анализа ГНСС-данных	Программное обеспечение
A_Q	Итальянское космическое агентство, Центр космической геодезии, Италия	GIPSY—OASIS (PPP + xfile)
A_D	Итальянское космическое агентство, Центр космической геодезии, Италия	GIPSY—OASIS (PPP + sigma for datum in cov)
A_N	Итальянское космическое агентство, Центр космической геодезии, Италия	GIPSY—OASIS (free network + fixed amb)
A_A	Итальянское космическое агентство, Центр космической геодезии, Италия	GIPSY—OASIS (PPP + xfile + ambizap)
BEQ	Баварская комиссия международной геодезии, Германия	Bernese GPS Software
BKQ	Федеральное агентство картографии и геодезии, Германия	Bernese GPS Software
DEQ	Делфтский технический университет, Нидерланды / Лаборатория анализа геодезических наблюдений, Португалия	GIPSY—OASIS
GOQ	Геодезическая обсерватория Пецни, Чехия	Bernese GPS Software
IGQ	Национальный географический институт, Центр геодезических наблюдений, Испания	Bernese GPS Software
MAO	Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Украина	Bernese GPS Software
MUQ	Военная техническая академия, Польша	Bernese GPS Software
M_Q	Военная техническая академия, Польша	GAMIT/GLOBK
NKQ	Северная геодезическая комиссия /Лантметериет/ Космическая обсерватория Онсала, Швеция	Bernese GPS Software
ROQ	Королевская обсерватория Бельгии, Бельгия	Bernese GPS Software
SUQ	Словацкий технический университет, Словакия	Bernese GPS Software
SGQ	Обсерватория спутниковой геодезии, Венгрия	Bernese GPS Software
UPQ	Падуанский университет, Италия	Bernese GPS Software
WUQ	Варшавский политехнический университет, Польша	Bernese GPS Software



**Рис. 4.** Остатки  $\Delta$  после преобразования Гельмерта между решением *MAO* и комбинированным решением *EUQ*

**Таблица 3. Параметры преобразования Гельмерта между решениями центров анализа и комбинированным решением**

Код решения	СКО преобразования, мм	Сдвиг, мм			Вращение, мсд			Масштабный множитель, $10^{-9}$
		$T_X$	$T_Y$	$T_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$	
A_Q	2.61	1.9	-4.0	-14.8	0.0	0.4	0.0	1.43
A_D	2.80	1.9	-11.5	-8.8	0.3	0.2	-0.2	1.32
A_N	2.53	-4.3	-8.5	-2.6	0.2	-0.1	-0.2	1.13
A_A	2.54	0.6	-3.6	-14.8	0.0	0.4	-0.0	1.55
BEQ	0.58	2.8	-2.2	-2.3	0.0	0.1	-0.1	0.05
BKQ	0.84	1.4	5.2	-2.4	-0.1	0.1	0.1	-0.04
DEQ	3.32	7.9	8.0	-18.4	-0.3	0.9	0.2	0.28
GOQ	0.44	0.5	2.8	-0.6	-0.1	0.0	0.1	-0.04
IGQ	0.35	-0.6	3.3	0.7	-0.1	0.0	0.1	-0.07
MAO	0.32	-0.6	2.2	0.6	0.0	0.0	0.1	-0.05
MUQ	0.38	-1.3	2.1	0.9	0.0	-0.1	0.1	-0.03
M_Q	1.35	-2.6	1.5	-6.9	0.0	0.1	0.1	1.09
NKQ	0.35	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.05
ROQ	0.35	-0.1	4.5	-0.2	-0.1	0.0	0.1	-0.05
SUQ	0.84	-2.4	-0.3	1.8	0.0	-0.1	0.0	-0.01
SGQ	1.03	-1.6	-6.5	2.7	0.2	-0.1	-0.1	-0.02
UPQ	0.64	2.5	-0.9	-4.4	0.0	0.2	-0.1	0.31
WUQ	0.39	-1.5	1.7	1.6	0.0	-0.1	0.0	-0.07

2.34 мм соответственно. Таким образом, включение решения *MAO* улучшило значения повторяемости координат станций на 3.3, 2.7 и 2.6 % для северной, восточной и высотной составляющих соответственно.

Для каждого индивидуального решения центров анализа ГНСС-данных были определены параметры преобразования Гельмерта между данным решением и комбинированным решением *EUQ*. Полученные значения параметров представлены в табл. 3. Значение СКО преобразования принимает минимальное значение для решения *MAO* — 0.32 мм. Остальные значения СКО преобразования лежат в диапазоне от 0.35 мм (для решения *IGQ*) до 3.32 мм (для решения *DEQ*). Значения параметров преобразования Гельмерта между решением *MAO* и комбинированным решением *EUQ* либо минимальны, либо близки к минимальным значениям. Таким образом, решение ГАО НАН Украины отлично соответствует комбинированному решению.

Остатки составляющих координат станций после преобразования Гельмерта между решением *MAO* и комбинированным решением *EUQ* показаны на рис. 4. Видно, что почти все абсолютные значения остатков не превышают 1.0 мм, кроме остатков для высотной составляющей для станций MARS (1.05 мм) и TRAB (-1.14 мм). Максимальные абсолютные значения остатков для северной и восточной составляющих координат у станций JOZE (-0.59 мм) и HOFN (-0.31 мм) соответственно.

Таким образом, комбинированное решение улучшается при включении в него решения *MAO*, и Центр анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины успешно выполнил эталонный тест EPN.

*Автор благодарен А. Кеньерешу (A. Kenyeres, Обсерватория спутниковой геодезии, Венгрия) за помощь в организации проведения эталонного теста и Х. Хабриху (H. Habrich, Федеральное агентство картографии и геодезии, Германия) за получение*

*комбинированного решения эталонной тестовой кампании.*

1. *Xoda O. A.* Определение координат перманентных станций региональной сети: GPS vs GPS+ГЛОНАСС // Космічна наука і технологія. — 2011. — 17, N 6. — С. 45–53.
2. *Bernese GPS Software Version 5.0.* / Eds R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne. — 2007. — 612 p.
3. *Guidelines for EPN Analysis Centres* [Электронный ресурс] / Prepared by the EPN Coordination Group and the EPN Central Bureau // Режим доступа: [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/guidelines\\_analysis\\_centres.pdf](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf)
4. *Gendt G., Griffiths J., Nischan T., Ray J.* IGS reprocessing — summary of orbit/clock combination and first quality assessment [Электронный ресурс] // Presented at IGS 2010 Workshop. — United Kingdom, 2010. — Режим доступа: [http://acc.igs.org/repro1/repro1\\_IGSW10.pdf](http://acc.igs.org/repro1/repro1_IGSW10.pdf)
5. *Herring T. A., King R. W., McClusky S. C.* Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.4. // Massachusetts Institute of Technology. — 2010. — 48 p.
6. *SINEX Format* [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.iers.org/IERS/EN/Organization/AnalysisCoordinator/SinexFormat/sinex\\_cont.html](http://www.iers.org/IERS/EN/Organization/AnalysisCoordinator/SinexFormat/sinex_cont.html)
7. *Völksen C.* An Update on the EPN Reprocessing Project: Current Achievement and Status [Электронный ресурс] // Presented at EUREF Symposium 2011. — Moldova. — 2011. — Режим доступа: <http://www.euref.eu/symposia/2011Chisinau/01-06-p-Voelksen.pdf>
8. *Zumberge J. F., Heflin M. B., Jefferson D. C., et al.* Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. // J. Geophys. Res. — 1997. — 102B, N 3. — P. 5005–5017.

*Надійшла до редакції 10.05.12*

*O. A. Khoda*

#### THE PROCESSING OF EPN BENCHMARK TEST CAMPAIGN AT THE GNSS DATA ANALYSIS CENTRE OF THE MAIN ASTRONOMICAL OBSERVATORY

The EPN benchmark test campaign is processed at the GNSS data analysis centre of the Main Astronomical Observatory with the Bernese GPS Software ver. 5.0. It is shown that the combined solution of the EPN benchmark test campaign was improved by adding the solution of the Main Astronomical Observatory.