

УДК 528.2:629.78+528.16

О. А. Хо́да

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

Центр анализа GPS-данных в ГАО НАН Украины: тестовые результаты

Надійшла до редакції 22.10.03

Для тестування створюваного в ГАО НАН України центру аналізу GPS-даних оброблено спостереження для GPS-тижня 1196 на кількох перманентних GPS-станціях мережі IGS та EPN, в тому числі і на двох нових українських станціях в Харкові та Євпаторії. Обробка даних проводилась за допомогою комплексу «Bernese GPS Software ver. 4.2». Отримано вісім різних варіантів розв'язків для визначення впливу вхідних параметрів розв'язку на отримані координати станцій. Фінальний розв'язок, отриманий згідно з вимогами EPN, відповідає за якістю комбінованому розв'язку EPN і розв'язкам окремих центрів аналізу EPN для даного тижня.

ВВЕДЕНИЕ

Главная астрономическая обсерватория (ГАО) НАН Украины владеет комплексом обработки GPS-наблюдений «Bernese GPS Software ver. 4.2» [1].

Данный комплекс, созданный в Астрономическом институте Бернского университета (Швейцария), позволяет обрабатывать как кодовые, так и фазовые наблюдения GPS-спутников, в результате чего можно получить с высокой точностью координаты GPS-станций, параметры орбит GPS-спутников, поправки к часам на спутниках и приемниках, тропосферную рефракцию и т. д. При этом возможно либо исключить влияние ионосферы путем создания безионосферной комбинации наблюдений на двух частотах, либо смоделировать ионосферную задержку с последующим использованием полученной модели при обработке данных.

В настоящее время комплекс «Bernese GPS Software ver. 4.2» является фактически одним из стандартных комплексов для анализа GPS-данных как локального, так и регионального и глобального масштабов и используется подавляющим большинством центров анализа Европейской перманентной GPS-сети (EPN) и одним центром анализа Международной GPS-службы (IGS).

Основной целью представленной работы было проверить возможности создаваемого в ГАО НАН Украины центра анализа GPS-данных по обработке недельных рядов наблюдений на перманентных

GPS-станциях сети IGS и EPN, сравнить полученные результаты с комбинированным решением EPN и с решениями отдельных центров анализа EPN для данной недели.

Также было необходимо определить точные координаты двух новых украинских перманентных GPS-станций, установленных ГАО НАН Украины в ноябре 2002 г. в Харькове (KHAR) и Евпатории (EVPA).

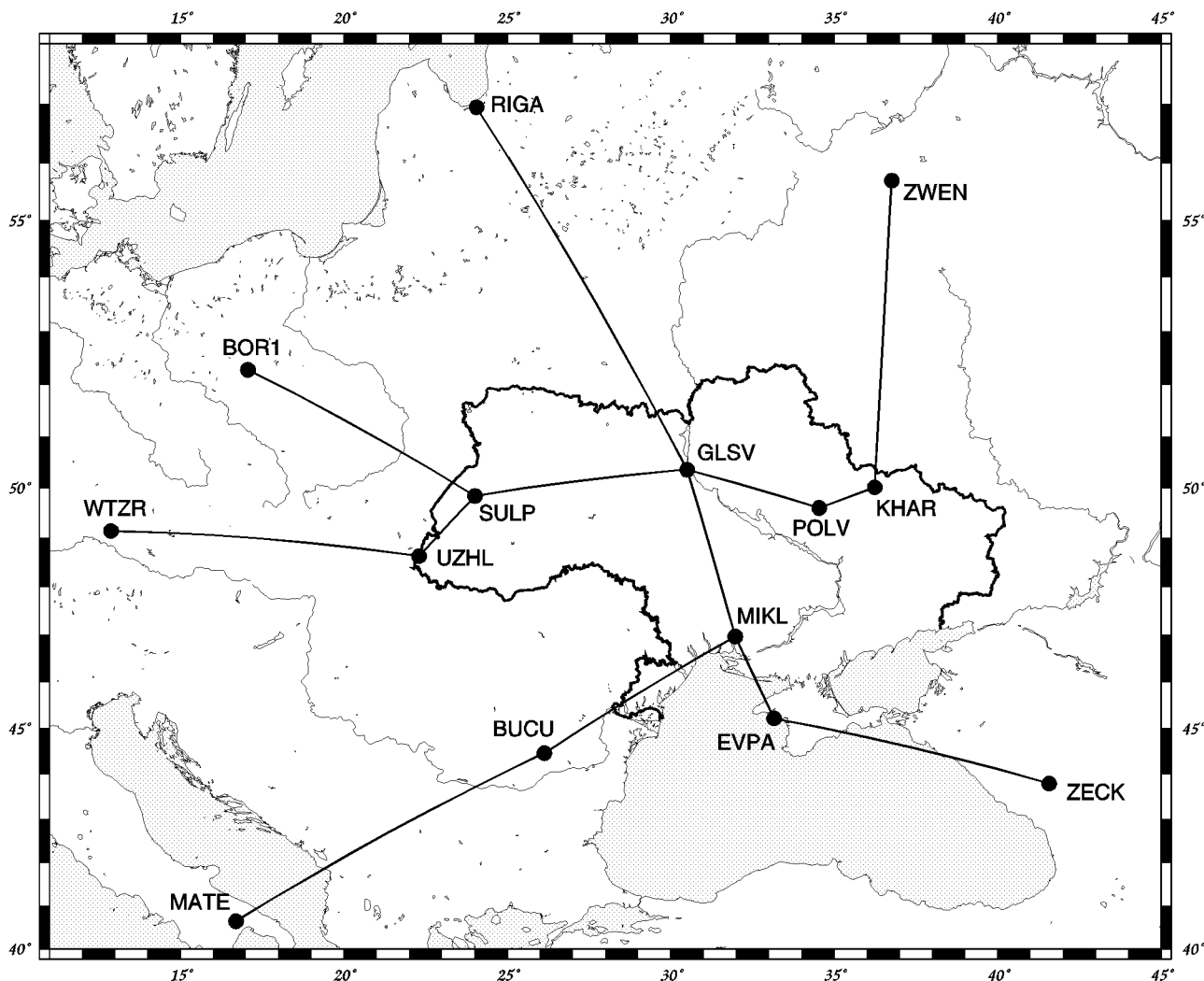
Станция KHAR расположена в Харьковском государственном научно-исследовательском институте метрологии. GPS-антенна размещена на крыше одного из зданий института.

Станция EVPA находится в Национальном центре управления и испытаний космических средств. GPS-антенна установлена на вершине забетонированного металлического столба рядом со станцией лазерной локации искусственных спутников Земли 1867 Evpatoria (Номер DOMES: 12344S001).

Обе станции оборудованы GPS-приемниками «Trimble 4000SSi» и антеннами дизайнера Choke ring (код IGS: TRM29659.00).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для обработки была выбрана GPS-неделя 1196 (8—14 декабря 2002 г., дни года 342—348). Кроме украинских GPS-станций в обработку были включены семь станций сети IGS, расположенных вок-



Расположение станций GPS-наблюдений

руг территории Украины. Информация о всех станциях приведена в табл. 1, а их расположение показано на рисунке.

Координаты и скорости IGS-станций (табл. 2) были взяты из каталога ITRF2000 [ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf2000/ITRF2000_EUR_GPS_PERM.SNX.gz]. Координаты приведены к средней эпохе наблюдений 11 декабря 2001 г. 11 ч 59 мин 45 с (время GPS). Полученные значения координат показаны в табл. 3. Для обработки использовались комбинированные точные эфемериды GPS-спутников и параметры вращения Земли, полученные IGS [ftp://igs.ifag.de/ORBITS/1196/]. Вариации фазовых центров GPS-антенн взяты из стандартного файла IGS [ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/station/

general/igs_01.pcv]. Для украинских станций и станции BUCU при предварительной обработке в качестве априорных использовались координаты из заголовков RINEX-файлов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Предварительная обработка была выполнена в следующей последовательности.

1. Файлы наблюдений, точных эфемерид GPS-спутников, параметров вращения Земли преобразованы во внутренний бинарный формат данных.

2. По кодовым данным определены поправки к часам GPS-приемников на всех станциях и уточне-

Таблица 1. Станции сети IGS

Станция	Идентификатор	Номер DOMES	Страна	Приемник	Антенна	Высота антенны, м
Киев/Голосеево	GLSV	12356M001	Украина	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Ужгород	UZHL	12301M001	Украина	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Львов	SULP	12366M001	Украина	TRIMBLE 4700	TRM41249.00	4.7295
Полтава	POLV	12336M001	Украина	TRIMBLE 4700	TRM29659.00	0.0000
Николаев	MIKL	12335M001	Украина	TRIMBLE 4700	TRM41249.00	0.0237
Харьков	KHAR	12314M001	Украина	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Евпатория	EVPA	12344M001	Украина	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Звенигород	ZWEN	12330M001	Россия	AOA SNR-8000 ACT	AOAD/M_T	0.0460
Зеленчукская	ZECK	12351M001	Россия	AOA SNR-8000 ACT	AOAD/M_T	0.0450
Матера	MATE	12734M008	Италия	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.1010
Ветцель	WTZR	14201M010	Германия	AOA SNR-8000 ACT	AOAD/M_T	0.0710
Боровец	BORI	12205M002	Польша	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T	0.0624
Рига	RIGA	12302M002	Латвия	ROGUE SNR-8000	ASH700936D_M	0.0850
Бухарест	BUCU	11401M001	Румыния	ASHTECH Z-XI3	ASH700936D_M	0.0815

Таблица 2. Координаты и скорости IGS-станций в системе координат ITRF2000 на эпоху 1997.0

Станция	X, м	Y, м	Z, м	V _X , м/год	V _Y , м/год	V _Z , м/год
BORI	3738358.5984	1148173.5823	5021815.7053	-0.0170	0.0161	0.0075
MATE	4641949.7074	1393045.2714	4133287.3434	-0.0188	0.0191	0.0131
WTZR	4075580.6852	931853.6596	4801568.0542	-0.0157	0.0172	0.0087
RIGA	3183899.3442	1421478.3780	5322810.7358	-0.0221	0.0131	-0.0001
ZECK	3451174.8801	3060335.3132	4391955.5676	-0.0206	0.0167	0.0087
ZWEN	2886325.5429	2155998.3993	5245816.1453	-0.0221	0.0121	0.0036
BUCU	4093760.9805	2007793.6348	4445129.8773	-0.0108	0.0272	0.0113
GLSV	3512889.1137	2068979.7628	4888903.1407	-0.0175	0.0151	0.0076

Таблица 3. Координаты IGS-станций в системе координат ITRF2000 на эпоху 11 декабря 2001 г. 11 ч 59 мин 45 с (время GPS)

Станция	X, м	Y, м	Z, м
BORI	3738358.4974	1148173.6780	5021815.7499
MATE	4641949.5957	1393045.3849	4133287.4212
WTZR	4075580.5919	931853.7618	4801568.1059
RIGA	3183899.2129	1421478.4558	5322810.7352
ZECK	3451174.7577	3060335.4124	4391955.6193
ZWEN	2886325.4116	2155998.4712	5245816.1667
BUCU	4093760.9163	2007793.7964	4445129.9445
GLSV	3512889.0097	2068979.8525	4888903.1859

ны координаты для украинских станций и станции BUCU отдельно для каждой сессии.

3. Сформированы файлы первых разностей фазовых наблюдений. Полученные базы показаны на рисунке. В связи с отсутствием наблюдений на станции EVPA в день года 345 вместо баз MIKL—EVPA и ZECK—EVPA для данной сессии была сформирована база ZECK—MIKL.

4. Проверено качество фазовых наблюдений в полученных файлах, замаркированы наблюдения

GPS-спутников с углами места меньше 10° , наблюдения на малых интервалах времени и т.д. Определены моменты скачков фаз. Уточнены координаты для украинских станций и станции BUCU отдельно для каждой сессии из решений тройных разностей на фазовой комбинации L3.

5. Получены решения на фазовой комбинации L3 с действительными значениями фазовых неоднозначностей для неочищенных данных отдельно для каждой сессии. Использовались наблюдения спутников с минимальным углом места 10° со взвешиванием фазовых измерений в зависимости от угла места. Тропосферные параметры определялись каждый час для каждой станции. Использовалась опция DRY_NIELL, задающая функцию наклона pmfh2.0 [3]. Координаты станции WTZR фиксировались. Сохранялись файлы остатков. Средние квадратичные ошибки (СКО) решений составили 1.0 мм для каждой сессии.

6. С помощью файлов остатков замаркированы выбросы в файлах первых разностей.

7. Получены решения на фазовой комбинации L3 с действительными значениями фазовых неоднозначностей для очищенных данных отдельно для

Таблица 4. Количество зафиксированных неоднозначностей (в процентах)

База	Длина базы, км	День года							Всего
		342	343	344	345	346	347	348	
BOR1—SULP	556.8	88.2	93.9	86.5	88.9	92.2	93.9	89.8	90.4
BUCI—MIKL	533.5	92.9	92.7	95.3	97.6	100.0	97.5	97.6	96.2
GLSV—MIKL	392.4	88.7	88.1	88.7	84.6	85.2	87.9	90.0	87.6
GLSV—POLV	302.2	91.9	93.2	95.2	89.4	95.0	88.1	91.8	92.1
MATE—BUCU	880.7	66.2	77.6	78.9	76.7	80.1	76.7	72.6	76.8
MIKL—EVPA	215.6	94.8	94.5	92.7	—	90.2	85.7	89.8	91.2
POLV—KHAR	130.0	94.9	91.8	86.8	92.1	89.4	88.1	87.9	90.0
RIGA—GLSV	846.0	84.2	91.4	93.2	88.9	91.1	87.9	84.5	88.8
SULP—GLSV	467.3	82.0	89.7	88.1	87.3	89.5	89.3	82.0	86.7
UZHL—SULP	183.2	66.2	66.1	73.8	70.6	67.7	70.3	68.6	69.0
WTZR—UZHL	692.3	73.3	75.0	78.6	79.7	73.8	76.7	70.8	75.3
ZECK—EVPA	686.1	86.4	83.6	88.1	—	86.4	73.2	84.5	82.8
ZWEN—KHAR	634.4	80.6	75.7	46.2	61.3	73.5	71.6	62.8	65.4
ZECK—MIKL	829.2	—	—	—	90.9	—	—	—	90.9
Всего		83.2	84.6	79.9	83.0	84.3	81.8	80.9	82.5

Таблица 5. Варианты решений

Вариант решения	A	B	C	D	E	F	G	H
Минимальный угол места, град	10	10	10	10	10	10	15	10
Взвешивание	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да
Априорная модель зенитной задержки в тропосфере	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Saastamoinen
Опция, задающая коэффициент наклона	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	1/cos z
Использованный период выборки измерений, с	180	180	180	30	30	30	180	180
Координаты	WTZR	F	F	F	F	F	F	F
	MATE	F	F	F	F	F	F	F
	BOR1	F	F	F	F	F	F	F
	RIGA	F	F	C	F	F	C	F
	ZWEN	F	F	C	F	F	C	F
	ZECK	F	F	C	F	F	C	F
	BUCU	R	C	C	R	C	C	C
	GLSV	R	C	C	R	C	C	C
	UZHL	R	W	W	R	W	W	W
	SULP	R	W	W	R	W	W	W
	MIKL	R	W	W	R	W	W	W
	POLV	R	W	W	R	W	W	W
	KHAR	R	R	R	R	R	R	R
	EVPA	R	R	R	R	R	R	R

F — на координаты станции наложены жесткие ограничения (0.1 мм), R — исходные координаты взяты из заголовка RINEX-файла, C — исходные координаты взяты из каталога ITRF2000, W — исходные координаты взяты из решения центра анализа данных WUT для предыдущей недели.

каждой сессии. Использовались наблюдения спутников с минимальным углом места 10° со взвешиванием фазовых измерений в зависимости от угла места. Тропосферные параметры определялись каждый час для каждой станции. Опция, задающая функцию наклона — DRY_NIELL. На координаты станций WTZR, MATE, BOR1, RIGA, ZWEN и ZECK были наложены жесткие ограничения

(0.1 мм). Сохранялись файлы нормальных уравнений и тропосферных параметров. СКО решений — 0.9 мм для каждой сессии.

8. Проведено уравнивание файлов нормальных уравнений и получено решение с действительными значениями фазовых неоднозначностей. Характеристики этого решения (обозначим его AFC) приведены в табл. 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВЫХ НЕОДНОЗНАЧНОСТЕЙ

Фазовые неоднозначности фиксировались с помощью методики QIF [2]. Каждая база обрабатывалась независимо и одновременно на частотах L1 и L2. Использовались наблюдения спутников с минимальным углом места 10° со взвешиванием фазовых измерений в зависимости от угла места и тропосферные параметры, полученные на шаге 7 предварительной обработки.

Для лучшего определения значений фазовых неоднозначностей были построены детерминистические модели ионосферы [4], основанные на разложении общего содержания электронов в ряд по сферическим гармоникам в зависимости от географической широты и часового угла Солнца.

В табл. 4 приведена доля зафиксированных неоднозначностей для каждой базы и каждой сессии. Всего зафиксировано 82.5 % неоднозначностей. Среднее значение СКО для всей сети — 1.0 мм, максимальное значение — 1.3 мм для базы ZECK—MIKL в день 345.

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Было получено восемь вариантов решений (табл. 5). Варианты А и D, В и Е, С и F отличались лишь периодом выборки измерений: рекомендованные EPN 180 с, то есть при обработке использовалось каждое шестое измерение, вместо 30 с, т. е. использовались все измерения. Варианты решений А, В и С, а также D, Е и F отличались между собой количеством станций, на координаты которых были наложены жесткие ограничения (0.1 мм), и источником исходных координат для остальных станций. И наконец, вариант решения G отличался от варианта В большим значением минимального угла места наблюдаемых GPS-спутников (15° вместо 10°), а Н от В — использованием априорной модели зенитной задержки в тропосфере и другой опции, задающей функцию наклона ($1/\cos z$ вместо DRY_NIELL). Таким образом было возможно определить влияние различающихся факторов на полученные решения.

Табл. 6 содержит характеристики полученных решений. В качестве финального решения принят вариант С, так как входные параметры этого решения соответствуют требованиям EPN к еженедельным решениям центров анализа данных, а станции, на координаты которых наложены жесткие ограничения, используются для задания системы координат ITRF2000 при получении еженедельных комбинированных решений EPN.

Таблица 6. Характеристики решений

Вариант решения	Количество наблюдений	Количество неизвестных	СКО, мм
AFC	1366978	8217	0.9
A, B, C	227686	3230	1.0
D, E, F	1366978	3396	1.0
G	207171	2691	1.9
H	227686	3230	1.0

Таблица 7. Финальное решение

Станция	X, Y, Z, м	СКО, м	Высота, м, Долгота, Широта	СКО, м
BOR1	3738358.4974	0.0000	124.3651	0.0000
	1148173.6780	0.0000	52°16'37.043148"	0.0000
	5021815.7499	0.0000	17°04'24.440845"	0.0000
MATE	4641949.5957	0.0000	535.6420	0.0000
	1393045.3849	0.0000	40°38'56.872435"	0.0000
	4133287.4212	0.0000	16°42'16.051731"	0.0000
WTZR	4075580.5919	0.0000	666.0249	0.0000
	931853.7618	0.0000	49°08'39.113088"	0.0000
	4801568.1059	0.0000	12°52'44.073008"	0.0000
RIGA	3183899.2406	0.0003	34.7140	0.0006
	1421478.4630	0.0001	56°56'55.029602"	0.0001
	5322810.7726	0.0005	24°03'31.582838"	0.0001
ZECK	3451174.7505	0.0004	1166.2675	0.0006
	3060335.4010	0.0003	43°47'18.213448"	0.0001
	4391955.6191	0.0004	41°33'54.235959"	0.0001
ZWEN	2886325.4170	0.0003	204.9874	0.0006
	2155998.4696	0.0002	55°41'57.418682"	0.0001
	5245816.1670	0.0005	36°45'31.059482"	0.0001
BUCU	4093760.8922	0.0003	143.1806	0.0005
	2007793.7640	0.0002	44°27'50.200341"	0.0001
	4445129.9303	0.0004	26°07'32.664004"	0.0001
GLSV	3512889.0017	0.0003	226.3074	0.0005
	2068979.8442	0.0002	50°21'51.056901"	0.0001
	4888903.1756	0.0004	30°29'48.233595"	0.0001
UZHL	3907587.4938	0.0004	232.0003	0.0006
	1602428.6555	0.0002	48°37'55.118857"	0.0001
	4763783.7270	0.0005	22°17'51.424986"	0.0001
SULP	3765297.0408	0.0003	370.5246	0.0005
	1677559.1726	0.0001	49°50'08.117586"	0.0001
	4851297.3819	0.0004	24°00'52.154647"	0.0001
POLV	3411557.3925	0.0003	178.3544	0.0005
	2348463.9568	0.0002	49°36'09.408964"	0.0001
	4834396.8563	0.0004	34°32'34.547242"	0.0001
MIKL	3698554.0334	0.0003	93.9038	0.0005
	2308675.9707	0.0002	46°58'22.023421"	0.0001
	4639769.4644	0.0004	31°58'22.223500"	0.0001
KHAR	3312984.3686	0.0003	201.0136	0.0005
	2428203.4006	0.0002	50°00'18.367384"	0.0001
	4863307.7949	0.0004	36°14'20.425262"	0.0001
EVPA	3767253.5324	0.0004	39.3658	0.0006
	2461876.3098	0.0002	45°13'10.172881"	0.0001
	4504591.7675	0.0004	33°09'51.701539"	0.0001

Таблица 8. Повторяемость составляющих координат (N — северная, E — восточная, U — высотная), мм

Станция	Компонент	СКО, мм	День года						
			342	343	344	345	346	347	348
RIGA	N	0.8	-0.9	0.1	1.0	0.3	0.8	-0.7	-0.6
	E	0.5	-0.7	0.2	0.1	0.0	-0.3	0.8	0.0
	U	2.9	-0.7	-0.5	1.5	0.3	4.6	0.8	-5.1
ZECK	N	2.0	3.5	1.8	-1.4	-0.3	-1.0	-2.3	-1.1
	E	1.2	-2.2	1.3	-1.0	1.0	0.0	0.1	0.0
	U	1.7	0.9	-0.1	-2.8	2.5	-1.4	0.4	0.0
ZWEN	N	1.2	0.2	1.1	1.8	-0.5	-0.4	-1.3	-1.3
	E	0.9	-1.6	0.0	1.0	1.2	0.1	0.4	-0.6
	U	5.9	-1.1	2.1	8.2	6.9	-0.8	-3.3	-8.9
BUCU	N	1.3	2.5	0.8	-0.6	-0.2	-1.6	-0.7	-0.2
	E	1.0	-2.0	-0.3	0.3	0.0	0.7	0.8	0.5
	U	3.1	5.6	-0.4	-3.3	1.6	-2.0	1.4	-2.3
GLSV	N	0.5	0.6	-0.1	-0.2	0.1	-1.0	0.2	0.4
	E	0.3	-0.6	0.2	0.1	0.0	0.5	0.1	-0.2
	U	2.2	1.5	-2.7	-1.3	2.5	1.8	1.0	-2.5
UZHL	N	0.6	0.9	-0.1	-0.3	0.1	-0.9	-0.3	0.5
	E	0.6	-1.2	-0.3	0.1	0.5	0.3	0.2	0.5
	U	2.9	5.2	-1.0	-3.5	2.8	-0.6	-1.0	-1.6
SULP	N	0.3	0.4	-0.5	0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.2
	E	0.4	-0.8	-0.3	0.4	0.1	0.3	0.5	-0.1
	U	2.7	4.4	-1.1	-2.0	1.1	-0.7	2.2	-3.5
POLV	N	0.7	0.7	0.3	0.1	0.5	-1.5	-0.3	0.1
	E	0.8	-1.5	-0.5	0.0	-0.3	1.0	0.6	0.6
	U	3.0	2.6	-1.5	-0.9	3.4	1.8	0.2	-5.4
MIKL	N	0.8	1.2	0.4	0.1	0.2	-1.4	-0.2	-0.4
	E	0.8	-1.5	-0.5	-0.1	0.2	1.2	0.6	0.2
	U	2.4	2.3	-0.4	-0.8	3.1	-1.4	1.2	-3.8
KHAR	N	0.9	1.1	0.1	0.1	0.8	-1.8	0.1	-0.3
	E	0.8	-1.5	-0.3	0.2	-0.1	0.7	0.6	0.3
	U	2.7	0.6	-0.7	-0.1	3.8	1.7	0.0	-5.1
EVPA	N	1.8	3.3	0.4	-1.5	—	-1.7	-0.6	-0.4
	E	0.7	-1.2	-0.4	0.1	—	0.6	0.2	0.4
	U	2.9	4.8	1.1	-2.4	—	-1.5	-1.7	-2.8

Таблица 9. Повторяемость длин баз

День года	Длина базы, м						
	BORI—SULP	SULP—GLSV	BUCU—MIKL	MIKL—EVPA	GLSV—MIKL	GLSV—POLV	POLV—KHAR
342	556822.4134	467262.4065	533482.0631	215552.7177	392419.8549	302242.2911	130041.7715
343	556822.4141	467262.4064	533482.0628	215552.7194	392419.8550	302242.2910	130041.7715
344	556822.4143	467262.4056	533482.0632	215552.7208	392419.8552	302242.2917	130041.7716
345	556822.4142	467262.4061	533482.0638	—	392419.8557	302242.2917	130041.7717
346	556822.4144	467262.4062	533482.0638	215552.7193	392419.8562	302242.2927	130041.7711
347	556822.4145	467262.4059	533482.0635	215552.7195	392419.8563	302242.2926	130041.7715
348	556822.4137	467262.4057	533482.0626	215552.7193	392419.8563	302242.2926	130041.7708
Средняя	556822.4141	467262.4061	533482.0633	215552.7193	392419.8557	302242.2919	130041.7714
	MATE—BUCU	RIGA—GLSV	UZHL—SULP	WIZR—UZHL	ZECK—EVPA	ZWEN—KHAR	
342	880722.5296	846030.7928	183166.0651	692329.4209	686109.3067	634386.3485	
343	880722.5299	846030.7938	183166.0649	692329.4215	686109.3089	634386.3504	
344	880722.5297	846030.7950	183166.0655	692329.4219	686109.3065	634386.3515	
345	880722.5300	846030.7943	183166.0647	692329.4225	—	634386.3487	
346	880722.5297	846030.7963	183166.0657	692329.4223	686109.3069	634386.3508	
347	880722.5305	846030.7929	183166.0656	692329.4220	686109.3080	634386.3478	
348	880722.5302	846030.7924	183166.0644	692329.4222	686109.3074	634386.3477	
Средняя	880722.5300	846030.7939	183166.0651	692329.4219	686109.3074	634386.3494	

Таблица 10. Параметры преобразования Гельмерта между вариантами решений

Решения:	A - C	B - G	B - H
Количество координат	42	42	42
СКО преобразования, мм	6.6	1.2	0.5
Сдвиг по оси X, мм	-1.1±1.8	0.1±0.3	0.0±0.1
Сдвиг по оси Y, мм	2.9±1.8	-0.1±0.3	0.0±0.1
Сдвиг по оси Z, мм	-8.4±1.8	-1.3±0.3	-0.1±0.1
Поворот вокруг оси X, 0.001"	-0.2±0.6	0.3±0.1	0.0±0.0
Поворот вокруг оси Y, 0.001"	-2.7±0.8	0.0±0.1	0.1±0.1
Поворот вокруг оси Z, 0.001"	-0.3±0.5	0.0±0.1	0.0±0.0
Масштабный множитель, мкм/км	1.8±2.3	-0.2±0.4	0.0±0.2

Таблица 11. Остатки после преобразования Гельмерта между вариантами решений по компонентам (N — северная, E — восточная, U — высотная), мм

Станция	A - C			B - G			B - H		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U
BOR1	-0.6	-2.2	14.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
SULP	-0.4	0.0	0.1	0.3	0.3	2.0	0.0	-0.1	0.7
BUCU	0.5	0.9	-7.9	-0.3	0.2	2.0	0.1	0.1	-1.0
MIKL	0.7	0.0	-4.6	0.4	0.2	0.9	0.1	0.1	0.1
GLSV	0.1	-0.4	-0.4	0.2	-0.5	-1.8	0.0	0.0	1.2
POLV	0.7	-0.8	-1.1	-0.5	-0.8	-2.6	0.0	0.0	0.4
MATE	2.3	-0.1	-1.9	-0.3	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.7
EVPA	0.9	0.2	-6.1	0.4	-0.1	-2.6	0.1	-0.1	-1.3
KHAR	0.9	-0.8	-0.1	-0.2	-0.2	-2.7	0.0	0.0	0.6
RIGA	-4.1	2.7	-26.4	0.1	0.1	0.8	0.0	0.0	-0.4
UZHL	-0.5	0.5	-0.6	0.2	0.1	-0.9	0.0	0.1	-1.1
WTZR	-0.1	-1.2	11.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.2
ZECK	-4.1	2.4	8.7	-0.2	0.4	3.0	-0.1	0.0	0.3
ZWEN	3.6	-1.2	14.8	0.1	0.3	2.0	0.0	0.0	-0.4
СКО	2.1	1.3	10.6	0.3	0.3	1.9	0.1	0.1	0.8

Таблица 12. Разности координат станций между вариантами решений, мм

Станция	A - C			B - G			B - H		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
SULP	-6.5	-0.5	-7.6	0.3	0.5	1.1	0.4	0.1	0.5
BUCU	-6.2	-0.1	-8.0	0.5	0.4	0.5	-0.9	-0.4	-1.0
MIKL	-6.5	0.2	-7.8	-0.9	-0.4	-0.4	-0.1	0.0	0.0
GLSV	-7.1	-0.3	-8.2	-1.8	-1.6	-2.4	0.7	0.4	0.9
POLV	-6.8	0.0	-7.9	-1.9	-2.1	-3.8	0.2	0.1	0.3
EVPA	-5.6	0.8	-7.3	-2.9	-1.8	-3.1	-1.0	-0.6	-1.1
KHAR	-6.7	0.3	-7.6	-2.5	-1.8	-3.8	0.4	0.2	0.5
RIGA	-27.6	-7.2	-37.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UZHL	-5.9	-0.2	-7.1	-1.2	-0.5	-1.0	-0.8	-0.3	-1.0
ZECK	7.1	11.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
ZWEN	-5.4	1.6	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Итоговые координаты станций приведены в табл. 7. О точности полученных координат можно судить по повторяемости составляющих координат (табл. 8) и длин баз (табл. 9).

СРАВНЕНИЕ РЕШЕНИЙ

Для начала выясним влияние использованного периода выборки измерений на полученные координаты.

Таблица 13. Параметры преобразования Гельмерта между финальным решением и решениями центров анализа EPN

Решения	Количество координат	СКО преобразования, мм	Сдвиг по оси X, мм	Сдвиг по оси Y, мм	Сдвиг по оси Z, мм	Поворот вокруг оси X, мс дуги	Поворот вокруг оси Y, мс дуги	Поворот вокруг оси Z, мс дуги	Масштабный множитель, мкм/км
MAO — EUR	36	1.9	0.4±0.5	0.9±0.5	0.2±0.5	0.3±0.2	0.2±0.2	0.0±0.1	1.0±0.7
MAO — WUT	27	0.6	-0.7±0.2	-1.4±0.2	0.4±0.2	-0.2±0.1	-0.1±0.1	-0.0±0.1	-0.5±0.4
MAO — GOP	21	1.8	2.2±0.7	0.2±0.7	-0.4±0.7	0.1±0.3	0.7±0.3	-0.0±0.2	0.5±1.0
MAO — BKG	18	1.3	0.0±0.5	-1.1±0.5	3.5±0.5	-0.5±0.1	0.4±0.2	-0.0±0.1	-0.7±0.6
MAO — OLG	15	1.5	12.7±0.7	4.6±0.7	14.6±0.7	-1.0±0.3	4.5±0.5	-0.1±0.3	4.4±1.3
MAO — COE	12	0.9	1.3±0.4	-3.1±0.4	0.8±0.4	1.2±0.2	-0.1±0.2	-0.0±0.1	-1.0±0.5
MAO — SGO	12	0.5	2.2±0.3	4.8±0.3	5.3±0.3	-1.4±0.2	-0.6±0.2	0.2±0.1	2.3±0.6
MAO — SUT	12	1.8	0.3±0.9	1.7±0.9	27.3±0.9	-2.7±0.6	1.2±0.6	-0.2±0.3	5.7±1.6

Таблица 14. Остатки после преобразования Гельмерта между финальным решением и решениями центров анализа EPN по компонентам (N — северная, E — восточная, U — высотная), мм

Станция	MAO — EUR			MAO — WUT			MAO — GOP			MAO — BKG		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
BOR1	-0.8	-0.2	-1.5	0.5	1.0	0.6	—	—	—	—	—	—
SULP	-0.3	-0.3	1.5	-0.1	-0.2	0.2	-1.1	-0.2	1.0	—	—	—
BUCU	-0.7	0.1	0.8	-0.4	-0.3	1.4	—	—	—	-0.7	-0.4	1.3
MIKL	-0.5	0.4	5.8	-0.1	0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	—	—	—
GLSV	-0.5	0.4	-2.8	-0.2	-0.1	-0.4	—	—	—	-0.2	0.8	1.5
POLV	0.3	0.2	4.3	0.0	-0.2	-0.9	0.4	0.2	0.6	—	—	—
MATE	0.5	0.0	-0.5	—	—	—	—	—	—	-0.8	0.4	0.1
RIGA	0.8	0.4	1.2	0.4	-0.6	0.8	-0.1	1.1	-4.2	—	—	—
UZHL	-0.2	-0.3	-0.6	0.4	0.1	-0.2	-1.2	-0.4	1.2	—	—	—
WTZR	-0.5	0.2	-1.7	-0.5	0.1	-1.2	—	—	—	-0.1	0.2	-1.5
ZECK	0.9	-1.9	-4.5	—	—	—	0.7	-1.4	-2.2	0.4	-2.2	-1.4
ZWEN	0.8	1.0	-2.0	—	—	—	1.5	1.0	3.3	1.4	1.2	-0.1
CKO	0.6	0.7	2.9	0.4	0.4	0.8	0.9	0.9	2.5	0.8	1.2	1.3

Станция	MAO — OLG			MAO — COE			MAO — SGO			MAO — SUT		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
BOR1	0.2	-0.4	1.3	0.1	0.2	-0.5	—	—	—	0.1	1.1	1.7
SULP	—	—	—	—	—	—	0.1	0.4	0.4	-0.5	-0.5	-2.9
BUCU	0.9	0.4	-0.4	—	—	—	-0.6	-0.3	0.1	—	—	—
MIKL	-0.6	0.2	2.9	—	—	—	—	—	—	-0.2	0.0	1.4
GLSV	—	—	—	-1.1	-0.1	1.1	—	—	—	—	—	—
POLV	-0.1	-0.1	-1.7	—	—	—	0.3	-0.4	-0.1	—	—	—
RIGA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	-0.6	-0.2
UZHL	-0.4	-0.1	-2.0	—	—	—	0.2	0.2	-0.4	—	—	—
ZECK	—	—	—	0.3	-0.4	-0.4	—	—	—	—	—	—
ZWEN	—	—	—	0.8	0.3	-0.3	—	—	—	—	—	—
CKO	0.6	0.3	2.1	0.8	0.3	0.8	0.4	0.4	0.3	0.5	0.8	2.1

наты. Для этого сравним попарно варианты решений А и D, В и E, С и F. Практически все полученные параметры преобразований Гельмерта равны нулю, кроме сдвигов по оси Z между решениями А и D, В и E (оба на 0.1 мм), С и F (-0.2 мм), сдвига по оси X между решениями С и F (0.1 мм). Координаты отличаются в основном на 0.1—0.3 мм, максимум на 0.5 мм. Остатки составляющих координат после преобразований Гельмерта близки к нулю. То есть, использование периода выборки в 180 с позволяет получить решение, практически совпадающее с решением, используя

щим все измерения.

Влияние источника априорных координат определяемых станций (заголовки RINEX-файлов, решения для предыдущей недели или каталог) на полученные результаты незначительно. Решения А и В фактически совпадают. Все параметры преобразования Гельмерта равны нулю, а координаты лишь некоторых станций отличаются на 0.1 мм.

Как и ожидалось, различие в количестве станций сети, на координаты которых наложены жесткие ограничения (варианты А и С) оказывает влияние на полученные координаты, особенно для станций, наи-

Таблица 15. Разности координат станций между финальным решением и решениями центров анализа EPN, мм

Станция	MAO — EUR			MAO — WUT			MAO — GOP			MAO — BKG		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
BOR1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	—	—	—	—	—	—
SULP	0.9	1.0	1.7	1.5	-1.0	-0.1	-0.2	-0.4	1.3	—	—	—
BUCU	0.5	1.4	-0.1	2.6	-0.8	1.1	—	—	—	3.4	-0.1	2.5
MIKL	2.5	3.2	3.7	1.7	-0.9	0.1	-1.9	-1.2	-0.1	—	—	—
GLSV	-2.4	0.7	-2.1	1.6	-1.1	-0.4	—	—	—	4.3	1.6	4.2
POLV	0.9	2.4	3.3	1.4	-1.4	-0.5	-2.1	-0.6	1.3	—	—	—
MATE	0.0	0.0	0.0	—	—	—	—	—	—	0.1	-0.1	-0.1
RIGA	-0.5	1.0	3.2	1.7	-1.2	0.1	-3.3	-0.6	0.3	—	—	—
UZHL	-0.2	0.3	0.1	0.7	-1.1	-0.1	-0.1	-0.6	1.1	—	—	—
WTZR	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.9	-1.9	—	—	—	0.1	-0.1	-0.1
ZECK	-4.5	-2.1	-4.4	—	—	—	-4.5	-3.6	-2.6	4.1	-2.4	3.7
ZWEN	-3.7	1.0	-0.2	—	—	—	-0.8	1.3	6.2	3.6	1.7	5.6

Станция	MAO — OLG			MAO — COE			MAO — SGO			MAO — SUT		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
BOR1	1.8	3.0	27.4	3.4	-0.2	5.4	—	—	—	11.9	5.4	18.9
SULP	—	—	—	—	—	—	-1.5	4.4	4.6	13.7	6.8	17.0
BUCU	-7.3	1.4	10.7	—	—	—	1.1	6.0	5.0	—	—	—
MIKL	-0.7	6.9	19.3	—	—	—	—	—	—	19.1	13.8	24.0
GLSV	—	—	—	2.6	-1.7	2.1	—	—	—	—	—	—
POLV	-0.6	7.7	22.8	—	—	—	0.3	6.5	8.7	—	—	—
RIGA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.3	7.8	26.4
UZHL	-2.8	2.1	16.7	—	—	—	-1.9	3.8	3.3	—	—	—
ZECK	—	—	—	-1.0	-6.0	-1.5	—	—	—	—	—	—
ZWEN	—	—	—	-0.2	-3.5	-0.2	—	—	—	—	—	—

более удаленных от фиксируемых (табл. 10—12).

Использование большего значения минимального угла места наблюдаемых спутников и других условий для определения параметров тропосферы (использование априорной модели зенитной задержки в тропосфере и другого коэффициента наклона) повлияло в основном на высотную составляющую координат (табл. 10—12).

Для оценки качества финального решения (вариант С) сравним его с комбинированным решением EPN для данной недели (EUR), а также с решениями отдельных центров анализа EPN (WUT, GOP, BKG, OLG, COE, SGO, SUT) (табл. 13—15). Видно, что вычисленные координаты довольно близки к координатам из комбинированного решения и решений указанных центров анализа. Приведенные значения позволяют утверждать, что полученное решение создаваемого в ГАО НАН Украины центра анализа данных для GPS-недели 1196 соответствует по качеству решениям существующих центров анализа EPN.

1. Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds. U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne.—2001.—515 p.

2. Mervart L. Ambiguity resolution techniques in geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System // Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. — 1995.—155 p.
3. Niell A. E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // J. Geophys. Res.—1996.—101, N B2.—P. 3227—3246.
4. Schaer S., Beutler G., Mervart L., et al. Global and regional ionosphere models using the GPS double difference phase observable // Proc. 1995 IGS Workshop «The IGS: special topics and new directions». — Potsdam, 1995.—P. 77—92.

THE GPS DATA ANALYSIS CENTRE IN THE MAIN ASTRONOMICAL OBSERVATORY: TEST RESULTS

O. Khoda

GPS observations for week 1196 of some IGS/EPN permanent stations and two new Ukrainian stations Kharkiv and Evpatoria were processed for testing purposes in the Data Analysis Centre which is being established in the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine. The processing was carried out with Bernese GPS Software ver. 4.2. For comparison eight solutions with different input parameters were generated. Final solution computed according to the standard EPN procedure is in a good agreement with combined EPN solution for the week as well as with solutions of some individual EPN Local Analysis Centres.