

УДК 528.48:520.87.7

О. М. Самойленко¹, О. О. Хо́да², В. В. Заец¹

¹ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту справ споживачів» (Укрметрестандарт)
03143 Київ-143, вул. Метрологічна 4

²Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27

**Результати геодезичної прив'язки радіотелескопа
та станцій лазерної локації супутників
до GPS-маркерів на Кримському геодинамічному полігоні
«Сімеїз—Кацівелі»**

Наведено результати прив'язки редуційних точок астрономо-геодезичних приладів до локальної геодезичної мережі та GPS-маркерів у вигляді координат у Міжнародній земній системі ITRF2000, а також ексцентрів станцій лазерної локації КраО і КЛО та перманентної GPS-станції CRAO, відносно редуційної точки радіотелескопа РТ-22 КраО. Наведені локальні відносні деформації поверхні Землі у вигляді зміщень редуційних точок астрономо-геодезичних приладів як відносно найближчих точок локальної геодезичної мережі, так і одна відносно одної.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ РАДИОТЕЛЕСКОПА И СТАНЦИЙ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ СПУТНИКОВ К GPS-МАРКЕРАМ НА КРЫМСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ «СИМЕИЗ—КАЦИВЕЛИ», Самойленко А. Н., Хо́да О. А., Заец В. В. — Приведены результаты привязки редуционных точек астрономо-геодезических приборов к локальной геодезической сети и GPS-маркерам в виде координат в Международной земной системе ITRF2000, а также эксцентров станций лазерной локации КраО и КЛО и перманентной GPS-станции CRAO относительно редуционной точки радиотелескопа РТ-22 КраО. Приведены локальные относительные деформации поверхности Земли в виде смещений редуционных точек астрономо-геодезических приборов как относительно ближайших точек локальной геодезической сети, так и друг относительно друга.

SOME RESULTS OF GEODETIC MEASUREMENTS OF LOCAL TIES FROM THE RADIO-TELESCOPE AND SATELLITE LASER RANGING STATIONS TO GPS MARKERS IN CRIMEAN TEST AREA «SIMEIZ—KATSIVELY», by Samoilenko O. M., Khoda O. O., Zayets V. V. — Some results of measurements of local ties of reducing points of astrogeodetic

stations to geodetic network and GPS markers are presented as coordinates in ITRF2000 and ecentres from CRAO and CLO SLR stations and permanent GPS station CRAO to reducing point of CRAO radio-telescope RT-22. Relative local deformations of the Earth's surface are presented as shifts of reducing points of astrogeodetic stations relative to the nearest points of local geodetic network as well as relative to each other.

ВСТУП

Просторові координати точок у Міжнародній земній системі координат (ITRF) визначаються п'ятьма основними методами:

- радіоінтерферометрія з наддовгими базами (РНДБ);
- лазерна локація штучних супутників Землі (ЛЛС);
- лазерна локація Місяця;
- супутникові навігаційні системи (GPS та ГЛОНАСС);
- доплерівські спостереження штучних супутників Землі (DORIS).

Для порівняння координат, одержаних цими методами, необхідно визначити природи просторових координат (ексцентри) між GPS-маркерами та редуційними точками об'єкта — радіотелескопа, станції лазерної локації супутників (СЛЛ) тощо (редукційна точка об'єкта — це точка, координати якої визначаються у Міжнародній земній системі координат).

Виконати це завдання можна шляхом побудови на майданчику обсерваторії високоточної локальної геодезичної лінійно-кутової мережі, яка включає GPS-маркери, та застосуванням спеціальних методів прив'язки астрономо-геодезичних приладів до точок мережі. Такі визначення виконуються на багатьох майданчиках астрономічних обсерваторій [2—6, 10—14], у тому числі в Україні на Кримському геодинамічному полігоні «Сімеїз—Кацивелі» (рисунок) [3—6, 10], де зосереджені радіотелескоп РТ-22 Кримської астрофізичної обсерваторії (КраО), дві станції лазерної локації супутників КраО (SIMI-SLR) та Кримської лазерної обсерваторії (КЛО) (KATS-SLR), підпорядкованої ГАО НАН України, перманентна GPS-станція CRAO

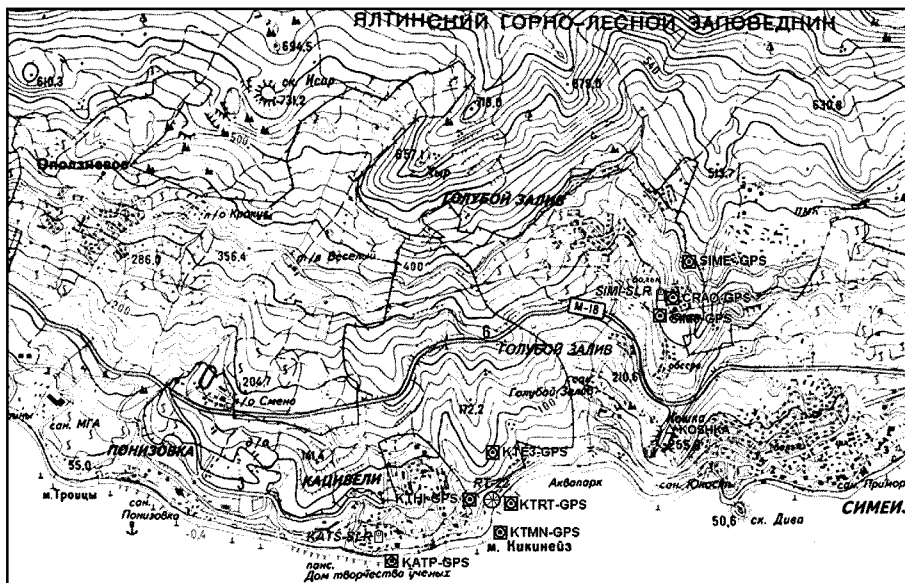


Схема розташування радіотелескопа РТ-22, станцій лазерної локації супутників КраО та КЛО та GPS-маркерів кримського геодинамічного полігону «Сімеїз—Кацивелі» у 2004 р.

біля СЛЛ КраО та декілька GPS-маркерів, на яких проводились спостереження під час різних GPS-кампаній.

Координати, визначені методом РНДБ, є вихідними для супутникових навігаційних систем, а ексцентри використовуються для передачі координат від редуційних точок радіотелескопів до перманентних GPS-станцій або для порівняння (контролю) координат, визначених методами GPS, РНДБ та ЛЛС, та виявлення систематичних похибок, притаманних цим методам.

Вперше ексцентри редуційних точок астрономо-геодезичних приладів, розташованих на Кримському геодинамічному полігоні «Сімеїз—Кацівелі», відносно GPS-маркерів та інших точок локальної геодезичної мережі були визначені у 1994 р. [3]. Координати редуційних точок відносно GPS-маркерів були обчислені у 1995 р. [10] та уточнені за результатами розрахунків, проведених у 2000 р. [5]. У 2001 р. була проведена повторна кампанія для визначення координат GPS-маркерів [6]. Але не були відомі швидкості локальних горизонтальних та вертикальних деформацій земної поверхні Кримського геодинамічного полігону, які могли викликати зміну відносного взаємного просторового положення редуційних точок астрономо-геодезичних приладів та GPS-маркерів, а відповідно і зміну ексцентрів.

У 2004 р. було поставлене завдання обчислити координати редуційних точок астрономо-геодезичних приладів відносно GPS-маркерів в локальній топоцентричній системі та в ITRF2000, а також локальні деформації Земної поверхні та фундаментів астрономо-геодезичних приладів. Для цього було заплановано провести у локальній геодезичній лінійно-кутовій мережі другу вимірювальну GPS-кампанію (супутникові спостереження) та кампанію вимірювань прецизійним тахеометром та нівеліром (наземні вимірювання), удосконаливши методи вимірювань та обчислень.

GPS-КАМПАНІЯ НА КРИМСЬКОМУ ГЕОДИНАМІЧНОМУ ПОЛІГОНІ «СІМЕЇЗ—КАЦИВЕЛІ»

Спостереження GPS-супутників проведено на семи пунктах полігону 8—9 вересня 2004 р. (дні року 252—253) за допомогою GPS-приймачів «Trimble 5700» та антен «Zephyr Geodetic», наданих Науково-дослідним інститутом геодезії і картографії (м. Київ) та Українським державним аеро-геодезичним підприємством (м. Київ).

Обробку отриманих спостережень виконано у Головній астрономічній обсерваторії НАН України за допомогою комплексу «Bernese GPS Software ver.4.2» [8]. Для прив'язки координат пунктів Кримського геодинамічного полігону «Сімеїз—Кацівелі» до ITRF2000 до обробки було включено спостереження на п'яти перманентних GPS-станціях мережі Міжнародної ГНСС-служби (IGS): Київ/Голосіїв (GLSV), Грац (GRAZ), Матера (MATE), Трабзон (TRAB) та Сімеїз (CRAO), остання розташована на даному полігоні.

Як апріорні використовувались координати станцій GLSV, GRAZ, MATE та TRAB із другої GPS-реалізації каталогу ITRF2000 (IGS00b), приведені до середньої епохи спостережень. Для обробки використовувались комбіновані точні ефемериди GPS-супутників та параметри обертання Землі для GPS-тижня 1287, отримані IGS [9]. Варіації фазових центрів GPS-антен взято зі стандартного файлу IGS. Океанічні навантаження для пунктів спостережень обчислено службою, створеною М. С. Босом та Г.-Г. Шернеком (<http://www.oso.chalmers.se/~loading/>).

Для визначення координат пунктів полігону застосовувалась процедура, що використовується для регулярної обробки спостережень на перманентних станціях в Центрі аналізу GPS-даних ГАО НАН України. Отримані координати

Таблиця 1. Координати пунктів Кримського геодинамічного полігону «Сімеїз—Кацивелі», система координати IGS00b, епоха 9 вересня 2004 р. 2 год 45 хв. (час в шкалі GPS)

Пункт (позначення на рисунку)	X, м Y, м Z, м	Висота, м Широта Довгота
CRAO-GPS	3783897.1164 2551404.4112 4441264.2662	365.7935 44°24'47.734457" 33°59'27.535470"
КТЕЗ-GPS (RT-PIL)	3785220.1075 2551079.1778 4439988.0052	126.5642 44°23'57.450280" 33°58'41.927922"
КТНІ-GPS	3785378.5128 2551165.4281 4439717.3984	65.5338 44°23'47.116454" 33°58'41.159473"
КТМН-GPS	3785265.0111 2551317.4898 4439669.4288	25.4472 44°23'46.213059" 33°58'49.723589"
КАТР-GPS (КАТС-PIL)	3785881.1390 2550948.4589 4439388.6619	46.7470 44°23'32.807511" 33°58'20.337955"
КТРТ-GPS	3785160.7747 2551262.2714 4439789.8215	25.8664 44°23'51.658597" 33°58'50.287079"
SIM8-GPS	3783955.7033 2551469.4246 4441189.2016	373.9232 44°24'44.072134" 33°59'28.491381"
SIME-GPS (SIME)	3783746.3007 2551362.7686 4441445.1659	386.4459 44°24'55.283258" 33°59'29.785813"

нати пунктів Кримського геодинамічного полігону «Сімеїз—Кацивелі» наведено в табл. 1 [7].

**ВИСОКОТОЧНІ НАЗЕМНІ ВИМІРЮВАННЯ
НА КРИМСЬКОМУ ГЕОДИНАМІЧНОМУ ПОЛІГОНІ «СІМЕЇЗ—КАЦИВЕЛІ»**

У 2004 р. вимірювання у локальній геодезичній лінійно-кутовій мережі виконувалися прецизійним електронним тахеометром «Trimble 5601» (нормована виробником середня квадратична похибка вимірювань кутів 1", а віддалей — $(1 + 1 \cdot D)$ мм, де D — виміряна віддаль у кілометрах). У 1994 р. ще не було таких досконалих приладів, тим не менш вимірювання виконувалися прецизійним теодолітом «Theo 010 В» (нормована виробником середня квадратична похибка вимірювань кутів 1.5", віддалей — світло-віддалеміром СП-2 — $(2 + 2 \cdot D)$ мм. За результатами метрологічних досліджень похибка вимірювань цими приладами була приблизно у півтора рази меншою. За допомогою електронного тахеометра у 2004 р. та теодоліта у 1994 р. виконувалася також геодезична прив'язка астрономо-геодезичних приладів до точок геодезичної мережі та GPS-маркерів за спеціально розробленою методикою шляхом визначення просторового положення їхньої азимутальної та кутомісцевої осі обертання.

При попередній обробці результатів наземних вимірювань у результати кутових вимірювань вводились поправки за відхилення прямовисної лінії. Тобто, виправлені результати кутових вимірювань ставали такими, нібито вісь обертання тахеометра збігалася не з прямовисною лінією, а з нормаллю до еліпсоїда.

Подальша обробка вимірювань та зрівнювання геодезичної мережі, а також обробка результатів вимірювань при прив'язці азимутальної та кутомісцевої осі обертання астрономо-геодезичних приладів здійснювалися спільно пакетом прикладних програм АРМІГ [1]. Спочатку зрівнювалася вертикальна мережа та обчислювалися геодезичні висоти точок. З їхнім використанням вимірені довжини ліній мережі редукувалися на еліпсоїд. Після цього виконувалося зрівнювання горизонтальної мережі та обчислення координат точок у локальній топоцентричній системі координат.

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК ПОЛІГОНУ, ЕКСЦЕНТРІВ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

За геодезичними широтами та довготами точок, одержаними з GPS-вимірювань, обчислювалися координати точок на площині в локальній топоцентричній системі координат. За допомогою спеціальної програми з пакету АРМІГ визначалися параметри перетворення Гельмерта з наземної системи до системи, в якій обчислені координати за GPS-вимірюваннями. Ці параметри використовувалися для перерахунку координат всіх точок мережі з системи координат, в якій зрівнювалися наземні вимірювання, до локальної топоцентричної системи, в якій обчислено координати за GPS-вимірюваннями.

Ексцентри, одержані за результатами зрівнювання і названого вище перерахунку у локальній топоцентричній системі координат, вісь апікат якої збігається з нормаллю до еліпсоїда, а вісь абсцис лежить у площині геодезичного меридіана, наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Ексцентри пунктів у локальній топоцентричній системі та їхні середні квадратичні похибки

Номер DOMES	Станція	Метод	Номер CDP	Δx , м	$\sigma_{\Delta x}$, мм	Δy , м	$\sigma_{\Delta y}$, мм	$\Delta H_{\text{геод}}$, м	$\sigma_{\Delta H_{\text{геод}}}$, мм
12337S008	RT-22	VLBI	7332	0.000	1.2	0.000	1.8	50.191	0.5
12337S006	KATS-SLR	SLR	1893	-486.471	3.4	-752.742	3.8	68.085	9.3
12337S003	SIMI-SLR	SLR	1873	1737.427	1.2	906.302	0.9	364.361	7.0
12337M002	CRAO-GPS	GPS	—	1745.493	1.8	908.666	1.8	365.823	7.4
12337M002	CRAO-GPS*	GPS	—	1745.483	—	908.660	—	365.794	—

Примітка. * — координати перманентного GPS-пункту, що знаходиться біля СЛЛ КраО (CRAO-GPS), одержані безпосередньо з GPS-спостережень у 2004 р.

Значення різниць координат, одержаних з наземних та GPS-спостережень, можна пояснити або грубою помилкою наземних вимірювань, або, що вірогідніше, систематичною похибкою GPS-вимірювань, наприклад впливом куполу антени на варіації її фазового центра. Середні квадратичні похибки (СКП) прив'язки астрономо-геодезичних приладів одержано зі зрівнювання всієї геодезичної мережі, як горизонтальної, так і вертикальної. Однак за результатами прив'язки радіотелескопа РТ-22 та станцій лазерної локації СКП визначення координат точок, що задають просторове положення азимутальної та кутомісцевої осей відносно найближчих точок геодезичної мережі, не перевищувало 0.5—1 мм. Видно, що слабким місцем мережі є висотна складова. Крім того, великі похибки прив'язки СЛЛ КЛЮ порівняно з СЛЛ КраО та РТ-22 обумовлені її віддаленістю від GPS-маркерів.

Перманентний пункт CRAO-GPS та GPS-маркер KTMN-GPS, розташований біля нового мареографа, не використовувалися при визначенні параметрів перетворення Гельмерта через великі різниці координат, одер-

Таблиця 3. Просторові координати в ITRF2000 на епоху 2004.7

Номер DOMES	Станція	X, м	Y, м	Z, м
12337S008	RT-22	3785230.904	2551207.524	4439796.448
12337S006	KATS-SLR	3785944.414	2550780.660	4439461.335
12337S003	SIMI-SLR	3783902.265	2551405.032	4441257.508
12337M002	CRAO-GPS	3783897.128	2551404.421	4441264.293
12337M002	CRAO-GPS*	3783897.116	2551404.411	4441264.266

Примітка. * — координати перманентної GPS-станції CRAO-GPS, одержані безпосередньо з GPS-вимірювань.

Таблиця 4. Ексцентри пунктів відносно RT-22 та їхні середні квадратичні похибки

Номер DOMES	Станція	ΔX , м	$\sigma_{\Delta X}$, мм	ΔY , м	$\sigma_{\Delta Y}$, мм	ΔZ , м	$\sigma_{\Delta Z}$, мм
12337S008	RT-22	0.000	1.4	0.000	1.2	0.000	1.2
12337S006	KATS-SLR	713.510	1.4	-426.864	5.5	-335.113	8.9
12337S003	SIMI-SLR	-1328.639	2.9	197.508	3.1	1461.060	5.8
12337M002	CRAO-GPS	-1333.776	2.3	196.897	3.7	1467.845	6.5
12337M002	CRAO-GPS*	-1333.788	—	196.887	—	1467.818	—

Примітка. * — ексцентри перманентної GPS-станції CRAO-GPS, одержані безпосередньо з GPS-вимірювань.

Таблиця 5. Зміщення редуційних точок астрономо-геодезичних приладів відносно найближчих до них найбільш стабільних точок геодезичної мережі у локальній топоцентричній системі координат

Номер DOMES	Станція	δx , м	δy , м	$\delta H_{\text{ГеоД}}$, м
12337S008	RT-22	-0.0006	0.0013	-0.0007
12337S006	KATS-SLR	-0.0026	-0.0069	-0.0040
12337S003	SIMI-SLR	-0.0059	0.0051	-0.0020

Таблиця 6. Зміщення редуційних точок СЛЛ відносно редуційної точки радіотелескопу RT-22 в ITRF2000

Номер DOMES	Станція	δX , м	δY , м	δZ , м
12337S008	RT-22	0.000	0.000	0.000
12337S006	KATS-SLR	0.016	0.011	-0.045
12337S003	SIMI-SLR	-0.015	0.008	-0.006

жаних з наземних та GPS-вимірювань. Залишки перетворення для інших точок були одного порядку з середніми квадратичними похибками визначення координат, наведеними у табл. 2.

За координатами редуційних точок астрономо-геодезичних приладів у локальній топоцентричній системі обчислювалась їхня геодезична широта та довгота, за якими, разом з геодезичною висотою, обчислені просторові координати в ITRF2000 на епоху 2004.7 (табл. 3).

Ексцентри перманентної GPS-станції, редуційних точок СЛЛ КраО і КЛО відносно редуційної точки радіотелескопа RT-22, обчислені в ITRF2000, та їхні середні квадратичні похибки наведені в табл. 4.

Крім задачі визначення ексентрів, була вирішена задача знаходження локальних зміщень редуційних точок радіотелескопа та СЛЛ відносно найближчих точок геодезичної мережі та одна відносно одної. Зміщення редуційних точок радіотелескопа RT-22 та станцій лазерної локації КЛО і КраО відносно найближчих до них найбільш стабільних точок геодезичної

Таблиця 7. Зміщення редуційних точок СЛЛ відносно редуційної точки радіотелескопа РТ-22 в локальній топоцентричній системі

Номер DOMES	Станція	δx , м	δy , м	$\delta H_{\text{геод}}$, м
12337S008	РТ-22	0.000	0.000	0.000
12337S006	KATS-SLR	-0.046	0.000	-0.018
12337S003	SIMI-SLR	0.001	0.015	-0.010

мережі (тільки тих, що знаходяться на майданчику безпосередньо біля приладів) за період з 1994 р. по 2004 р., обчислені у локальній топоцентричній системі координат, наведені в табл. 5.

Для обчислення локальних зміщень редуційних точок СЛЛ відносно редуційної точки радіотелескопа в ITRF2000 (табл. 6) використовувалися координати, визначені у 2004 р. і наведені в табл. 3 та аналогічні координати, визначені у 1994 р. і наведені в роботі [10, табл. 10].

Значення зміщень за період з 1994 р. по 2004 р., перераховані у локальну топоцентричну систему координат за даними табл. 6, наведені у табл. 7.

З табл. 7 видно, що СЛЛ КЛО за 10 років між спостереженнями змістилася на південь до моря на дуже значну величину $\delta x = 46$ мм відносно радіотелескопа РТ-22. Не дивлячись на те, що зміщення СЛЛ КраО на схід ($\delta y = 15$ мм), виходить за межі похибки визначення координат, тенденцію зміщення, яка склалася для СЛЛ КраО, можна буде підтвердити тільки у наступних циклах спостережень. Осідання СЛЛ КраО на $\delta H_{\text{геод}} = 10$ мм не виходить за межі похибок вимірювань. Факт осідання майданчика СЛЛ КЛО встановлено за даними геометричного та тригонометричного нівелювання між майданчиками (на 26 мм) та даними GPS-спостережень (на 18 мм).

ВИСНОВКИ

1. Розроблені методи створення локальної геодезичної мережі та методи прив'язки астрономо-геодезичних приладів до її точок дозволяють з необхідною точністю визначити координати точок мережі у локальній топоцентричній системі координат та ексцентри астрономо-геодезичних приладів один відносно одного та відносно GPS-маркерів.

2. Наведені в табл. 3 координати редуційних точок астрономо-геодезичних приладів в ITRF2000 можна використати для порівняння з координатами, одержаними методами GPS, РНДБ та ЛЛС.

3. Наведені в табл. 5 локальні зміщення редуційної точки радіотелескопа або СЛЛ можна використати для їхнього виключення з моделей глобальних тектонічних явищ, отриманих за допомогою методів РНДБ або ЛЛС, за умови розробки та погодження методики врахування цих зміщень.

4. Біля радіотелескопа РТ-22 КраО та станції лазерної локації супутників КЛО бажано встановити перманентні GPS-станції для підвищення точності та надійності прив'язки астрономо-геодезичних приладів до GPS-мережі та виявлення локальних зміщень астрономо-геодезичних приладів та їхніх майданчиків між собою.

5. Локальні зміщення земної поверхні та фундаментів астрономо-геодезичних приладів, що відбулися за 10 років між спостереженнями, помітно перевищують похибки визначення координат як методами наземної геодезичної мережі, так і методами GPS, РНДБ та ЛЛС.

6. Зважаючи на зміщення, що відбулися, та на точність наземних та астрометричних вимірювань, оптимальний проміжок між циклами наземних спостережень має становити три роки, а максимальний — п'ять років.

1. *Беляев В. А.* Пакет прикладных программ. Автоматизированное рабочее место инженера геодезиста (АРМИГ). Инструкция по эксплуатации. — www@armig.org.
2. *Мионов Н. Т., Самойленко А. Н., Яксь В. М., Яцкив Я. С.* Геоцентрические координаты и относительные положения двух лазерных дальномеров ГАО АН УССР и специальных геодезических знаков (маркеров) // Кинематика и физика небес. тел.—1988.—4, № 6.— С. 88—90.
3. *Самойленко А. Н.* Локальная геодезическая сеть на Симеизском геодинамическом полигоне. — Київ, 1996.—36 с.—(Препринт / НАН України, Глав. астрон. обсерватория; ГАО-96-1Р).
4. *Самойленко О. М.* Геодезична прив'язка радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників до GPS-маркерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. праць. — Л.: Ліга-Прес, 2006.—Вип. 1.—С. 46—52.
5. *Хода О. А.* Наблюдения спутников Глобальной системы определения местоположения (GPS) для геодинамических и ионосферных исследований в Украине: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 2000.—126 с.—Машинопись.
6. *Хода О. А.* Обработка наблюдений GPS-кампании на Крымском геодинамическом полигоне «Симеиз—Кацивели» в 2001 г. // Кинематика и физика небес. тел.—2004.—20, № 6.—С. 502—510.
7. *Хода О. О.* Кампанія GPS-спостережень на Кримському геодинамічному полігоні «Симеїз—Кацивели» в 2004 р. // Зб. наук. праць міжнар. науково-практичної конф. «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування — європейський досвід». — Чернівці, 2006.—Вип. 2.—С. 29—32.
8. *Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez.* — Berne: Astron. Inst., Univ. of Berne.—2001.—515 p.
9. *Beutler G., Rothacher M., Schaer S., et al.* The International GPS Service (IGS): An Interdisciplinary Service in Support of Earth Sciences // Adv. Space Res.—1999.—23, N 4.—P. 631—635.
10. *Bolotin S., Gaiovitch I., Khoda O., et al.* GPS Observational Campaign in the Geodynamics Test Area «Simeiz-Katsively»: Data Processing and Results // Космічна наука і технологія. Додаток.—1995.—1, № 2.—16 с.
11. *Gaiovitch I., Khoda O., Osmak A., Samoilenko A.* Collocation of Different Geodetic Techniques at the Main Astronomical Observatory in Kiev // Proc. International Workshop on Geodetic Measurements by the Collocation of Space Techniques on Earth (GEMSTONE). — Tokyo (Japan), 1999.—P. 225—229.
12. *Jaks W., Yatskiv Ya. S., Mironov N. T., Samoilenko A. N.* Local geodetic survey for SLR station in Kiev // Проблемы астрометрии и космической геодинимики: Матер. междунар. семинара по проблемам астрометрии и космической геодинимики, Киев, 1990. — Киев: Наук. думка, 1991.—С. 115—121.
13. *Samoilenko A., Rudenko S., Schillak S.* Local geodetic tie of the Borowiec-1 SLR station to GPS markers // Artif. Satell.—1997.—32, N 3.—P. 175—184.
14. *Sarti P., Sillard P., Vittuari L.* Surveying co-located space-geodetic instruments for ITRF computation // J. Geodesy.—2004.—78.—P. 210—222.

Надійшла до редакції 22.05.06