

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2024.01.075>

УДК 528.2:629.78

О. О. Хода

Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ
03143 м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 27
oleg@mao.kiev.ua

**Поширення системи відліку IGb14
на територію України за результатами аналізу
ГНСС-спостережень для GPS-тижнів 2106—2237**

3 17 травня 2020 р. по 26 листопада 2022 р. (GPS-тижні 2106—2237) всі продукти Міжнародної ГНСС-служби (IGS) — точні ефемериди GPS- та ГЛОНАСС-супутників, координати та швидкості перманентних ГНСС-станцій тощо — базувалися на системі відліку IGb14, другій реалізації IGS Міжнародної референсної земної системи відліку ITRF2014. У Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України було оброблено спостереження ГНСС-супутників на перманентних станціях, розташованих в Україні та у Східній Європі, для вказаного періоду. Обробку було виконано за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» відповідно до вимог Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN), що діяли на той час. Загалом було оброблено спостереження на 344 ГНСС-станціях, зокрема на 273 українських станціях, що належать таким операторам ГНСС-мереж: ГАО НАН України, Держгеокадастр України (УПМ ГНСС), ПрАТ «Систем Солюшнс» (System.NET), НУ «Львівська політехніка» (GeoTerrace), Навігаційно-геодезичний центр (НГЦ.net), Київський інститут земельних відносин (KyivPOS), Система координатно-часового і навігаційного забезпечення України (NET.Spacecenter), ТОВ Е.П.С. (EPS), UA-EUPOS/ZAKPOS, компанія ТНТ ТП (RTKHUB Network) та ТОВ КМС. Система відліку IGb14 задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку EPN Class A із каталогу EPN C2130. В результаті отримано оцінки координат ГНСС-станцій у системі відліку IGb14 та оцінки зенітних тропосферних затримок для всіх станцій. Величини середньої повто-

рюваності значень складових координат ГНСС-станцій для кожного тижня (характеристик точності отриманих добових та тижневих розв'язків) лежать у таких діапазонах: для північної складової — від 0.62 мм до 1.35 мм (середнє значення 0.98 мм), для східної складової — від 0.73 мм до 1.45 мм (середнє значення 1.09 мм) з викидами в 2.39 мм та 1.81 мм для GPS-тижнів 2159 та 2168 відповідно, для висотної складової — від 2.52 мм до 6.36 мм (середнє значення 3,89 мм).

Ключові слова: ГНСС, система відліку IGB14, перманентні станції.

На початок 2020 р. у часових рядах досить значної кількості перманентних ГНСС-станцій, координати яких задавали систему відліку IGS14 [19], першу реалізацію системи відліку ITRF2014 [2] від Міжнародної ГНСС-служби (IGS) [12], з'явилися розриви, спричинені землетрусами, заміною обладнання на станціях тощо. Це зробило неможливим використання таких станцій як референсні. Крім того, координати станцій у каталозі IGS14 задавались на епоху 2010.0, отже їх доводилося екстраполювати на великий період часу, що могло внести додаткові помилки.

Для стабілізації узгодженості своїх продуктів з Міжнародною референсною земною системою координат IGS оновила свою реалізацію системи відліку ITRF2014. До мережі нової реалізації IGB14 [18] було додано дев'ять нових перманентних ГНСС-станцій, чотири з яких замінили демонтовані станції, 28 станцій було виключено із мережі. Система відліку IGB14 задається координатами 233 перманентних ГНСС-станцій, рівномірно розташованих на поверхні Землі, координати яких було оцінено в результаті обробки спостережень для GPS-тижнів 730—2092, тобто для інтервалу часу на п'ять років більшого, ніж для системи відліку IGS14.

За масштабом, початком відліку та орієнтацією осей система відліку IGB14 узгоджується з IGS14 і, відповідно, з ITRF2014. Тому на глобальному рівні параметри перетворення Гельмерта між ними вважаються рівними нулю, але на регіональному рівні ці системи відліку можуть відрізнятися.

Міжнародна ГНСС-служба ввела в дію систему відліку IGB14 на початку GPS-тижня 2106 (17 травня 2020 р.) і використовувала її для своїх продуктів (ефемерид ГНСС-супутників, координат та швидкостей перманентних ГНСС-станцій тощо) до кінця GPS-тижня 2237 (26 листопада 2022 р.).

Для поширення системи відліку IGB14, другої реалізації системи відліку ITRF2014 від Міжнародної ГНСС-служби, на територію України в Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України (ГАО) було оброблено спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників для GPS-тижнів 2106—2237 (дні року 2020/138—2022/330). Використовувались спостереження на 273 українських станціях, 62 закордонних станціях Європейської перманен-

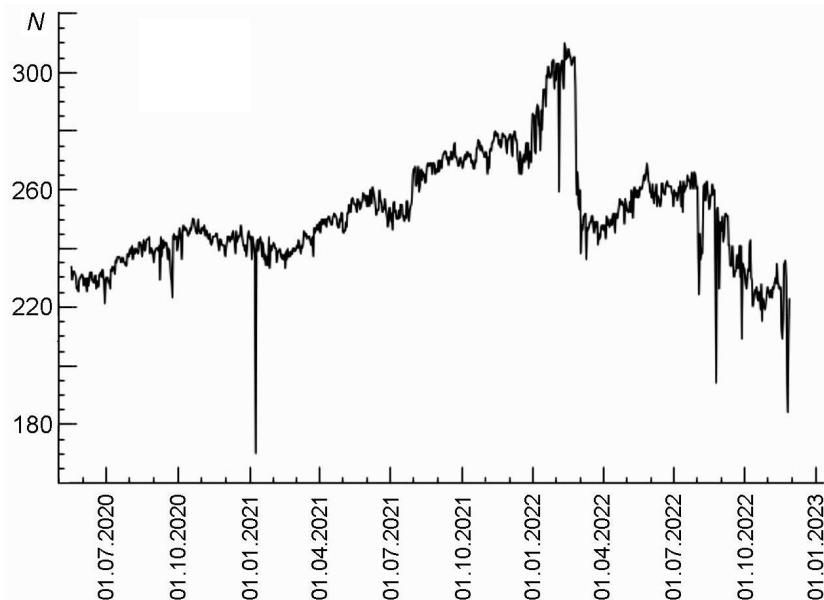


Рис. 1. Кількість N станцій для кожного дня обробки

тної ГНСС-мережі (EPN) [7] (21 з яких входить до мережі Міжнародної ГНСС-служби), розташованих навколо України, та дев'яти станціях мережі MOLDPOS Агентства земельних відносин та кадастру Республіки Молдова.

До обробки були включені всі станції українських ГНСС-мереж ГАО НАН України, Держгеокадастру України (УПМ ГНСС), System.NET, GeoTerrace, НГЦ.net, KyivPOS, а також декілька перманентних станцій ТОВ Є.П.С. (EPS) та ТОВ КМС і мереж NET.Spacecenter (Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України), UA-EUPOS/ZAKPOS та RTKHUB Network.

На рис. 1 показано кількість станцій для кожного дня обробки. Видно збільшення кількості станцій у 2021 р. переважно за рахунок зростання мереж GeoTerrace та УПМ ГНСС. Максимальна кількість станцій (308) була 10, 11 та 15 лютого 2022 р. На рисунку видно різке зниження кількості станцій після початку повномасштабного вторгнення російських військ в Україну 24 лютого 2022 р. До цього моменту кількість станцій значно зменшувалася двічі: 9 січня 2021 р. через технічні роботи на сервері мережі System.NET, через який до ГАО НАН України надходять дані з великої кількості станцій, та 3 лютого 2022 р. через технічний збій, що трапився на тому ж сервері.

Розташування всіх перманентних станцій, дані яких використовувались у представлений обробці, показано на рис. 2.

Аналіз ГНСС-спостережень було виконано у повністю автоматичному режимі за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» [4], створеного в Астрономічному інституті Бернського університету (Швейцарія). Для автоматизації обробки використовувався модуль комплексу BPE (Bernese Processing Engine).

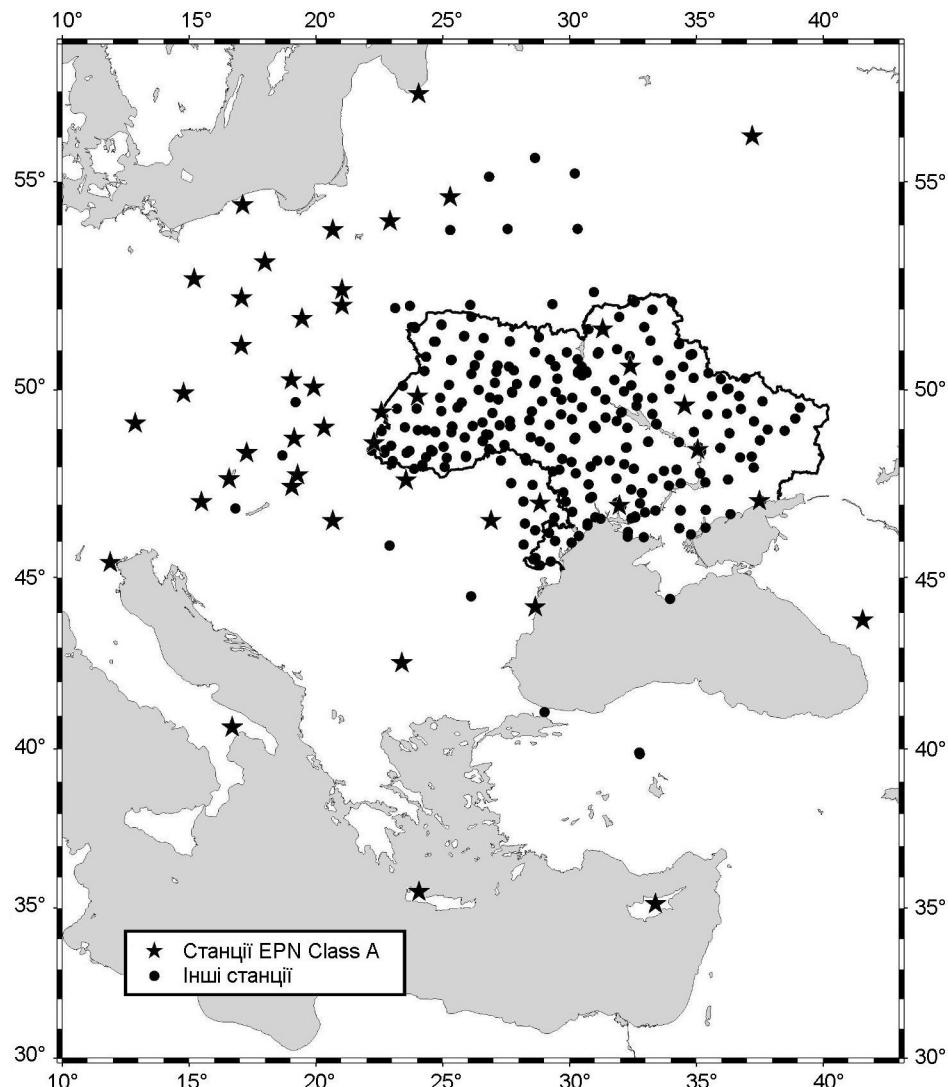


Рис. 2. Розташування ГНСС-станцій

Обробка даних виконувалась відповідно до вимог Європейської перманентної ГНСС-мережі [10], що діяли на той час. У табл. 1 представлено моделі, що були застосовані під час обробки. Також використовувалися такі продукти Центра визначення орбіт в Європі (Center for Orbit Determination in Europe, CODE) [8]:

- комбіновані точні ефемериди GPS- та ГЛОНАСС-супутників,
- параметри обертання Землі, узгоджені з точними ефемеридами супутників,
- глобальні моделі іоносфери;
- оцінки різниць кодових спостережень для кожного GPS- та ГЛОНАСС-супутника.

Для врахування тропосферної рефракції використовувалася функція відображення Vienna Mapping Function (VMF1) [5], файли завантажені

Таблиця 1. Моделі, що використовувалися при аналізі ГНСС-спостережень

Модель	Літературне джерело
Планетно-місячні ефемериди	DE405
Геопотенціальна модель Землі	EGM2008 у скорочений формі (до ступеня 200)
Модель нутації	IAU2000R06
Модель варіацій швидкості обертання Землі через океанічні припливи	IERS2010
Модель впливу земних припливів на гравітаційний потенціал Землі	IERS2000
Модель впливу океанічних припливів на гравітаційний потенціал Землі	FES2004
Модель навантажень приливного атмосферного тиску	S1/S2
Модель навантажень океанічних припливів	FES2004

жувались із сервера Технічного університету Відня (Австрія).

Для станцій, що входять до Європейської перманентної ГНСС-мережі, коефіцієнти навантажень океанічних припливів були доступні у стандартному файлі EPN_FES2004.BLQ на ftp-сервері Центрального Бюро EPN (<ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/station/general>). Для інших станцій їх було обчислено за допомогою провайдера коефіцієнтів навантажень океанічних припливів (Університетська космічна обсерваторія Технічного університету Чалмерса, Швеція) [6].

Абсолютні варіації фазових центрів комбінацій антена — купол майже для всіх станцій враховувались згідно з моделлю epn14.atx (модель igs14.atx [9] плюс індивідуальні калібрування комбінацій антена — купол). Для деяких українських перманентних ГНСС-станцій, які обладнані комбінаціями антена — купол, що не включені до вказаної моделі, використовувалась модель ngs14.atx [3].

Послідовність обробки тижневої сесії спостережень була такою ж, як і при аналізі даних в системі відліку IGS14 [1]. Для кожного тижня виконувались такі кроки.

1. Підготовка до обробки тижневої сесії спостережень.
2. Обробка семи добових сесій спостережень.
3. Отримання фінального тижневого розв'язку.
4. Отримання розширеного тижневого розв'язку.
5. Формування звіту для тижневого розв'язку та архівaciя результатів.

Під час підготовки до обробки тижневої сесії спостережень завантажувались та оновлювались (за потреби) службові файли комплексу

«Bernese GNSS Software», завантажувався комбінований розв'язок EPN для поточного тижня у форматі SINEX.

Фінальний тижневий розв'язок отримувався шляхом урівнювання добових нормальних рівнянь. Для розширеного тижневого розв'язку провадилося об'єднання фінального тижневого розв'язку з комбінованим тижневим розв'язком EPN.

Обробкаожної добової сесії спостережень виконувалась у такій послідовності.

1. Завантаження для поточної доби ефемерид ГНСС-супутників, параметрів обертання Землі, файлів моделей, комбінованого розв'язку EPN, даних ГНСС-спостережень у форматі RINEX.
2. Перевірка якості RINEX-файлів, виключення коротких файлів спостережень.
3. Обчислення коефіцієнтів атмосферного навантаження для ГНСС-станцій.
4. Інтегрування ефемерид ГНСС-супутників.
5. Попередня обробка кодових спостережень (Single Point Positioning), оцінка поправок до годинників приймачів, розташованих на ГНСС-станціях.
6. Формування файлів перших різниць (баз) та кластерів баз.
7. Попередня обробка фазових спостережень, визначення моментів стрибків фаз, виключення із обробки ГНСС-станцій, що містять велику кількість поганих спостережень.
8. Отримання розв'язку з дійсними значеннями фазових невизначенностей.
9. Фіксація фазових невизначенностей з використанням різних методик в залежності від довжин баз.
10. Формування нормальних рівнянь для кластерів баз.
11. Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій, отримання фінального добового розв'язку.
12. Оцінка тропосферних параметрів.
13. Об'єднання фінального добового розв'язку з комбінованим розв'язком EPN, отримання розширеного добового розв'язку.
14. Формування звіту для добового розв'язку, архівація результатів.

Добові розв'язки отримувалися на фазовій комбінації L3 з фіксованими фазовими невизначенностями. Використовувалися спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників з періодом вибірки спостережень 180 с з мінімальним кутом місця 3 зі зважуванням фазових вимірювань в залежності від кута місця.

Система відліку IGB14 (друга IGS-реалізація системи відліку ITRF2014) задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку EPN Class A (BACA, BAIA, BBYS, BOGI, BOGO, BOR1, BUTE, BYDG, CNIV, COST, DNNU, GANP, GOPE, GRAZ, GWWL, IGEO, JOZ2, JOZE, KATO, KRA1, KRAW, LAMA,

LODZ, MARP, MATE, MDVJ, MIKL, MOP2, NICO, OROS, PADO, PENC, POLV, PRYL, REDZ, RIGA, SOFI, SPRN, SULP, SWKI, TUC2, USDL, UZHL, VLNS, WROC, WTZR та ZECK) з відповідного каталогу EPN C2130*.

Після проведення аналізу ГНСС-спостережень для GPS-тижнів 2106—2237 було отримано оцінки координат перманентних ГНСС-станцій для кожної доби та для кожного тижня спостережень в системі відліку IGB14 та, як побічний продукт, значення зенітних тропосферних затримок для всіх станцій. Для демонстрації отриманих результатів на рис. 3 як приклад показано зміни складових координат (широти, довготи та висоти) та значень зенітної тропосферної затримки для станції MIZO (смт. Мізоч, Рівненський р-н Рівненської обл.), що входить до ГНСС-мережі GeoTerrace. Добре видно зсув координат станції, що відбувся 31 липня 2020 р. після заміни ГНСС-антени на станції з «Trimble Zephyr 3 rover» (код IGS: TRM105000.10) на «3Coretel AT-703» (код NGS: 3COAT-703).

Оцінити точність отриманих добових та тижневих розв'язків можливо за величинами середньої повторюваності значень складових координат ГНСС-станцій для кожного тижня, представлених на рис. 4. Середні квадратичні відхилення оцінок координат ГНСС-станцій мають субміліметрові значення через велику кількість ступенів свободи, зумовлену великою кількістю рівнянь, і не можуть служити об'єктивним критерієм точності розв'язків.

Видно, що значення складових координат станцій лежать у таких діапазонах:

- північної: 0.62...1.35 мм,
- східної: 0.73...1.45 мм (з викидами в 2.39 мм та 1.81 мм для GPS-тижнів 2159 та 2168 відповідно),
- висотної: 2.52...6.36 мм.

Середні значення повторюваності координат для розв'язку в системі відліку IGB14 — 0.98 мм, 1.09 мм та 3.89 мм для північної, східної та висотної складових відповідно. Отже, можна стверджувати про високу точність отриманих оцінок координат.

Результати обробки розміщено на ftp-сервері ГАО НАН України за адресою [ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGb14/www/](http://ftp.mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGb14/www/>. Для). Для кожного тижня вільно доступні такі файли:

- MAOwww7.SNX[_COV].Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX з нормальними рівняннями (або з коваріаційною матрицею);
- MAOwww7.SUM.Z — звіт для тижневого розв'язку;
- MAOwww7_X.SNX[_COV].Z — розширений тижневий розв'язок у форматі SINEX з нормальними рівняннями (або з коваріаційною матрицею);
- MAOwwwd.SNX[_COV].Z — добові розв'язки у форматі SINEX з нормальними рівняннями (або з коваріаційною матрицею).

* http://epncb.eu/ftp/product/cumulative/C2130/EPN_A_IGb14_C2130.SNX.Z

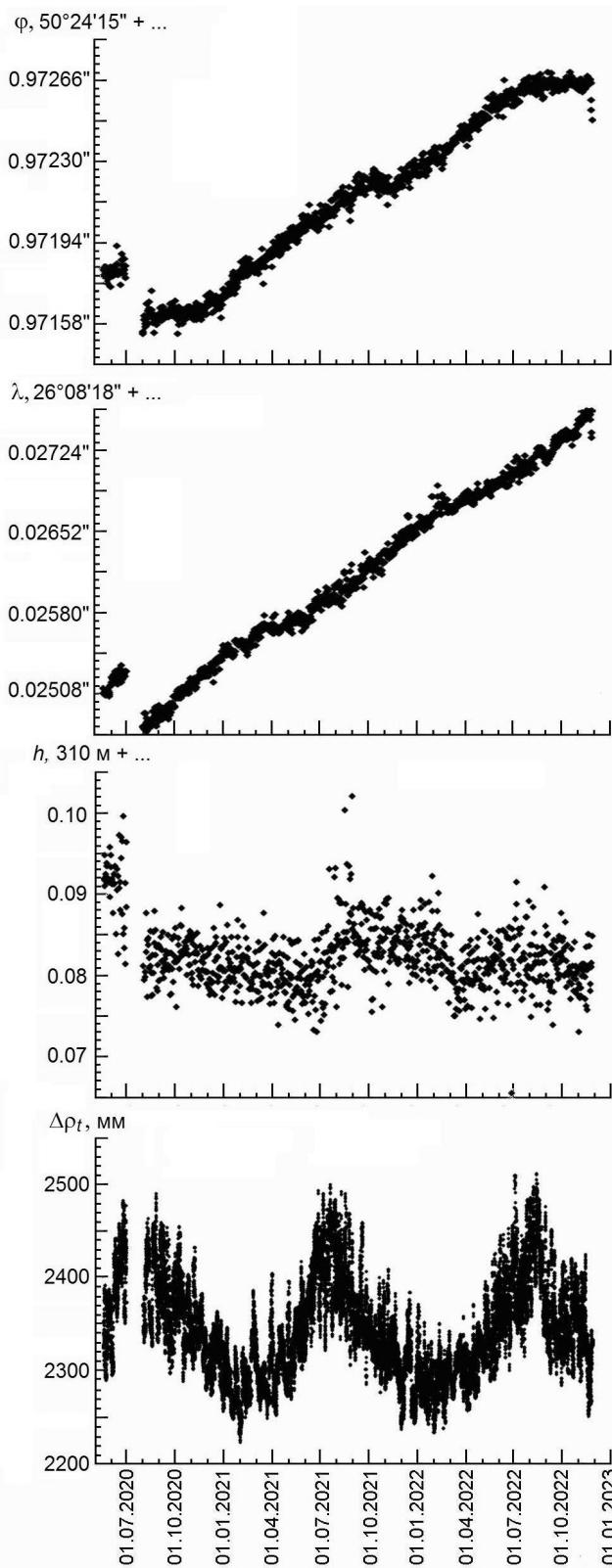


Рис. 3. Зміни значень координат (широти φ , довготи λ , висоти h) та зенітної тропосферної затримки $\Delta\rho_t$ на ГНСС-станції MIZO

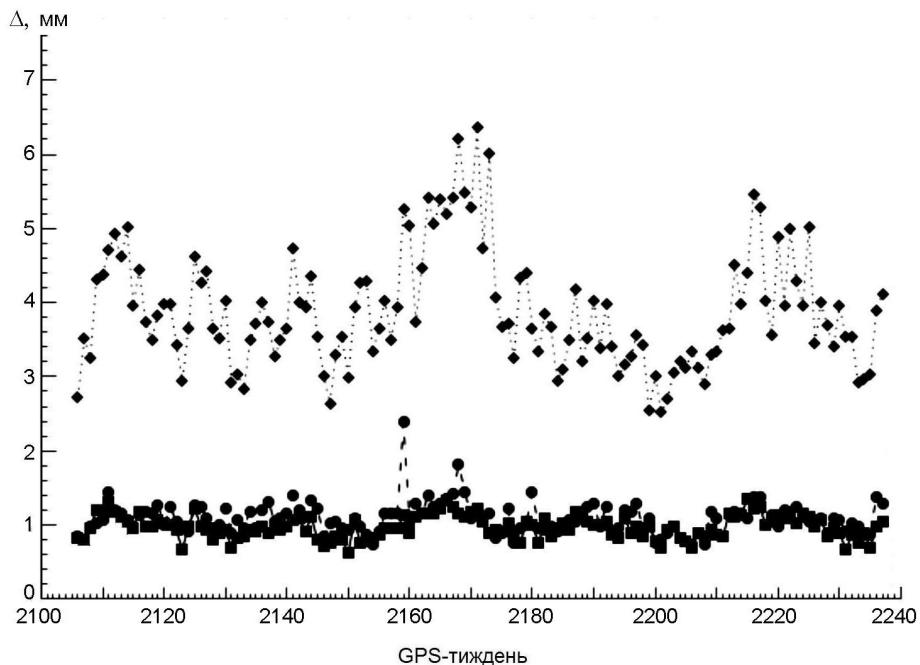


Рис. 4. Зміни середньої повторюваності значень складових координат ГНСС-станцій (квадратики — північної, кружки — східної, ромбики — висотної складової)

цею);

- MAOwwwwd_X.SNX[_COV].Z — розширені добові розв'язки у форматі SINEX з нормальними рівняннями (або з коваріаційною матрицею);
- MAOwwwwd.TRO.Z — оцінки значень зенітних тропосферних затримок для діб у форматі SINEX_TRO,

де www — GPS-тижень, d — день тижня (0 — неділя, ..., 6 — субота).

Отже, в результаті обробки спостережень, зареєстрованих протягом GPS-тижнів 2106—2237 на 344 перманентних ГНСС-станціях, розташованих на території України (273 станції) та Східної Європи (71 станція), у Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України було отримано високоточні оцінки координат станцій у системі відліку IGB14 та значень зенітних тропосферних затримок для всіх станцій.

Аналіз ГНСС-спостережень було виконано в рамках науково-дослідної роботи «Використання паралельних методів розрахунків з використанням кластерних технологій в астрофізиці та супутниковій геодезії» за Цільовою програмою наукових досліджень НАН України «Математичне моделювання у міждисциплінарних дослідженнях процесів і систем на основі інтелектуальних суперкомп'ютерних, грід- і хмарних технологій» (Договір №1 від 4 лютого 2022 р.).

1. Хода О. Аналіз ГНСС-спостережень (GPS-тижні 1934—2105) для поширення системи відліку IGS14 на територію України. *Кінематика і фізика небес. тіл.* 2023. 39, № 3. С. 79—89. DOI: 10.15407/kfnt2023.03.079.
2. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. *Analysis and results of ITRF2014*. IERS Technical Note No. 38. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. 2017. 76 p.
3. *Antenna Calibrations*. National Geodetic Survey. 2022.
URL: <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/> (Last accessed 01.03.2023).
4. *Bernese GNSS Software Version 5.2*. (Eds Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P.). Berne: Astronomical Institute, University of Berne. 2015. 894 p.
DOI: 10.7892/boris.72297.
5. Boehm J., Werl B., Schuh H. Troposphere Mapping Functions for GPS and Very Long Baseline Interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Operational Analysis Data. *J. Geophys. Res.* 2006. 111, Issue B2. Article B02406. DOI: 10.1029/2005JB003629.
6. Bos M. S., Scherneck H.-G. *Ocean tide loading provider*. Onsala Space Observatory. 2022. URL: <http://holt.oso.chalmers.se/loading/> (Last accessed 01.03.2023).
7. Bruyninx C., Legrand J., Fabian A., Pottiaux E. GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network, *GPS Solut.* 2019. 23, Issue 4. Article 106.
DOI: 10.1007/s10291-019-0880-9.
8. Dach R., Schaer S., Arnold D., Kalarus M., Prange L., Stebler P., Villiger A., Jaeggi A. *CODE final product series for the IGS*. Astronomical Institute, University of Bern. 2020. DOI: 10.7892/boris.75876.4.
URL: <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE> (Last accessed 01.03.2023).
9. Dawidowicz K. IGS08.ATX to IGS14.ATX change dependent differences in a GNSS-derived position time series. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2018. 15, No. 4. P. 363—378. DOI:10.13168/AGG.2018.0027.
10. *Guidelines for the EPN Analysis Centres*. 2022. 9 p.
URL: http://epncb.eu/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf (Last accessed 01.03.2023).
11. *IERS Conventions* (2010). (Eds Petit G., Luzum B.). IERS Technical Note No. 36. Frankfurt am Main. 2010. 179 p.
12. Johnston G., Riddell A., Hausler G. The International GNSS Service. Teunissen P.J.G., Montenbruck O. (Eds), *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems* (1st ed., P. 967—982). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-42928-1.
13. Letellier T. *Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux: Thèse doctorale*. Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace, 2004. 237 p.
14. Lyard F., Lefevre F., Letellier T., Francis O. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dyn.* 2006. 56, Issue 5-6. P. 394—415.
DOI: 10.1007/s10236-006-0086-x.
15. Pavlis N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.* 2012. 117, Issue B4. Article B04406. DOI: 10.1029/2011JB008916.
16. Ray R. D., Ponte R. M. Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Ann. Geophys.* 2003. 21, Issue 8. P. 1897—1910. DOI: 10.5194/angeo-21-1897-2003.
17. Ray R. D., Steinberg D. J., Chao B. F., Cartwright D. E. Diurnal and semidiurnal variations in the Earth's rotation rate induced by oceanic tides. *Science*. 1994. 264, Issue 5160. P. 830—832. DOI: 10.1126/science.264.5160.830.

18. Rebischung P. *Switch to IGB14 reference frame. IGSMAIL-7921.* 2020.
URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmai/2020/007917.html>
(Last accessed 01.03.2023).
19. Rebischung P., Schmid R. *IGS14/igs14.atx: a new framework for the IGS products.* Presented at the December 2016 Conference: AGU Fall Meeting. San Francisco (USA). 2016. URL: https://www.researchgate.net/profile/Ralf-Schmid-2/publication/311654495_IGS14igs14atx_a_new_framework_for_the_IGS_products/links/5852b2cf08ae0c0f32226ee7/IGS14-igs14atx-a-new-framework-for-the-IGS-products.pdf (Last accessed 01.03.2023).
20. Standish E. M. *JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405.* Jet Propulsion Laboratory, Interoffice Memorandum. 1998. IOM 312.F-98-048. 18 p.
URL: <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de405.iom.pdf> (Last accessed 01.03.2023).

REFERENCES

1. Khoda O. (2023) Analysis of GNSS observations (GPS weeks 1934–2105) for the propagation of the IGS14 reference frame on the territory of Ukraine. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 39(3). 173—179. DOI: 10.3103/S0884591323030054
2. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. (2017) *Analysis and results of ITRF2014.* IERS Technical Note No. 38. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. 76 p.
3. *Antenna Calibrations.* National Geodetic Survey. (2022)
URL: <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/> (Last accessed 01.03.2023).
4. *Bernese GNSS Software Version 5.2.* (2015) (Eds Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P.). Berne: Astronomical Institute, University of Berne. 894 p.
DOI: 10.7892/boris.72297.
5. Boehm J., Werl B., Schuh H. (2006) Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for medium-range weather forecasts operational analysis data. *J. Geophys. Res.* 111 (B2). Article B02406.
DOI: 10.1029/2005JB003629.
6. Bos M. S., Scherneck H.-G. (2022) *Ocean tide loading provider.* Onsala Space Observatory. URL: <http://holt.oso.chalmers.se/loading/> (Last accessed 01.03.2023).
7. Bruyninx C., Legrand J., Fabian A., Pottiaux E. (2019) GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network, *GPS Solut.* 23 (4). Article 106.
DOI: 10.1007/s10291-019-0880-9.
8. Dach R., Schaer S., Arnold D., Kalarus M., Prange L., Stebler P., Villiger A., Jaeggi A. (2020) *CODE final product series for the IGS.* Astronomical Institute, University of Bern. DOI: 10.7892/boris.75876.4.
URL: <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE> (Last accessed 01.03.2023).
9. Dawidowicz K. (2018) IGS08.ATX to IGS14.ATX change dependent differences in a GNSS-derived position time series. *Acta Geodynamica et Geomaterialia.* 15 (4). 363—378. DOI:10.13168/AGG.2018.0027.
10. *Guidelines for the EPN Analysis Centres.* (2022) 9 p.
URL: http://epncb.eu/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf (Last accessed 01.03.2023).
11. *IERS Conventions* (2010). (Eds Petit G., Luzum B.). IERS Technical Note No. 36. Frankfurt am Main. 179 p.
12. Johnston G., Riddell A., Hausler G. (2017) *The International GNSS Service.* Eds Teunissen P. J. G., Montenbruck O., Springer Handbook of Global Navigation

- Satellite Systems (1st ed., P. 967—982). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-42928-1.
- 13. Letellier T. (2004) *Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux*: Thèse doctorale. Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace. 237 p.
 - 14. Lyard F., Lefevre F., Letellier T., Francis O. (2006) Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dyn.* 56(5-6). 394—415.
DOI: 10.1007/s10236-006-0086-x.
 - 15. Pavlis N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. (2012) The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.* 117(B4). Article B04406. DOI: 10.1029/2011JB008916.
 - 16. Ray R. D., Ponte R. M. (2003) Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Ann. Geophys.* 21 (8). 1897—1910. DOI: 10.5194/angeo-21-1897-2003.
 - 17. Ray R. D., Steinberg D. J., Chao B. F., Cartwright D. E. (1994) Diurnal and semidiurnal variations in the Earth's rotation rate induced by oceanic tides. *Science.* 264 (5160). 830—832. DOI: 10.1126/science.264.5160.830.
 - 18. Rebischung P. (2020) *Switch to IGB14 reference frame. IGSMAIL-7921*.
URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2020/007917.html>
(Last accessed 01.03.2023).
 - 19. Rebischung P., Schmid R. (2016) *IGS14/igs14.atx: a new framework for the IGS products*. Presented at the December 2016 Conference: AGU Fall Meeting. San Francisco (USA). URL: https://www.researchgate.net/profile/Ralf-Schmid-2/publication/311654495_IGS14igs14atx_a_new_framework_for_the_IGS_products/links/5852b2cf08ae0c0f32226ee7/IGS14-igs14atx-a-new-framework-for-the-IGS-products.pdf (Last accessed 01.03.2023).
 - 20. Standish E. M. (1998) *JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405*. Jet Propulsion Laboratory, Interoffice Memorandum. IOM 312.F-98-048. 18 p.
URL: <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de405.iom.pdf> (Last accessed 01.03.2023).

O. Khoda

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kiev, Ukraine

PROPAGATION OF THE IGB14 REFERENCE FRAME
ON THE TERRITORY OF UKRAINE BASED ON RESULTS
OF THE ANALYSIS OF GNSS OBSERVATIONS FOR GPS WEEKS 2106—2237

From May 17, 2020 to November 26, 2022 (GPS weeks 2106—2237) all products of the International GNSS Service (IGS) — precise ephemerides of GPS and GLONASS satellites, coordinates and velocities of permanent GNSS stations, etc. — were based on the IGB14 reference frame, the second IGS realization of the release of the International Terrestrial Reference Frame ITRF2014. Observations of GNSS satellites at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe for this period were processed in the GNSS Data Analysis Centre of the Main Astronomical Observatory (MAO) NAS of Ukraine. The processing was carried out with the Bernese GNSS Software ver. 5.2 according to the requirements of the EUREF Permanent GNSS Network (EPN), that were relevant at that time. In total, observations on 344 GNSS stations, including 273 Ukrainian stations belonging to the following operators of GNSS networks: MAO NAS of Ukraine, StateGeoCadastre of Ukraine (UPN GNSS), PJSC System Solutions (System.NET), NU Lviv Polytechnic (GeoTerrace), Navigation and Geodetic Center (NGC.net), Kiev Institute of Land Relations (KyivPOS), Coordinate navigation maintenance system of

ПОШИРЕННЯ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ IGb14 НА ТЕРИТОРІЮ УКРАЇНИ

Ukraine (NET.Spacecenter), E.P.S. LLC, UA-EUPOS/ZAKPOS, TNT TPI company (RTKHUB Network), and KMC LLC, were processed. The IGb14 reference frame was set by No-Net-Translation conditions on the coordinates of the EPN Class A stations from the EPN C2130 catalogue. As result, the station coordinates in the IGb14 reference frame and the zenith tropospheric delays for all stations were estimated. The mean repeatabilities for components of station coordinates for all weeks (the characteristics of the precision of the received daily and weekly solutions) are in the following ranges: for north component — from 0.62 mm to 1.35 mm (average value is 0.98 mm), for east component — from 0.73 mm to 1.45 mm (average value is 1.09 mm) with outliers of 2.39 mm and 1.81 mm for GPS weeks 2159 and 2168 respectively, for height component — from 2.52 mm to 6.36 mm (average value is 3.89 mm).

Keywords: GNSS, IGb14 reference frame, permanent stations.

Стаття надійшла до редакції 31.03.2023

Після доопрацювання 31.03.2023

Прийнята до друку 20.10.2023