

УДК 528.2:629.78

М. В. Ищенко

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

ЦЕНТР АНАЛИЗА ГНСС-ДАННЫХ ГАО НАН УКРАИНЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ РЕПРОЦЕССИНГА GPS-НАБЛЮДЕНИЙ НА ПЕРМАНЕНТНЫХ СТАНЦИЯХ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ GPS-НЕДЕЛЬ 1236—1399

Спостереження GPS-супутників на перманентних станціях, розташованих на території України та Східної Європи, оброблено за допомогою програмного комплексу «Bernese GPS Software ver. 5.0» з використанням нових моделей та методик обробки, впроваджених Міжнародною ГНСС-службою з GPS-тижня 1400. Отримано однорідні координатні ряди в системі координат IGS05 та значення зенітної тропосферної рефракції для GPS-тижнів 1236—1399. Наведено порівняння координатної повторюваності між розв'язками репроцесингу та регулярної обробки.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с GPS-недели 1400 (5 ноября 2006 г.) Международная ГНСС-служба (IGS) вводит новые модели и методики обработки ГНСС-наблюдений. Рекомендовано использовать абсолютные модели вариаций фазовых центров комбинаций антенна-купол вместо относительных, модель океанической нагрузки FES2004 вместо GOT00.2_PP и т. д. С этого же момента все продукты IGS, включая комбинированные точные эфемериды ГНСС-спутников, координаты и скорости перманентных ГНСС-станций, выражаются в системе координат IGS05 (IGS-реализация системы координат ITRF2005).

Изменения, которые были внесены в методики обработки, модели, априорные данные и программное обеспечение, привели к несогласованности полученных координатных рядов перманентных ГНСС-станций.

В 2008 г. IGS начала кампанию репроцессинга, которая была направлена на улучшение орбит GPS-спутников [13]. Наличие точных эфемерид в системе координат IGS05 позволило органи-

зовать репроцессинг архивных данных GPS-наблюдений в Центре анализа ГАО НАН Украины. Для репроцессинга использовались рекомендации Европейской перманентной ГНСС-сети (EPN), вступившие в силу с GPS-недели 1400 [http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.php].

Цель данного репроцессинга — получить согласованные координатные ряды и значения зенитной тропосферной рефракции для 29 GPS-станций (прежде всего для 12 украинских GPS-станций).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕПРОЦЕССИНГ

Репроцессинг был выполнен для GPS-недель 1236—1399 (14 сентября 2003 г. — 4 ноября 2006 г.). Решение обозначено как MA1. Описание GPS-станций и диаграмма наблюдений приведены в работе [4].

Для получения решения использовался программный комплекс «Bernese GPS Software ver. 5.0» [6], разработанный в Астрономическом институте Бернского университета (Швейцария). Данный программный комплекс позволяет обрабатывать как кодовые, так и фазовые наблю-

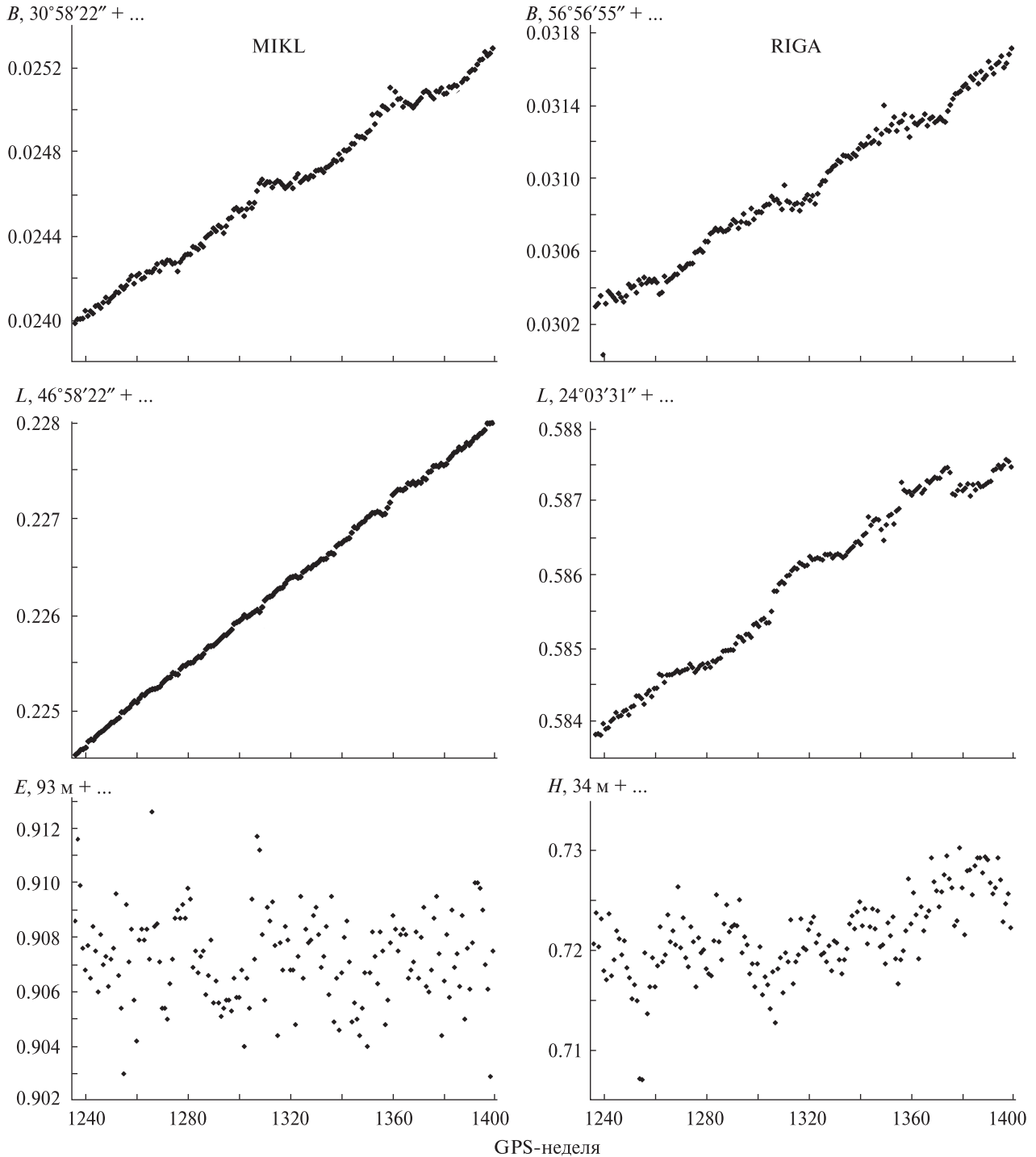


Рис. 1. Координати GPS-станцій MIKL і RIGA (широта B , довгота L , висота H)

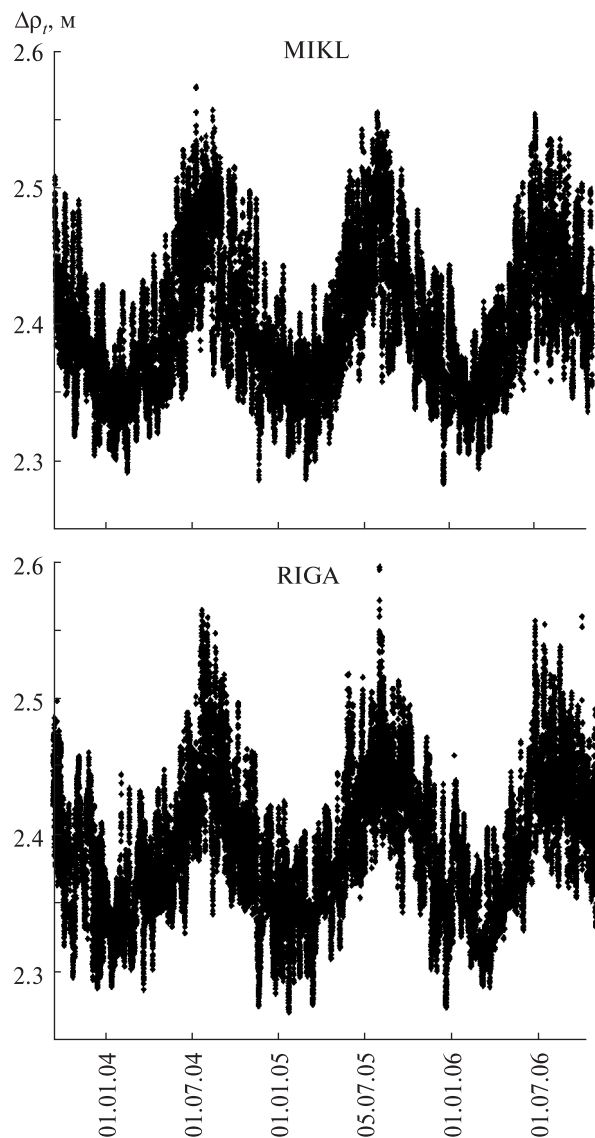


Рис. 2. Значения зенитной тропосферной рефракции Δp , для GPS-станций MIKL и RIGA

дения ГНСС-спутников на пунктах локального, регионального и глобального масштабов. В результате обработки доступны координаты станций с высокой точностью, параметры орбит спутников, поправки к часам спутников и приемников, параметры тропосферной и ионосферной рефракции и т. д. С помощью модуля «Bernese Processing Engine», который входит в «Bernese GPS Software ver. 5.0», стало возможным выполнять автоматизированную обработку

сетей, состоящих из большого количества перманентных ГНСС-станций.

Для выполнения решения репроцессинга MA1 использовались следующие модели и априорные данные.

1. Файлы наблюдений в формате RINEX, взятые на ftp-сервере Центра анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины (ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gps/data).

2. Комбинированные точные эфемериды GPS-спутников и параметры вращения Земли, посчитанные в рамках кампании репроцессинга, проводимого IGS [13].

3. Координаты и скорости априорных станций на эпоху 2000.0, задающие систему координат, взяты из каталога IGS05. Для задания системы координат использовалось ограничение «No-net translation» на координаты станций GLSV, POLV, MDVJ, BOR1 и TRAB.

4. Абсолютные модели калибровок фазовых центров антенна — купол в формате ANTEX [http://www.iers.org/products/2/11428/orig/message_071.txt].

5. Модель океанических нагрузок FES2004 [8].

6. Гравитационная модель JGM3 и солнечно-лунные эфемериды DE200 [12].

7. Оценки разностей кодовых наблюдений, предоставленные CODE [7].

8. Тропосферная модель Саастамойнена [11], задаваемая опцией DRY_NIELL. Для приведения значений к зениту использовать опция NIELL функцией наклона nmft2.0 [10]. Для использования наблюдений спутников с углом места от 3°, использовался тропосферный градиент [6].

9. Нутационная модель IAU2000 [9].

Процесс получения решения для отдельной GPS-недели можно разделить на несколько этапов:

- предварительная обработка суточных сессий наблюдений,
- получение оценок координат для отдельных GPS-суток,
- получение оценок координат для отдельной GPS-недели,
- получение финальных значений зенитной тропосферной рефракции для всех GPS-станций.

Схема процесса обработки представлена на рис. 2 работы [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате выполненного решения репроцессинга в Центре анализа ГНСС-данных получены согласованные координатные ряды в системе координат IGS05 и значения тропосферной рефракции для 29 GPS-станций для GPS-недель 1236—1399. Полученные файлы в форматах SINEX и TROPEX размещены на ftp-сервере ГАО НАН Украины (<ftp://mao.kiev.ua/pub/gps/products/IGS05>). Значения координат приводились в табл. 2 нашей работы [1]. На рис. 1 и 2 представлены изменения значений широты, долготы, высоты и зенитной тропосферной рефракции для станции MIKL (Николаев, Украина), находящейся в середине сети, и для станции RIGA (Рига, Латвия), находящейся на окраине сети.

Ранее в Центре анализа ГНСС-данных была выполнена регулярная обработка наблюдений для тех же GPS-станций и того же временного периода согласно рекомендациям, действующим до GPS-недели 1400. Обработка была выполнена с помощью программного комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» [5]. Решение обозначено как *MAO*.

Одной из характеристик выполненного решения репроцессинга является повторяемость координат [1]. На рис. 3 изображены средние значения повторяемости координат для GPS-станций для северной, восточной и высотной составляющих для решений *MA1* и *MAO*.

Видно, что значения повторяемости координат для решений *MA1* почти в три раза меньше для северной и восточной составляющих и в два раза меньше для высотной составляющей, чем для решения *MAO*, т. е. использование улучшенных орбит GPS-спутников, новых моделей и методик обработки позволило повысить точность оценки координат GPS-станций.

ВЫВОДЫ

С помощью программного комплекса «Bernese GPS Software ver. 5.0» выполнен репроцессинг архивных GPS-наблюдений для GPS-недель 1236—1399 и получены согласованные координатные ряды в системе координат IGS05 и значения зенитной тропосферной рефракции.

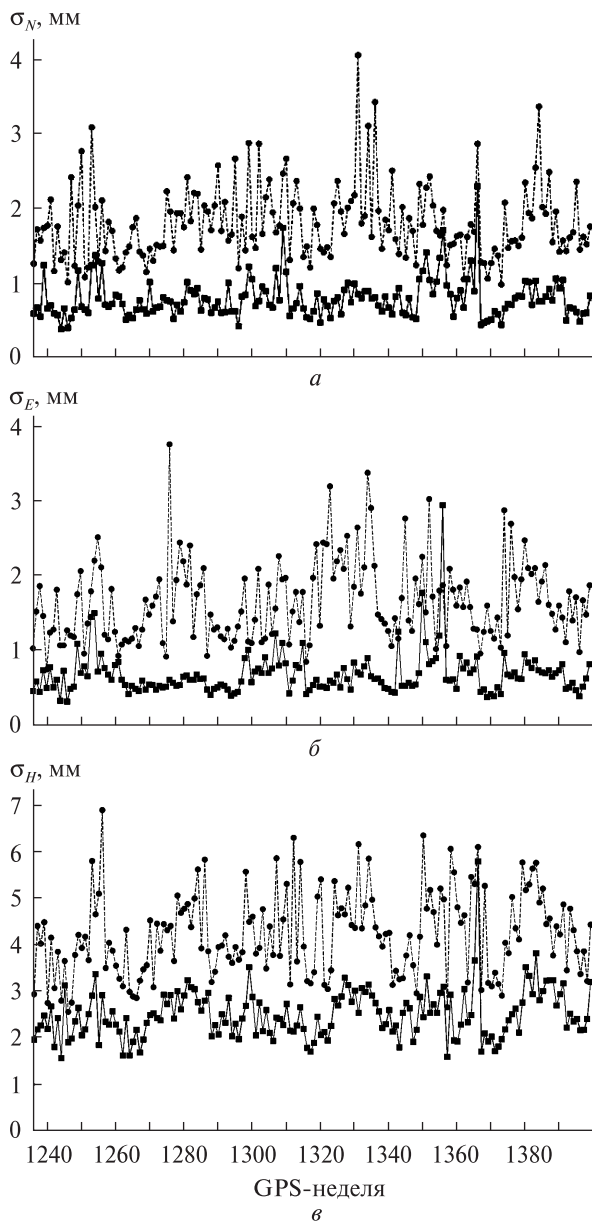


Рис. 3. Повторяемость координат для решений *MA1* и *MAO* (а — северная, б — восточная, в — высотная составляющие)

Использование горизонтального тропосферного градиента позволило использовать наблюдения GPS-спутников с углом места от 3° , что привело к улучшению определения параметров зенитной тропосферной рефракции.

Сравнение повторяемости координат показало, что для решения *MA1* значения почти в три

раза меньше для северной и восточной составляющей и в два раза меньше для высотной составляющей, чем для решения *МАО*.

Основной вклад в улучшение координатных рядов был внесен благодаря использованию абсолютных моделей калибровок антенна — купол (вместо относительных) [2] и улучшенных орбит GPS-спутников (кампания репроцессинга *IGS Repro I*).

Работа частично выполнена в рамках конкурсной темы «Дослідження регіональної та локальної геодинаміки земної кори за даними регулярного моніторингу координат постійнодіючих ГНСС-станцій» в рамках Целевой комплексной программы НАН Украины по научным космическим исследованиям за 2012 г.

1. Ищенко М. В. Оценка качества репроцессинга GPS-наблюдений на перманентных станциях региональной сети для GPS-недель 1236—1399 // Космічна наука та технологія. — 2012. — **18**, № 4. — С. 66—73.
2. Ищенко М. В. Репроцессинг GPS-наблюдений: влияние моделей калибровки комбинаций антенна — купол на координаты перманентных GPS-станций // Кинематика и физика небес. тел. — 2012. — **28**, № 4. — С. 76—82.
3. Хода О. А. Обработка эталонной тестовой кампании EPN в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины // Космічна наука і технологія. — 2012. — **18**, № 4. — С. 59—65.
4. 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.
5. Bernese GPS Software version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Shaer, P. Fridez. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2001. — 515 p.
6. Bernese GPS Software version 5.0 / Eds R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2007. — 612 p.

7. Jefferson D., Heflin D., Muellerschoen R. Examining the C1-P1 pseudorange bias // GPS Solutions. — 2001. — N 4(4). — P. 25—30.
8. Lyard F., Lefvre F., Letellier T., Francis O. Modeling the global ocean tides: a modern insight from FES2004 // Ocean Dynamics. — 2006. — N 56. — P. 394—415.
9. McCarthy D., Petit G. IERS Conventions // IERS Technical Note 32. Bundesamt fur Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main. — 2004.
10. Niell A. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // J. Geophys. Res. — 1996. — **101**. — P. 3227—3246.
11. Saastamoinen J. Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites // The use of artificial satellites for Geodesy, Vol. 15 of Geophysics Monogram Series, AGU. — 1972. — P. 244—251.
12. Standish E. The Observational basis for JPL's DE200, the planetary ephemerides of the astronomical almanac // Astron. and Astrophys. — 1990. — **233**, N 1. — P. 252—271.
13. Steigenberg P., Rothacher M., Fritsche M., et al. Quality of reprocessed GPS satellite orbits // J. Geodesy. — 2009. — **83**, N 3-4. — P. 241—248.

Надійшла до редакції 05.06.12

М. V. Ischenko

THE GNSS DATA ANALYSIS CENTRE OF THE MAIN ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE NAS OF UKRAINE: SOME RESULTS OF OBSERVATION REPROCESSING OF GPS OBSERVATIONS AT PERMANENT STATIONS OF THE REGIONAL NETWORK FOR GPS WEEKS 1236-1399

Observations of GPS satellites at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe were reprocessed with the Bernese GPS Software ver. 5.0 using new models and processing procedures adopted by the International GNSS Service since GPS week 1400. Homogeneous coordinate solution in the IGS05 reference frame and the values of zenith tropospheric refraction for GPS weeks 1236-1399 are obtained. Some results of our comparison for coordinate repeatabilities between reprocessing and regular processing solutions are given.