

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2023.03.079>

УДК 528.2:629.78

**О. О. Хода**

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,  
вул. Академіка Заболотного 27, Київ, Україна, 03143  
oleg@mao.kiev.ua

### **Аналіз ГНСС-спостережень (GPS-тижні 1934...2105) для поширення системи відліку IGS14 на територію України**

*З 29 січня 2017 р. по 16 травня 2020 р. (GPS-тижні 1934...2105) всі продукти Міжнародної ГНСС-служби (IGS) — точні ефемериди GPS- та ГЛОНАСС-супутників, координати та швидкості перманентних ГНСС-станцій тощо — базувалися на системі відліку IGS14 — першій 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 277 ГНСС-станціях, зокрема і на 205 українських станціях, що належать таким операторам ГНСС-мереж: ГАО НАН України, Держгеокадастр України (УПМ ГНСС), НУ «Львівська політехніка» (GeoTerrace), ПрАТ «Систем Солюшнс» (System.NET), компанія ТНТ ТПІ («TNT TPI GNSS Network»), Навігаційно-геодезичний центр (НГЦ.net), UA-EUPOS/ZAKPOS, ТОВ Є.П.С. (EPS), Система координатно-часового і навігаційного забезпечення України (NET.Spacecenter), Київський інститут земельних відносин (KyivPOS), ТОВ КМС. Система відліку IGS14 задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку EPN Class A із каталогу EPN C2100. В результаті отримано оцінки координат ГНСС-станцій у системі відліку IGS14 та оцінки зенітних тропосферних затримок для всіх станцій. Величини середньої повторюваності значень компонентів координат ГНСС-станцій для кож-*

ного тижня (характеристик точності отриманих добових та тижневих розв'язків) лежать у таких діапазонах: для північної та східної складових — від 0.6 мм до 1.4 мм (середні значення — 0.93 мм та 1.00 мм відповідно) з викидами східної складової в 2.02 мм та 1.55 мм для GPS-тижнів 2085 та 2091 відповідно, для висотної складової — від 2.0 мм до 5.5 мм (середнє значення 3.51 мм).

**Ключові слова:** ГНСС, система відліку IGS14, перманентні станції.

З 29 січня 2017 р. до 16 травня 2020 р. (GPS-тижні 1934...2105) всі продукти Міжнародної ГНСС-служби (IGS) [12] — точні ефемериди ГНСС-супутників, координати та швидкості перманентних ГНСС-станцій тощо — базувалися на системі відліку IGS14 (першій реалізації IGS системи відліку ITRF2014).

Вихід нової реалізації Міжнародної земної системи координат — ITRF2014 [1, 2] — був анонсований Центром міжнародних референсних земних систем координат (ITRS Centre) Міжнародної служби обертання Землі та референсних систем (IERS) 21 січня 2016 р. Як і для попередніх версій Міжнародної земної системи відліку, для побудови ITRF2014 використовувались розв'язки, отримані в результаті переробки спостережень, виконаних за допомогою чотирьох технік космічної геодезії, зокрема ГНСС [17], за весь історичний період до кінця 2014 р. Окрім часових рядів положень станцій та параметрів обертання Землі також було використано значення локальних прив'язок між станціями космічної геодезії на деяких пунктах колокації. Вперше Міжнародну земну систему відліку було згенеровано з використанням моделей нелінійних рухів станцій, а саме сезонних (річних та піврічних) сигналів, наявних у часових рядах положень станцій, та постсейсмічних деформацій для 124 майданчиків, які зазнали великих землетрусів.

При обробці спостережень ГНСС-супутників для створення системи відліку ITRF2014 використовувались параметри калібрувань комбінацій антена — купол відповідно до моделі igs08.atx [19]. До нової моделі варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол igs14.atx [9] було внесено такі зміни:

- додано абсолютні параметри калібрувань для 17 нових типів комбінацій антена — купол,
- уточнено абсолютні параметри калібрувань для 19 типів комбінацій антена — купол,
- додано відносні параметри калібрувань для двох нових типів комбінацій антена — купол,
- уточнено відносні параметри калібрувань для 11 типів комбінацій антена — купол,
- оновлено значення радіальних компонентів зсувів фазових центрів (z-PCOs) антен всіх GPS- та ГЛОНАСС-супутників,
- введено передпольотні калібрування зсувів фазових центрів (x- та y-PCOs) антен для супутників GPS Block IIR тощо.

Для узгодження з новою моделлю *igs14.atx* Міжнародна ГНСС-служба 29 січня 2017 р. ввела свою реалізацію системи відліку ITRF2014 — IGS14 [18], яка задається координатами 252 перманентних ГНСС-станцій, рівномірно розподілених по поверхні Землі. У цій реалізації до попередньої системи відліку IGB08 було додано 65 нових станцій, переважно розташованих в районах, які раніше були малопокритими, натомість 48 станцій, що були у каталозі IGB08, було виключено. Координати 113 станцій було уточнено для узгодження з моделлю *igs14.atx*, координати інших станцій збігаються з координатами із каталогу ITRF2014.

IGS14 та ITRF2014 базуються на різних моделях варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол, тому на регіональному рівні ці системи відліку можуть відрізнятися, але на глобальному рівні параметри перетворення Гельмерта між ними вважаються рівними нулю.

Спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників для GPS-тижнів 1934...2105 (дні року 2017/029...2020/137) було оброблено в Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України (ГАО) з метою високоточної оцінки координат перманентних ГНСС-станцій, розташованих в Україні і країнах Східної Європи, для поширення системи відліку IGS14 на територію України. Побічним продуктом обробки ГНСС-спостережень є оцінки значень тропосферної рефракції на перманентних станціях.

Аналіз ГНСС-спостережень на 205 українських перманентних станціях провадився разом із спостереженнями на 72 східноєвропейських перманентних ГНСС-станціях. 62 закордонні станції входять до Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN) [7], 24 з них включено до мережі Міжнародної ГНСС-служби, інші десять ГНСС-станцій — станції мережі MOLDPOS Агентства земельних відносин та кадастру Республіки Молдова.

Українські станції, спостереження на яких використовувались при обробці, належать до мереж ГАО НАН України, Держгеокадастру України, System.NET, GeoTerrace, НГЦ.net, KyivPOS, NET.Spacecenter (Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України). В обробку також було включено декілька станцій НБК «Європроммсервіс» та ТОВ КМС і мереж UA-EUPOS/ZAKPOS та «TNT TPI GNSS Network». На рис. 1 показано розташування всіх станцій, а на рис. 2 приведено кількість станцій для кожного дня обробки.

Обробку спостережень було виконано за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» [4], створеного в Астрономічному інституті Бернського університету (Швейцарія) відповідно до вимог Європейської перманентної ГНСС-мережі [10], що діяли на той час. Аналіз ГНСС-спостережень здійснювався у повністю автоматичному режимі. Для автоматизації обробки використовувався модуль комплексу BPE (Bernese Processing Engine).

Для обробки використовувалися продукти Центру визначення орбіт в Європі (Center for Orbit Determination in Europe, CODE) [8]: ком-

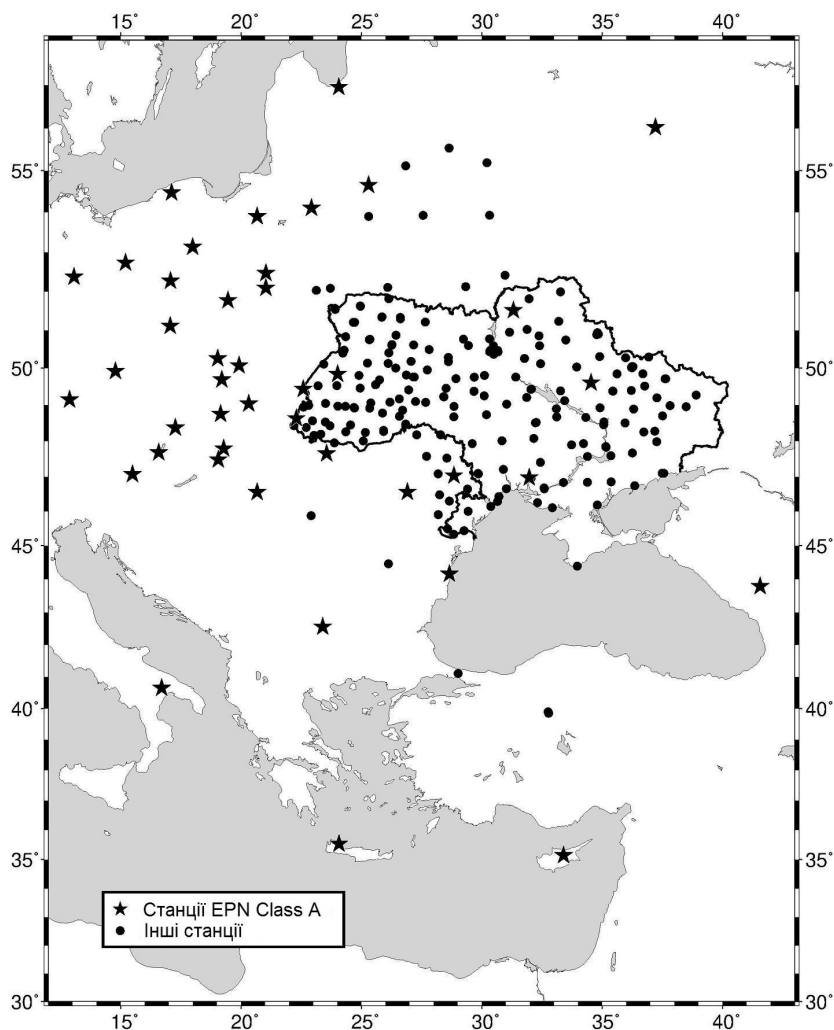


Рис. 1. Розташування ГНСС-станцій

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

Також використовувались такі моделі:

- планетно-місячні ефемериди DE405 [20], що надаються Лабораторією реактивного руху (JPL, США);
- геопотенціальна модель Землі EGM2008 [14] у скороченій формі (до степеня 200);
- модель нутації IAU2000R06 [11];
- модель варіацій швидкості обертання Землі через океанічні припливи [16];
- моделі впливу земних та океанічних припливів на гравітаційний потенціал Землі [11];

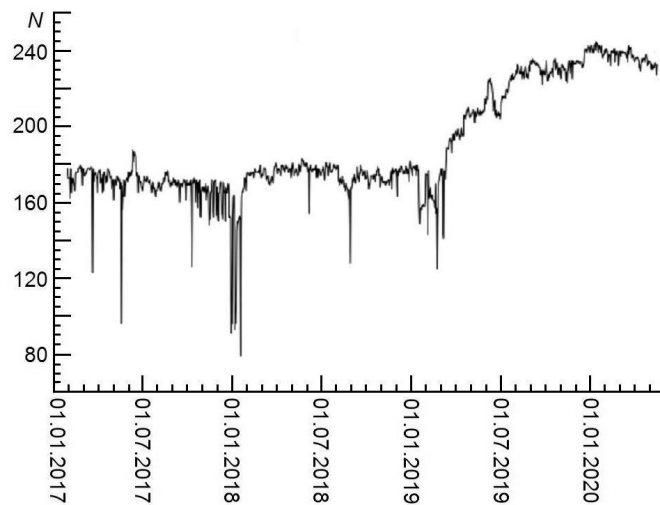


Рис. 2. Кількість  $N$  станцій для кожного дня обробки

- модель навантажень припливного атмосферного тиску S1/S2 [15];
- модель навантажень океанічних припливів FES2004 [13];
- функція відображення Vienna Mapping Function (VMF1) [5] для врахування тропосферної рефракції, файли завантажувались з сервера Технічного університету Відня;
- модель варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол epn14.atx (модель igs14.atx плюс індивідуальні калібровки комбінацій антена — купол).

Для EPN-станцій використовувався стандартний файл з коефіцієнтами навантажень океанічних припливів EPN\_FES2004.BLQ, доступний на ftp-сервері Центрального Бюро EPN (<ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/station/general>). Для ГНСС-станцій, що не входять до Європейської перманентної ГНСС-мережі, дані коефіцієнти було обчислено за допомогою провайдера коефіцієнтів навантажень океанічних припливів (OSO, Швеція) [6].

Для українських перманентних ГНСС-станцій, обладнаних комбінаціями антена — купол, що не включені до моделі epn14.atx, використовувалась модель ngs14.atx [3].

Аналіз тижневої сесії спостережень виконувався у такій послідовності.

- Завантаження та оновлення службових файлів комплексу «Bernese GNSS Software» (якщо потрібно).
- Завантаження комбінованого розв'язку EPN для поточного тижня у форматі SINEX.
- Обробка семи добових сесій спостережень.
- Урівнювання добових нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій.

- Об'єднання фінального тижневого розв'язку з комбінованим тижневим розв'язком EPN, отримання розширеного тижневого розв'язку.
- Формування звіту для тижневого розв'язку та архівація результатів.

Кожна добова сесія спостережень оброблялась згідно із наступними кроками.

- Завантаження ефемерид ГНСС-супутників та параметрів обертання Землі для поточної доби.
- Завантаження файлів моделей.
- Завантаження комбінованого розв'язку EPN для поточної доби у форматі SINEX.
- Завантаження даних ГНСС-спостережень у форматі RINEX для поточної доби.
- Перевірка якості RINEX-файлів. Виключення коротких файлів спостережень. Перетворення RINEX-файлів у внутрішній формат комплексу.
- Обчислення коефіцієнтів атмосферного навантаження для ГНСС-станцій.
- Перетворення ефемерид ГНСС-супутників у внутрішній формат комплексу. Інтегрування ефемерид ГНСС-супутників.
- Попередня обробка кодових спостережень (Single Point Positioning), оцінка поправок до годинників приймачів, розташованих на ГНСС-станціях.
- Формування файлів перших різниць (баз). Формування кластерів баз.
- Попередня обробка фазових спостережень, визначення моментів стрибків фаз, виявлення викидів, малих інтервалів спостережень та спостережень ГНСС-супутників з малим кутом місця. Виключення із обробки ГНСС-станцій, що містять велику кількість поганих спостережень.
- Отримання розв'язку з дійсними значеннями фазових невизначеностей.
- Фіксація фазових невизначеностей з використанням різних методик в залежності від довжин баз.
- Формування нормальних рівнянь для кластерів баз.
- Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій.
- Оцінка тропосферних параметрів.
- Об'єднання фінального добового розв'язку з комбінованим розв'язком EPN, отримання розширеного добового розв'язку.
- Формування звіту для добового розв'язку. Архівація результатів.

Добові та тижневі розв'язки отримувалися на фазовій комбінації L3 з фіксованими фазовими невизначеностями. Використовувалися спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників з періодом вибірки

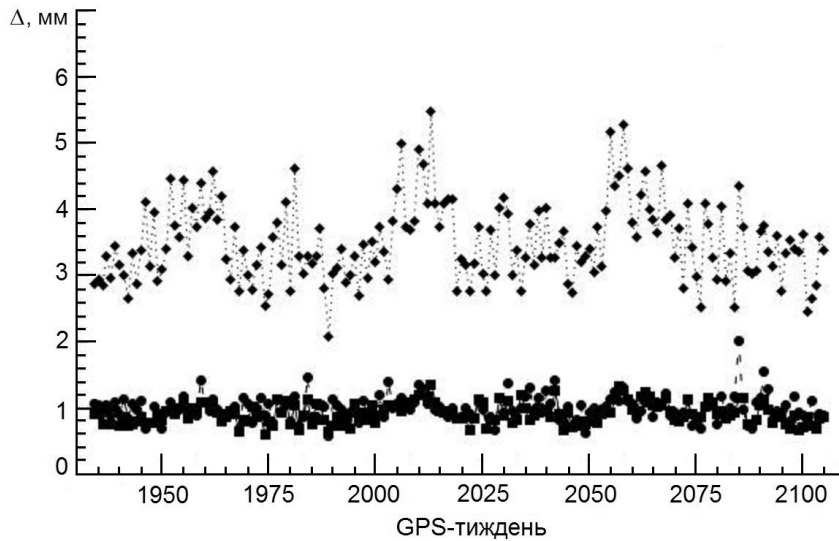


Рис. 3. Зміни середньої повторюваності значень компонентів координат ГНСС-станцій (квадратики — північна, точки — східна, ромбики — висотна)

спостережень 180 с з мінімальним кутом місця  $3^\circ$  зі зважуванням фазових вимірів у залежності від кута місця. Система відліку IGS14 (перша 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, GANP, GOPE, GRAZ, GWWL, IGEO, JOZ2, JOZE, KATO, KRA1, LAMA, LODZ, MATE, MDVJ, MIKL, MOP2, NICO, OROS, PADO, PENC, POLV, POTS, REDZ, RIGA, SOFI, SPRN, SULP, SWKI, TUC2, USDL, UZHL, VLNS, WROC, WTZR, ZECK та ZYWI — з відповідного каталогу EPN C2100 ([http://epncb.eu/ftp/product/cumulative/C2100/EPN\\_A\\_IGS14\\_C2100.SNX.Z](http://epncb.eu/ftp/product/cumulative/C2100/EPN_A_IGS14_C2100.SNX.Z)).

В результаті обробки ГНСС-спостережень було отримано оцінки координат перманентних ГНСС-станцій для кожної доби та для кожного тижня спостережень у системі відліку IGS14 та значення зенітних тропосферних затримок для всіх станцій.

Через велику кількість рівнянь, а отже і велику кількість ступенів свободи, середні квадратичні відхилення оцінок координат ГНСС-станцій мають субміліметрові значення. Отже, вони не можуть служити об'єктивним критерієм точності розв'язків. Для оцінки точності отриманих добових та тижневих розв'язків традиційно використовуються величини середньої повторюваності значень компонентів координат ГНСС-станцій для кожного тижня (рис. 3).

Видно, що значення північного та східного компонентів лежать у діапазоні від 0.6 мм до 1.4 мм з викидами східного компонента в 2.02 мм та 1.55 мм для GPS-тижнів 2085 та 2091 відповідно, значення висотного компонента змінюються від 2.0 мм до 5.5 мм. Середні значення повторюваності для розв'язку в системі відліку IGS14 —

**Таблиця 1.** Координати українських перманентних ГНСС-станцій, що входили у EPN, із розв'язків для GPS-тижня 2092 (епоха: 12 лютого 2020 р. 12:00 GPS)

Станція	Номер DOMES	X(MAO), м	Y(MAO), м	Z(MAO), м
		X(EUR), м	Y(EUR), м	Z(EUR), м
CNIV	15501M001	3397784.8806	2066990.7321	4969811.6486
		3397784.8837	2066990.7344	4969811.6523
DNMU	12369M001	3468976.5966	2434669.5414	4750720.2381
		3468976.6006	2434669.5445	4750720.2427
GDRS	15595M001	3532701.6860	1994351.4266	4905461.5976
		3532701.6882	1994351.4279	4905461.6003
GLSV	12356M001	3512888.6557	2068980.0950	4888903.3245
		3512888.6589	2068980.0967	4888903.3279
IZRS	18115M002	3934475.1905	2166173.0112	4513539.9099
		3934475.1930	2166173.0128	4513539.9125
KRRS	15597M001	3579308.4764	2259514.8914	4755360.0508
		3579308.4785	2259514.8929	4755360.0536
KTVL	12337M003	3785991.4939	2550749.2838	4439438.2947
		3785991.4951	2550749.2841	4439438.2956
MARP	15556M001	3451047.0098	2647880.8130	4649213.5503
		3451047.0133	2647880.8157	4649213.5542
MIKL	12335M001	3698553.6824	2308676.2437	4639769.6281
		3698553.6848	2308676.2451	4639769.6301
MKRS	15599M001	3915408.8674	1638600.4878	4745087.2332
		3915408.8697	1638600.4883	4745087.2361
POLV	12336M001	3411557.0264	2348464.1713	4834396.9916
		3411557.0302	2348464.1738	4834396.9959
PRYL	15502M001	3425672.8877	2174035.6007	4904999.9943
		3425672.8912	2174035.6032	4904999.9984
SMLA	15503M001	3546267.4457	2204464.1180	4805379.2967
		3546267.4478	2204464.1194	4805379.2987
SULP	12366M001	3765296.7095	1677559.4337	4851297.5404
		3765296.7117	1677559.4348	4851297.5425
VNRS	18101M001	3670860.2486	1987087.4461	4806792.9657
		3670860.2506	1987087.4474	4806792.9682
ZPRS	18102M001	3507142.9692	2470487.9338	4704181.6330
		3507142.9707	2470487.9342	4704181.6357

0.93 мм, 1.00 мм та 3.51 мм для північного, східного та висотного компонентів відповідно, що дозволяє стверджувати про високу точність отриманих оцінок координат.

У табл. 1 наведено координати українських перманентних ГНСС-станцій, що на той момент входили у EPN, для GPS-тижня 2092 (9—15 лютого 2020 р., дні року 040...046) із тижневого розв'язку ГАО НАН України (код розв'язку — MAO) та тижневого комбінованого розв'язку Європейської перманентної ГНСС-мережі (код розв'язку — EUR). Мережа станцій для останнього розв'язку покриває



значно більшу територію, ніж мережа станцій для розв'язку ГАО НАН України, чим пояснюються невеликі різниці між значеннями координат станцій (переважно 2...4 мм).

Результати обробки розміщуються на ftp-сервері ГАО НАН України за адресою <ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGS14/wwww/>. Для кожного тижня доступні такі файли:

- MAOwwww7.SNX.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);
- MAOwwww7.SNX\_COV.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);
- MAOwwww7.SUM.Z — звіт для тижневого розв'язку;
- MAOwwww7\_X.SNX.Z — розширений тижневий розв'язок у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);
- MAOwwww7\_X.SNX\_COV.Z — розширений тижневий розв'язок у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);
- MAOwwwwd.SNX.Z — добові розв'язки у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);
- MAOwwwwd.SNX\_COV.Z — добові розв'язки у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);
- MAOwwwwd\_X.SNX.Z — розширені добові розв'язки у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);
- MAOwwwwd\_X.SNX\_COV.Z — розширені добові розв'язки у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);
- MAOwwwwd.TRO.Z — оцінки значень зенітних тропосферних затримок для діб у форматі SINEX\_TRO,

де *wwww* — GPS-тиждень, *d* — день тижня (0 — неділя, ..., 6 — субота).

Таким чином, у Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України за даними обробки спостережень, зареєстрованих на 277 перманентних ГНСС-станціях України та Східної Європи (205 та 72 станції відповідно) для GPS-тижнів 1934...2105, отримано високоточні оцінки координат станцій у системі відліку IGS14, а також оцінки 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, грид- і хмарних технологій» (Договір № 1 від 4 лютого 2022 р.).

## REFERENCES

1. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. (2016) ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling non-linear station

- motions. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 121. 6109—6131.  
DOI: 10.1002/2016JB013098.
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 15.12.2022).
  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 15.12.2022).
  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 22.12.2022).
  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](http://epncb.eu/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf) (Last accessed 15.12.2022).
  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. Teunissen P. J. G., Montenbruck O. (Eds.), *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. 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.
  15. 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.
  16. Ray R. D., Steinberg D. J., Chao B. F., Cartwright D. E. (1994) Diurnal and semi-diurnal variations in the Earth's rotation rate induced by oceanic tides. *Science*. 264 (5160). 830—832. DOI: 10.1126/science.264.5160.830.
  17. Rebischung P., Altamimi Z., Ray J., Garayt B. (2016) The IGS contribution to ITRF2014. *J. Geod.* 90. 611—630. DOI: 10.1007/s00190-016-0897-6.
  18. 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](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 22.12.2022).

19. Schmid R., Dach R., Collilieux X., Jäggi A., Schmitz M., Dilssner F. (2016) Absolute IGS antenna phase center model igs08.atx: status and potential improvements. *J Geod.* 90 (4). 343—364. DOI: 10.1007/s00190-015-0876-3.
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 15.12.2022).

*O. Khoda*

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

ANALYSIS OF GNSS OBSERVATIONS (GPS WEEKS 1934—2105)  
FOR THE PROPAGATION OF THE IGS14 REFERENCE FRAME  
ON THE TERRITORY OF UKRAINE

From January 29, 2017 to May 16, 2020 (GPS weeks 1934—2105) 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 IGS14 reference frame, the first 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 NAS of Ukraine. The processing was carried out with the Bernese GNSS Software ver. 5.2 software according to the requirements of the EUREF Permanent GNSS Network (EPN), that were valid at that time. In total, observations on 277 GNSS stations, including 205 Ukrainian stations belonging to the following operators of GNSS networks: MAO NAS of Ukraine, StateGeoCadastre of Ukraine (UPN GNSS), NU Lviv Polytechnic (GeoTerrace), PJSC System Solutions (System.NET), Navigation and Geodetic Center (NGC.net), UA-EUPOS/ZAKPOS, E.P.S. LLC, Coordinate navigation maintenance system of Ukraine (NET.Spacecenter), Kiev Institute of Land Relations (KyivPOS), KMC LLC, were processed. The IGS14 reference frame was set by No-Net-Translation conditions on the coordinates of the EPN Class A stations from the EPN C2100 catalogue. As result, the stations' coordinates in the IGS14 reference frame and the zenith tropospheric delays for all stations were estimated. The mean repeatabilities for components of stations' coordinates for all weeks (the characteristics of the precision of the received daily and weekly solutions) are in the following ranges: for north and east components — from 0.6 mm to 1.4 mm (average values are 0.93 mm and 1.00 mm respectively) with outliers of 2.02 mm and 1.55 mm for GPS week 2085 and 2091 respectively, for height component — from 2.0 mm to 5.5 mm (average value is 3.51 mm).

**Keywords:** GNSS, IGS14 reference frame, permanent stations.

Стаття надійшла до редакції 02.01.2023

Після доопрацювання 02.01.2023

Прийнята до друку 17.02.2023