

УДК 528.2:629.78+528.16

**М. О. Литвин**

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

**Порівняння результатів обробки даних  
української перманентної GPS-мережі  
програмним комплексом GAMIT/GLOBK  
з результатами Локального центру аналізу  
GPS-даних ГАО НАН України**

*Надійшла до редакції 17.02.05*

---

Оброблено місячний ряд GPS-спостережень за допомогою програмного забезпечення GAMIT/GLOBK ver. 10.1 з метою з'ясування можливості роботи за стандартами, які використовуються при обробці GPS-спостережень локальними центрами аналізу EPN. Отримані чотири тижневі розв'язки порівнюються з аналогічними розв'язками, отриманими Локальним центром аналізу в ГАО НАН України за допомогою «Bernese GPS Software ver. 4.2». Аналіз показує узгодженість двох серій розв'язків на рівні похибки, а також дає підстави використовувати отриманий з них комбінований розв'язок як продукт Центру.

---

**ВСТУП**

З грудня 2003 р. в Головній астрономічній обсерваторії НАН України (ГАО НАН України) діє локальний центр обробки GPS-спостережень. На цей час у центрі оброблено більш ніж річний ряд спостережень. Основним інструментом обробки є програмне забезпечення «Bernese GPS Software ver. 4.2» [1], розроблене в Астрономічному інституті Бернського університету (AIUB Швейцарія). Цей комплекс дозволяє обробляти як кодові, так і фазові спостереження сигналів GPS-супутників. Завдяки цьому можна отримати з високою точністю координати і швидкості GPS-станцій, параметри орбіт GPS-супутників, поправки до годинників на супутниках та приймачах, а також з обробки глобальної мережі отримувати параметри обертання Землі.

Вказане програмне забезпечення (ПЗ) стало фактично стандартом при обробці даних європейської перманентної GPS-мережі (EPN): 14 з 16 центрів обробки EPN використовують «Bernese GPS Software» або його покращені версії (два центри використовують ПЗ «MicroCosm software» та GIPSY/OASIS). Саме цей факт зумовив використання «Bernese GPS Software» в Локальному

центрі обробки GPS-спостережень. Виникає питання: наскільки залежать результати обробки GPS-спостережень від типу використаного ПЗ?

Зважимо на те, що ГАО НАН України має дозвіл на використання в наукових цілях ПЗ GAMIT/GLOBK ver. 10.1, розроблене в Масачусетському інституті технологій (MIT) та Каліфорнійському інституті океанографії в Сан-Дієго (SIO). З його допомогою можна отримувати ті ж параметри, що і «Bernese GPS Software». Проте між цими програмними продуктами є ідеологічні відмінності. GAMIT ver. 10.1 [3] і GLOBK ver. 10.1 [[http://rses.anu.edu.au/geodynamics/gps/papers/gamit/globk\\_ps.pdf](http://rses.anu.edu.au/geodynamics/gps/papers/gamit/globk_ps.pdf)] — це самостійні ПЗ, які можна використовувати окремо. GAMIT — це набір програм для обробки GPS-спостережень, GLOBK — програмна реалізація фільтра Кальмана, яка дає можливість об'єднувати результати обробки сесій GPS-спостережень, а також отримувати спільний розв'язок для даних різних методів космічної геодинаміки.

Метою даної роботи було отримати тижневі розв'язки обробки Української перманентної GPS-мережі (UPN) і перевірити їхню узгодженість з результатами, отриманими Локальним центром ГАО НАН України.

ВИХІДНІ ДАНІ

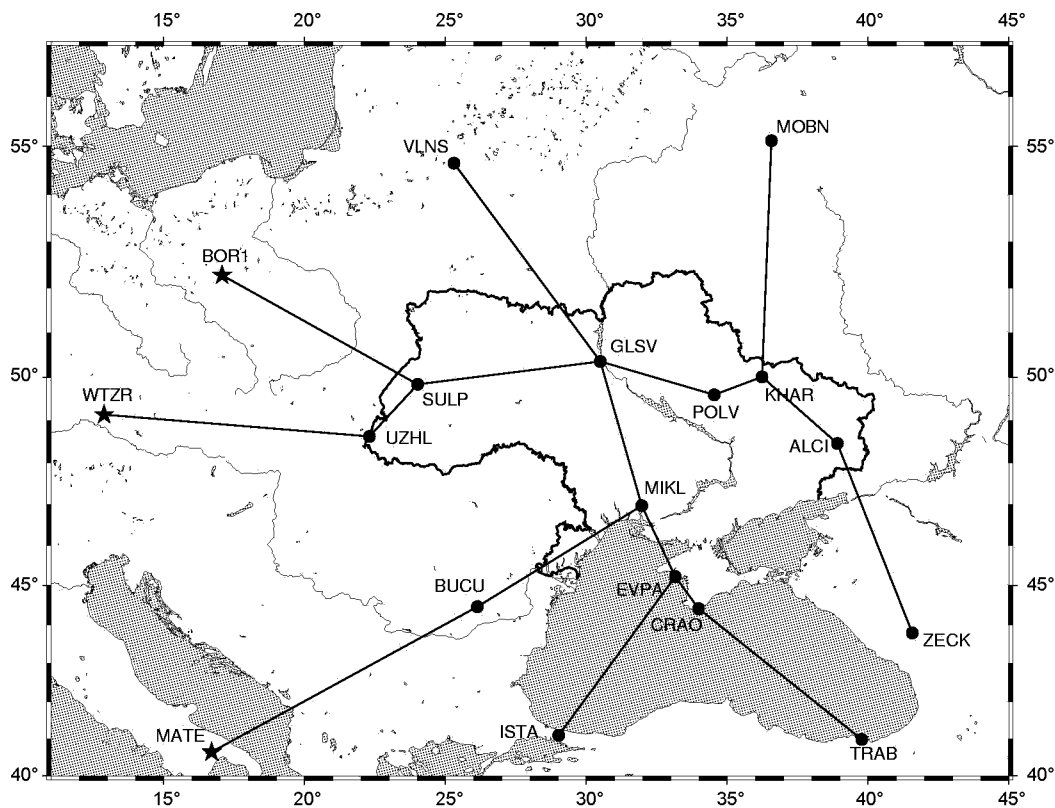
Для обробки було вибрано місячний ряд спостережень, а саме 1259—1262 GPS-тижні (22 лютого — 20 березня 2004 р., дні року 053—080). Крім станцій, розміщених на території України, включено сім станцій мережі Міжнародної GPS-служби

(IGS), розташованих навколо території України. Необхідна інформація про всі станції наведена в табл. 1, а їхнє взаємне розташування показано на рисунку.

Координати опорних IGS-станцій, які задавали систему координат розв'язку (BOR1, MATE, WTZR) взято з каталогу ITRF2000 [ftp://lareg.

Таблиця 1. Інформація про використані станції

Станція	Ідентифікатор	Номер DOMES	Країна	Приймач	Антена	Висота антени, м
Алчевськ	ALCI	—	Україна	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000
Боровець	BOR1	12205M002	Польща	ROGUE SNR-8000	AOD/M_T	0.0624
Бухарест	BUCU	11401M001	Румунія	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M	0.0810
Сімеїз	CRAO	12337M002	Україна	ROGUE SNR-8000	AOD/M_T	0.0800
Євпаторія	EVPA	12344M001	Україна	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Київ/Голосіїв	GLSV	12356M001	Україна	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Стамбул	ISTA	20807M001	Туреччина	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M	0.0610
Харків	KHAR	12314M001	Україна	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000
Матера	MATE	12734M008	Італія	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.1010
Миколаїв	MIKL	12335M001	Україна	TRIMBLE 4700	TRM41249.0	0.0237
Обнінськ	MOBN	12365M001	Росія	ASHTECH Z-XII3	ASH701945C_M	0.0000
Полтава	POLV	12336M001	Україна	TRIMBLE 4700	TRM29659.00	0.0000
Львів	SULP	12366M001	Україна	TRIMBLE 5700	TRM41249.0	4.7295
Трабзон	TRAB	20808M001	Туреччина	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M	0.0610
Ужгород	UZHL	12301M001	Україна	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.0	0.0000
Вільнюс	VLNS	14201M010	Литва	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M	0.0730
Веттцель	WTZR	14201M010	Німеччина	AOA SNR-8000	AOD/M_T	0.0710
Зеленчуцька	ZECK	12351M001	Росія	AOA SNR-8000	AOD/M_T	0.0450



Мережа GPS-станцій

Таблиця 2. Різниці між координатами станцій (MAO—GAO) в мм для GPS-тижнів 1259—1262

Станція	1259			1260			1261			1262		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
ALCI	-1.1	-3.4	-3.4	-5.4	-4.9	-6.2	-3.1	-2.9	-4.2	-1.9	-4.5	-2.9
ZECK	1.2	1.7	2.1	-1.9	0.2	-6.2	-1.2	0.3	1.8	0.6	0.0	3.3
BOR1	0.4	-0.4	-1.0	-0.1	0.2	-0.9	0.1	-0.2	-1.7	-0.1	-0.4	-1.4
SULP	2.9	-0.3	2.1	0.9	-0.2	0.9	1.3	0.7	-1.2	-0.5	-1.5	-1.2
BUCU	-2.8	-0.2	-1.7	-4.5	-0.8	-2.9	-4.6	0.4	-2.2	-4.3	-1.2	-1.9
MIKL	0.1	-2.8	-1.9	-2.6	-3.7	-3.8	-1.3	-1.7	-2.3	-1.2	-4.2	-3.0
CRAO	-2.1	-0.8	-2.2	-3.8	-1.4	-3.0	-3.2	-1.0	-2.7	-2.3	-2.4	-2.1
TRAB	-5.8	-4.6	-5.9	-10.8	-7.9	-10.4	-8.5	-6.5	-5.9	-6.1	-7.1	-3.3
EVPA	-2.1	-1.8	-2.5	-5.0	-3.1	-4.5	-3.6	-1.7	-2.9	-3.9	-3.5	-3.0
ISTA	-4.6	-2.3	-3.9	-7.3	-4.8	-6.0	-7.1	-2.7	-4.7	-4.6	-1.8	-2.1
GLSV	0.4	-0.8	-0.4	-2.1	-2.4	-2.7	-1.5	-0.5	-2.0	-0.6	-2.0	-1.4
POLV	-0.3	-1.0	-0.8	-3.3	-1.6	-2.4	-3.5	-1.8	-4.0	-2.7	-4.2	-4.6
VLNS	3.0	-1.7	1.7	-0.6	-2.4	-2.7	0.2	-0.9	-1.2	-1.1	-0.6	-1.7
KNAR	0.2	-0.7	-0.8	-3.0	-3.8	-3.8	-2.7	-1.8	-3.5	-0.5	-4.6	-2.1
MOBN	0.1	-4.7	-5.7	-2.3	-4.0	-6.0	-0.9	-2.6	-4.4	-0.2	-3.2	-4.1
MATE	-0.7	0.4	0.7	-1.0	1.3	0.9	-1.8	1.7	1.8	-1.0	1.1	1.4
UZHL	-0.4	-0.3	-0.6	-1.9	-0.4	-2.2	-1.4	0.7	-0.8	-1.2	-0.7	-1.2
WTZR	0.0	0.0	-0.3	-0.5	0.0	0.1	-0.4	0.5	0.4	-0.1	0.2	0.0

ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf2000/ITRF2000\_EUR\_GPS\_PERM.SNX.gz]. Координати були зведені до середніх епох спостережень для кожного тижня. Априорні координати для інших станцій взято з розв'язків центру обробки GPS-даних ГАО НАН України. Априорні значення координат для кожного тижня наведено в табл. 2. Для обробки використано комбіновані точні ефемериди GPS-супутників, обчислені IGS [ftp://igs.ifag.de/ORBITS/]. Варіації фазового центру GPS-антен взяті зі стандартного файлу IGS у новому форматі ANTEX [ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs\_01.atx], який рекомендує використовувати IGS. При врахуванні поправок до показів годинників GPS-супутників було використано комбіновані файли навігаційного повідомлення (brdc-файли), які є продуктом IGS [ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/gpsdata/brdc/2004/]. Для врахування океанічних навантажень використано коефіцієнти, обчислені в AIUB [http://igscb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2001/msg00366.html]. Для врахування руху полюса використано таблиці IGS [ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/data/formats/erp.txt], конвертовані у внутрішній формат GAMIT (це ПЗ використовує таблиці, які є продуктом USNO).

#### СТРАТЕГІЯ ОБРОБКИ

Спостереження було оброблено програмним забезпеченням GAMIT/GLOBK ver. 10.1. При обробці, наскільки це було можливо, дотримувалися рекомендацій стосовно процедури обробки EPN (саме

цих норм дотримуються при обробці в Локальному центрі обробки GPS-спостережень ГАО НАН України). Використано спостереження GPS-супутників з кутом місця не менше  $10^\circ$ . Період вибірки складав 30 с, тобто використовувалися всі наявні вимірювання. Було запроваджено зважування спостережень в залежності від висоти спостережуваного супутника. На параметри іоносфери накладено слабкі обмеження ( $8 \cdot 10^{-6}$  м), зважаючи на те, що оброблені спостереження припадають на період, близький до максимуму циклу сонячної активності. Крім цього, при обробці ПЗ «Bernese GPS Software» з використанням рекомендованої методики QIF [7], відсоток фіксування фазових невизначеностей складав менше 10 %, тому обробку спостережень цього періоду було виконано без розв'язування фазових невизначеностей [10].

На зенітну затримку сигналу накладалися обмеження 0.5 м, вона оцінювалася кожні дві години. На координати станцій, які задавали систему координат, було накладено жорсткі обмеження ( $10^{-4}$  м). На координати всіх інших станцій накладено дуже слабкі обмеження (10 м) [2].

#### ОСНОВНІ ВІДМІННОСТІ МІЖ «BERNESE SOFTWARE VER. 4.2» ТА GAMIT/GLOBK VER. 10.1

Серед найсуттєвіших відмінностей вказаних ПЗ слід відмітити такі.

1. «Bernese GPS Software» може використовувати навігаційну інформацію з комбінованих файлів, які формуються IGS (sp3-файли). GAMIT використо-

вує sr3-файли лише як файли ефемерид, а поправки до показів годинників GPS-супутників бере з файлів навігаційного повідомлення, записаних приймачами на станціях або з комбінованих IGS-файлів навігаційного повідомлення. Це пояснюється тим, що комбіновані в IGS-файли навігаційного повідомлення генеруються значно швидше, тому низькоточну обробку можна проводити, не чекаючи файлів орбіт.

2. При зважуванні спостережень для «Bernese GPS Software» рекомендовано обчислювати вагові коефіцієнти для спостережень супутників між кутами місця  $10^\circ$  та  $15^\circ$  за формулою

$$w(E) = \frac{1}{(\cos E)^2},$$

де  $E$  — висота супутника над горизонтом. При обробці спостережень ПЗ GAMIT/GLOBK також можна зважувати спостереження відповідно до кута місця, проте тут користувачем задається не функція обчислення вагового множника, а функція оцінки помилки спостережень, яка має вигляд

$$\varepsilon(E) = a^2 + \frac{b^2}{(\sin E)^2},$$

де  $a$ ,  $b$  — задані користувачем коефіцієнти. При обробці вибрано рекомендовані розробниками значення  $a = 4.3$  мм,  $b = 7$  мм. При такому виборі спостереження на середній висоті  $40^\circ$  (для станцій в середніх широтах) мають оцінювану похибку 10 мм, а на висоті  $20^\circ$  ваговий множник складатиме 0.5. Крім того, в GAMIT оцінюються спостереження для всіх кутів місця (в діапазоні  $10..90^\circ$ ).

3. Програмний комплекс «Bernese GPS Software» має кілька варіантів формування баз. Один з них дозволяє користувачу явно задати бази. В GAMIT є лише один спосіб формування баз — за принципом утворення найменших подвійних різниць [2]. Розробники GAMIT не планують додавати можливість задавати бази «вручну», а працюють над удосконаленням існуючого алгоритму (на цей момент створено бета-версію GAMIT 10.2). На рисунку зображено конфігурацію мережі, явно задану при обробці комплексом «Bernese GPS Software».

4. У ПЗ GAMIT ver. 10.1 передбачено можливість використання нового формату (ANTEX) файлів варіації фазового центру антен (розробники рекомендують використовувати антени, розроблені в Національній адміністрації з вивчення океану і атмосфери США (NOAA) [<http://www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/>]). «Bernese GPS Software ver. 4.2» використовує файли IGS-формату pcv («Bernese GPS Software ver 5.0» буде використовувати ANTEX).

## ОБРОБКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Попередню обробку виконано в такій послідовності.

1. Файли спостережень переведено у внутрішні формати даних, сформовано файли початкових умов і негравітаційних силових параметрів для GPS-супутників.

2. За даними файлів навігаційних повідомлень складено файли поправок до показів годинників GPS-супутників.

3. З використанням початкових умов, складено таблицю положень GPS-супутників з кроком  $15$  хв (модуль ARC).

4. За кодovими спостереженнями обчислено поправки до годинників GPS-приймачів усіх станцій.

5. Обчислено теоретичні значення спостережуваних величин і частинні похідні цих величин за шуканими параметрами (модуль MODEL).

6. Виконано маркування спостережень супутників з кутами місця, меншими за  $10^\circ$ , виявлено та замарковано моменти стрибків фаз та «викиди» у файлах перших різниць (модуль AUTCLN).

7. Отримано розв'язки на безіоносферній комбінації  $L_3$  для очищених спостережень. Для моделювання зенітної затримки використовувалася модель Саастамойнена [9]. Для обчислення затримки на інших висотах використовувалася функція схилення pmfh2.0 [8]. Використовувалося зважування фазових спостережень залежно від висоти спостережуваного GPS-супутника. На координати станцій MATE, BUCU, WTZR накладалися жорсткі обмеження ( $10^{-4}$  м), на координати всіх інших станцій накладено слабкі обмеження (10 м).

8. Оцінено координати станцій з розв'язку системи нормальних рівнянь (модуль SOLVE).

9. Використовуючи уточнені координати станцій, повторно виконано виявлення і маркування стрибків фаз за допомогою файлів подвійних різниць [2] (модуль AUTCLN).

10. Складено систему нормальних рівнянь при використанні оновлених даних (модуль MODEL).

11. Виконано розв'язок системи нормальних рівнянь і отримано шукані координати станцій (модуль SOLVE).

Розв'язки, отримані для кожної сесії спостережень (одна доба) об'єднувалися в тижневий розв'язок за допомогою ПЗ GLOBK ver 10.1.

Розв'язок, отриманий центром ГАО НАН України, позначено як MAO (розв'язок у системі координат ITRF2000). Результат, отриманий ПЗ GAMIT/GLOBK, позначено GAO. Аббревіатура UKR служить для позначення комбінації розв'язків GAO та MAO.

Таблиця 3. Об'єднаний розв'язок (UKR) для GPS-тижнів 1259—1262

Станція	1259	1260	1261	1262
	X, м Y, м Z, м	X, м Y, м Z, м	X, м Y, м Z, м	X, м Y, м Z, м
ZECK	3451174.7286	3451174.7292	3451174.7261	3451174.7256
	3060335.4173	3060335.4179	3060335.4146	3060335.4147
	4391955.6293	4391955.6303	4391955.6287	4391955.6296
TRAB	3705250.3843	3705250.3842	3705250.3800	3705250.3792
	3084421.6707	3084421.6708	3084421.6671	3084421.6656
	4162044.7431	4162044.7446	4162044.7420	4162044.7436
ALCI	3297847.9597	3297847.9594	3297847.9591	3297847.9580
	2661607.3926	2661607.3928	2661607.3942	2661607.3925
	4750829.8000	4750829.8003	4750829.7990	4750829.7995
MOBN	2936432.0748	2936432.0766	2936432.0738	2936432.0736
	2178364.5339	2178364.5324	2178364.5323	2178364.5306
	5208858.2175	5208858.2171	5208858.2111	5208858.2123
KHAR	3312984.3456	3312984.3463	3312984.3459	3312984.3458
	2428203.4167	2428203.4156	2428203.4173	2428203.4145
	4863307.8030	4863307.8048	4863307.8029	4863307.8047
POLV	3411557.3722	3411557.3709	3411557.3713	3411557.3688
	2348463.9725	2348463.9717	2348463.9720	2348463.9701
	4834396.8672	4834396.8670	4834396.8654	4834396.8638
CRAO	3783897.1250	3783897.1242	3783897.1238	3783897.1210
	2551404.4028	2551404.4011	2551404.4031	2551404.4005
	4441264.2654	4441264.2656	4441264.2642	4441264.2628
EVPA	3767253.5081	3767253.5078	3767253.5075	3767253.5052
	2461876.3272	2461876.3261	2461876.3281	2461876.3253
	4504591.7762	4504591.7766	4504591.7760	4504591.7747
MIKL	3698554.0109	4639769.4722	3698554.0101	3698554.0078
	2308675.9878	2308675.9875	2308675.9888	2308675.9866
	3698554.0105	4639769.4724	4639769.4717	4639769.4703
GLSV	3512888.9789	3512888.9789	3512888.9786	3512888.9770
	2068979.8610	2068979.8609	2068979.8631	2068979.8615
	4888903.1862	4888903.1858	4888903.1851	4888903.1853
ISTA	4208830.3132	4208830.3139	4208830.3101	4208830.3100
	2334850.2770	2334850.2756	2334850.2768	2334850.2765
	4171267.2215	4171267.2222	4171267.2210	4171267.2215
BUCU	4093760.8761	4093760.8749	4093760.8742	4093760.8722
	2007793.7841	2007793.7841	2007793.7867	2007793.7837
	4445129.9427	4445129.9426	4445129.9423	4445129.9417
VLNS	3343600.6394	3343600.6379	3343600.6418	3343600.6373
	1580417.7206	1580417.7202	1580417.7247	1580417.7221
	5179337.2729	5179337.2694	5179337.2730	5179337.2711
SULP	3765297.0203	3765297.0199	3765297.0195	3765297.0164
	1677559.1895	1677559.1911	1677559.1928	1677559.1911
	4851297.3927	4851297.3919	4851297.3916	4851297.3902
UZHL	3907587.4755	3907587.4757	3907587.4762	3907587.4745
	1602428.6760	1602428.6773	1602428.6799	1602428.6782
	4763783.7398	4763783.7391	4763783.7410	4763783.7389
BOR1	3738358.4770	3738358.4779	3738358.4779	3738358.4765
	1148173.6955	1148173.6963	1148173.6982	1148173.6969
	5021815.7570	5021815.7563	5021815.7558	5021815.7563
MATE	4641949.5723	4641949.5730	4641949.5723	4641949.5726
	1393045.4078	1393045.4104	1393045.4125	1393045.4109
	4133287.4383	4133287.4384	4133287.4409	4133287.4405
WTZR	4075580.5727	4075580.5733	4075580.5746	4075580.5735
	931853.7816	931853.7824	931853.7851	931853.7835
	4801568.1159	4801568.1159	4801568.1182	4801568.1170

Таблиця 4. Коефіцієнти переходу між розв'язками MAO та GAO для GPS-тижнів 1259—1262

Номер тижня	Зсув по осі X, мм	Зсув по осі Y, мм	Зсув по осі Z, мм	Поворот навколо осі X, мс	Поворот навколо осі Y, мс	Поворот навколо осі Z, мс	Масштабний множник, мкм/км	СКВ, мм
1259	0.0±0.4	-0.8±0.4	-1.8±0.4	0.4±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1	-0.9±0.6	1.9
1260	0.6±0.5	-0.4±0.5	-4.9±0.5	0.9±0.2	0.5±0.2	0.2±0.1	-1.1±0.6	2.0
1261	0.6±0.4	0.2±0.4	-3.3±0.4	0.6±0.1	0.4±0.2	0.2±0.1	-1.5±0.5	1.7
1262	0.8±0.4	-1.1±0.4	-3.1±0.4	0.4±0.1	0.1±0.2	0.2±0.1	-2.0±0.5	1.6

Таблиця 5. Залишки після перетворення Гельмерта між розв'язками GAO та MAO, в мм, для GPS-тижнів 1259—1262

Станція	1259			1260			1261			1262		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
ALCI	-0.7	-0.9	-1.5	0.0	-0.4	-1.9	-0.7	-0.1	-0.8	-0.2	-0.4	-0.4
ZECK	-1.1	2.3	7.1	-1.4	2.4	8.0	-0.1	1.8	7.5	-0.5	2.5	7.8
BOR1	0.3	0.0	-1.5	0.0	-0.2	-0.8	-0.1	-1.0	-1.6	0.3	-0.4	-0.1
SULP	0.2	-1.1	3.8	0.1	-0.5	3.8	-0.1	-0.7	3.6	0.1	-0.6	0.6
BUCU	0.7	1.5	-0.8	0.5	1.2	-0.4	0.5	1.6	-0.9	0.1	-0.6	0.6
MIKL	-0.4	-1.6	0.1	-0.3	-1.6	0.4	-0.9	-1.0	1.1	-0.8	-1.8	-0.8
CRAO	-0.3	1.1	0.1	-0.3	1.0	2.4	-0.7	0.6	0.9	-0.9	0.5	0.3
TRAB	0.1	0.0	-4.5	0.6	-0.6	-6.6	1.5	-0.8	-4.5	1.4	-0.9	-3.5
EVPA	0.0	0.3	-0.7	0.2	0.1	-0.5	-0.2	0.2	-0.1	0.2	0.2	-1.9
ISTA	0.6	0.5	-3.0	0.5	-0.8	-4.4	0.8	0.2	-3.9	0.0	1.1	-1.5
GLSV	0.1	0.1	1.0	0.1	-0.5	0.5	-0.3	0.3	0.5	-0.1	-0.1	1.1
POLV	0.0	0.5	0.9	0.5	1.1	1.7	-0.3	0.5	-1.6	-0.5	-0.4	-2.7
VLNS	0.7	-1.8	2.1	-0.1	-1.0	-1.2	0.2	-0.9	0.0	0.7	1.2	0.1
KHAR	-0.5	0.7	1.4	0.1	-0.7	0.4	-0.5	0.4	-0.5	-0.1	-1.5	0.5
MOBN	-1.8	-2.3	-4.9	-1.3	-0.6	-2.5	-1.2	-0.6	-1.6	-1.0	0.0	-0.7
MATE	0.8	0.2	1.6	0.1	0.6	2.5	0.9	0.2	2.2	-0.2	0.0	2.0
UZHL	0.5	0.3	-0.1	-0.1	0.4	-0.4	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	0.2
WTZR	0.8	0.1	-1.2	0.9	-0.1	-1.1	1.0	-0.9	-0.6	0.7	-0.7	0.6
СКВ, мм		1.9			2.0			1.7			1.6	

Таблиця 6. Коефіцієнти перетворення Гельмерта між розв'язками для GPS-тижнів 1259—1262

Номер тижня	Зсув по осі X, мм	Зсув по осі Y, мм	Зсув по осі Z, мм	Поворот навколо осі X, мс	Поворот навколо осі Y, мс	Поворот навколо осі Z, мс	Масштабний множник, мкм/км	СКВ, мм
GAO – UKR								
1259	-0.4±0.4	2.2±0.4	1.6±0.4	0.0±0.1	0.2±0.2	0.1±0.1	1.2±0.5	1.6
1260	0.3±0.4	1.0±0.4	2.9±0.4	0.5±0.1	0.4±0.2	0.2±0.1	1.1±0.6	1.9
1261	0.7±0.5	-1.4±0.5	-3.1±0.5	0.0±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1	1.0±0.6	2.1
1262	-0.2±0.5	1.4±0.5	-0.3±0.5	0.0±0.2	0.1±0.2	0.2±0.1	1.7±0.1	2.1
MAO – UKR								
1259	-0.4±0.3	1.3±0.3	-0.2±0.3	0.3±0.1	0.2±0.1	0.0±0.1	0.3±0.4	1.2
1260	1.0±0.3	0.6±0.3	-2.0±0.3	0.3±0.1	0.1±0.1	0.0±0.1	0.0±0.4	1.2
1261	1.2±0.2	-1.1±0.2	-6.4±0.2	0.6±0.1	0.0±0.1	0.0±0.1	-0.5±0.3	0.9
1262	0.6±0.3	0.4±0.3	-3.4±0.3	0.4±0.1	0.2±0.1	0.0±0.1	-0.3±0.4	1.2

Оскільки нас цікавить узгодженість результатів роботи двох програмних продуктів, ми не наводимо абсолютних значень координат GPS-станцій для MAO і GAO. Табл. 2 містить різниці координат станцій у розв'язках MAO та GAO. GAO отримано в системі координат ITRF2000 завдяки накладанню жорстких обмежень на опорні станції, координати яких взято з каталога ITRF2000. Вказані обмеження використовуються для отримання тижневих розв'язків EPN.

#### КОМБІНАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ, ОТРИМАНИХ ПРОГРАМНИМИ КОМПЛЕКСАМИ GAMIT/GLOBK ТА «BERNESE GPS SOFTWARE»

Результати обробки було конвертовано з внутрішнього формату GAMIT (h-файли) у формат SINEX ver. 1.00. За допомогою «Bernese Software» було виконано комбінацію даних у SINEX-форматах для вказаного вище ряду спостережень, у результаті чого отримано об'єднані розв'язки UKR для GPS-тижнів 1259—1262. Результати наведено в табл. 3.

*Порівняння результатів, отриманих різними програмами.* Для порівняння розв'язку, отриманого ПЗ GAMIT/GLOBK, та розв'язку Локального центру обробки GPS-спостережень ГАО НАН України було обчислено параметри перетворення Гельмерта, наведені в табл. 4.

Як видно, параметри переходу між системами координат, які задають розв'язки, малі за абсолютною величиною. Найбільше значення складають зсуви по осі Z, що пояснюється найбільшою похибкою визначення вертикальної складової у порівнянні з горизонтальними. Було обчислено також залишки після перетворення Гельмерта, які подано в табл. 5. Залишки після перетворення складають в середньому 2 мм, максимального значення вони досягають для крайніх станцій — до 8 мм.

Аналіз отриманих результатів показує, що різниці між розв'язками лежать у межах похибки, яку оцінює IGS [11]. Це свідчить про можливість усунення внутрішніх похибок «Bernese Software» за допомогою комбінування розв'язку, отриманого цим ПЗ, з розв'язком ПЗ GAMIT/GLOBK.

Табл. 6 показує коефіцієнти переходу між системами координат, які задають розв'язки GAO, MAO та комбінованим розв'язком UKR. Більші значення параметрів переходу UKR — GAO та середнього квадратичного відхилення (СКВ) для цього переходу зумовлені особливістю обчислення UKR. Його отримано за допомогою модулів «Bernese GPS Software» з SINEX-файлів. Така процедура передбачає

відновлення твірної матриці нормальних рівнянь з матриці коваріацій за допомогою зняття накладених обмежень, а також обчислення ваг нормальних рівнянь. При комбінації розв'язків ми вважали, що MAO і GAO мають однакову вагу, не проводячи досліджень достовірності матриць коваріацій розв'язків, отриманих різними ПЗ. Проте у повідомленні IGS [<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/mail/igsreport/2004/msg00152.html>] та у роботі [6] повідомлялося, що ПЗ «Bernese GPS Software» та GAMIT переоцінюють формальну похибку обробки у 3—30 та 1—10 разів відповідно через особливості цих ПЗ (нехтування кореляцією параметрів між епохами, систематичні похибки, неточність моделювання стохастичних параметрів, довільність у приписуванні апріорної похибки спотереженням тощо). Один із варіантів обчислення масштабних множників формальних похибок для різних ПЗ подано у роботі [5].

#### ВИСНОВКИ

Аналіз розв'язків програмних комплексів «Bernese GPS Software ver. 4.2» та GAMIT/GLOBK ver. 10.1 (MAO та GAO) показує їхню узгодженість на рівні похибки визначення координат станцій перманентної GPS-мережі. Виняток складають крайні станції вибраної мережі (ISTA, TRAB, ZECK, MOBN, VLNS), для яких точність визначення координат є найменшою. Вищезазначене підтверджує можливість працювати з ПЗ GAMIT/GLOBK за стандартами EPN. Отримано комбінований розв'язок UKR. Розв'язки UKR в майбутньому, за умови обчислення вагових множників розв'язків GAO та MAO, рекомендуємо використовувати як продукт Локального центру обробки GPS-спостережень ГАО НАН України.

Робота виконана за підтримки гранту ДФФД Міністерства освіти і науки України Ф7/256-2001.

Автор щиро вдячний О. Ході за обчислення, виконані за допомогою ПЗ «Bernese GPS Software ver 4.2».

1. Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez. — Berne: Astron. Inst., Univ. of Berne, 2001.—515 p.
2. Blewitt G. An automatic algorithm for GPS data // Geophys. Res. Lett.—1990.—17, N 3.—P. 199—202.
3. Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software / R. King, Y. Bock. — Massachusetts Inst. of Technology, 2003.—320 p.
4. Feigl K., Andrew D., Bock Y., et al. Measurement of the

- velocity field in central and southern California // *J. Geophys. Res.*—1993.—98, N B3.—P. 21667—21712.
5. Kashani I., Wielgosl P., Grejner-Brzezinska D. A. On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software // *GPS Solutions.*—2004.—N 8.—P. 193—199.
  6. Mao A., Harrison C., Dixon Th. Noise in GPS coordinate time series // *J. Geophys. Res.*—1999.—105, N B2.—P. 2797—1999.
  7. 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.
  8. Niell A. E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // *J. Geophys. Res.*—1996.—101, N B2.—P. 3227—3246.
  9. Saastamoinen I. I. Contribution to the theory of atmospheric refraction // *Bull. Geodesique.*—1973.—107.—P. 13—43.
  10. Schaffrin B., Bock Y. A unified scheme for processing GPS phase observations // *Bull. Geodesique.*—1988.—62.—P. 142—160.
  11. Weber W., Ray J., Kouba J. Review of IGS Analysis Products // *Proc. IGS Network, Data, and Analysis Centre 2002*

Workshop “Towards Real-Time”, April 8—11, 2002, Ottawa, Canada. — Ottawa, 2002.—P. 3—10.

---

**COMPARISON BETWEEN RESULTS OF UKRAINIAN PERMANENT GPS-NETWORK DATA PROCESSING WITH GAMIT/GLOBK AND MAO GPS LOCAL ANALYSIS CENTRE RESULTS**

**M. O. Lytvyn**

A monthly series of Ukrainian Permanent GPS-network data is processed with the use of GAMIT/GLOBK ver. 10.1 and four weekly solutions are derived. These results are in good agreement with analogous solutions of the Local Analysis Centre at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine. Four combined solutions and transformation parameters between the coordinate systems are computed. An analysis of the solutions shows that it is possible to work with GAMIT/GLOBK according to EPN standards and that combined solution can be used as a product of the Local Analysis Centre.