

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2020.05.064>

УДК 528.2:629.78

О. О. Хо́да

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

Друга кампанія репроцесингу архівних спостережень в Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України

У Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України було проведено другу кампанію репроцесингу архівних спостережень ГНСС-супутників на перманентних станціях, розташованих в Україні та у Східній Європі, для GPS-тижнів 935—1708 (з 7 грудня 1997 р. до 6 жовтня 2012 р.) з використанням оновлених в рамках кампаній IGS repro2 та EPN-Repro2 продуктів — точних ефемерид GPS- та ГЛОНАСС-супутників, координат та швидкостей референсних перманентних ГНСС-станцій тощо. Обробку було виконано за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» згідно з вимогами Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN), що діяли на той час. Загалом було оброблено спостереження на 72 ГНСС-станціях, зокрема на 48 українських станціях, що належать таким операторам ГНСС-мереж: ГАО НАН України, НДІ геодезії і картографії, компанії ТНТ ТПІ (мережа «TNT TPI GNSS Network»), ПрАТ «Систем Солюшнс» (мережа System.NET), НУ «Львівська політехніка», консорціуму UNAVCO, Inc. (США). Система відліку IGB08 задавалася шляхом обмеження No-Net-Translation на координати станцій зі списку IGS Reference Frame. В результаті отримано оцінки координат ГНСС-станцій у системі відліку 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 в таких діапазонах: для північної та східної складових — від 0.6 мм до 1.6 мм (середні значення — 1.02 мм та 0.94 мм відповідно), для висотної складової — від 2.2 мм до 5.2 мм (середнє значення 3.36 мм) з єдиним викидом в 5.79 мм для GPS-тижня 943.

© О. О. ХОДА, 2020

Наведено координати перманентних ГНСС-станцій для одного тижневого розв'язку.

Ключові слова: ГНСС, система відліку IGb08, перманентні станції, репроцесинг.

Спостереження на українських перманентних ГНСС-станціях розпочалися у грудні 1997 р. Перші станції були встановлені Головною астрономічною обсерваторією Національної академії наук України (ГАО НАН України) у м. Києві (GLSV, у 1997 р.) [7] та у м. Ужгороді (UZHL, у 1999 р) [8]. У перші роки кількість перманентних станцій зростала завдяки ГНСС-станціям наукових установ, університетів та державних організацій [9]. З 2008 р. активно розвиваються комерційні РТК-мережі, як всеукраїнські, так і регіональні.

З 2003 р. у Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України проводиться регулярна обробка [2—6, 10] всіх доступних ГНСС-спостережень на українських перманентних ГНСС-станціях відповідно до вимог Європейської перманентної ГНСС-мережі (EPN) [18], дійсних на той час. Зі створенням нових реалізацій Міжнародної земної системи відліку (ITRF) та покращенням моделей необхідною є переобробка архівних ГНСС-даних з використанням нових методик обробки, нових моделей та ефемерид ГНСС-супутників, обчислених у нових реалізаціях ITRF.

Першу кампанію репроцесингу в Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України було проведено у 2010—2012 рр. [1]. В результаті отримано оцінки координат 29 східноєвропейських ГНСС-станцій (серед них 12 українських) у системі координат IGS05 та оцінки значень тропосферної рефракції на цих станціях.

З 7 жовтня 2012 р. (GPS-тиждень 1709) Міжнародна ГНСС-служба (IGS) [16] офіційно ввела свою другу реалізацію Міжнародної референсної земної системи відліку ITRF2008 — IGb08 [27]. Одночасно було оновлено модель абсолютних калібровок комбінацій антена — купол igs08.atx [29].

На початку 2015 р. IGS закінчила свою другу кампанію репроцесингу архівних спостережень глобальної мережі (gergo2). Метою кампанії було гомогенізувати весь історичний ряд (GPS-тижні 730—1831) комбінованих продуктів IGS шляхом внутрішньої узгодженості — координат станцій, ефемерид ГНСС-супутників, поправок до годинників супутників, параметрів обертання Землі [17]. Одночасно з IGS свою другу кампанію репроцесингу провела і EPN (EPN-Repro2) [34], в результаті якої були отримані продукти для GPS-тижнів 834—1771.

Доступність ефемерид ГНСС-супутників у системі відліку IGb08 зробила можливим виконати переобробку даних, отриманих на українських ГНСС-станціях, для всього періоду спостережень з метою отримання узгоджених рядів координат станцій та значень тропосферної рефракції на цих станціях.

Другу кампанію репроцесингу архівних ГНСС-спостережень було проведено у Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України у вересні 2015 р. — січні 2016 р. за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» [11] згідно з вимогами Європейської перманентної ГНСС-мережі [18], що діяли в цей період.

Програмний комплекс «Bernese GNSS Software ver. 5.2», створений в Астрономічному інституті Бернського університету (Швейцарія) у 2013 р., поставляється у вигляді вихідних кодів. Тексти програм написані на мовах програмування Fortran 90, Fortran 77 та C++. Для компіляції програм комплексу під операційною системою Linux використовувалися вільні компілятори GFortran (GNU Fortran) та G++ (GNU C++), що входять в набір компіляторів GNU (GCC).

Обробка ГНСС-спостережень здійснювалась у повністю автоматичному режимі. Для автоматизації обробки використовувався модуль комплексу BPE. Аналіз ГНСС-даних провадився за допомогою тієї ж методики, яка використовувалась для регулярної обробки спостережень ГНСС-супутників у системі відліку IGB08 [10].

Обробку ГНСС-даних було виконано на тестовому вузлі обчислювального кластера ГАО НАН України (Intel Core i5-2500K, 3.30 ГГц, 16 Гб) під операційною системою Ubuntu 14.04 LTS (версія ядра Linux: GNU/Linux 3.13.0-61-generic x86_64).

Для аналізу були доступні спостереження ГНСС-супутників у період з 7 грудня 1997 р. до 6 жовтня 2012 р. (GPS-тижні 935—1708) на 48 українських станціях, які в той час належали наступним операторам (тут і далі число в дужках означає кількість днів спостережень на станції, доступних для обробки):

— ГАО НАН України (дев'ять станцій) — CNIV (м. Чернігів, 2474), EVPA (м. Євпаторія-19, 3148), GLSV (м. Київ, Голосіїв, 5318), KHAR (м. Харків, 3320), KORP (сmt. Короп Чернігівської обл., 391), KTVL (сmt. Кацивелі АР Крим, 1024), PRYL (м. Прилуки Чернігівської обл., 369), SMLA (м. Сміла Черкаської обл., 1350), UZHL (м. Ужгород, 4432);

— Науково-дослідному інституту геодезії і картографії (три станції) — ALCI (сmt. Михайлівка, Перевальський район Луганської обл., 2663), MIKL (м. Миколаїв, 3787), POLV (м. Полтава, 4067);

— мережі «TNT TPI GNSS Network» (22 станції) — BCRV (м. Біла Церква Київської обл., 87), BGSL (м. Богуслав Київської обл., 229), CHRT (м. Чортків Тернопільської обл., 174), DIZU (м. Дніпро, 483), DNCK (м. Донецьк, 331), FRA2 (м. Івано-Франківськ, 178), KIRV (м. Кропивницький, 344), KMST (м. Київ, 476), KRRG (м. Кривий Ріг, 451), KZLE (сmt. Козелець Чернігівської обл., 73), KZLS (сmt. Козельщина Полтавської обл., 144), NIKL (м. Миколаїв, 385), NMSH (сmt. Немішаєве Київської обл., 474), ORIH (м. Оріхів Запорізької обл., 315), PHML (м. Переяслав Київської обл., 220), RJNT (сmt. Рожнятів Івано-Франківської обл., 142), SIMF (м. Сімферополь, 374), VASL (сmt. Васильківка Дніпропетровської обл., 380), VRDP

(м. Верхньодніпровськ Дніпропетровської обл., 472), VRHV (смт. Верховина Івано-Франківської обл., 178), VSLE (смт. Веселе Запорізької обл., 210), ZPRG (м. Запоріжжя, 391);

— мережі System.NET (11 станцій) — BERZ (м. Березівка Одеської обл., 22), DNMU (м. Дніпро, до 2011 р. — станція ДНМУ, 1679), KVDA (м. Київ, Дарниця, 292), MAGD (смт. Магдалинівка Дніпропетровської обл., 50), MALN (м. Малин Житомирської обл., 291), NIZH (м. Ніжин Чернігівської обл., 291), NKPL (м. Нікополь Дніпропетровської обл., 70), SHEV (м. Канів Черкаської обл., 122), SKVR (м. Сквиря Київської обл., 245), SLVC (м. Славутич Київської обл., 279), VELM (смт. Велика Михайлівка Одеської обл., 89);

— Національному університету «Львівська політехніка» (дві станції) — SHAZ (смт. Шацьк Волинської обл., 1425), SULP (м. Львів, 3826);

— консорціуму UNAVCO, Inc. (США, одна станція) — CRAO (смт. Сімеїз АР Крим, 4002).

В обробку також було включено 24 закордонні станції, що входять до Європейської перманентної ГНСС-мережі [15] (15 з них включено до мережі Міжнародної ГНСС-служби) і розташовані навколо України: ANKR (м. Анкара, Туреччина, 4211), BACA (м. Бакеу, Румунія, 2434), BAIA (м. Бая-Маре, Румунія, 2443), BOR1 (с. Борувець, гміна Курник Познанського повіту Великопольського воєводства, Польща, 5379), BPDF (м. Біла Підляська, Польща, 1563), BUCU (м. Бухарест, Румунія, 4898), COST (м. Констанца, Румунія, 2406), DEVA (м. Дева, Румунія, 2413), GRAZ (м. Грац, Австрія, 5281), IGEO (м. Кишинів, Молдова, 1892), ISTA (м. Стамбул, Туреччина, 4166), JOZE (с. Юзефослав, гміна Пясечно Пясечинського повіту Мазовецького воєводства, Польща, 5297), LAMA (с. Лямкувко, гміна Барчево Ольштинського повіту Вармінсько-Мазурського воєводства, Польща, 5347), MATE (м. Матера, Італія, 5351), MDVJ (смт. Менделєєво, міський округ Солнечногорськ Московської обл., Росія, 3556), NICO (м. Нікосія, Кіпр, 4379), OROS (м. Орошгаза, Угорщина, 3874), PENC (с. Пенц, медьє Пешт, Угорщина, 5252), RIGA (м. Рига, Латвія, 5287), SOFI (м. Софія, Болгарія, 4718), USDL (м. Устрики-Долішні, Польща, 1595), VLNS (м. Вільнюс, Литва, 3439), WTZR (с. Ветцель, р-н Кам округу Верхній Пфальц федеральної землі Баварія, Німеччина, 5361), ZECK (станція Зеленчуцька, Карачаєво-Черкеська Республіка, Росія, 4730).

Загалом було проаналізовано спостереження на 72 перманентних ГНСС-станціях, розташування яких показано на рис. 1. На рис. 2 представлено кількість станцій для кожного дня спостережень.

При обробці ГНСС-спостережень використовувалися такі продукти Центра визначення орбіт в Європі (CODE, Швейцарія):

— фінальні (точні) ефемериди ГНСС-супутників у форматі SP3-с [19];

— файли параметрів обертання Землі (ПОЗ) у форматі IGS (версія 2) [22], узгоджені з ефемеридами;

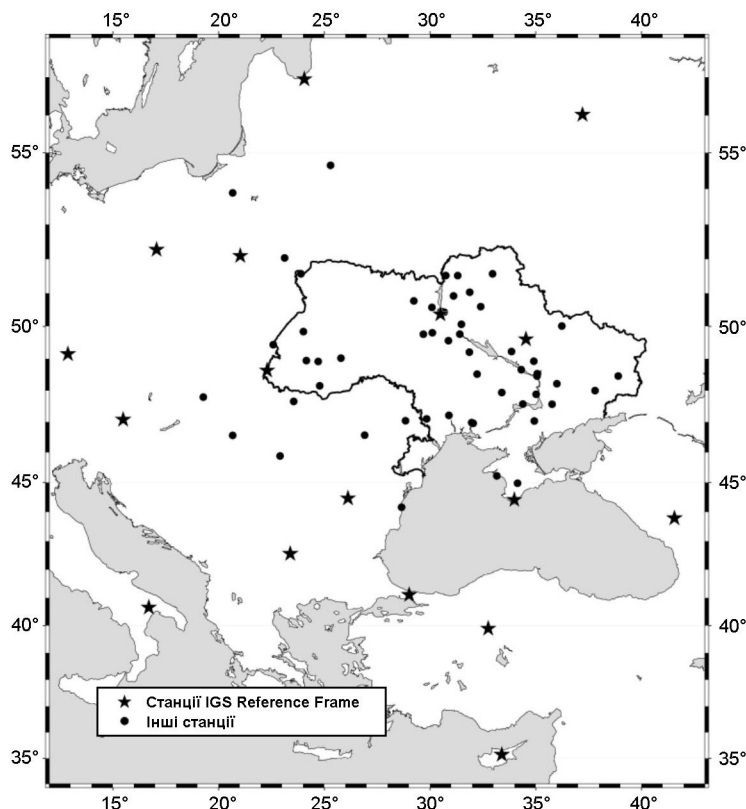


Рис. 1. Розташування перманентних ГНСС-станцій

- фінальні глобальні моделі іоносфери;
- файли оцінок різниць кодових спостережень для кожного GPS-та ГЛОНАСС-супутника (DCB-файли).

При аналізі спостережень ГНСС-супутників за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2» використовувались такі моделі:

- планетно-місячні ефемериди DE405 [33], що надаються Лабораторією реактивного руху (JPL, США);
- геопотенціальна модель Землі EGM2008 [24] у скороченій формі (до ступеня 200);
- модель нутації IAU2000R06 [20];
- модель варіацій швидкості обертання Землі через океанічні припливи [26];
- моделі впливу земних та океанічних припливів на гравітаційний потенціал Землі [20];
- модель навантажень приливної атмосферного тиску S1/S2 [25];
- модель навантажень океанічних припливів FES2004 [23];
- функція відображення GMF [13] для врахування тропосферної рефракції;

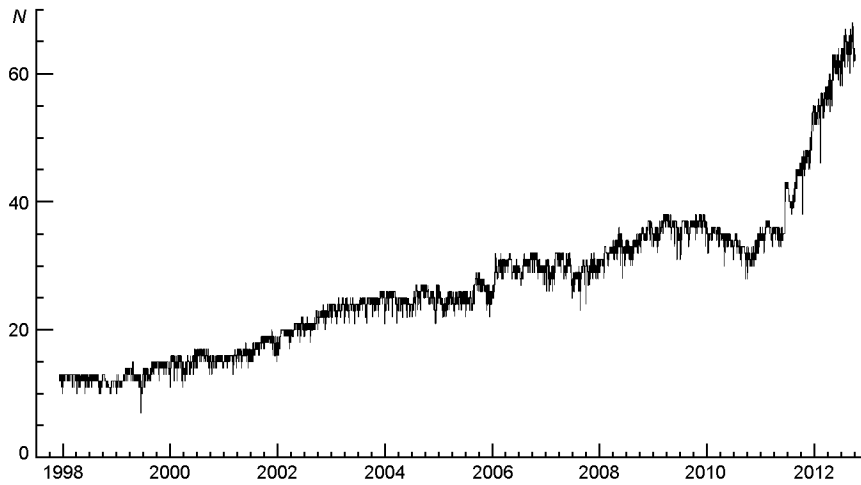


Рис. 2. Кількість станцій для кожного дня обробки

— модель абсолютних варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол igs08.atx [30] у форматі ANTEX [28];

— модель відносних варіацій фазових центрів ngs08.atx [12] для антени TPSPG_A1 з куполом TPSD, перетворена в абсолютну.

Для станцій Європейської перманентної ГНСС-мережі використувався 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) [14].

У табл. 1 наведено порівняння характеристик, основних моделей та апріорних даних для різних розв'язків Центру аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України.

Обробка тижня ГНСС-спостережень виконувалась у такій послідовності.

1. Для першої сесії завантаження та оновлення службових файлів комплексу «Bernese GNSS Software» (якщо потрібно).

2. Завантаження ефемерид ГНСС-супутників, параметрів обертання Землі, DCB-файлів та моделей іоносфери у внутрішньому форматі комплексу, даних ГНСС-спостережень у форматі RINEX.

3. Перевірка якості RINEX-файлів, виключення коротких файлів спостережень, перетворення RINEX-файлів у внутрішній формат комплексу.

4. Обчислення коефіцієнтів атмосферного навантаження для ГНСС-станцій.

5. Перетворення файлів параметрів обертання Землі у внутрішній формат комплексу.

6. Перетворення ефемерид ГНСС-супутників у внутрішній формат комплексу. Інтегрування ефемерид ГНСС-супутників.

Таблиця 1. Характеристики, основні моделі та апріорні дані для різних розв'язків Центру аналізу ГНСС-даних ГАО НАН У країні

Код розв'язку	MA0	MA1	MA0	MA0	MA2	MA0
Тип розв'язку	Регулярний	Репродесинг	Регулярний	Регулярний	Репродесинг	Регулярний
Система відліку	IGS00b	IGS05	IGS05	IGS08	IGb08	IGb08
GPS-пункти	1236—1399	1236—1399	1400—1631	1632—1708	935—1708	1709—1933
ГНСС-спутники	GPS	GPS	GPS+ГЛОНАСС	GPS+ГЛОНАСС	GPS+ГЛОНАСС	GPS+ГЛОНАСС
Кількість станцій (зокрема українських)	29 (12)	29 (12)	41 (16)	72 (48)	72 (48)	232 (201)
Версія «Bernese GNSS Software»	4.2	5.0	5.0	5.0	5.2	5.2
Визначення системи відліку	Жорсткі обмеження на координати станцій GLSV (0.1 мм)	Обмеження No-Net-Translation на координати станцій GLSV, POLV, MDVJ, BORI, TRAB	Обмеження No-Net-Translation на координати станцій BORI, GLSV, JOZE, MATE, MDVJ, NICO, POLV, TRAB, WTZR	Обмеження No-Net-Translation на координати станцій ANKR, BORI, BUCU, CRAO, GLSV, GRAZ, ISTA, JOZE, MATE, MDVJ, NICO, POLV, RIGA, SOFI, UZHL, WTZR, ZECK	Обмеження No-Net-Translation на координати станцій ANKR, BORI, BUCU, CRAO, GLSV, GRAZ, ISTA, JOZE, MATE, MDVJ, NICO, POLV, RIGA, SOFI, UZHL, WTZR, ZECK	Обмеження No-Net-Translation на координати станцій ANKR, BORI, BUCU, CRAO, GLSV, GRAZ, ISTA, JOZE, MATE, MDVJ, NICO, POLV, RIGA, SOFI, UZHL, WTZR, ZECK

Закінчення табл. 1

Код розв'язку	MA0	MA1	MA0	MA0	MA0	MA2	MA0
Модель планетно-місячних ефемерид	DE200	DE200	DE200	DE200	DE200	DE405	DE405
Точні ефемериди	IGS	IGS(repro1)	IGS	IGS	IGS	CODE(repro2)	CODE
Модель океанічних навантажень	GOT00.2_PP	FES2004	FES2004	FES2004	FES2004	FES2004	FES2004
Модель іоносфери	Формується під час обробки	CODE	CODE	CODE	CODE	CODE	CODE
Опція, що задає функцію відображення	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	DRY_NIELL	GMF	GMF
Модель варіацій фазових центрів комбінацій антена — купол	Відносна (igs01)	Абсолютна (igs05.atx)	Абсолютна (igs05.atx)	Абсолютна (igs08.atx)	Абсолютна (igs08.atx)	Абсолютна (igs08.atx)	Абсолютна (igs08.atx)
Мінімальний кут місяця	10	3	3	3	3	3	3
ГНСС-супутників							
Посилання	[2—4]	[1]	[5]	[6]			[10]

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

8. Формування файлів перших різниць (баз) та кластерів баз.

9. Попередня обробка фазових спостережень, визначення моментів стрибків фази, виявлення викидів, малих інтервалів спостережень та спостережень ГНСС-супутників з малим кутом місця, маркування викидів, малих інтервалів спостережень та спостережень ГНСС-супутників з малим кутом місця. Виключення з обробки ГНСС-супутників з великою кількістю маркованих спостережень та ГНСС-станцій, що містять велику кількість поганих спостережень. Якщо є виключені з обробки ГНСС-станції, то повернутися до кроку 8.

10. Отримання розв'язку з дійсними значеннями фазових невизначеностей.

11. Фіксація фазових невизначеностей різними методиками в залежності від довжин баз.

12. Формування нормальних рівнянь для кластерів баз.

13. Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій (добовий розв'язок). Перевірка якості оцінки координат референсних 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. Якщо є ГНСС-станції, виключені з переліку референсних станцій, то проводиться повторне урівнювання.

14. Фінальний розв'язок, створення SINEX-файлів (добовий розв'язок).

15. Оцінка тропосферних параметрів.

16. Формування звіту для добового розв'язку, архівація результатів добового розв'язку, розміщення SINEX-файлів добового розв'язку на ftp-сервері ГАО НАН України.

17. Кінець обробки добової сесії спостережень. Якщо сесія не остання, то повернутися до кроку 2.

18. Урівнювання нормальних рівнянь, оцінка координат ГНСС-станцій (тижневий розв'язок). Перевірка якості оцінки координат референсних 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. Якщо є ГНСС-станції, виключені з переліку референсних станцій, то проводиться повторне урівнювання.

19. Фінальний тижневий розв'язок, створення SINEX-файлів.

20. Порівняння координат ГНСС-станцій із добових розв'язків.

21. Формування звіту для тижневого розв'язку, архівація результатів тижневого розв'язку, розміщення SINEX-файлів тижневого розв'язку на ftp-сервері ГАО НАН України.

22. Кінець обробки тижня спостережень.

Добові 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 відліку IGb08 (друга IGS-реалізація системи відліку 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.

В результаті обробки ГНСС-спостережень було отримано оцінки координат перманентних ГНСС-станцій для кожної доби та для кожного тижня спостережень у системах відліку ETRF2000 (реалізації Європейської земної системи координат — ETRS89) та IGb08 (реалізації Міжнародної земної системи координат — ITRS) і оцінки значень зенітної тропосферної затримки на всіх станціях для кожної години.

Для прикладу у табл. 2 наведено оцінки координат, отримані із розв'язку для GPS-тижня 1706. На жаль, немає жодного тижня, для якого б були отримані оцінки координат всіх 72 перманентних станцій. Тому оцінки координат станцій FRA2, SHAZ, UZHL та ZPRG наведено окремо у табл. 3 для інших епох (для станції SHAZ із розв'язку для GPS-тижня 1538, для інших трьох — для GPS-тижня 1686).

Отримані субміліметрові середні квадратичні відхилення оцінок координат ГНСС-станцій не можуть служити об'єктивним критерієм точності розв'язків через велику кількість рівнянь, а отже, і велику кількість ступенів свободи. Традиційно точність отриманих добових та тижневих розв'язків характеризують за допомогою величини середньої повторюваності значень їхніх координат ГНСС-станцій для кожного тижня, що показані на рис. 3. Видно, що майже всі значення північної та східної складових лежать в діапазоні від 0.6 мм до 1.6 мм (середні значення 1.02 мм та 0.94 мм відповідно), значення висотної складової змінюються від 2.2 мм до 5.2 мм (середнє значення 3.36 мм) з єдиним викидом в 5.79 мм для GPS-тижня 943. Отже, можна стверджувати про високу точність отриманих оцінок координат.

Файли результатів виконаного аналізу спостережень ГНСС-супутників у форматах SINEX [31] (координати станцій, нормальні рівняння або коваріаційна матриця) та SINEX_TRO [32] (значення зенітної тропосферної затримки на станціях) розміщено на ftp-сервері ГАО НАН України за адресою <ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGb08/www>. Для кожного тижня доступні наступні файли:

Таблиця 2. Координати перманентних станцій із розв'язку для GPS-тижня 1706 (система відліку IGB08, епоха 19 вересня 2012 р. 12:00 GPS)

Станція	DOMES-номер	X, м	Y, м	Z, м
ALCI	12371S001	3297847.76602	2661607.52012	4750829.88873
ANKR	20805M002	4121948.47530	2652187.87759	4069023.82887
BACA	11405M001	3917524.82799	1988524.22523	4608585.69022
BAIA	11406M001	3945839.64454	1720428.39305	4691082.78981
BCRV		3568279.19197	2069742.54267	4848556.54787
BERZ	15511M001	3725027.36842	2229185.63058	4657283.73371
BGSL		3558191.68053	2127363.64034	4831122.94799
BORI	12205M002	3738358.31676	1148173.82955	5021815.83810
BPDL	12223M001	3615989.66147	1544391.16950	5005373.76365
BUCU	11401M001	4093760.74090	2007793.94591	4445130.06255
CHRT		3773822.75695	1823739.73577	4791842.12531
CNIV	15501M001	3397785.07310	2066990.65631	4969811.65328
COST	11407M001	4021613.55898	2197896.46093	4421014.77430
CRAO	12337M002	3783896.95380	2551404.53639	4441264.35572
DEVA	11408M001	4097210.36501	1731870.51625	4556026.82959
DIZU		3463259.21859	2431916.31752	4756188.16549
DNCK	18114M001	3378275.67667	2621541.60078	4716841.92481
DNMU	12369M001	3468976.75245	2434669.43811	4750720.19205
EVPA	12344M001	3767253.32743	2461876.45625	4504591.85271
GLSV	12356M001	3512888.80655	2068979.99479	4888903.26913
GRAZ	11001M002	4194423.68512	1162702.82909	4647245.49614
IGEO	15101M001	3814975.12904	2101075.28517	4644144.05232
ISTA	20807M001	4208830.16918	2334850.44002	4171267.31956
JOZE	12204M001	3664940.02114	1409153.98263	5009571.45396
KHAR	12314M001	3312984.16664	2428203.54951	4863307.89147
KIRV		3580644.72093	2257443.53747	4755337.26325
KMST	12315M001	3505800.89114	2066726.75606	4894884.85783
KORP	15505M001	3333261.26338	2161383.93114	4973310.07045
KRRG		3574076.85336	2356633.75471	4712152.98059
KTVL	12337M003	3785991.63482	2550749.16097	4439438.27651
KVDA	15506M001	3501745.92170	2076988.15550	4893395.64373
KZLE		3449803.37551	2082376.23877	4927625.99161
KZLS		3465825.18773	2325579.95516	4806876.67762
LAMA	12209M001	3524522.78113	1329693.74035	5129846.41759
MAGD	15512M001	3443393.52749	2403366.58693	4784867.45011
MALN	15507M001	3527322.03517	1974526.44588	4917238.80542
MATE	12734M008	4641949.41502	1393045.56877	4133287.58201
MDVJ	12309M005	2845455.90859	2160954.33436	5265993.26908
MIKL	12335M001	3698553.83397	2308676.12411	4639769.56347
NICO	14302M001	4359415.57024	2874117.15079	3650777.92157
NIKL		3697158.87191	2314682.98991	4637932.45720
NIZH	15508M001	3413641.36823	2123437.35065	4935250.57111
NKPL	15513M001	3557707.99952	2435365.70983	4684639.18608
NMSH		3512101.96010	2035407.11944	4903425.28237
ORIH		3498158.39455	2520902.78629	4684212.18294
OROS	11207M001	4110946.73289	1551048.80008	4608010.11391
PENC	11206M006	4052449.33859	1417681.25877	4701407.18919
PHML		3498790.18269	2143181.41534	4867026.87276
POLV	12336M001	3411557.19385	2348464.09072	4834396.95593
PRYL	15502M001	3425673.04234	2174035.49920	4904999.94640
RIGA	12302M002	3183899.05120	1421478.59655	5322810.85998
RJNT		3830157.33090	1717771.51971	4786509.34166
SHEV	15515M001	3523606.87564	2151842.84437	4845424.62310
SIMF		3740929.37855	2536824.39314	4485457.95322
SKVR	15509M001	3586943.08451	2045068.86703	4845326.82592
SLVC	15510M001	3418107.22775	2033545.63704	4969685.56033
SMLA	15503M001	3546267.60589	2204464.01646	4805379.23580

Закінчення табл. 2.

Станція	DOMES-номер	X, м	Y, м	Z, м
SOFI	11101M002	4319371.95097	1868687.92433	4292064.00019
SULP	12366M001	3765296.84594	1677559.32221	4851297.48146
USDL	12229M001	3837557.73904	1596303.37109	4822409.90467
VASL		3444688.80247	2503180.32332	4732794.65701
VELM	15514M001	3773429.35309	2165026.77799	4648637.45596
VLNS	10801M001	3343600.46540	1580417.84705	5179337.35305
VRDP	15578M001	3486253.03468	2380263.34251	4765413.84964
VRHV		3871109.00286	1787573.38984	4728428.48707
VSLE	15818M001	3570898.64493	2494321.73750	4643670.26050
WTZR	14201M010	4075580.42337	931853.93085	4801568.21004
ZECK	12351M001	3451174.53362	3060335.54952	4391955.72624

Таблиця 3. Координати перманентних станцій FRA2, SHAZ, UZHL та ZPRG (система відліку IGB08)

Станція	DOMES-номер	X, м	Y, м	Z, м	Епоха (12:00 GPS)
FRA2	15538M002	3815148.32003	1755911.72333	4784539.59269	02 травня 2012 р.
SHAZ	12370M001	3631977.90450	1609614.55227	4973373.09858	01 липня 2009 р.
UZHL	12301M001	3907587.32561	1602428.80522	4763783.81682	02 травня 2012 р.
ZPRG		3509633.51390	2459644.67410	4707985.28665	02 травня 2012 р.

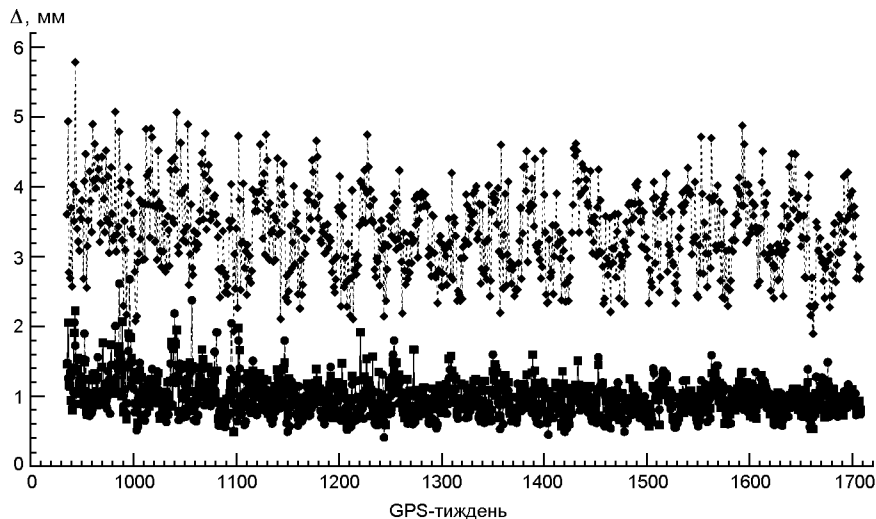


Рис. 3. Зміни середньої повторюваності значень компонентів координат ГНСС-станцій (квадратики — північна складова, точки — східна, ромбики — висотна)

MA2www7.SNX.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з нормальними рівняннями);

MA2www7C.SNX.Z — тижневий розв'язок у форматі SINEX (з коваріаційною матрицею);

MA2www7.SUM.Z — звіт для тижневого розв'язку;

MA2wwwd.TRO.Z — оцінки значень зенітних тропосферних затримок для доби у форматі SINEX_TRO, де MA2 — код розв'язку, wwwd — номер GPS-тижня, wwwd — номер GPS-тижня та день тижня (0 — неділя, ..., 6 — субота).

Таким чином, у Центрі аналізу ГНСС-даних Головної астрономічної обсерваторії НАН України в результаті другої кампанії репроцесингу архівних спостережень, зафіксованих на 72 перманентних ГНСС-станціях України та Східної Європи для GPS-тижнів 935—1708, отримано високоточні оцінки координат станцій у системі відліку IGB08, а також оцінки значень зенітної тропосферної рефракції для всіх станцій. Результати розв'язків репроцесингу для GPS-тижнів 1100—1708 разом з розв'язками регулярної обробки для GPS-тижнів 1709—1933 [10] були використані для отримання комбінованого розв'язку в рамках міжнародного проекту «EUREF Permanent Network Densification» [21].

ФІНАНСУВАННЯ РОБОТИ

Робота фінансувалась у рамках планового фінансування установ Національної академії наук України.

1. Ищенко М. В. Центр анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины: результаты репроцессинга GPS-наблюдений на перманентных станциях региональной сети для GPS-недель 1236—1399. *Космічна наука і технологія*. 2012. 18, № 6. С. 76—80. DOI: 10.15407/knit2012.06.076.
2. Хо́да 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.
3. Хо́да 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.
4. Хо́да 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.
5. Хо́да 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. DOI: 10.15407/knit2015.02.056.
6. Хо́да 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. DOI: 10.15407/knit2015.04.056.
7. Хо́да О. О. Перманентна GPS-станція Голосіїв (GLSV): спостереження у 1998 році. *Космічна наука і технологія*. 1999. 5, № 4. С. 75—78. DOI: 10.15407/knit1999.04.075.
8. Хо́да О. О. Визначення координат нової перманентної GPS-станції UZHL (Ужгород). *Кинематика и физика небес. тел.* 1999. 15, № 5. С. 476—479.
9. Хо́да О. О. Створення та функціонування мережі перманентних GPS-станцій в Україні. *Космічна наука і технологія*. 2001. 7, № 4. С. 83—86. DOI: 10.15407/knit2001.04.083.

10. Хо́да О. О. Оцінка координат східноєвропейських перманентних ГНСС-станцій в системі координат IGB08 для GPS-тижнів 1709—1933. *Кінематика і фізика небес. тел.* 2019. 35, № 1. С. 70—80. DOI: 10.15407/kfnt2019.01.070.
11. *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.
12. *Antenna Calibrations. National Geodetic Survey.* 2017. URL: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL> (Last accessed 15.05.2020).
13. Böhm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H. Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data. *Geophys. Res. Lett.* 2006. 33, № 7. Article L07304. DOI: 10.1029/2005GL025546.
14. Bos M. S., Scherneck H.-G. *Ocean tide loading provider.* Onsala Space Observatory. 2018. URL: <http://holt.oso.chalmers.se/loading/> (Last accessed 15.05.2020).
15. Bruyninx C., Legrand J., Fabian A., Pottiaux E. GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network, *GPS Solut.* 2019. 23, № 4. Article 106. DOI: 10.1007/s10291-019-0880-9.
16. Dow J. M., Neilan R. E., Rizos C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *J. Geod.* 2009. 83, № 3—4. P. 191—198. DOI: 10.1007/s00190-008-0300-3.
17. Griffiths J. Combined orbits and clocks from IGS second reprocessing. *J. Geod.* 2019. 93, № 2. P. 177—195. DOI: 10.1007/s00190-018-1149-8.
18. *Guidelines for the EPN Analysis Centres.* 2018. 9 p. URL: http://epncb.eu/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf
19. Hilla S. The Extended Standard Product 3 Orbit Format (SP3-c). National Geodetic Survey. 2010. URL: <ftp://igs.org/pub/data/format/sp3c.txt> (Last accessed 15.05.2020).
20. *IERS Conventions (2010).* (Eds. Petit G., Luzum B.). IERS Technical Note No. 36. Frankfurt am Main. 2010. 179 p.
21. Kenyeres A., Bellet J.G., Bruyninx C., Caporali A., de Doncker F., Droscak B., Duret A., Franke P., Georgiev I., Bingley R., Huisman L., Jivall L., Khoda O., Kollo K., Kurt A.I., Lahtinen S., Legrand J., Magyar B., Mesmaker D., Morozova K., Nágl J., Özdemir S., Papanikolaou X., Parseliunas E., Stangl G., Ryczywolski M., Tangen O.B., Valdes M., Zurutuza J., Weber M. Regional integration of long-term national dense GNSS network solutions. *GPS Solut.* 2019. 23, № 4. Article 122. DOI: 10.1007/s10291-019-0902-7.
22. Kouba J., Mireault Y. *New IGS ERP Format (version 2).* IGSMail-1943. 1998. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/1998/003315.html> (Last accessed 15.05.2020).
23. 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.
24. 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, № B4. Article B04406. DOI: 10.1029/2011JB008916.
25. Ray R. D., Ponte R. M. Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Ann. Geophys.* 2003. Vol. 21, № 8. P. 1897—1910. DOI: 10.5194/angeo-21-1897-2003.
26. 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, № 5160. P. 830—832. DOI: 10.1126/science.264.5160.830.

27. Rebischung P. *IGb08: an update on IGS08. IGSMail-6663*. 2012. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000497.html> (Last accessed 15.05.2020).
28. Rothacher M., Schmid R. *ANTEX: The Antenna Exchange Format, Version 1.4*. TU München. 2010. URL: <ftp://igs.org/pub/station/general/antex14.txt> (Last accessed 15.05.2020).
29. Schmid R. *Igs08_1707.atx: Update including JPSREGANT subtype calibrations & R743. IGSMail-6662*. 2012. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000496.html>
30. Schmid R., Dach R., Collilieux X., Jäggi A., Schmitz M., Dilssner F. Absolute IGS antenna phase center model igs08.atx: status and potential improvements. *J. Geod.* 2016. 90, № 4. P. 343—364 DOI: 10.1007/s00190-015-0876-3.
31. *SINEX—Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format Version 2.01*. IERS Working Group on SINEX Format. 2005. URL: https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Documents/ac/sinex/sinex_v201_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Last accessed 15.05.2020).
32. *SINEX_TRO — Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format for combination of TROpospheric estimates Version 0.01*. 1997. URL: ftp://igs.org/pub/data/format/sinex_tropo.txt (Last accessed 15.05.2020).
33. Standish E. M. *JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405*. JPL propulsion laboratory, Interoffice Memorandum. 1998. IOM 312.F-98-048. URL: <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de405.iom.pdf> (Last accessed 15.05.2020).
34. Völksen C. *EPN reprocessing activities: a summary*. Presented at the EUREF Analysis Centres Workshop. Brussels (Belgium). 2017. URL: http://epncb.eu/_newseventslinks/workshops/EPNLACWS_2017/pdf/04_EPN_Reprocessing/voelksen_repro-2017.pdf (Last accessed 15.05.2020).

REFERENCES

1. Ischenko M. V. (2012) 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. *Kosm. nauka tehnol.* 18(6). 76—80. DOI: 10.15407/knit2012.06.076. (In Russian).
2. Khoda O. A. (2010) GPS Data Analysis Centre in Main Astronomical Observatory: Results of observations processing for GPS Weeks 1236—1399. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 26(6). 313—321. DOI: 10.3103/S0884591310060036.
3. Khoda O. A. (2011) Measurement of coordinates of Ukrainian permanent GPS stations from observation data for GPS weeks 1236—1399. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 27(1). 17—29. DOI: 10.3103/S088459131101003X.
4. Khoda O. A. (2011) Determination of tropospheric zenith path delay for the Ukrainian permanent GPS stations using observation data for GPS weeks 1236—1399. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 27(2). 59—61. DOI: 10.3103/S088459131102005X.
5. Khoda O. A. (2015) GNSS data analysis centre of the Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine: results of observation's processing for GPS weeks 1400—1631. *Kosm. nauka tehnol.* 21(2). 56—64. DOI: 10.15407/knit2015.02.056. (In Russian).
6. Khoda O. A. (2015) Estimation of coordinates of the Eastern European permanent GNSS stations using observation data for GPS weeks 1632—1708. *Kosm. nauka tehnol.* 21(4). 56—65. DOI: 10.15407/knit2015.04.056. (In Russian).

7. Khoda O. O. (1999) Permanent GPS station Golosiiv (GLSV): 1998 observations. *Kosm. nauka tehnol.* 5(4). 75—78. DOI: 10.15407/knit1999.04.075. (In Ukrainian).
8. Khoda O. O. (1999) Determination of Coordinates of the New Permanent GPS Station UZHL (Uzhgorod). *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 15(5). 355—358.
9. Khoda O. O. (2001) Ukrainian permanent GPS network: Creation and operation. *Kosm. nauka tehnol.* 7(4). 83—86. DOI: 10.15407/knit2001.04.083. (In Ukrainian).
10. Khoda O. O. (2019) Estimation of coordinates of the Eastern European permanent GNSS stations in the IGB08 Reference Frame for GPS weeks 1709—1933. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies.* 35(1). 46—53. DOI: 10.3103/S0884591319010045.
11. *Bernese GNSS Software Version 5.2.* (2015) (Eds. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P.). Berne: Astronomical Institute, University of Berne. DOI: 10.7892/boris.72297.
12. *Antenna Calibrations. National Geodetic Survey.* (2017) URL: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL> (Last accessed 15.05.2020).
13. Böhm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H. (2006) Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data. *Geophys. Res. Lett.* 33(7). Article L07304. DOI: 10.1029/2005GL025546.
14. Bos M. S., Scherneck H.-G. (2018) *Ocean tide loading provider.* Onsala Space Observatory. URL: <http://holt.oso.chalmers.se/loading/> (Last accessed 15.05.2020).
15. 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.
16. Dow J. M., Neilan R. E., Rizos C. (2009) The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *J. Geod.* 83(3-4). 191—198. DOI: 10.1007/s00190-008-0300-3.
17. Griffiths J. (2019) Combined orbits and clocks from IGS second reprocessing. *J. Geod.* 93(2). 177—195. DOI: 10.1007/s00190-018-1149-8.
18. *Guidelines for the EPN Analysis Centres.* (2018) URL: http://epncb.eu/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf
19. Hilla S. (2010) *The Extended Standard Product 3 Orbit Format (SP3-c).* National Geodetic Survey. URL: <ftp://igs.org/pub/data/format/sp3c.txt> (Last accessed 15.05.2020).
20. *IERS Conventions* (2010). (Eds. Petit G., Luzum B.). IERS Technical Note No. 36. Frankfurt am Main.
21. Kenyeres A., Bellet J.G., Bruyninx C., Caporali A., de Doncker F., Droscak B., Duret A., Franke P., Georgiev I., Bingley R., Huisman L., Jivall L., Khoda O., Kollo K., Kurt A. I., Lahtinen S., Legrand J., Magyar B., Mesmaker D., Morozova K., Nágl J., Özdemir S., Papanikolaou X., Parseliunas E., Stangl G., Ryczywolski M., Tangen O. B., Valdes M., Zurutuza J., Weber M. (2019) Regional integration of long-term national dense GNSS network solutions. *GPS Solut.* 23(4). Article 122. DOI: 10.1007/s10291-019-0902-7.
22. Kouba J., Mireault Y. (1998) *New IGS ERP Format (version 2). IGSMail-1943.* URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/1998/003315.html> (Last accessed 15.05.2020).
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Rebischung P. (2012) *IGb08: an update on IGS08*. *IGSMail-6663*. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000497.html> (Last accessed 15.05.2020).
28. Rothacher M., Schmid R. (2010) *ANTEX: The Antenna Exchange Format*, Version 1.4. TU München. URL: <ftp://igs.org/pub/station/general/antex14.txt> (Last accessed 15.05.2020).
29. Schmid R. (2012) *Igs08_1707.atx: Update including JPSREGANT subtype calibrations & R743*. *IGSMail-6662*. URL: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2012/000496.html> (Last accessed 15.05.2020).
30. 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.
31. *SINEX—Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format Version 2.01*. (2005) IERS Working Group on SINEX Format. URL: https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Documents/ac/sinex/sinex_v201_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Last accessed 15.05.2020).
32. *SINEX_TRO — Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format for combination of TROpospheric estimates Version 0.01*. (1997) URL: ftp://igs.org/pub/data/format/sinex_tropo.txt (Last accessed 15.05.2020).
33. Standish E. M. *JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405*. (1998) JPL propulsion laboratory, Interoffice Memorandum. IOM 312.F-98-048. URL: <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de405.iom.pdf> (Last accessed 15.05.2020).
34. Völksen C. *EPN reprocessing activities: a summary*. (2017) Presented at the EUREF Analysis Centres Workshop. Brussels. URL: http://epncb.eu/_newseventslinks/workshops/EPNLACWS_2017/pdf/04_EPN_Reprocessing/voelksen_repro-2017.pdf (Last accessed 15.05.2020).

О. А. Хода

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
Киев, Украина

ВТОРАЯ КАМПАНИЯ РЕПРОЦЕССИНГА АРХИВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЦЕНТРЕ АНАЛИЗА ГНСС-ДАННЫХ ГАО НАН УКРАИНЫ

В Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины была проведена вторая кампания репроцессинга архивных наблюдений ГНСС-спутников на перманентных станциях, расположенных в Украине и в Восточной Европе, для GPS-недель 935—1708 (с 7 декабря 1997 г. по 6 октября 2012 г.) с использованием обновлённых в рамках кампаний IGS герго2 и EPN-Рерго2 продуктов — точных эфемерид GPS- и ГЛОНАСС-спутников, координат и скоростей референсных перманентных ГНСС-станций и т. д. Обработка была выполнена с помощью программного комплекса «Bernese GNSS Software ver. 5.2» согласно требованиям Европейской перманентной ГНСС-сети (EPN), действовавших в то время. Всего были обработаны наблюдения на 72 ГНСС-станциях, в том числе на 48 украинских станциях, принадлежащих следующим операторам ГНСС-сетей: ГАО НАН Украины, НИИ геодезии и картографии, компания ТНТ ТПИ (сеть «TNT TPI GNSS Network»), ЧАО «Систем Солюшнс» (сеть System.NET), НУ «Львовская политехника», консорциуму

UNAVCO, Inc. (США). Система отсчёта IGb08 задавалась путём ограничения No-Net-Translation на координаты станций из списка IGS Reference Frame. В результате получены оценки координат ГНСС-станций в системе отсчёта 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 0.6 мм до 1.6 мм (средние значения — 1.02 мм и 0.94 мм соответственно), для высотной составляющей — от 2.2 мм до 5.2 мм (среднее значение 3.36 мм) с единственным выбросом в 5.79 мм для GPS-недели 943. Приведены координаты перманентных ГНСС-станций для одного недельного решения.

Ключевые слова: ГНСС, система отсчёта IGb08, перманентные станции, репроцессинг.

O.O. Khoda

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

THE SECOND REPROCESSING CAMPAIGNS OF HISTORICAL OBSERVATIONS IN THE GNSS DATA ANALYSIS CENTRE OF MAO NAS OF UKRAINE

The second reprocessing campaign of historical observations of GNSS satellites at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe for GPS weeks 935—1708 (December 7, 1997 — October 6, 2012) was carried out in the GNSS Data Analysis Centre of the Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine with using products updated in IGS repro2 and EPN-Repro2 campaigns — precise ephemerides of GPS and GLONASS satellites, coordinates and velocities of reference permanent GNSS stations, etc. The observations was analyzed 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 72 GNSS stations, including 48 Ukrainian stations belonging to the following operators of GNSS networks: MAO NAS of Ukraine, Research Institute of Geodesy and Cartography, TNT TPI company (TNT TPI GNSS Network), PJSC System Solutions (System.NET), Lviv Polytechnic National University, UNAVCO, Inc. (USA), were processed. The IGb08 reference frame was realized by applying 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 0.6 mm to 1.6 mm (average values are 1.02 mm and 0.94 mm respectively), for height component — from 2.2 mm to 5.2 mm (average value is 3.36 mm) with the outlier of 5.79 mm for GPS week 943. The coordinates of the permanent GNSS stations for one weekly solution are presented.

Keywords: GNSS, IGb08 Reference Frame, permanent stations, reprocessing.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2020
Після доопрацювання 14.04.2020
Прийнята до друку 04.05.2020