

УДК 528.2:629.78

О. А. Хода

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27

**Определение координат украинских перманентных
GPS-станций по данным наблюдений
для GPS-недель 1236—1399**

В Центре анализа GPS-данных Главной астрономической обсерватории НАН Украины с помощью комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» были обработаны наблюдения GPS-спутников на перманентных станциях, расположенных в Украине и Восточной Европе. Приведены вычисленные координаты украинских перманентных GPS-станций и длины баз между станцией GLSV и другими украинскими станциями.

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ УКРАЇНСЬКИХ ПЕРМАНЕНТНИХ GPS-СТАНЦІЙ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДЛЯ GPS-ТИЖНІВ 1236—1399, Хода О. О. — В Центрі аналізу GPS-даних Головної астрономічної обсерваторії ГАО НАН України за допомогою комплексу «Bernese GPS Software ver. 4.2» були оброблені спостереження GPS-супутників на перманентних станціях, розташованих в Україні та у Східній Європі. Наведено обчислені координати українських перманентних GPS-станцій та довжини баз між станцією GLSV та іншими українськими станціями.

DETERMINATION OF COORDINATES OF THE UKRAINIAN PERMANENT GPS STATIONS USING OBSERVATION DATA FOR GPS WEEKS 1236—1399, by Khoda O. A. — Observations of GPS satellites at permanent stations located in Ukraine and in the Eastern Europe were processed at the GPS Data Analysis Centre of the Main Astronomical Observatory with Bernese GPS Software ver. 4.2. The obtained coordinates of the Ukrainian permanent GPS stations and baseline lengths between the GLSV station and other Ukrainian stations are presented.

В Центре анализа GPS-данных Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины (ГАО НАН Украины) были обработаны наблюдения GPS-спутников на 29 перманентных станциях, расположенных в Восточной Европе (рис. 1), для GPS-недель 1236—1399 (14 сентября 2003 г. — 4 ноября 2006 г.). Диаграмма наблюдений на станциях показана на рис. 2. В обработку были включены наблюдения следующих украинских перманентных GPS-станций.

Станция GLSV (Киев/Голосеево). Первая украинская перманентная GPS-станция «Киев/Голосеево» (идентификатор: GLSV, номер DOMES: 12356M001) была установлена Главной астрономической обсерваторией Национальной академии наук Украины 16 декабря

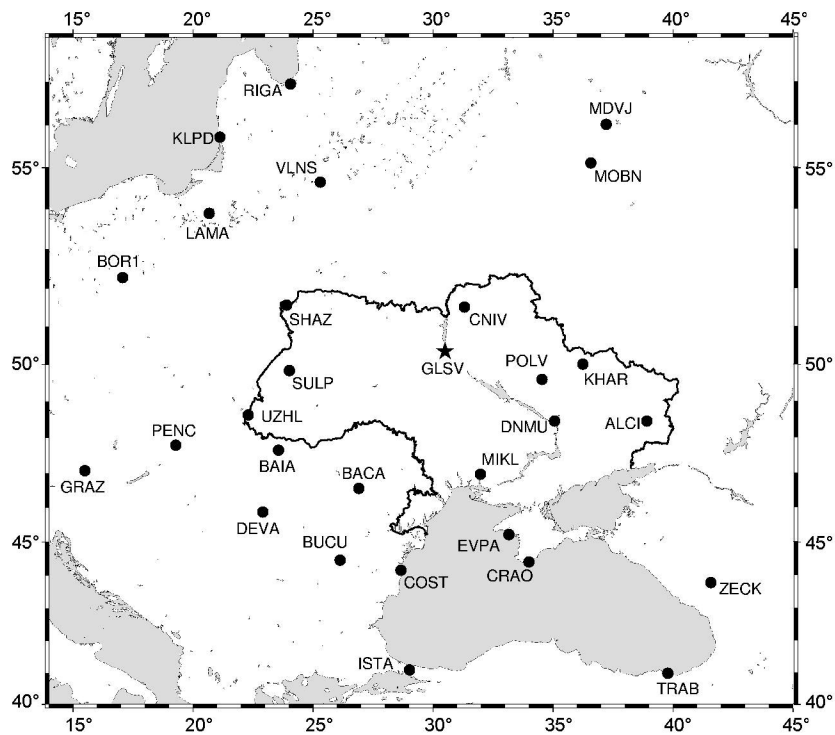


Рис. 1. Расположение GPS-станций

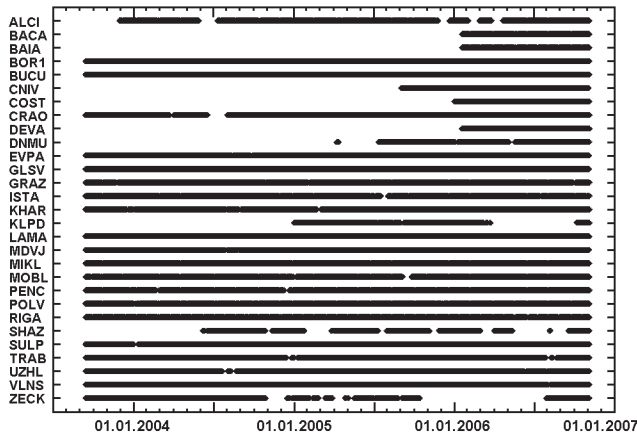


Рис. 2. Диаграмма наблюдений на GPS-станциях

1997 г. в г. Киев. Антенный пост расположен на крыше главного корпуса обсерватории, расположенного в Голосеевском лесу. Рядом со станцией «Киев/Голосеево» находится станция лазерной локации 1824 Golosiiiv-Kiev. В указанный период станция GLSV была оборудована GPS-приемником «Trimble 4000SSi» и антенной дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Киев/Голосеево» начались 16 декабря 1997 г. 6 мая 1998 г. GPS-станция GLSV была включена в сеть Международной ГНСС-службы (IGS), 10 мая 1998 г. — в Европейскую перманентную ГНСС-сеть (EPN).

Станция UZHL (Ужгород). Перманентная GPS-станция «Ужгород» (идентификатор: UZHL, номер DOMES: 12301M001) была установлена 5 февраля 1999 г. ГАО НАН Украины в Лаборатории космических исследований Ужгородского национального университета, г. Ужгород. Антенный пост расположен на крыше главного офиса лаборатории. Станция UZHL оборудована GPS-приемником «Trimble 4000SSi» и антенной дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Ужгород» начались 16 июня 1999 г. 25 июля 1999 г. GPS-станция UZHL была включена в EPN, 27 июля 1999 г. — в сеть IGS.

Станция CRAO (Симеиз). Перманентная GPS-станция «Симеиз» (идентификатор: CRAO, номер DOMES: 12337M002) была установлена 27 апреля 2000 г. Массачусетским технологическим институтом (MIT, США) и Университетским навигационным консорциумом (UNAVCO, США) на Симеизской станции Крымской астрофизической обсерватории, пгт. Симеиз, Крым. Антенна смонтирована на верхушке железной трубы рядом со станцией лазерной локации 1873 Simeiz. Недалеко от станции «Симеиз» находятся радиотелескоп RT-22 (7332 Crimea) и станция лазерной локации 1893 Katzively. В указанный период станция CRAO была оборудована приемником «Rogue SNR-8000» и антенной дизайна Choke Ring (код IGS: AOAD/M_T) с куполом SCIS. Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Симеиз» начались 27 апреля 2000 г. 12 октября 2004 г. GPS-станция CRAO была включена в сеть IGS. Кроме этого CRAO входит в Средиземноморскую GPS-сеть (Mediterranean GPS Network), которая поддерживается UNAVCO.

Станция POLV (Полтава). Перманентная GPS-станция «Полтава» (идентификатор: POLV, номер DOMES: 12336M001) была установлена 26 апреля 2001 г. Научно-исследовательским институтом геодезии и картографии (НИИГК, г. Киев) в Полтавской гравиметрической обсерватории Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, г. Полтава. Антенный пост расположен на крыше обсерватории. Станция POLV оборудована GPS-приемником «Trimble 4700» и антенной дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Полтава» начались 26 апреля 2001 г. 27 июня 2001 г. GPS-станция POLV была включена в сеть IGS, а 9 сентября 2001 г. — в EPN.

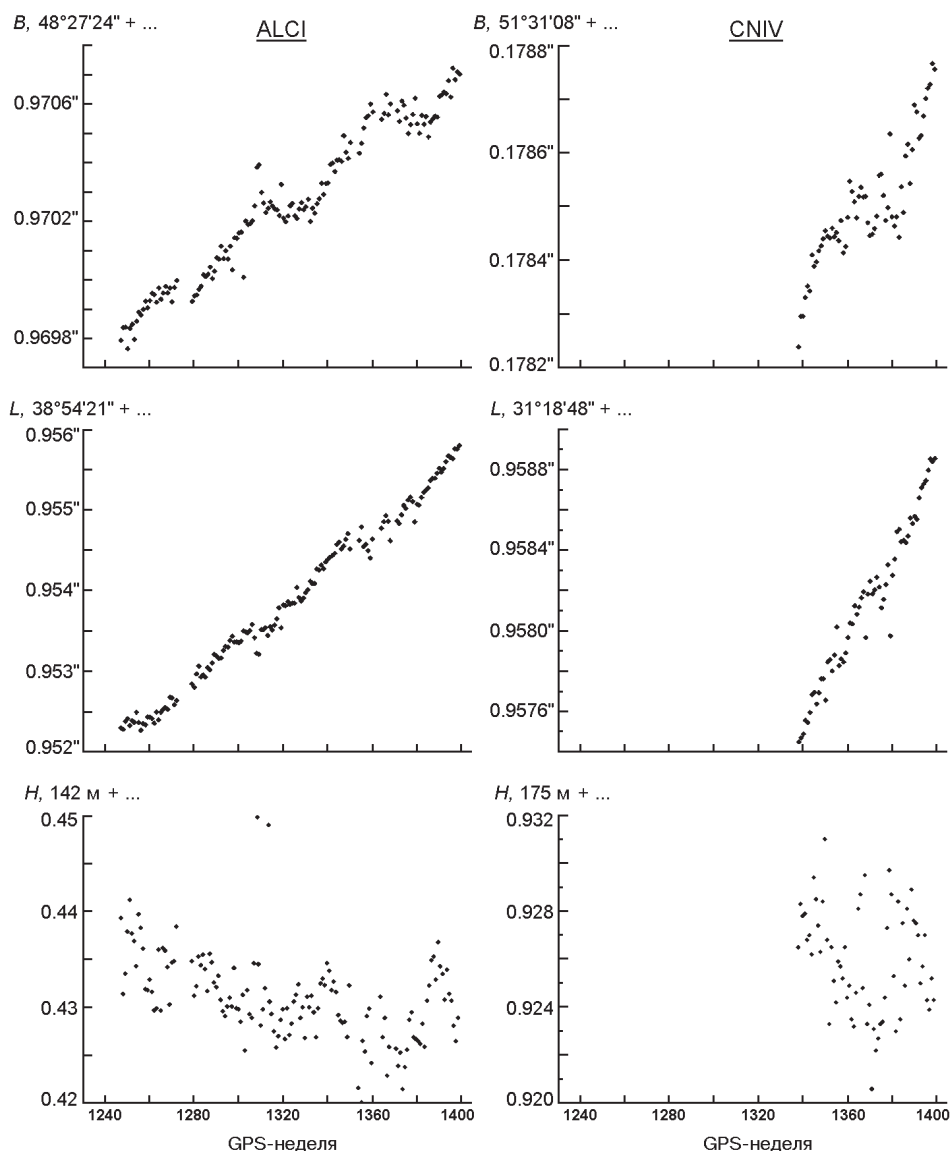


Рис. 3. Координаты станций ALCI и CNIV

Станция Sulp (Львов). Перманентная GPS-станция «Львов» (идентификатор: Sulp, номер DOMES: 12366M001) была установлена 10 июня 2001 г. совместными усилиями НИИГК и Национального университета «Львовская политехника» (НУ ЛП, г. Львов) в Астрономической обсерватории Института геодезии НУ ЛП, г. Львов. Антенный пост смонтирован над фундаментальным астрономическим монументом, построенным в 1870 г. в середине главного корпуса университета таким образом, что монумент не касается последнего. Оборудование станции Sulp: GPS-приемник «Trimble 4700» и антенна «Zephyr» (код IGS: TRM41249.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Львов» начались 7 сентября 2001 г.

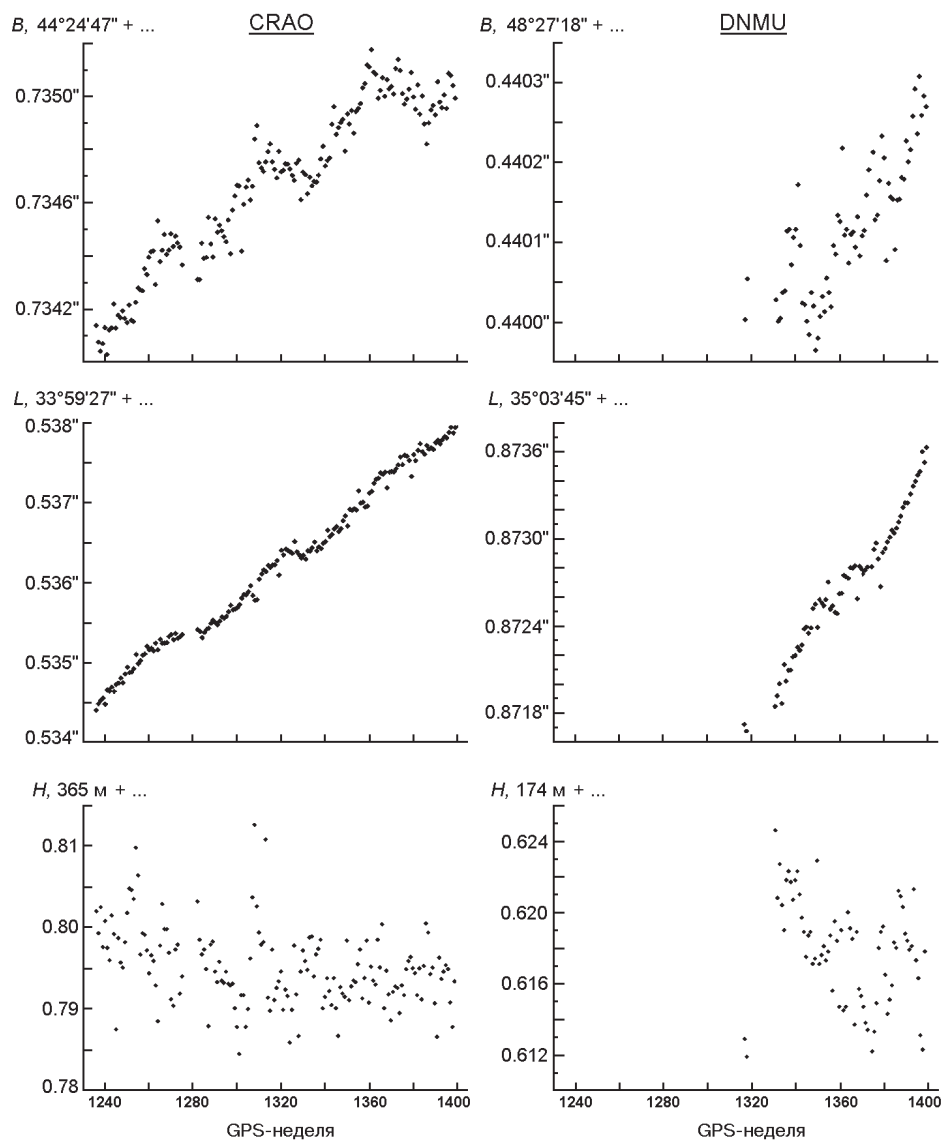


Рис. 4. Координаты станций CRAO и DNMU

16 октября 2001 г. GPS-станция SULP была включена в сеть IGS, а 21 октября 2001 г. — в EPN.

Станция MIKL (Николаев). Перманентная GPS-станция «Николаев» (идентификатор: MIKL, номер DOMES: 12335M001) была установлена 12 марта 2002 г. НИИГК в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория», г. Николаев. Антенный пост расположен на крыше главного корпуса обсерватории. Станция MIKL оборудована GPS-приемником «Trimble 4700» и антенной «Zephyr» (код IGS: TRM41249.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Николаев» начались 20 апреля 2002 г. 1 июля 2002 г. GPS-станция MIKL была включена в сеть IGS, а 10 ноября 2002 г. — в EPN.

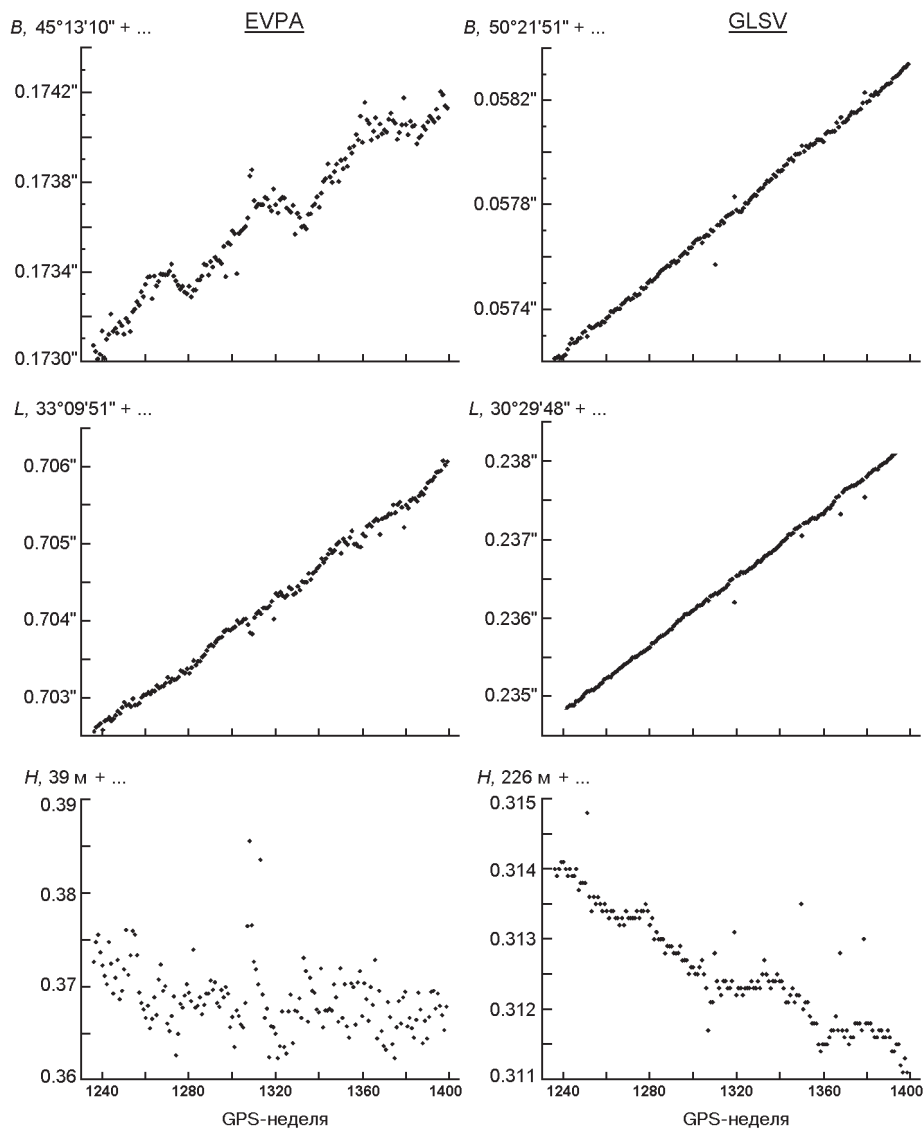


Рис. 5. Координаты станций EVPA и GLSV

Станция КНАР (Харьков). Перманентная GPS-станция «Харьков» (идентификатор: КНАР, номер DOMES: 12314M001) была установлена 23 ноября 2002 г. ГАО НАН Украины в Национальном научном центре «Институт метрологии», г. Харьков. Антенный пост расположен на крыше одного из офисов института. В указанный период станция КНАР была оборудована GPS-приемником «Trimble 4000SSi» и антенной дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). До 16 октября 2006 г. к GPS-приемнику был подключен внешний стандарт частоты (H-Maser, 5 МГц). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции начались 23 ноября 2002 г. 20 марта 2005 г. GPS-станция КНАР была включена в EPN, а 14 октября 2005 г. — в сеть IGS.

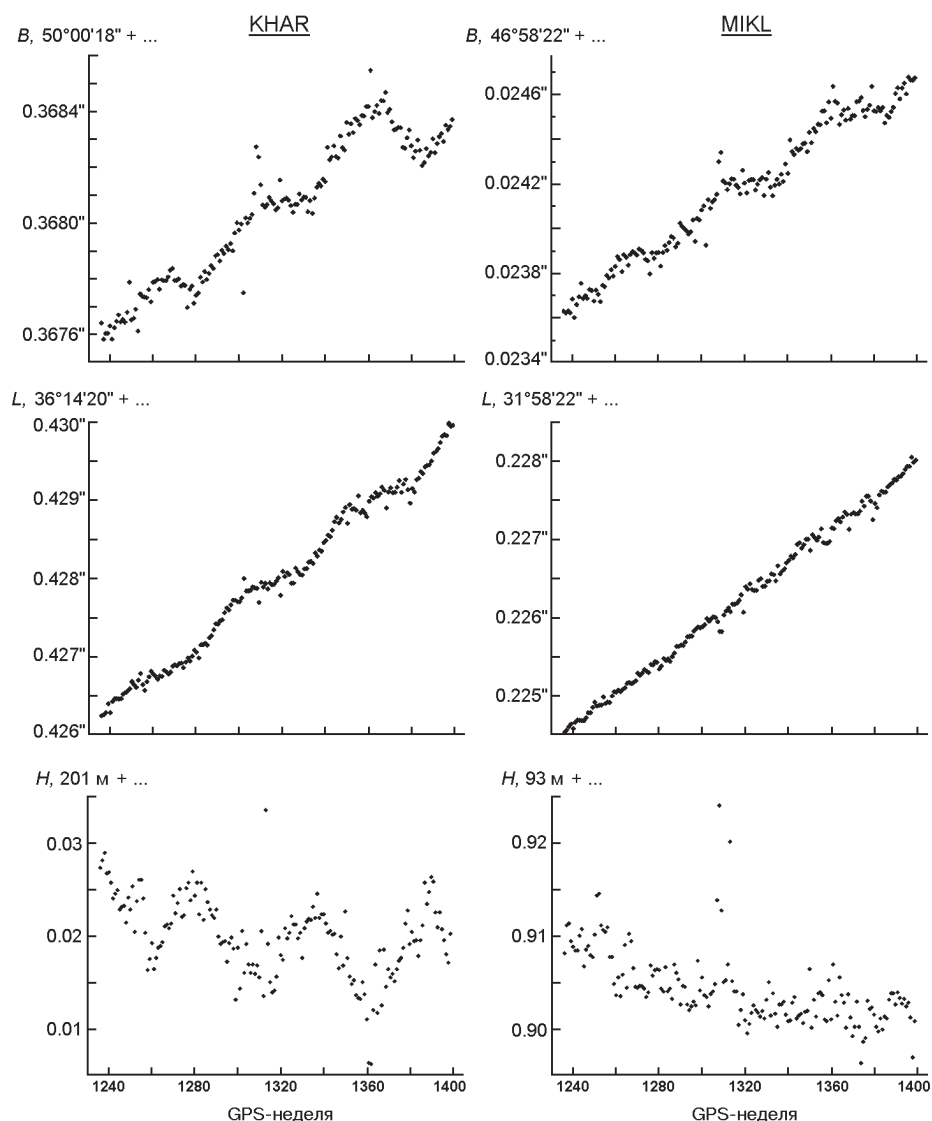


Рис. 6. Координаты станций KHAR и MIKL

Станция EVPA (Евпатория). Перманентная GPS-станция «Евпатория» (идентификатор: EVPA, номер DOMES: 12344M001) была установлена 3 мая 1998 г. ГАО НАН Украины в Национальном центре управления и испытаний космических средств Национального космического агентства Украины, г. Евпатория. Антенна смонтирована на верхушке забетонированной стальной трубы рядом со станцией лазерной локации 1867 Evpatoria. Оборудование станции EVPA: GPS-приемник «Trimble 4000SSi» и антенна дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Евпатория» начались 26 ноября 2002 г. 13 ноября 2005 г. GPS-станция EVPA была включена в EPN.

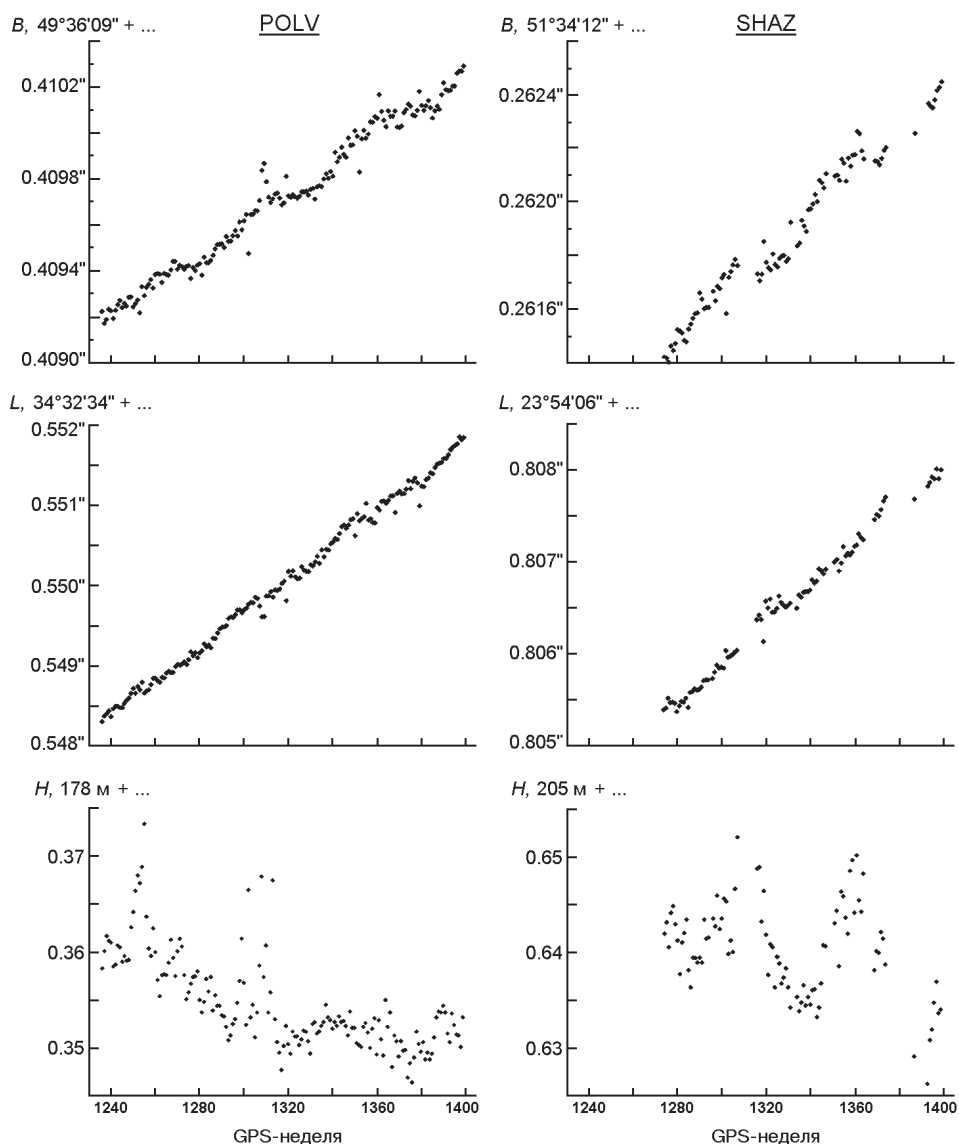


Рис. 7. Координаты станций POLV и SHAZ

Станция ALCI (Алчевск). Перманентная GPS-станция «Алчевск» (идентификатор: ALCI, номер DOMES: 12371S001) была установлена 29 ноября 2003 г. НИИГК в Астрономической обсерватории государственного межвузовского центра лазерно-локационных наблюдений ИСЗ (ГНТЦ «Орион») Донбасского государственного технического университета, с. Михайловка (около г. Алчевск Луганской обл.). Антенный пост расположен на крыше офиса обсерватории. Станция ALCI оборудована GPS-приемником «Trimble 5700» и антенной «Zephyr» (код IGS: TRM41249.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Алчевск» начались 29 ноября 2003 г.

Станция CNIV (Чернигов). Перманентная GPS-станция «Чернигов» (идентификатор: CNIV, номер DOMES: 15501M001) установлена

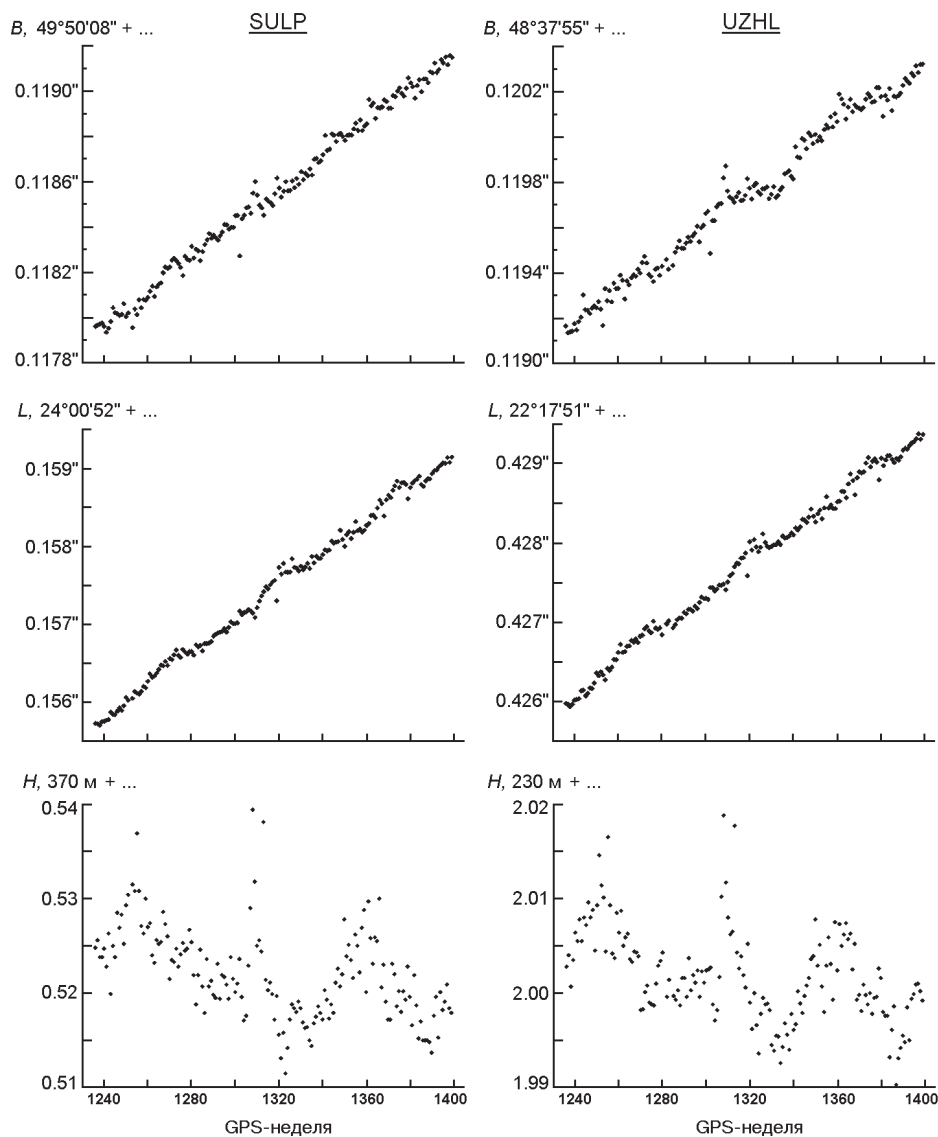


Рис. 8. Координаты станций SULP и UZHL

25 мая 2005 г. ГАО НАН Украины в Черниговском государственном институте экономики и управления (ЧГИЭУ), г. Чернигов. Антенный пост расположен на крыше инженерно-строительного факультета ЧГИЭУ. Оборудование станции CNIV: GPS-приемник «Trimble 4000SSi» и антенна дизайна Choke Ring (код IGS: TRM29659.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Чернигов» начались 2 сентября 2005 г. 29 октября 2006 г. GPS-станция CNIV была включена в EPN.

Станция SHAZ (Шацк). Перманентная GPS-станция «Шацк» (идентификатор: SHAZ, номер DOMES: 12370M001) была установлена 6 июля 2004 г. Национальным университетом «Львовская политехника» на Базе геодезической практики НУ ЛП (в 12 км на север от

г. Шацк Волынской обл). Антенный пост расположен на крыше офиса базы. Оборудование станции SHAZ: GPS-приемник «Trimble 5700» и антенна «Zephyr» (код IGS: TRM41249.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Шацк» начались 6 июля 2004 г.

Станция DNMU (Днепропетровск). Перманентная GPS-станция «Днепропетровск» (идентификатор станции: DNMU, номер DOMES: 12369M001) была установлена летом 2000 г. Национальным горным университетом (НГУ, г. Днепропетровск). Антенна смонтирована на металлической пирамиде на крыше флигеля пристройки 1-го учебного корпуса НГУ. Станция DNMU оборудована GPS-приемником «Trimble 7400MSI» и антенной «4000ST L1/L2 Geodetic» (код IGS: TRM14532.00). Регулярные наблюдения GPS-спутников на станции «Днепропетровск» начались 13 июля 2005 г.

Обработка GPS-наблюдений была выполнена с помощью комплекса «Bernese GPS Software ver. 4.2» [2] под операционной системой «Debian GNU/Linux 3.1». При обработке наблюдений с помощью «Bernese GPS Software ver. 4.2» использовались рекомендации EPN (http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.php) с одним исключением, которое будет упомянуто ниже. Процедура обработки детально описана в работе [1].

Суточные решения получались на фазовой комбинации $L3$ с фиксированными фазовыми неоднозначностями. Использовались наблюдения спутников с минимальным углом места 10° со взвешиванием фазовых измерений в зависимости от угла места для всех эпох наблюдений, а не с рекомендованным EPN периодом выборки измерений 180 с. Станция GLSV использовалась для задания системы координат путем наложения на ее координаты жестких ограничений (0.1 мм, т. е. фактически координаты GLSV были зафиксированы). Координаты и скорости станции GLSV на эпоху 1998.0 взяты из каталога IGS00b (ftp://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/scb/station/coord/IGS03P33_RS106.snx) — второй IGS-реализации ITRF2000:

$$\begin{aligned} X &= 3512889.0969 \text{ м}, & V_X &= -0.0190 \text{ м/год}, \\ Y &= 2068979.7777 \text{ м}, & V_Y &= 0.0147 \text{ м/год}, \\ Z &= 4888903.1494 \text{ м}, & V_Z &= 0.0066 \text{ м/год}. \end{aligned}$$

Для каждой недели координаты станции GLSV приводились к средней эпохе наблюдений данной недели (среда 11 ч 59 мин 45 с, время GPS). Если для данных суток сессия наблюдений на станции GLSV была короткой, то жесткие ограничения накладывались также на координаты станций BOR1 и LAMA. Тропосферные параметры определялись каждый час для каждой станции. Использовалась опция DRY_NIELL, задающая функцию наклона nmfh2.0 [3]. Сохранялись файлы нормальных уравнений.

Финальные решения для каждой недели были получены путем уравнивания нормальных уравнений для суточных решений.

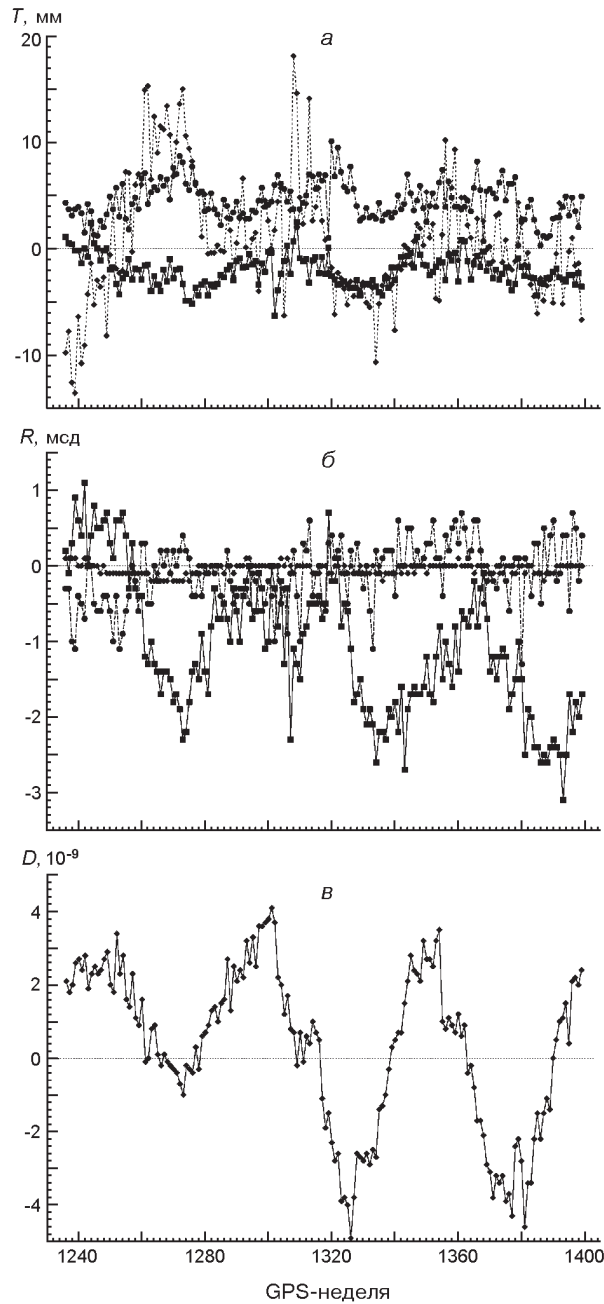


Рис. 9. Значения параметров преобразования Гельмерта (сдвига T , вращения R , масштабного множителя D) между полученными решениями и комбинированными решениями EPN (квадратики — X , точки — Y , ромбики — Z)

В результате обработки были получены координаты станций в системе координат IGS00b для каждой GPS-недели. В таблице приведены вычисленные координаты украинских GPS-станций из решений для GPS-недель 1303, 1355 и 1399. СКО полученных координат составляют 0.1—0.3 мм. Такие оптимистические значения СКО могут

быть объяснены большим количеством уравнений наблюдений. Реальная же точность вычисленных координат на порядок больше, что подтверждается повторяемостью составляющих координат из суточных решений.

Изменения координат украинских станций показаны на рис. 3—8.

Наличие в обрабатываемой сети станций EPN (от 15 для GPS-недели 1236 до 21 для GPS-недели 1399) дало возможность сравнить по-

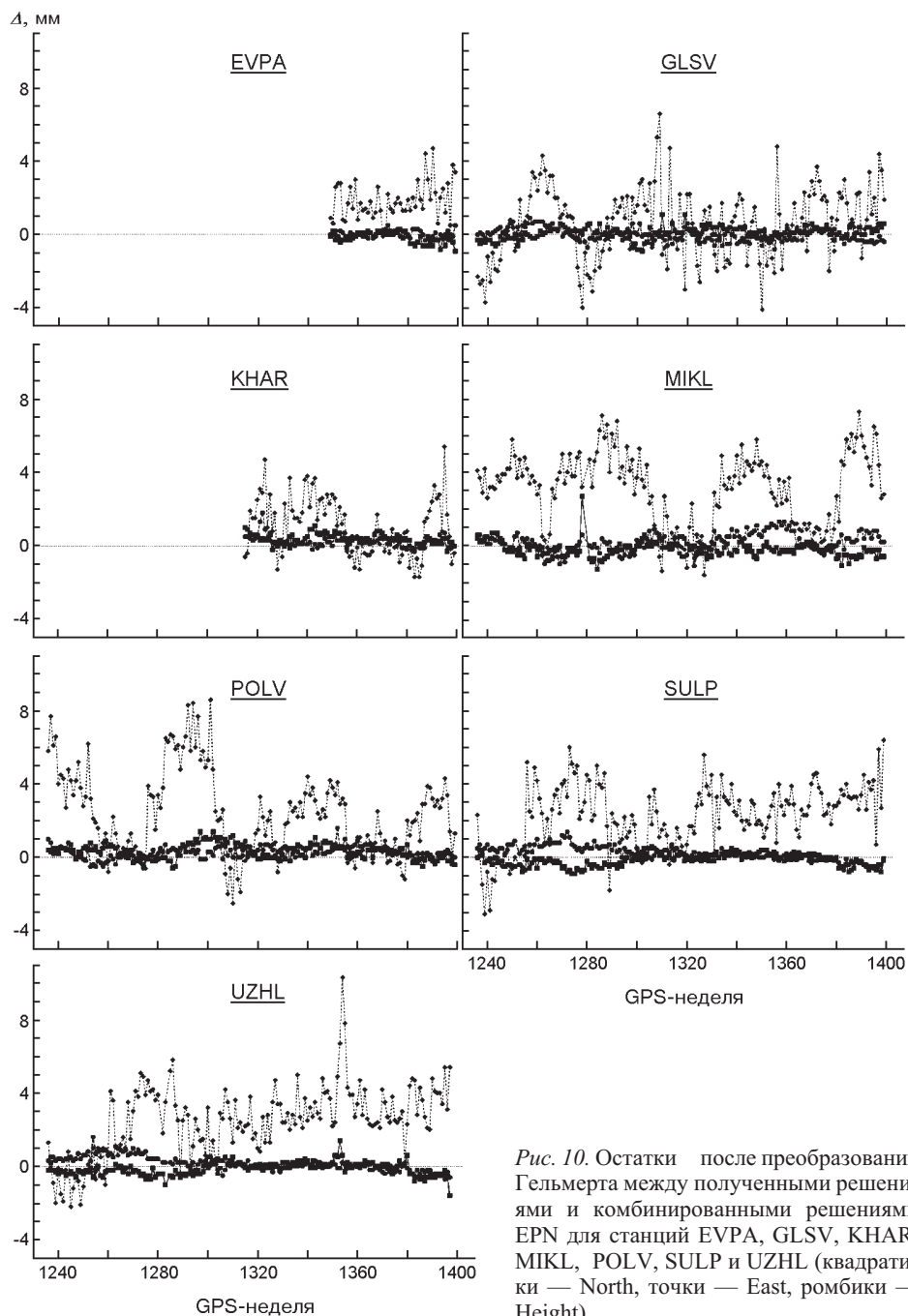


Рис. 10. Остатки после преобразования Гельмерта между полученными решениями и комбинированными решениями EPN для станций EVPA, GLSV, KHAR, MIKL, POLV, SULP и UZHL (квадратики — North, точки — East, ромбики — Height)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ УКРАИНСКИХ GPS-СТАНЦИЙ

Координаты украинских GPS-станций (система координат: IGS00b)

Станция	GPS-неделя 1303 (эпоха: 29 декабря 2004 г. 11 ч 59 мин 45 с, время GPS)		GPS-неделя 1355 (эпоха: 28 декабря 2005 г. 11 ч 59 мин 45 с, время GPS)		GPS-неделя 1399 (эпоха: 1 ноября 2006 г. 11 ч 59 мин 45 с, время GPS)	
	X, м	Высота, м	X, м	Высота, м	X, м	Высота, м
	Y, м	Широта	Y, м	Широта	Y, м	Широта
	Z, м	Долгота	Z, м	Долгота	Z, м	Долгота
ALCI	3297847.9361	142.4255	3297847.9118	142.4201	3297847.8991	142.4289
	2661607.4092	48°27 24.970200	2661607.4239	48°27 24.970465	2661607.4403	48°27 24.970700
	4750829.8019	38°54 21.953490	4750829.8033	38°54 21.954790	4750829.8147	38°54 21.955800
CNIV			3397785.2047	175.9242	3397785.1901	175.9243
			2066990.5640	51°31 08.178452	2066990.5740	51°31 08.178755
			4969811.5733	31°18 48.958018	4969811.5792	31°18 48.958853
CRAO	3783897.1082	365.7917	3783897.0879	365.7955	3783897.0762	365.7934
	2551404.4158	44°24 47.734593	2551404.4368	44°24 47.734953	2551404.4501	44°24 47.734992
	4441264.2679	33°59 27.535849	4441264.2785	33°59 27.537146	4441264.2779	33°59 27.537941
DNMU			3468976.9011	174.6178	3468976.8857	174.6178
			2434669.3548	48°27 18.440037	2434669.3673	48°27 18.440270
			4750720.1211	35°03 45.872700	4750720.1259	35°03 45.873628
EVPA	3767253.4915	39.3668	3767253.4727	39.3703	3767253.4568	39.3678
	2461876.3462	45°13 10.173569	2461876.3651	45°13 10.173927	2461876.3782	45°13 10.174127
	4504591.7832	33°09 51.703961	4504591.7935	33°09 51.705159	4504591.7961	33°09 51.706058
GLSV	3512888.9630	226.3126	3512888.9441	226.3118	3512888.9275	226.3111
	2068979.8802	50°21 51.057671	2068979.8947	50°21 51.058029	2068979.9075	50°21 51.058336
	4888903.1948	30°29 48.236157	4888903.2013	30°29 48.237272	4888903.2068	30°29 48.238256
KHAR	3312984.3275	201.0160	3312984.3053	201.0136	3312984.2980	201.0202
	2428203.4340	50°00 18.368017	2428203.4478	50°00 18.368366	2428203.4647	50°00 18.368369
	4863307.8093	36°14 20.427834	4863307.8144	36°14 20.429054	4863307.8195	36°14 20.429956
MIKL	3698553.9916	93.9024	3698553.9729	93.9039	3698553.9572	93.9008
	2308676.0057	46°58 22.024128	2308676.0234	46°58 22.024464	2308676.0355	46°58 22.024674
	4639769.4783	31°58 22.225947	4639769.4865	31°58 22.227130	4639769.4886	31°58 22.228008
POLV	3411557.3497	178.3532	3411557.3289	178.3526	3411557.3138	178.3532
	2348463.9894	49°36 09.409645	2348464.0051	49°36 09.409977	2348464.0147	49°36 09.410291
	4834396.8690	34°32 34.549788	4834396.8752	34°32 34.551020	4834396.8819	34°32 34.551840
SULP	3765296.9994	370.5196	3765296.9844	370.5262	3765296.9666	370.5179
	1677559.2083	49°50 08.118434	1677559.2278	49°50 08.118856	1677559.2379	49°50 08.119147
	4851297.3950	24°00 52.157121	4851297.4084	24°00 52.158318	4851297.4079	24°00 52.159144
SHAZ	3631978.0020	205.6398	3631977.9866	205.6458	3631977.9666	205.6340
	1609614.4902	51°34 12.261719	1609614.5086	51°34 12.262145	1609614.5174	51°34 12.262449
	4973373.0552	23°54 06.805959	4973373.0681	23°54 06.807160	4973373.0647	23°54 06.807998
UZHL	3907587.4573	231.9988	3907587.4419	232.0029	3907587.4278	231.9992
	1602428.6947	48°37 55.119629	1602428.7138	48°37 55.120051	1602428.7254	48°37 55.120320
	4763783.7417	22°17 51.427433	4763783.7534	22°17 51.428582	4763783.7561	22°17 51.429367

лученные решения с комбинированными решениями Европейской перманентной ГНСС-сети путем определения параметров преобразования Гельмерта. Полученные значения параметров показаны на рис. 9. На рис. 10 представлены остатки после преобразования Гельмерта между полученными решениями и комбинированными решениями EPN для украинских GPS-станций, которые входят в сеть EPN. Так как станция CNIV была включена в сеть EPN лишь с GPS-недели 1399, то остатки были вычислены лишь для этой недели. Они составили -0.1 , -0.2 и 1.2 мм для северной, восточной и высотной составляющих соответственно.

На рис. 11 показаны изменения длин баз между станцией GLSV и другими украинскими GPS-станциями.

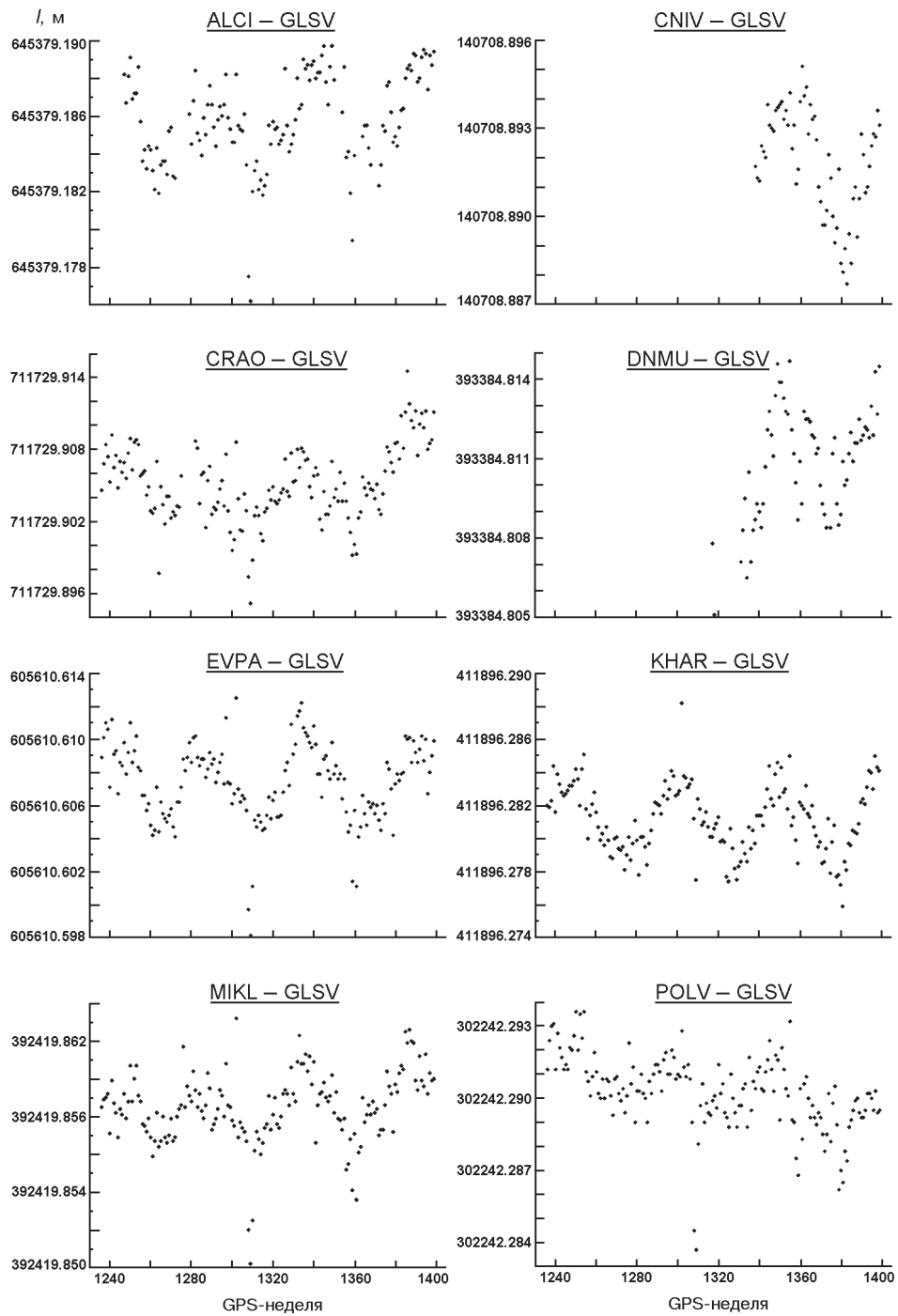


Рис. 11 (начало). Изменения длин l баз между станцией GLSV и станциями ALCI, CNIV, CRAO, DNMU, EVPA, KHAR, MIKL и POLV

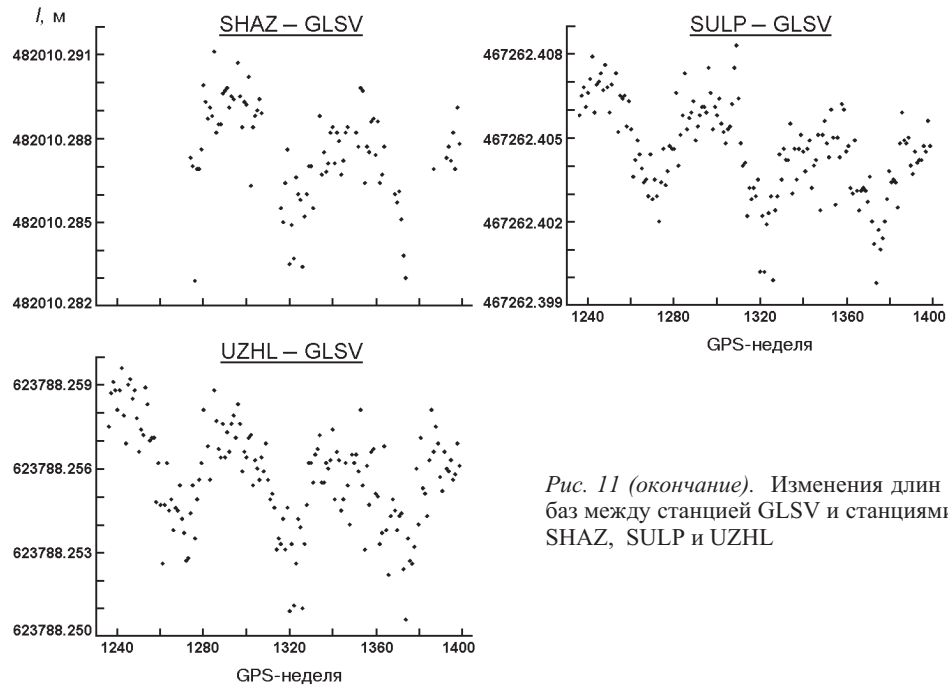


Рис. 11 (окончание). Изменения длин l баз между станцией GLSV и станциями SHAZ, SULP и UZHL

Полученные файлы решений в формате SINEX будут размещены на ftp-сервере ГАО НАНУ (<ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/gps/products/>).

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. Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne.—2001.—515 p.
3. Niell A. E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // J. Geophys. Res.—1996.—**101B**, N 2.—P. 3227—3246.

Поступила в редакцию 12.06.09