

УДК 528.2:629.78

М. В. Ищенко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
marina@mao.kiev.ua

**Репроцессинг GPS-наблюдений: влияние моделей
калибровки комбинаций антенна — купол на
координаты перманентных GPS-станций**

В Центре анализа GPS-данных ГАО НАН Украины был выполнен репроцессинг GPS-спутников на перманентных станциях, расположенных в Украине и Восточной Европе. Использовалось программное обеспечение «Bernese GPS software ver. 5.0». Рассмотрено влияние относительных и абсолютных моделей вариаций фазовых центров комбинаций антенна — купол на определение координат перманентных GPS-станций.

РЕПРОЦЕСИНГ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ: ВПЛИВ МОДЕЛЕЙ КАЛИБРОВКИ КОМБІНАЦІЙ АНТЕНА — КУПОЛ НА КООРДИНАТИ ПЕРМАНЕНТНИХ GPS-СТАНЦІЙ, Іщенко М. В. — У Центрі аналізу GPS-даних ГАО НАН України виконано репроцесинг спостережень GPS-супутників на перманентних станціях, розташованих в Україні та Східній Європі. Використовувалося програмне забезпечення «Bernese GPS Software ver. 5.0». Розглянуто вплив відносних і абсолютних моделей варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол на визначення координат перманентних GPS-станцій.

REPROCESSING OF GPS OBSERVATIONS: INFLUENCE OF CALIBRATION MODELS OF ANTENNA/RADOME COMBINATIONS ON PERMANENT GPS STATION COORDINATES, by Ischenko M. V. — GPS satellite observations at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe are reprocessed at the GPS Analysis Center of the Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine with Bernese GPS Software ver. 5.0. The influence of relative and absolute phase center variations of antenna/radome combinations on the determination of coordinates of permanent GPS stations are considered.

Точка, местоположение которой измеряется GPS-приемником, является фазовым центром антенны GPS-приемника. В идеале фазовый центр должен совпадать с физическим центром антенны, но на практике это не так. Следует различать два эффекта: смещение фазового центра (phase center offset, *PCO*) и вариации фазового центра антенны (phase center variation, *PCV*). Величина *PCO* антенны определяется разницей между референчной точкой (antenna reference point, *ARP*) и средним значением фазового центра антенны. Обычно значения *PCO* приведены в пространственных координатах, относящихся к фазовому центру антенны, и должны предоставляться производителем, либо же определяться в процессе калибровки антенны.

Местоположение фазового центра антенны зависит от направления на GPS-спутник и не является стабильным. Эта зависимость называется вариацией фазового центра антенны. В основном эти вариации зависят от угла места спутника и гораздо меньше — от азимута спутника. Следует отметить, что вариации фазового центра антенны не совпадают для частот L_1 и L_2 и изменяются при наличии у антенны купола. В результате каждый принятый сигнал на различных частотах с GPS-спутника имеет свой индивидуальный фазовый центр. Для учета эффекта вариации фазовых центров при обработке наблюдений GPS-спутников необходимые комбинации антенна — купол должны быть откалиброваны.

До ноября 2006 г. при обработке GPS-наблюдений использовались относительные модели калибровок антенн, зависящие только от угла места спутников (больше 10°). Эти модели базировались на произвольном предположении, что вариации фазового центра референчной антенны *AOAD/M_T* равны нулю. В данной модели не учитывались вариации фазовых центров антенн GPS-спутников. Калибровки антенн других спецификаций проводились относительно референчной модели антенны.

Начиная с GPS-недели 1400 (5 ноября 2006 г.) Международная ГНСС-служба (International GNSS Service, IGS) рекомендует использовать абсолютные модели вариаций фазовых центров комбинаций антенна — купол наряду с новыми моделями и стандартами обработки (<http://igsb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2006/msg00161.html>). В данном случае *PCV* определялись независимо от референчной антенны [4]. В идеале все комбинации антенна — купол должны быть откалиброваны, например роботизированной системой, разработанной Университетом Ганновера и компанией GEO++ [6].

Величина *PCV* антенны оценивается без разделения фазовых сдвигов и относится к постоянной точке, которая регулируется системой в процессе калибровки антенны. К сожалению, эти так называемые истинные калибровки имеются далеко не для всех комбинаций антенна — купол. Во многих случаях приходится применять пересчитанные абсолютные вариации фазовых центров комбинаций антенна — купол по формуле

$$PCV_{abs} - PCV_{rel} - PCV_{abs} (AOAD / M_{T})$$

Стоит отметить, что для некоторых комбинаций антенна — купол нет даже относительных калибровок, и в таких случаях при обработке не учитывается наличие купола.

В Центре анализа ГНСС-наблюдений Главной астрономической обсерватории НАН Украины (ГАО НАН Украины) обработаны наблюдения GPS-спутников на 29 станциях, расположенных на территории Восточной Европы, 12 из которых — на территории Украины (рис. 1), для GPS-недель 1236—1399 (14 сентября 2003 г. — 4 ноября 2006 г.) [1]. Обработка была выполнена согласно требованиям Европейской перманентной ГНСС-сети (EPN), действующим до GPS-недели 1400, с использованием относительных моделей калибровок комбинаций антенна — купол. Решение было получено с помощью программного комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» [2]. Обозначим это решение *MAO*.

Кроме того, в ГАО НАН Украины был выполнен репроцессинг GPS-наблюдений для той же сети, с использованием новых моделей и методик обработки согласно рекомендациям EPN, вступивших в силу с GPS-недели 1400. Репроцессинг выполнялся с использованием абсолютных моделей вариаций фазовых центров комбинаций антенна — купол с помощью программного комплекса «Bernese GPS Software ver. 5.0» [3]. Обозначим это решение *MA1*. Координаты станций для решения *MAO* были получены в системе координат IGS00b, и для сравнения с координатами для решения *MA1* они были переведены в

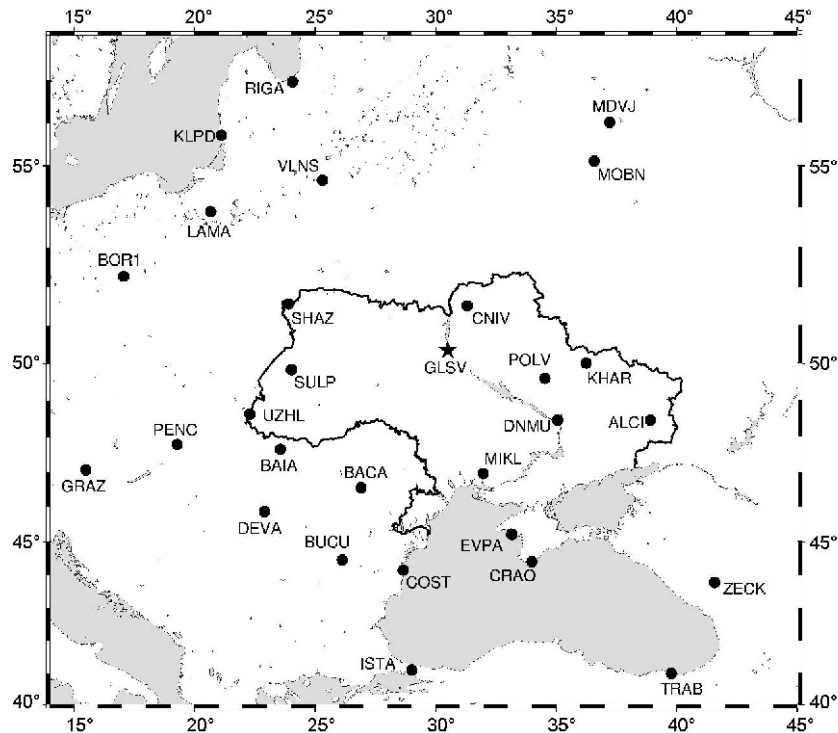


Рис. 1. Расположение перманентных GPS-станций

Таблица 1. Параметры Гельмерта между решениями МА1 и МА0

Составляющая	Смещение, мм	Вращение, мсд	Масштабный множитель, 10^{-9}
X	от -89.8 ± 35.1 до 23.9 ± 10.5	от -1.87 ± 0.29 до 0.46 ± 0.37	от 0.8 ± 0.1 до 11.4 ± 0.3
Y	от -32.4 ± 7.9 до 62.5 ± 9.6	от -1.49 ± 0.37 до 1.43 ± 1.20	
Z	от -61.9 ± 9.8 до -1.2 ± 9.0	от -0.89 ± 0.31 до 1.62 ± 0.29	

Таблица 2. Остатки U высотной составляющей после преобразования Гельмерта

Антенна — купол		Количество станций	$U \pm dU$, мм
AOAD/M_T	NONE	1 (M1) 14 (B3)	13.98 ± 1.24 -0.89 ± 7.51
AOAD/M_T	SCIS	1 (M1) 0 (B3)	-4.86 ± 1.95 N/A
ASH700936A_M	NONE	1 (M1) 3 (B3)	-3.07 ± 1.58 1.14 ± 3.57
ASH700936D_M	NONE	1 (M1) 1 (B3)	-2.00 ± 1.70 8.80 ± 5.94
ASH700936D_M	SNOW	4 (M1) 8 (B3)	9.84 ± 2.84 13.54 ± 10.39
ASH700936E	NONE	1 (M1) 1 (B3)	-0.46 ± 0.93 -1.77 ± 1.81
ASH700936F_C	SNOW	1 (M1) 0 (B3)	0.13 ± 1.34 N/A
ASH701945B_M	NONE	1 (M1) 4 (B3)	-0.65 ± 1.28 -2.59 ± 3.55
ASH701945C_M	SCIS	1 (M1) 0 (B3)	10.46 ± 2.44 N/A
JPSREGANT__DD_E	NONE	1 (M1) 3 (B3)	13.79 ± 2.36 12.49 ± 7.08
LEIAT504	LEIS	4 (M1) 17 (B3)	0.42 ± 1.23 -10.86 ± 3.15
TRM14532.00	NONE	1 (M1) 2 (B3)	-7.41 ± 8.52 -10.56 ± 1.92
TRM29659.00	NONE	7 (M1) 36 (B3)	-1.80 ± 1.52 1.12 ± 5.72
TRM41249.00	NONE	5 (MA1) 6 (B3)	-3.72 ± 1.50 -4.13 ± 3.78

систему координат IGS05 с помощью сервиса на сайте Центрального бюро EPN (http://www.epncb.oma.be/_dataproducs/coord_trans/).

Наличие двух решений МА0 и МА1 в единой системе координат позволило найти параметры Гельмерта между решениями для каждой GPS-недели. Минимальные и максимальные значения этих параметров и их погрешности приведены в табл. 1.

Остатки после преобразования Гельмерта могут дать информацию о влиянии перехода от относительных к абсолютным моделям ва-

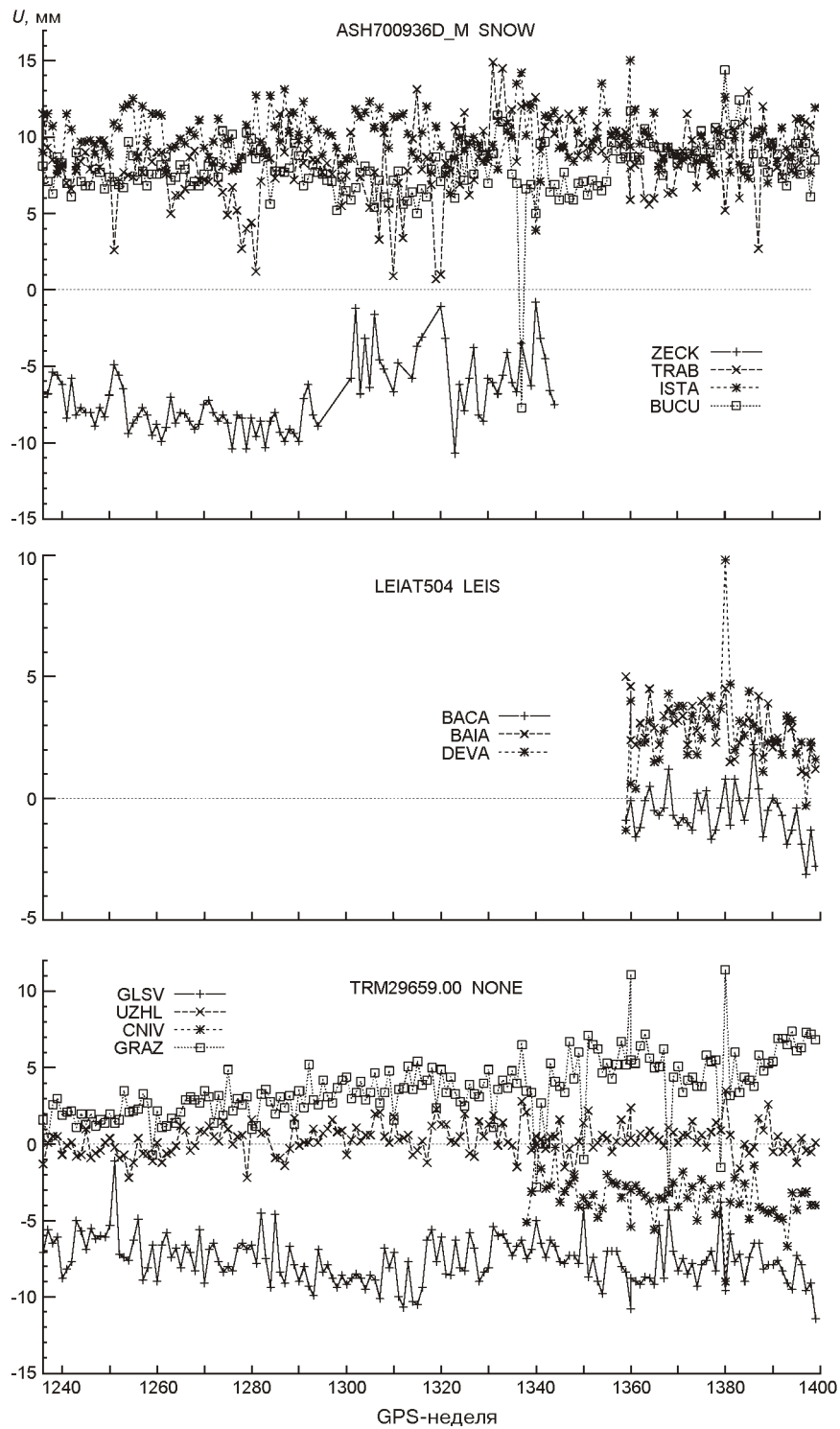


Рис. 2. Значения остатков по высотной составляющей для различных комбинаций антенна — купол после преобразований Гельмерта между решениями MA1 и MAO

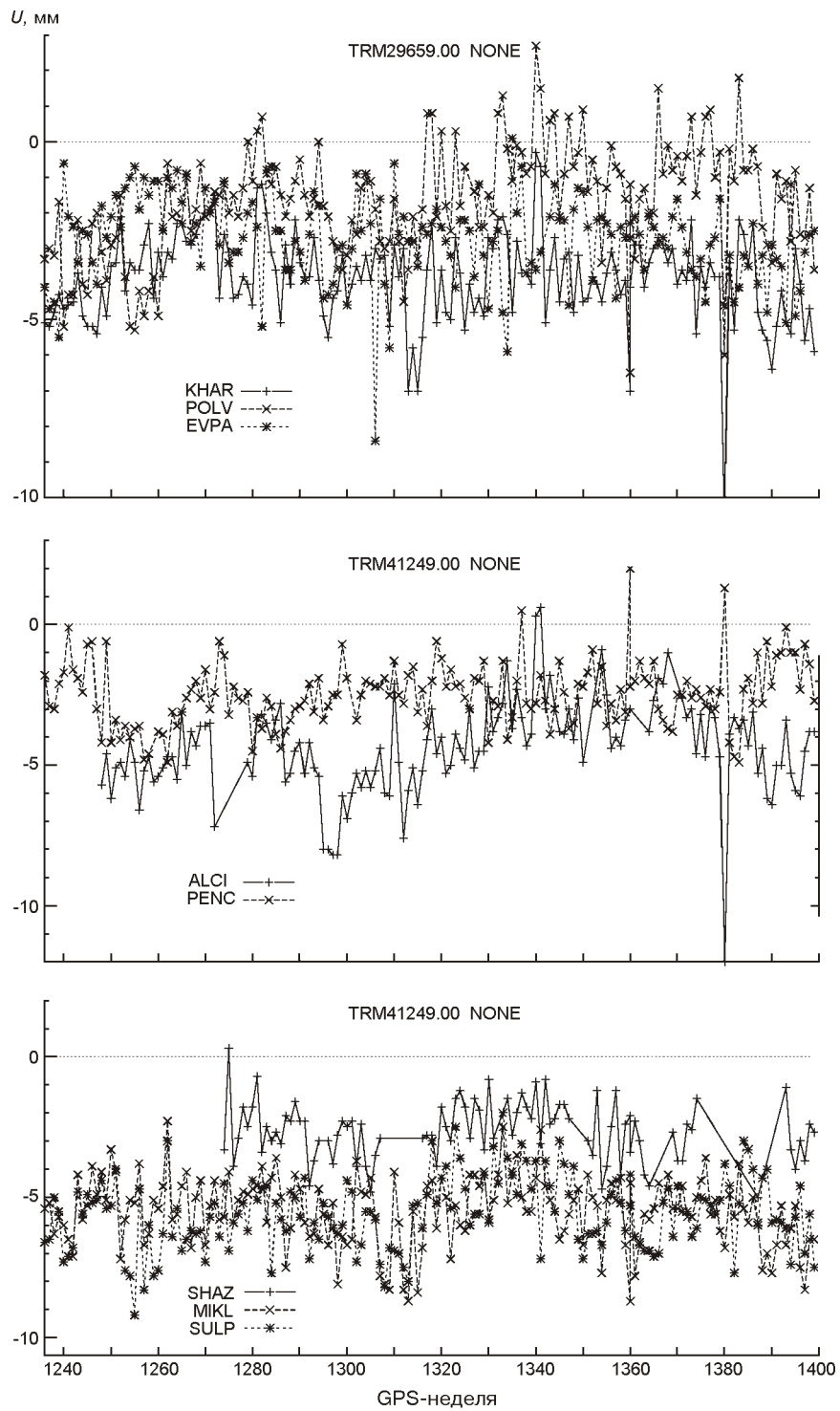


Рис. 2. (окончание)

риаций фазовых центров комбинаций антенна — купол на координаты GPS-станций. На рис. 2 показаны остатки для высотной составляющей для наиболее часто используемых в данной сети комбинаций антенна — купол. В табл. 2 приведены средние значения остатков U для высотной составляющей для каждой комбинации антенна — купол после преобразования Гельмерта между решениями $MA1$ и MAO (обозначены как $M1$). Для сравнения также приведены те же остатки после преобразования Гельмерта между решениями с абсолютными и относительными моделями вариаций фазовых центров комбинаций антенна — купол для региональной сети из работы [5] (обозначены как $B3$). Видно, что значения остатков совпадают в пределах ошибок для большинства комбинаций антенна — купол. Весомые различия значений наблюдаются в некоторых случаях значительных отличий количества станций для одной и той же комбинации антенна — купол для $M1$ и $B3$.

Можно сказать, что, хотя для получения решений $MA1$ и MAO использовались разные модели и методики обработки (различные модели океанических нагрузок, различные способы задания систем координат и т. д.), основной вклад в изменения координат GPS-станций привнесено изменением использованных моделей вариаций фазовых центров комбинаций антенна — купол (абсолютных вместо относительных).

Работа выполнена в рамках научных проектов «Наукові основи, програмно-технічне забезпечення функціонування української постійнодіючої ГНСС-мережі для досліджень регіональної та локальної геодинаміки (GEO-UA, 2008—2010 рр.)» и «Дослідження регіональної та локальної динаміки земної кори за даними регулярного моніторингу координат постійнодіючих ГНСС-станцій (ГЕОКОСМОС, 2011 р.)».

1. *Хода О. А.* Центр анализа GPS-данных ГАО НАН Украины: результаты обработки наблюдений для GPS-недель 1236—1399 // Кинематика и физика небес. тел.—2010.—**26**, № 6.—С. 56—67.
2. *Bernese GPS Software Version 4.2* / Eds U. Hugentobler, P. Fridez, S. Schaer. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2001. — 515 p.
3. *Bernese GPS Software Version 5.0* / Eds R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2007. — 612 p.
4. *Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E.* GNSS — Global Navigation Satellite System. — Wien, New York: Springer, 2008. — 152 p.
5. *Khoda O., Bruyninx C.* Influence of changing GPS antenna calibrations on EPN station coordinates // Presented at the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Brussels, Belgium, 18—21 June 2008.
6. *Wübbena G., Schmitz M., Menge F., et al.* Automated absolute field calibration of GPS antennas in real-time // Proc. ION GPS 2000. — Salt Lake City (USA), 2000.— P. 2512—2522.

Поступила в редакцию 29.09.11