

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2019.01.070>

УДК 528.2:629.78

О. О. Хо́да

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

Оцінка координат східноєвропейських перманентних ГНСС-станцій в системі координат IGb08 для GPS-тижнів 1709–1933

З 7 жовтня 2012 р. по 28 січня 2017 р. (GPS-тижні 1709–1933) всі продукти Міжнародної ГНСС-служби (IGS) — точні ефемериди GPS- та ГЛОНАСС-супутників, координати та швидкості перманентних ГНСС-станцій тощо — базувалися на системі координат IGb08, оновленій реалізації IGS Міжнародної референсної земної системи координат ITRF2008. 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» згідно із вимогами Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN), що діяли на той час. Загалом було оброблено спостереження на 232 ГНСС-станціях, зокрема на 201 українській станції, що належать таким операторам ГНСС-мереж: ГАО НАН України, НДІ геодезії і картографії, 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 «НВК Європромсервіс» (EPS), Система координатно-часового і навігаційного забезпечення України (СКНЗУ), Харківський національний університет радіоелектроніки. Система координат IGb08 задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку IGS Reference Frame. В результаті отримано оцінки координат ГНСС-станцій у системі координат IGb08 та оцінки зенітних тропосферних затримок для всіх станцій. Величини середньої повторюваності значень складових координат ГНСС-станцій для кожного тижня (характеристик точності отриманих добових та тижневих розв'язків) лежать у діапазонах: для північної та східної складових — від 0.5 мм до 1.6 мм (середні значення 0.99 мм та 1.01 мм відповідно), для висотної складової — від 2.2 мм до 5.4 мм (середнє 3.75 мм) з єдиним «викидом» в 6.91 мм для GPS-тижня 1759.

Ключові слова: ГНСС, система координат IGb08, перманентні станції.

© О. О. ХОДА, 2019

Починаючи з GPS-тижня 1709 (7 жовтня 2012 р.) Міжнародна ГНСС-служба (IGS) оновила свою реалізацію Міжнародної референсної земної системи координат ITRF2008. Необхідність оновлення була зумовлена значним зменшенням кількості діючих станцій мережі поточної реалізації IGS08, кількість основних станцій (core stations) впала до близько 50. Частину станцій було демонтовано, декілька тимчасово не працювали, у часових рядах координат деяких станцій утворилися розриви. У мережі станцій, які використовувалися для створення IGS08, утворилися «білі плями» у Південній Америці, Африці та у Східній Азії. До мережі нової реалізації — IGb08 — було додано 33 станції з виправленими розривами у часових рядах координат і три станції, розташовані на тих же майданчиках, що і демонтовані станції. Таким чином, мережа IGb08 збільшилась на 36 діючих станцій, зокрема на 15 основних станцій, що дозволило стабілізувати узгодженість продуктів IGS з Міжнародною референсною земною системою координат [9].

Модель абсолютних калібровок комбінацій антена — купол igs08.atx було дещо змінено шляхом введення нових підтипів для двох типів комбінацій антена — купол. Для сумісності системи координат IGb08 зі зміненою моделлю калібровок до координат п'яти станцій мережі IGb08 було додано відповідні поправки [10].

Усі продукти Міжнародної ГНСС-служби (точні ефемериди GPS-та ГЛОНАСС-супутників, координати та швидкості перманентних ГНСС-станцій тощо) для GPS-тижнів 1709–1933 (7 жовтня 2012 р. — 28 січня 2017 р.) базувалися на системі координат IGb08.

Спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників для вказаного періоду були оброблені 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, в системі координат IGb08 та визначення значень тропосферної рефракції на цих станціях. Виконана обробка є продовженням робіт з оцінки координат східноєвропейських перманентних ГНСС-станцій у попередніх чинних системах координат: IGS00b [1—3], IGS05 [4] та IGS08 [5].

Загалом було оброблено спостереження на 232 станціях, у тому числі на 201 українській станції. 22 станції входять до мережі IGS, серед них сім українських, 35 — до Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN), 11 з яких розташовано на території України. Українські станції належать таким операторам ГНСС-мереж: ГАО НАН України, Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, Національний університет «Львівська політехніка» («GeoTerrace»), ПрАТ «Систем Солюшнс» («System.NET»), компанія ТНТ ТПІ («TNT TPI GNSS Network»), Навігаційно-геодезичний центр («НГЦ.net»), UA-EUPOS/ZAKPOS, ТОВ «НВК Європромсервіс» (EPS), Система координатно-часового і навігаційного забезпечення України (СКНЗУ), Харківський національний університет радіоелектроніки. Більшість закордонних станцій (24 з 31) — це станції Європейської перманентної ГНСС-

Перелік перманентних ГНСС-станцій (станції EPN виділено курсивом, станції мережі IGS підкреслено)

Регіон України, країна, кількість	ГНСС-станції
Автономна Республіка Крим (8)	ARMK (Армянськ), CRAO (Сімеїз), <i>EVPA</i> (Євпаторія), ITRK (Кіровське/Іслям-Терек), <i>KTVL</i> (Кацивелі), QURM (Красногвардійське/Курман), SIMF (Сімферополь), SMPL (Сімферополь)
Волинська обл. (5)	KKSH (Камінь-Каширський), KOVL (Ковель), LUTS (Луцьк), RJHE (Рожище), VLVL (Володимир-Волинський)
Вінницька обл. (8)	BAR9 (Бар), KACH (Качанівка), KALN (Калинівка), KZTN (Козятин/Махаринці), KZTY (Козятин/Махаринці), NEMO (Немирів), TULC (Тульчин), VNRS (Вінниця)
Дніпропетровська обл. (11)	DIZU (Дніпро), DNMU (Дніпро), DNPR (Дніпро), KRRG (Кривий Ріг), MAGD (Магдалинівка), MEZH (Межова), NKPL (Нікополь), PAVL (Павлоград), VASL (Васильківка), VRDP (Верхньодніпровськ), ZLST (Златоустівка)
Донецька обл. (7)	AMVR (Амвросіївка), DNCK (Донецьк), DOKU (Докучаєвськ), GRSH (Покровськ), LMAN (Лиман), MARP (Маріуполь), SVDR (Світлодарськ)
Житомирська обл. (9)	BRSL (Брусилів), GDRS (Городок), GIZV (Гізівщина), JTMR (Житомир), LUBR (Любар), MALN (Малин), NVOL (Новоград-Волинський), NVVL (Новоград-Волинський/Барвинівка), ZHTM (Житомир)
Закарпатська обл. (2)	MKRS (Мукачево-12), <u>UZH</u> L (Ужгород)
Запорізька обл. (13)	GLPL (Гуляйполе), GPLE (Гуляйполе), MLTP (Мелітополь), NVSL (Нововасилівка), ORH2 (Оріхів), ORIH (Оріхів), PRMR (Приморськ), ROZV (Розівка), SGOR (Степногірськ), VSLE (Веселе), ZPRG (Запоріжжя), ZPRS (Запоріжжя), ZPRZ (Запоріжжя)
Івано-Франківська обл. (8)	DLNA (Долина), FRAN (Івано-Франківськ), FRKV (Івано-Франківськ), GRDN (Городенка), NADA (Надвірна), RJNT (Рожнятів), VRHV (Верховина), YARM (Яремче)
Кіровоградська обл. (6)	ALXN I (Олександрія), ALXN II (Олександрія), BOBR (Бобринець), INGU (Кропивницький), KIRV (Кропивницький), KRRS (Кропивницький)
Київська обл. (14)	BCRV (Біла Церква), BGS2 (Богуслав), BGSL (Богуслав), BRSP (Бориспіль), DYMR (Димер), IVNK (Іванків), NMSH (Немішасве), PHM2 (Переяслав-Хмельницький), PHML (Переяслав-Хмельницький), SKVR (Сквира), SLVC (Славутич), TETV (Тетіїв), YAGO (Яготин), ZGUR (Згурівка)
Луганська обл. (6)	<i>ALCI</i> (Алчевськ), DVZH (Довжанськ), KRLC (Хрустальний), SLUG (Станиця Луганська), STBL (Старобільськ), TROI (Троїцьке)
Львівська обл. (6)	CHER (Червоноград), MYKO (Миколаїв), SAMB (Самбір), SKOL (Сколе), <u>SULP</u> (Львів), ZOLH (Золочів)
Миколаївська обл. (6)	BASH (Баштанка), <i>MIKL</i> (Миколаїв), NIKL (Миколаїв), NKRS (Миколаїв/МАО), OCHA (Очаків), PERV (Первомайськ)
Одеська обл. (10)	ARTS (Арциз), BALT (Балта), BERZ (Березівка), IZRS I (Ізмаїл), IZRS II (Ізмаїл), KLIA (Кілія), ODSA (Одеса), PVNE (Южне/Воронівка), SHAB (Шабо), VELM (Велика Михайлівка)

ОЦІНКА КООРДИНАТ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКИХ ПЕРМАНЕНТНИХ ГНСС-СТАНЦІЙ

Закінчення таблиці

Регіон України, країна, кількість	ГНСС-станції
Полтавська обл. (9)	GLBN (Глобине), GRBN (Гребінка), KREM (Кременчук), KZLS (Козельщина), PLTV (Полтава), <u>POLV</u> (Полтава), SHSH (Шишаки), SMNV (Семенівка), VSOR (Великі Сорочинці)
Рівненська обл. (4)	RDVL (Радивилів), RIVN (Рівне), SARN (Сарни), VRSH (Вараш)
Сумська обл. (5)	KTOP (Коногон), OKH0 (Охтирка), OKHT (Охтирка), ROMN (Ромни), SUMY (Суми)
Тернопільська обл. (7)	BRGN (Бережани), BUCH (Бучач), CHRT (Чортків), CHTK (Чортків), GUSI (Гусятин), SHU1 (Шумськ), TERP (Тернопіль)
Харківська обл. (13)	CHUG (Чугуїв), IZUM (Ізюм), <u>KHAR</u> (Харків), KHRS (Харків), KPSK (Куп'янськ), KRGD (Красноград), LOZV (Лозова), PMSK (Первомайський), PRVM (Первомайський), VALK (Валки), VLCH (Вовчанськ), ZLCH (Золочів), ZOCH (Золочів)
Херсонська обл. (5)	VERY (Берислав), GNCH (Генічеськ), KHRN (Херсон), NSRG (Нижні Сірогози), SKDV (Скадовськ)
Хмельницька обл. (10)	BLGR (Білогір'я), DNRS (Дунаївці), HMEL (Хмельницький), KAMC (Кам'янець-Подільський), KOCH (Кочубіїв), KUCH (Куча), MKVC (Мокіївці), SHPT (Шепетівка), SKON (Старокостянтинів), ZAKR (Закриниччя)
Черкаська обл. (5)	SHEV (Канів), <u>SMLA</u> (Сміла), UMAN (Умань), VATU (Ватутіне), ZHAS (Жашків)
Чернівецька обл. (8)	CHNT (Чернівці), CHRV (Чернівці), KHOT (Хотин), LVNC (Лівинці), RMNK (Романківці), VYZH (Вижниця), VYZN (Вижниця), ZAST (Заставна)
Чернігівська обл. (9)	CHRS (Чернігів), <u>CNIV</u> (Чернігів), KОРP (Короп), KOZL (Козелець/Лихолітки), KZLE (Козелець), NIZH (Ніжин), NVDS (Новгород-Сіверський), PRYL (Прилуки), SNOV (Сновськ)
Київ (5)	<u>GLSV</u> (Київ/Голосіїв), KMST (Київ), KVDA (Київ/Дарниця), KVOB (Київ/Оболонь), KVSU (Київ/Святошин)
Севастополь (2)	SVRS I (Севастополь), SVRS II (Севастополь)
Австрія (1)	<u>GRAZ</u> (Грац)
Болгарія (1)	<u>SQFI</u> (Софія)
Італія (1)	<u>MATE</u> (Матера)
Кіпр (1)	<u>NICO</u> (Нікосія)
Латвія (1)	<u>RIGA</u> (Рига)
Литва (1)	<u>VLNS</u> (Вільнюс)
Молдова (8)	CAHU (Кагул), CAUS (Каушани), COMR (Комрат), EDIN (Єдинці), <u>IGEO</u> (Кишинів), SORO I (Сороки), SORO II (Сороки), TELE (Теленешти)
Німеччина (1)	<u>WTZR</u> (Ветцель)
Польща (5)	<u>BORI</u> (Боровець), <u>BPDL</u> (Біла Підляська), <u>JOZE</u> (Юзефослав), <u>LAMA</u> (Лямкувко), <u>USDL</u> (Устрики-Долішні)
Росія (2)	<u>MDVJ</u> (Менделєєво), <u>ZECK</u> (Зеленчуцька)
Румунія (5)	<u>BACA</u> (Бакеу), <u>BAlA</u> (Бая-Маре), <u>BUcu</u> (Бухарест), <u>COST</u> (Констанца), <u>DEVA</u> (Дева)
Туреччина (2)	<u>ANKR</u> (Анкара), <u>ISTA</u> (Стамбул)
Угорщина (2)	<u>OROS</u> (Орошгаза), <u>PENC</u> (Пенц)

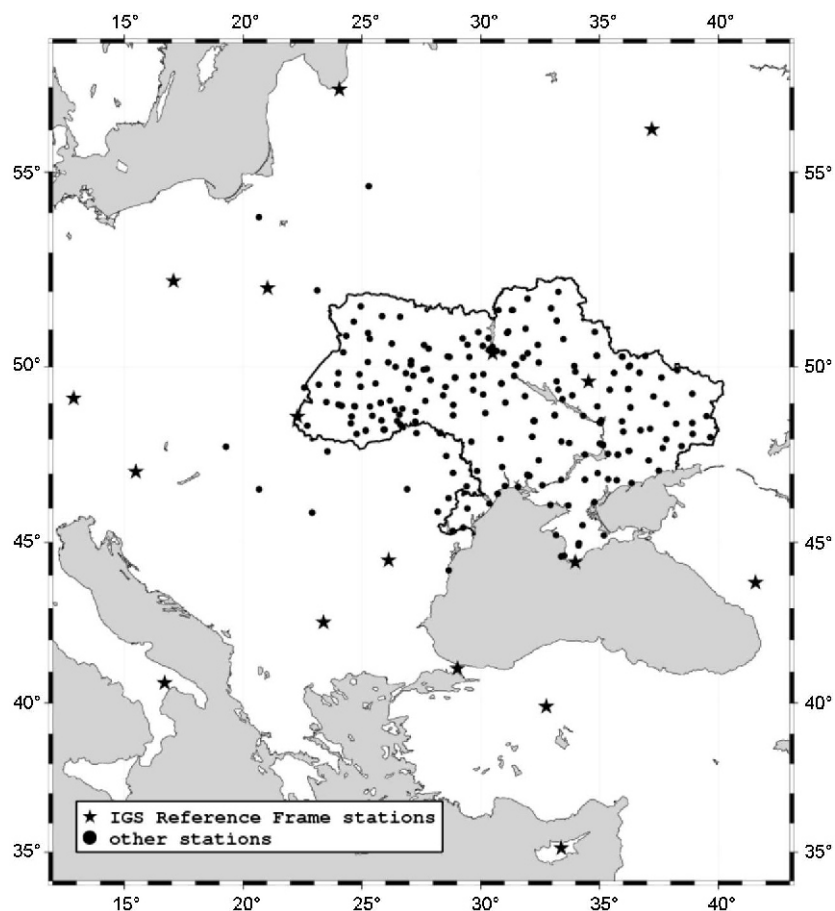


Рис. 1. Розташування перманентних ГНСС-станцій

мережі. До обробки також було включено спостереження на семи станціях мережі MOLDPOS Агентства земельних відносин та кадастру Республіки Молдова. Файли спостережень на цих станціях було отримано із потоків у форматі RTCM з активною опцією NULLANTENNA (тобто калібровки антен вже були штучно внесені у спостережні величини). На жаль, це з'ясувалося вже після закінчення обробки, тому через подвійне врахування калібровок ГНСС-антен отримані оцінки висот на вказаних семи станціях занижені на декілька сантиметрів.

Перелік всіх станцій з розподілом по регіонах України та інших країнах наведено у таблиці. Варто зауважити, що деякі станції були перенесені на нові місця без належних змін ідентифікаторів. У такому випадку до ідентифікаторів станцій додано римські цифри.

Мережу станцій показано на рис. 1. На рис. 2 представлено кількість станцій для кожного дня спостережень.

Аналіз спостережень було виконано за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» [6] відповідно до вимог EPN, що діяли на той час. У новій версії програмного комплексу, створеного в Астрономічному інституті Бернського університету (Швей-

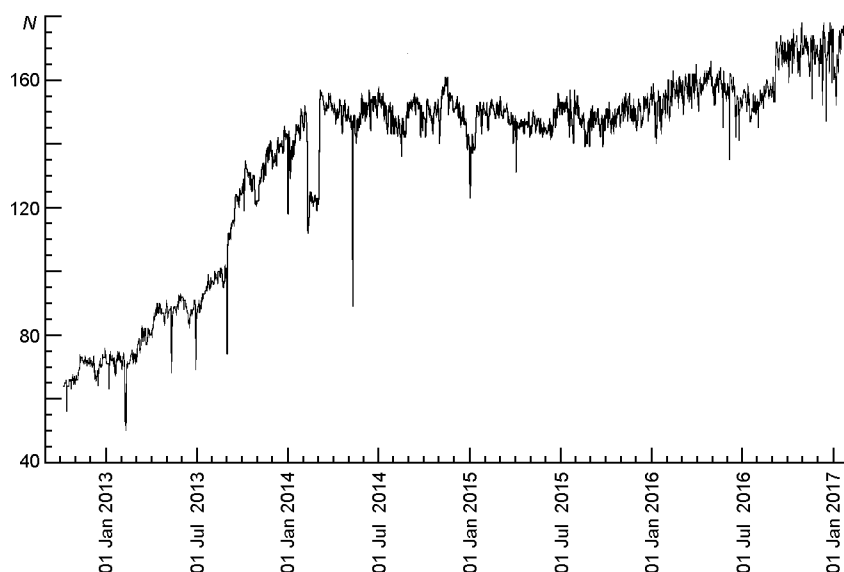


Рис. 2. Кількість станцій для кожного дня обробки

царя) у 2013 р., імплементовано нові стандарти Міжнародної служби обертання Землі та референсних систем (IERS) «IERS Conventions (2010)» [7], додано нові моделі атмосфери та, серед іншого, можливість фіксувати фазові невизначеності для ГЛОНАСС та оцінювати поправки до годинників ГЛОНАСС-супутників.

Для обробки використовувалися такі продукти Центру визначення орбіт в Європі (Center for Orbit Determination in Europe, CODE):

- комбіновані точні ефемериди GPS- та ГЛОНАСС-супутників у форматі SP3;
- параметри обертання Землі (ПОЗ), що узгоджуються з точними ефемеридами супутників;
- DCB-файли, що містять оцінки різниць кодових спостережень для кожного GPS- та ГЛОНАСС-супутника;
- глобальні моделі іоносфери.

Також використовувалися планетно-місячні ефемериди DE405, що надаються Лабораторією реактивного руху (Jet Propulsion Laboratory, JPL). Як вхідні дані служили спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників, зареєстровані на перманентних станціях (у форматі RINEX).

Схему отримання розв'язку показано на рис. 3 у вигляді діаграми Нассі — Шнейдермана [8]. Для кожної сесії виконувалась така послідовність операцій.

1. Підготовка до обробки (завантаження необхідних моделей та перетворення їх до внутрішнього формату комплексу, оновлення службових файлів).
2. Перевірка якості файлів спостережень у форматі RINEX, перетворення їх до внутрішнього формату комплексу.

Обробка тижня спостережень

Для кожної добової сесії		Перша сесія?		
Так				Ні
Завантаження службових файлів комплексу "Bernese GNSS Software" (якщо потрібно)				Ø
Оновлення службових файлів комплексу "Bernese GNSS Software" (якщо потрібно)				
Завантаження ефемерид ГНСС-спутників у форматі SP3 та параметрів обертання Землі у форматі IGS (version 2)				
Завантаження DCB-файлів				
Завантаження моделей іоносфери у внутрішньому форматі комплексу				
Завантаження даних ГНСС-спостережень у форматі RINEX				
Ініціалізація для добової обробки (перевірка наявності всіх файлів, потрібних для обробки)				
Перевірка якості RINEX-файлів, виключення коротких файлів спостережень				
Перетворення RINEX-файлів у внутрішній формат комплексу				
Підготовка апіорних координат ГНСС-станцій				
Обчислення коефіцієнтів атмосферного навантаження для ГНСС-станцій				
Перетворення файлів параметрів обертання Землі у внутрішній формат комплексу				
Перетворення ефемерид ГНСС-спутників у внутрішній формат комплексу				
Інтегрування ефемерид ГНСС-спутників				
Попередня обробка спостережень (Single Point Positioning), оцінка поправок до годинників приймачів на ГНСС-станціях				
Формування файлів перших різниць (баз)				
Формування кластерів баз				
Попередня обробка фазових спостережень, визначення моментів стрибків фази, виявлення викидів, малих інтервалів спостережень та спостережень ГНСС-спутників з малим кутом місця				
Маркування викидів, малих інтервалів спостережень та спостережень ГНСС-спутників з малим кутом місця				
Виключення з обробки ГНСС-спутників з великою кількістю маркованих спостережень				
Виключення з обробки ГНСС-станцій, що містять велику кількість поганих спостережень				
Є виключення з обробки ГНСС-станцій?				
Отримання розв'язку з дійсними значеннями фазових невизначеностей				
Для всіх баз		Яка довжина бази?		
Дуже коротка	Коротка	Середня	Довга	Дуже довга
Фіксація фазових невизначеностей на частотах L1&L2 методикою SIGMA	Фіксація фазових невизначеностей на широкосмуговій (L5) та вузькосмуговій (L3) комбінаціях методикою SIGMA	Фіксація фазових невизначеностей методикою QIF на частотах L1&L2	Фіксація фазових невизначеностей на широкосмуговій (Мельбурна-Вюббена) та вузькосмуговій (L3) комбінаціях методикою SIGMA	Ø
Формування нормальних рівнянь для кластерів баз				
Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій (добовий розв'язок)				
Перевірка якості оцінки координат ГНСС-станцій. Виключення станцій з переліку референсних ГНСС-станцій, якщо залишки для них після перетворення Гельмерта між системою координат, що задається отриманими координатами референсних станцій, та системою координат, що задається координатами референсних станцій із каталогу реалізації ITRS, перевищують задані максимальні значення				
Є ГНСС-станції, виключені з переліку референсних станцій?				
Фінальний розв'язок, створення SINEX-файлів (добовий розв'язок)				
Обчислення широт, довгот та висот ГНСС-станцій (добовий розв'язок)	Перетворення координат ГНСС-станцій до ETRS89 (добовий розв'язок)	Оцінка тропосферних параметрів		
Формування звіту для добового розв'язку				
Архівация результатів добового розв'язку				
Розміщення SINEX-файлів добового розв'язку на ftp-сервері ГАО НАН України				
Так		Перша сесія чи не остання сесія?		Ні
Ініціалізація для тижневої обробки (перевірка наявності всіх файлів, потрібних для обробки)				
Підготовка апіорних координат ГНСС-станцій				
Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій (тижневий розв'язок)				
Перевірка якості оцінки координат ГНСС-станцій. Виключення станцій з переліку референсних, якщо залишки для них після перетворення Гельмерта між системою координат, що задається отриманими координатами референсних станцій, та системою координат, що задається координатами референсних станцій із каталогу реалізації ITRS, перевищують задані максимальні значення				
Є ГНСС-станції, виключені з переліку референсних станцій?				
Фінальний тижневий розв'язок, створення SINEX-файлів				
Обчислення широт, довгот та висот ГНСС-станцій (тижневий розв'язок)	Перетворення координат ГНСС-станцій до ETRS89 (тижневий розв'язок)	Порівняння координат ГНСС-станцій із добових розв'язків		
Формування звіту для тижневого розв'язку				
Архівация результатів тижневого розв'язку				
Розміщення SINEX-файлів тижневого розв'язку на ftp-сервері ГАО НАН України				
Кінець обробки				

Рис. 3. Діаграма отримання розв'язку

3. Підготовка ефемерид ГНСС-супутників (перетворення до внутрішнього формату комплексу, інтегрування).

4. Попередня обробка кодових спостережень (Single Point Positioning), оцінка поправок до годинників приймачів на ГНСС-станціях.

5. Формування файлів перших різниць (баз) та попередня обробка фазових спостережень.

6. Фіксація фазових невизначеностей.

7. Отримання добового розв'язку.

Після отримання розв'язків для всіх днів тижня проводилось підсумкове зрівнювання для обчислення тижневого розв'язку.

Добові та тижневі розв'язки отримувалися на фазовій комбінації L3 з фіксованими фазовими невизначеностями. Використовувалися спостереження GPS- та ГЛОНАСС-супутників з періодом вибірки спостережень 180 с з мінімальним кутом місця 3° зі зважуванням фазових вимірів в залежності від кута місця. Система координат IGB08 (друга IGS-реалізація системи координат ITRF2008) задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку IGS Reference Frame — ANKR, BOR1, BUCU, CRAO, GLSV, GRAZ, ISTA, JOZE, MATE, MDVJ, NICO, POLV, RIGA, SOFI, UZHL, WTZR та ZECK — з відповідного каталогу.

Характеристикою точності отриманих добових та тижневих розв'язків можуть слугувати величини середньої повторюваності значень компонентів координат ГНСС-станцій для кожного тижня, показані на рис. 4. Видно, що значення північного та східної компонентів лежать в діапазоні від 0.5 мм до 1.6 мм (середні значення — 0.99 мм та 1.01 мм відповідно), значення висотного компонента лежать в діапазоні від 2.2 мм до 5.4 мм (середнє значення 3.75 мм) з єдиним викидом в 6.91 мм для GPS-тижня 1759. Наведені величини свідчать про високу точність отриманих оцінок координат.

Отже, в результаті обробки було отримано добові та тижневі оцінки координат для всіх 232 станцій мережі. Для прикладу на рис. 5а — 5в наведено зміни координат (широти, довготи та висоти) станції IZUM (Ізюм), що належить до регіональної мережі в Харківській області «НГЦ.net».

Додатковим продуктом обробки є значення зенітних тропосферних затримок для всіх станцій (для станції IZUM див. рис. 5г).

Результати обробки розміщуються на ftp-сервері ГАО НАН України за адресою <ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGb08/www/>. Для кожного тижня доступні такі файли:

- MAOwww7.SNX.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);
- MAOwww7C.SNX.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);
- MAOwww7.SUM.Z — звіт для тижневого розв'язку;
- MAOwwwd.TRO.Z — оцінки значень зенітних тропосферних затримок для доби у форматі SINEX_TRO,

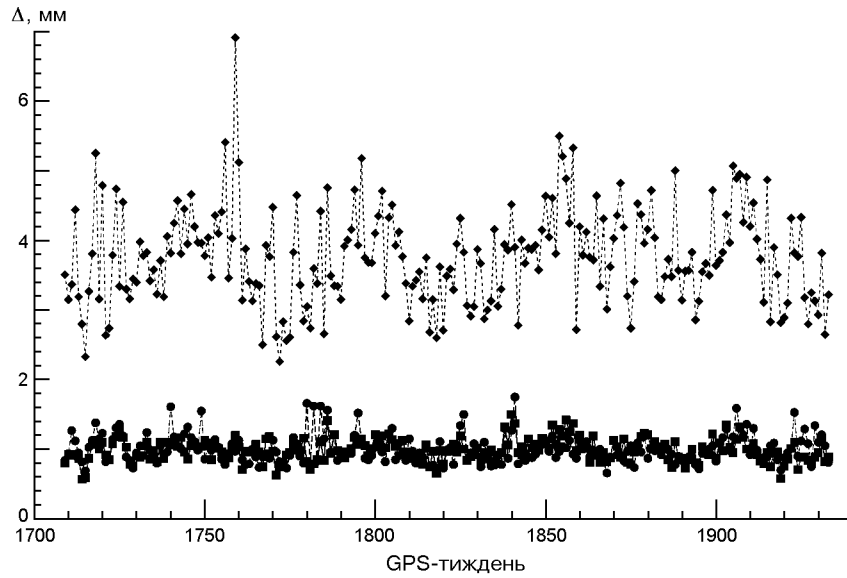


Рис. 4. Зміни середньої повторюваності значень складових координат ГНСС-станцій (квадратики — північна, точки — східна, ромбики — висотна)

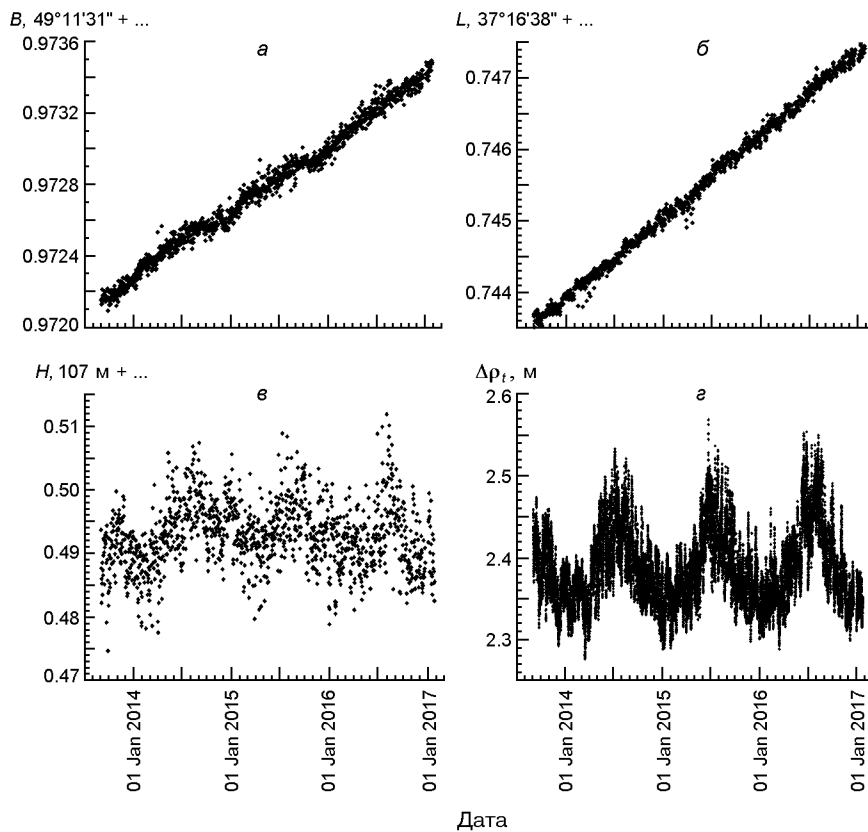


Рис. 5. Зміни значень координат (*a* — широта *B*, *б* — довгота *L*, *в* — висота *H*) та тропосферної затримки $\Delta\rho_t$ (*z*) на ГНСС-станції IZUM (Ізюм)

де MAO — код розв'язку, wwww — GPS-тиждень, wwwwd — GPS-тиждень та порядковий день тижня (0 — неділя, ..., 6 — субота).

Таким чином, у Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України за даними обробки спостережень, зареєстрованих на 232 перманентних ГНСС-станціях України та Східної Європи для GPS-тижнів 1709—1933, отримано високоточні оцінки координат станцій у системі координат IGB08, а також оцінки значень зенітних тропосферних затримок для всіх станцій.

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. Хода О. А. Определение зенитной тропосферной рефракции на украинских перманентных GPS-станциях по данным наблюдений для GPS-недель 1236—1399. *Кинематика и физика небес. тел.* 2011. 27, № 2. С. 3—7.
4. Хода О. А. Центр анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины: результаты обработки наблюдений для GPS-недель 1400—1631. *Космічна наука і технологія.* 2015. 21, № 2. С. 56—64.
5. Хода О. А. Определение координат восточноевропейских перманентных ГНСС-станций по данным наблюдений для GPS-недель 1632—1708. *Космічна наука і технологія.* 2015. 21, № 4. С. 56—65.
6. *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.
7. *IERS Conventions (2010).* (Eds Petit G., Luzum B.). Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. 2010. IERS Techn. Note № 36. 179 p.
8. Nassi I., Shneiderman B. Flowchart techniques for structured programming. *Sigplan Notices.* 1973. 8, № 1. P. 12—26. DOI: 10.1145/953349.953350.
9. Reischung P. IGB08: an update on IGS08. IGSMail-6663. 2012. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000497.html>
10. Schmid R. Igs08_1707.atx: Update including JPSREGANT subtype calibrations & R743. IGSMail-6662. 2012. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000496.html>

О. А. Хода

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

ОЦЕНКА КООРДИНАТ ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКИХ ПЕРМАНЕНТНЫХ ГНСС-СТАНЦИЙ В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ IGB08 ДЛЯ GPS-НЕДЕЛЬ 1709—1933

С 7 октября 2012 г. по 28 января 2017 г. (GPS-недели 1709—1933) все продукты Международной ГНСС-службы (IGS) — точные эфемериды GPS- и ГЛОНАСС-спутников, координаты и скорости перманентных ГНСС-станций и т. д. — базировались на системе координат IGB08, обновленной реализации IGS Международной референсной земной системы координат ITRF2008. В Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины были обработаны наблюдения ГНСС-спутников на перманентных станциях, расположенных на Украине и в Восточной Европе, для указан-

ного периода. Обработка была выполнена с помощью программного комплекса «Bernese GNSS Software ver. 5.2» согласно требованиям Европейской перманентной ГНСС-сети (EPN), действовавшим в то время. Всего были обработаны наблюдения на 232 ГНСС-станциях, в том числе на 201 украинской станции, принадлежащих следующим операторам ГНСС-сетей: ГАО НАН Украины, НИИ геодезии и картографии, НУ «Львовская политехника» («GeoTerrace»), ЧАО «Систем Солюшнс» («System.NET»), компания ТНТ ТПИ («TNT TPI GNSS Network»), Навигационно-геодезический центр («НГЦ.net»), UA-EUPOS/ZAKPOS, ООО «НПК Европромсервис» (EPS), Система координатно-временного и навигационного обеспечения Украины (СКНОУ), Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Система координат IGb08 задавалась путём ограничения No-Net-Translation на координаты станций из списка IGS Reference Frame. В результате получены оценки координат ГНСС-станций в системе координат IGb08 и оценки зенитных тропосферных задержек для всех станций. Величины средней повторяемости значений составляющих координат ГНСС-станций для каждой недели (характеристик точности полученных суточных и недельных решений) лежат в следующих диапазонах: для северной и восточной составляющих — от 0.5 мм до 1.6 мм (средние значения 0.99 мм и 1.01 мм соответственно), для высотной составляющей — от 2.2 мм до 5.4 мм (среднее 3.75 мм) с единственным выбросом в 6.91 мм для GPS-недели 1759.

Ключевые слова: ГНСС, система координат IGb08, перманентные станции.

O. O. Khoda

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

ESTIMATION OF COORDINATES OF THE EASTERN EUROPEAN PERMANENT GNSS STATIONS IN THE IGB08 REFERENCE FRAME FOR GPS WEEKS 1709–1933

From October 7, 2012 to January 28, 2017 (GPS weeks 1709-1933) 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 IGb08 reference frame, updated IGS realization of the release of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF2008). Observations of GNSS satellites at permanent stations located in Ukraine and in 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 European Permanent GNSS Network (EPN), that were valid at that time. In total, observations on 232 GNSS stations, including 201 Ukrainian stations belonging to the following operators of GNSS networks: MAO NAS of Ukraine, Research Institute of Geodesy and Cartography, NU Lviv Polytechnic (GeoTerrace), PJSC System Solutions (System.NET), TNT TPI company (TNT TPI GNSS Network), Navigation and Geodetic Center (NGC.net), UA-EUPOS/ZAKPOS, RPC Europromservice Ltd. (EPS), Coordinate navigation maintenance system of Ukraine (CNMSU), Kharkiv National University of Radio Electronics, were processed. The IGb08 reference frame was set by No-Net-Translation conditions on the coordinates of the IGS Reference Frame stations. As result, the stations' coordinates in the IGb08 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 0.5 mm to 1.6 mm (average values are 0.99 mm and 1.01 mm respectively), for hight component — from 2.2 mm to 5.4 mm (average value is 3.75 mm) with an outlier of 6.91 mm for GPS week 1759.

Keywords: GNSS, IGb08 Reference Frame, permanent stations.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2018

Після доробки 24.07.2018

Прийнята до друку 15.08.2018