

УДК 528.2:629.78

**О. А. Хода**

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

**Определение зенитной тропосферной рефракции  
на украинских перманентных GPS-станциях  
по данным наблюдений для GPS-недель 1236—1399**

*В Центре анализа GPS-данных ГАО НАН Украины с помощью комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» были обработаны наблюдения GPS-спутников на перманентных станциях, расположенных в Украине и в Восточной Европе, для GPS-недель 1236—1399. Приведены вычисленные значения зенитной тропосферной рефракции на украинских перманентных GPS-станциях.*

*ВИЗНАЧЕННЯ ЗЕНИТНОЇ ТРОПОСФЕРНОЇ РЕФРАКЦІЇ ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ ПЕРМАНЕНТНИХ GPS-СТАНЦІЙ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДЛЯ GPS-ТИЖНІВ 1236—1399, Хода О. О. — У Центрі аналізу GPS-даних ГАО НАН України за допомогою комплексу «Bernese GPS Software ver. 4.2» було оброблено спостереження GPS-супутників на перманентних станціях, розташованих в Україні та у Східній Європі, для GPS-тижнів 1236—1399. Обчислено значення зенітної тропосферної рефракції на українських GPS-станціях.*

*DETERMINATION OF TROPOSPHERIC ZENITH PATH DELAY FOR THE UKRAINIAN PERMANENT GPS STATIONS USING OBSERVATION DATA FOR GPS WEEKS 1236—1399, by Khoda O. A. — Observations of GPS satellites for GPS weeks 1236—1399 at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe were processed at the GPS Data Analysis Centre of the Main Astronomical Observatory with Bernese GPS Software ver. 4.2. The obtained values of tropospheric path delay for the Ukrainian permanent GPS stations are presented.*

## ВВЕДЕНИЕ

В Центре анализа GPS-данных ГАО НАН Украины были обработаны наблюдения GPS-спутников на 29 перманентных станциях [1], расположенных в Восточной Европе, для GPS-недель 1236—1399 (14 сентября 2003 г. — 4 ноября 2006 г.). В обработку были включены наблюдения 12 украинских перманентных GPS-станций:

- «Алчевск» (идентификатор: ALCI, номер DOMES: 12371S001),
- «Днепропетровск» (идентификатор: DNMU, номер DOMES: 12369M001),
- «Евпатория» (идентификатор: EVPA, номер DOMES: 12344M001),
- «Киев/Голосеево» (идентификатор: GLSV, номер DOMES: 12356M001),
- «Львов» (идентификатор: SULP, номер DOMES: 12366M001),
- «Николаев» (идентификатор: MIKL, номер DOMES: 12335M001),
- «Полтава» (идентификатор: POLV, номер DOMES: 12336M001),
- «Симеиз» (идентификатор: CRAO, номер DOMES: 12337M002),
- «Ужгород» (идентификатор: UZHL, номер DOMES: 12301M001),
- «Харьков» (идентификатор: KHAR, номер DOMES: 12314M001),
- «Чернигов» (идентификатор: CNIV, номер DOMES: 15501M001),
- «Шацк» (идентификатор: SHAZ, номер DOMES: 12370M001).

Обработка GPS-наблюдений была выполнена с помощью комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» [3] под операционной системой «Debian GNU/Linux 3.1».

## ОЦЕНКА ЗЕНИТНОЙ ТРОПОСФЕРНОЙ РЕФРАКЦИИ

Зенитная тропосферная рефракция может быть представлена в следующем виде:

$$z_{apr,R}^S = f_{apr}(z_R^S) \cdot f(z_R^S) \cdot n_R(t),$$

где  $z_R^S$  — тропосферная рефракция для спутника  $S$  на станции  $R$ ,  $z_{apr,R}^S$  — зенитная тропосферная рефракция в соответствии с выбранной априорной моделью (если используется стандартная атмосфера, то данная рефракция не зависит от времени),  $z_R^S$  — зенитное расстояние спутника  $S$  на станции  $R$ ,  $f_{apr}$  — функция наклона априорной модели,  $n_R(t)$  — оцениваемая зенитная тропосферная рефракция (зависящая от времени),  $f(z_R^S)$  — функция наклона для оцениваемого параметра.

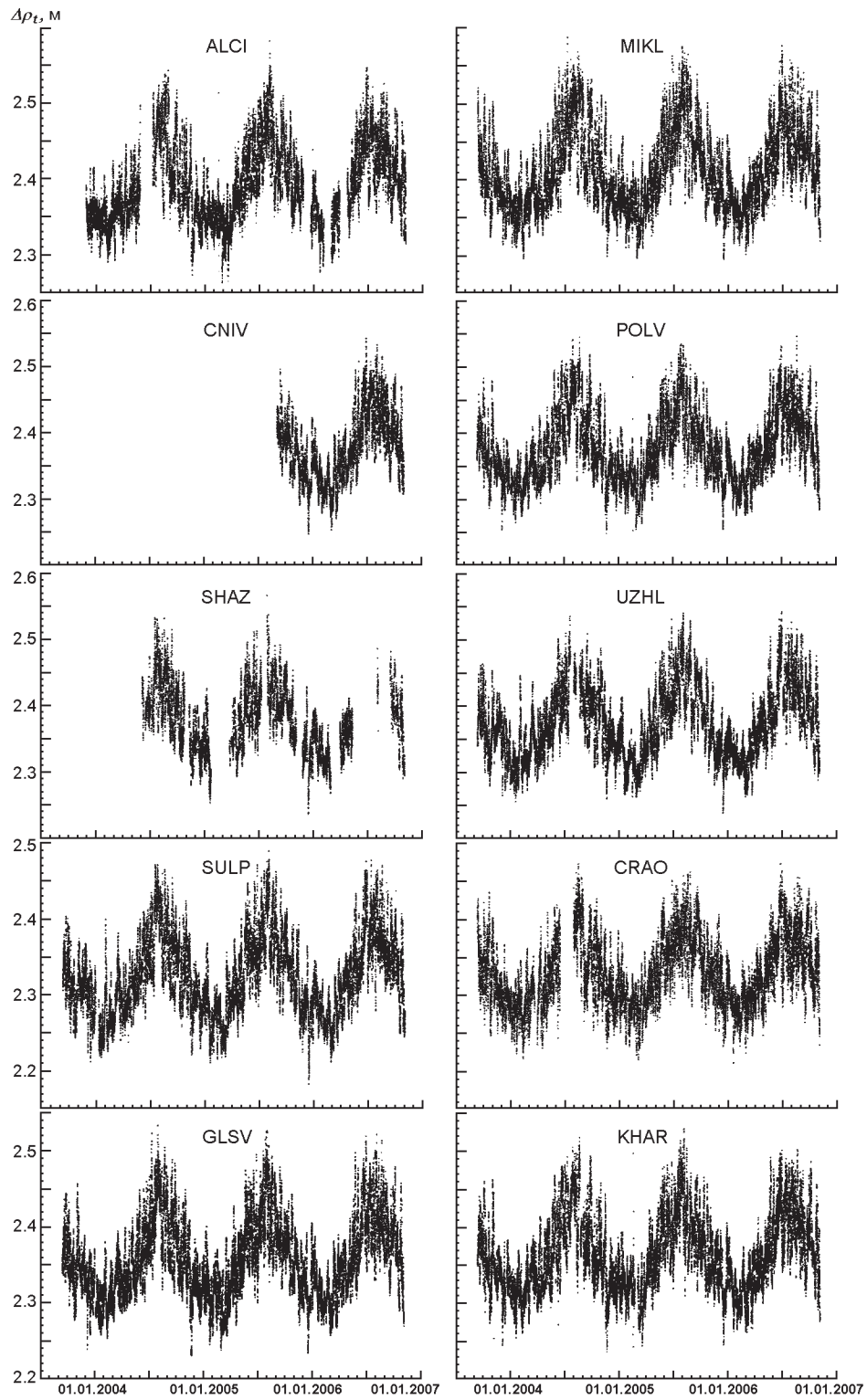
Как было указано, оцениваемый тропосферный параметр  $n_R(t)$  зависит от времени. Комплекс «Bernese GPS Software ver. 4.2» позво-

ляет определить набор параметров  $R$  для каждой GPS-станции. Каждый параметр будет действителен внутри задаваемого интервала  $\langle t_i, t_{i+1} \rangle$ . При обработке наблюдений с помощью «Bernese GPS Software ver. 4.2» использовались рекомендации Европейской перманентной GPS-сети (EPN, [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/guidelines\\_analysis\\_centres.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.php)) с одним исключением, которое будет упомянуто ниже. Процедура обработки детально описана в работе [1].

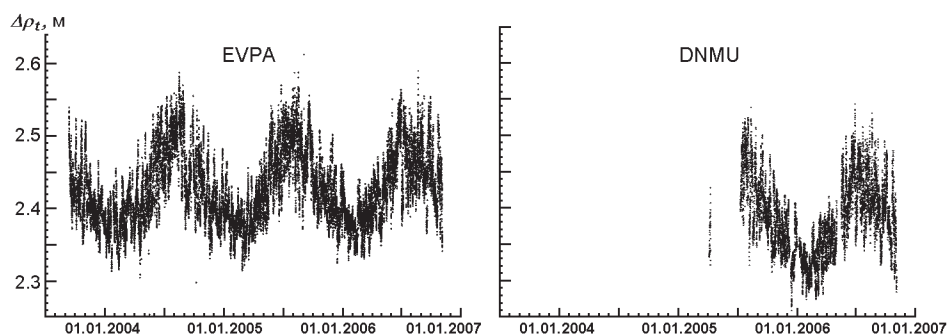
После того как были получены финальные координаты станций для данной GPS-недели [2], проводилась окончательная оценка тропосферной рефракции в зените для всех станций с помощью программы GPSEST. Программа GPSEST запускалась отдельно для каждых суток недели со следующими параметрами:

- использовались все файлы первых разностей (базы), сформированные на этапе предварительной обработки суточных сессий наблюдений;
- использовались комбинированные точные эфемериды GPS-спутников и параметры вращения Земли, полученные Международной ГНСС-службой (IGS) [4];
- использовались относительные вариации фазовых центров GPS-антенн, представленные в стандартном файле IGS ([ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs\\_01.pcv](ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs_01.pcv));
- использовались океанические нагрузки для станций, посчитанные по модели GOT00.2\_PP службой Космической обсерватории Онсала, Швеция (<http://www.oso.chalmers.se/~loading/>);
- для получения решения использовалась фазовая комбинация  $L3$ ;
- фиксировались координаты всех станций из финального решения для данной GPS-недели;
- фиксировались целые значения фазовых неоднозначностей, вычисленные на этапе предварительной обработки суточных сессий наблюдений;
- использовались наблюдения спутников с минимальным углом места  $10^\circ$  со взвешиванием фазовых измерений в зависимости от угла места для всех эпох наблюдений (а не с рекомендованным EPN периодом выборки измерений 180 с);
- априорная модель тропосферной рефракции не использовалась ( $apr.R = 0$ );
- тропосферные параметры определялись каждый час для каждой станции;
- использовалась опция DRY\_NIELL, задающая функцию наклона  $nmfh2.0$  [5].

Решения сохранялись как во внутреннем текстовом формате комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2», так и в формате TROPEX.



Значения тропосферной рефракции в зените для станций ALCI, CNIV, CRAO, GLSV, KHAR, MIKL, POLV, SHAZ, SULP и UZHL



То же для станций EVPA и DNMU

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обработки были оценены значения зенитной тропосферной рефракции для всех станций сети. Полученные значения тропосферной рефракции в зените для украинских перманентных GPS-станций показаны на рисунке. СКО полученных значений составляют в основном 0.3—0.8 мм. Столь оптимистические значения СКО можно объяснить большим количеством уравнений наблюдений, включенных в обработку.

Полученные файлы решений в формате TROPEX будут размещены на ftp-сервере ГАО НАН Украины (<ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gps/products/>).

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. *Хода О. А.* Определение координат украинских перманентных GPS-станций по данным наблюдений для GPS-недель 1236—1399 // Кинематика и физика небес. тел.—2011.—**27**, № 1.—С. 25—39.
3. *Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez.* — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2001.—515 p.
4. *Dow J. M., Neilan R. E., Gendt G.* The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade // *Adv. Space Res.*—2005.—**36**, N 3.—P. 320—326.
5. *Niell A. E.* Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // *J. Geophys. Res.*—1996.—**101B**, N 2.—P. 3227—3246.

Поступила в редакцию 12.06.09