КИНЕМАТИКА
И ФИЗИКА
НЕБЕСНЫХ
ТЕЛ том 18 № 5 2002

УДК 528.2:629.78+528.516

О. О. Хода

Головна астрономічна обсерваторія НАН України
03680, МСП, Київ, вул. Академіка Заболотного 27

Визначення координат української антарктичної станції Академік Вернадський

Для визначення координат станції Академік Вернадський (VERN) 6—19 березня 2002 р. проведено GPS-спостереження, які оброблялись сумісно з даними спостережень на сусідніх станціях мережі IGS LPGS, SANT, RIOG, MCM4 та MAW1. Станція RIOG використовувалась як контрольна, тобто її координати визначались разом з координатами станції VERN. Наведені три отриманих розв'язки як з дійсними, так і з зафіксованими значеннями фазових невизначеностей.

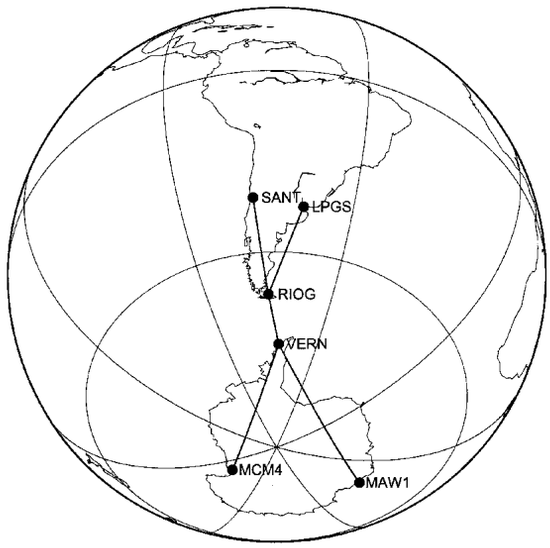
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ УКРАИНСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ, Хода О. А. — Для определения координат станции Академик Вернадский (VERN) 6—19 марта 2002 г. проведены GPS-наблюдения, которые обрабатывались совместно с данными наблюдений на соседних станциях сети IGS LPGS, SANT, RIOG, MCM4 и MAW1. Станция RIOG использовалась как контрольная, то есть ее координаты определялись вместе с координатами станции VERN. Приведены три полученных решения как с действительными, так и с зафиксированными значениями фазовых неопределенностей.

DETERMINATION OF THE COORDINATES OF THE VERNADSKY UKRAINIAN ANTARCTIC STATION, by Khoda O. O. — The GPS observations carried out in 6—19 March 2002 at the Vernadsky Station (VERN) were used to determine its coordinates. The derived data were reduced in combination with the data from the observations made at the neighbouring IGS network stations LPGS, SANT, RIOG, MCM4, and MAW1. The station RIOG was used as a quality indicator, i. e., its coordinates were determined together with the VERN coordinates. Three solutions with free phase ambiguities as well as fixed ones are presented.

ВИХІДНІ ДАНІ

Спостереження GPS-супутників на українській антарктичній станції Академік Вернадський (ідентифікатор VERN) були проведені 6—19 березня 2002 р. (дні року 064—078) спільними зусиллями Українського антарктич-

© О. О. ХОДА, 2002



Розташування станцій спостережень та сформовані бази

Таблиця 1. Загальна інформація про станції спостережень

Станція	Ідентифікатор	Приймач	Антена	Висота антени, м
La Plata	LPGS	AOA BENCHMARK ACT	AOAD/M_T	0.0460
Mawson	MAW1	AOA ICS-4000Z ACT	AOAD/M_T	0.0035
McMurdo	MCM4	AOA SNR-12 ACT	AOAD/M_T	0.0814
Rio Grande	RIOG	ASHTECH Z-XII3	ASH700936C_M	0.0350
Santiago	SANT	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T	0.0614
Vernadsky	VERN	TRIMBLE 4700	TRM33429.20+GP	0.0000

ного центру та ЗАТ ECOMM Co. Пункт спостережень було обладнано двохчастотним приймачем «Trimble 4700» з антеною «Compact Geodetic $L1/L2$ microcentered, with groundplane» (код IGS: TRM33429.20+GP). Керування приймачем та операції з файлами даних здійснювались програмою Trimble Reference Station (TRS). Спостереження проводились з інтервалом 1 с переважно по дві 12-годинні сесії на добу; початок сесій о 00:00 та 12:00 (час GPS). Одночасно формувались файли спостережень з інтервалом 15 с.

Для визначення координат станції Академік Вернадський (VERN) дані спостережень на ній оброблялись сумісно з даними спостережень на сусідніх станціях мережі IGS (рисунок), координати яких є у каталозі ITRF2000 [http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/].

В табл. 1 наведена загальна інформація про вибрані станції. Деякі сусідні станції (OHI2, VESL, SYOG, GOUG, PARC, COYG) не потрапили до цього списку через те, що їхніх координат у каталозі ITRF2000 немає, або через те, що спостереження на цих станціях у потрібний період не проводились.

В табл. 2 наведені вихідні координати та швидкості вибраних станцій у системі відліку ITRF2000 на епоху 1997.0.

Для обробки використовувались комбіновані точні ефемериди GPS-супутників від IGS для GPS-тижнів 1156—1158 та параметри обертання Землі, що розповсюджуються разом з ефемеридами.

Таблиця 2. Координати та швидкості вибраних станцій мережі IGS, система відліку ITRF2000, епоха 1997.0

Станція	Номер DOMES	Координати, м	Швидкості, м/рік
LPGS	41510M001	$X = 2780102.969 \pm 0.002$ $Y = -4437418.863 \pm 0.002$ $Z = -3629404.583 \pm 0.002$	$V_x = 0.0025 \pm 0.0006$ $V_y = -0.0072 \pm 0.0009$ $V_z = 0.0087 \pm 0.0008$
MAW1	66004M001	$X = 1111287.166 \pm 0.002$ $Y = 2168911.279 \pm 0.003$ $Z = -5874493.595 \pm 0.008$	$V_x = 0.0014 \pm 0.0008$ $V_y = -0.0023 \pm 0.0012$ $V_z = -0.0036 \pm 0.0028$
MCM4	66001M003	$X = -1311703.250 \pm 0.001$ $Y = 310815.104 \pm 0.001$ $Z = -6213255.125 \pm 0.003$	$V_x = 0.0088 \pm 0.0004$ $V_y = -0.0120 \pm 0.0004$ $V_z = -0.0033 \pm 0.0013$
RIOG	41507M004	$X = 1429907.727 \pm 0.002$ $Y = -3495354.740 \pm 0.003$ $Z = -5122698.672 \pm 0.004$	$V_x = 0.0079 \pm 0.0007$ $V_y = -0.0102 \pm 0.0009$ $V_z = 0.0028 \pm 0.0011$
SANT	41705M003	$X = 1769693.337 \pm 0.001$ $Y = -5044574.148 \pm 0.002$ $Z = -3468321.048 \pm 0.002$	$V_x = 0.0221 \pm 0.0004$ $V_y = -0.0059 \pm 0.0006$ $V_z = 0.0111 \pm 0.0005$

Таблиця 3. Координати вибраних станцій мережі IGS, система відліку ITRF2000, епоха 13.03.2002 00:00 (час GPS)

Станція	Координати, м
LPGS	$X = 2780102.9820 \pm 0.0037$ $Y = -4437418.9004 \pm 0.0051$ $Z = -3629404.5378 \pm 0.0046$
MAW1	$X = 1111287.1733 \pm 0.0046$ $Y = 2168911.2671 \pm 0.0069$ $Z = -5874493.6137 \pm 0.0166$
MCM4	$X = -1311703.2043 \pm 0.0023$ $Y = 310815.0417 \pm 0.0023$ $Z = -6213255.1421 \pm 0.0074$
RIOG	$X = 1429907.7680 \pm 0.0041$ $Y = -3495354.7930 \pm 0.0056$ $Z = -5122698.6575 \pm 0.0070$
SANT	$X = 1769693.4518 \pm 0.0023$ $Y = -5044574.1786 \pm 0.0037$ $Z = -3468320.9903 \pm 0.0033$

ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА

Обробка даних GPS-спостережень була виконана у Головній астрономічній обсерваторії НАН України за допомогою комплексу Bernese GPS Software v.4.2 [1].

У файлі варіацій фазових центрів різних GPS-антен (PHAS_IGS.01) не було інформації про антену TRM33429.20+GP. Потрібна інформація була взята зі стандартного файлу варіацій фазових центрів GPS-антен IGS [ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs_01.pcv] і доповнена до файлу PHAS_IGS.01 з перетворенням у потрібний формат. RINEX-файли спостережень на станції VERN були об'єднані у добові з початком спостережень о 00:00 (час GPS). Вихідні координати IGS-станцій були приведені

до середньої епохи спостережень 13.03.2002 00:00 (час GPS) (табл. 3, далі INI).

Станція RIOG використовувалась як контрольна, тобто її координати визначались разом з координатами станції VERN. Порівняння отриманих координат станції RIOG з вихідними (табл. 3) дає додаткову можливість оцінити точність отриманих координат станції VERN.

Для станцій RIOG та VERN як апріорні використовувались координати із заголовків RINEX-файлів для останнього дня спостережень (день року 078):

RIOG:	VERN:
$X = 1429907.7500$ м,	$X = 1163325.2547$ м,
$Y = -3495354.7400$ м,	$Y = -2412207.4681$ м,
$Z = -5122698.6699$ м,	$Z = -5769277.9702$ м.

Попередня обробка даних виконана у такій послідовності:

— файли спостережень, точних ефемерид GPS-супутників, параметрів обертання Землі перетворені у внутрішній бінарний формат даних;

— з кодових спостережень визначені похибки годинників на всіх шести станціях та уточнені координати станцій RIOG та VERN окремо для кожної сесії;

— сформовані файли перших різниць фазових спостережень (рис. 1).

— перевірена якість фазових спостережень в отриманих файлах (маркування спостережень супутників з кутами місця менше 15°, спостережень на малих інтервалах часу тощо) та визначені моменти стрибків фаз. Крім цього з розв'язку потрійних різниць на фазовій комбінації *L3* були уточнені координати станцій RIOG та VERN окремо для кожної сесії.

КІНЦЕВА ОБРОБКА

Першим кроком були отримані розв'язки на фазовій комбінації *L3* з дійсними значеннями фазових невизначеностей окремо для кожної сесії. Використовувались спостереження супутників з мінімальним кутом місця 15°. Тропосферні параметри для кожної станції визначались щодвігодини. На координати станцій LPGS, MAW1, MCM4 та SANT були накладені жорсткі обмеження (0.1 мм).

Спочатку були отримані розв'язки для «неочищених» даних зі збереженням файлів залишків. З використанням цих файлів були замарковані випадання у файлах перших різниць фазових спостережень. Після цього були отримані розв'язки вже для «очищених» даних зі збереженням файлів нормальних рівнянь та порахованих координат станцій RIOG і VERN.

Файли нормальних рівнянь було використано для врівноважування і отримання розв'язку з дійсними значеннями фазових невизначеностей (Ambiguity Free Cleaned Solution) — надалі AFC. Характеристики цього розв'язку наведені нижче (табл. 6—10).

Наступним кроком було фіксування фазових невизначеностей. Невизначеності фіксувались побазово одночасно на частотах *L1* і *L2* з використанням методики QIF [2]. При цьому використовувались тропосферні параметри, отримані на попередньому кроці.

Спочатку був проведений тест з використанням даних дня року 065. Невизначеності фіксувались (але не зберігались) двома методами:

1) метод розрахунку стохастичних іоносферних параметрів;

2) метод використання побудованих детерміністичних моделей іоносфери та розрахунку стохастичних іоносферних параметрів.

Таблиця 4. Фіксування фазових невизначеностей. Результати тесту для дня року 065

База	Довжина бази, км	Загальна кількість невизначеностей	Кількість зафіксованих невизначеностей	
			Варіант 1	Варіант 2
LPGS—RIOG	2222.71	98	0	68
SANT—RIOG	2291.83	84	0	64
RIOG—VERN	1289.32	90	50	82
MAW1—VERN	4582.62	134	0	14
MCM4—VERN	3706.44	176	0	10

Таблиця 5. Фіксування фазових невизначеностей

День року	База	Загальна кількість невизначеностей	Кількість незафіксованих невизначеностей	СКП, мм	Частка зафіксованих невизначеностей, %
065	LPGS—RIOG	98	30	2.8	69.4
	MAW1—VERN	134	120	3.6	10.4
	MCM4—VERN	176	166	4.7	5.7
	RIOG—VERN	90	8	2.1	91.1
	SANT—RIOG	84	20	2.8	76.2
066	LPGS—RIOG	114	46	2.4	59.6
	MAW1—VERN	128	114	3.9	10.9
	MCM4—VERN	204	190	4.0	6.9
	RIOG—VERN	92	8	2.4	91.3
	SANT—RIOG	84	16	2.5	81.0
067	LPGS—RIOG	82	48	2.6	41.5
	MAW1—VERN	134	132	4.6	1.5
	MCM4—VERN	204	204	5.0	0.0
	RIOG—VERN	60	18	1.9	70.0
	SANT—RIOG	64	26	3.0	59.4
068	LPGS—RIOG	146	82	2.9	43.8
	MAW1—VERN	130	120	3.9	7.7
	MCM4—VERN	214	206	4.8	3.7
	RIOG—VERN	96	12	2.1	87.5
	SANT—RIOG	110	44	2.9	60.0
069	LPGS—RIOG	138	76	3.2	44.9
	MAW1—VERN	132	120	4.6	9.1
	MCM4—VERN	190	184	4.8	3.2
	RIOG—VERN	98	16	2.0	83.7
	SANT—RIOG	98	30	2.3	69.4
070	LPGS—RIOG	120	62	3.2	48.3
	MAW1—VERN	130	108	3.9	16.9
	MCM4—VERN	178	150	4.3	15.7
	RIOG—VERN	98	12	2.1	87.8
	SANT—RIOG	96	32	3.5	66.7
071	LPGS—RIOG	136	60	3.0	55.9
	MAW1—VERN	126	108	3.7	14.3
	MCM4—VERN	182	168	4.6	7.7
	RIOG—VERN	88	10	2.2	88.6
	SANT—RIOG	86	16	3.4	81.4
072	LPGS—RIOG	126	72	3.9	42.9
	MAW1—VERN	118	108	3.8	8.5
	MCM4—VERN	162	142	4.2	12.3
	RIOG—VERN	102	26	2.1	74.5
	SANT—RIOG	88	36	3.5	59.1
073	LPGS—RIOG	158	94	2.8	40.5
	MAW1—VERN	134	124	4.0	7.5
	MCM4—VERN	178	178	5.7	0.0
	RIOG—VERN	98	12	2.3	87.8
	SANT—RIOG	110	48	3.2	56.4
074	LPGS—RIOG	120	60	2.9	50.0
	MAW1—VERN	124	102	3.8	17.7
	MCM4—VERN	182	172	4.3	5.5
	RIOG—VERN	98	12	2.0	87.8
	SANT—RIOG	90	24	3.1	73.3

Закінчення табл. 5

День року	База	Загальна кількість невизначеностей	Кількість незафіксованих невизначеностей	СКП, мм	Частка зафіксованих невизначеностей, %
075	LPGS—RIOG	154	110	3.1	28.6
	MAW1—VERN	134	128	4.7	4.5
	MCM4—VERN	194	194	5.1	0.0
	RIOG—VERN	110	22	2.1	80.0
	SANT—RIOG	88	20	3.4	77.3
076	LPGS—RIOG	132	78	3.4	40.9
	MAW1—VERN	134	114	4.0	14.9
	MCM4—VERN	186	184	5.0	1.1
	RIOG—VERN	98	10	2.1	89.8
	SANT—RIOG	96	26	3.1	72.9
077	LPGS—RIOG	160	106	3.4	33.8
	MAW1—VERN	126	126	4.7	0.0
	MCM4—VERN	194	192	5.3	1.0
	RIOG—VERN	94	10	2.2	89.4
	SANT—RIOG	98	48	3.5	51.0
078	LPGS—RIOG	158	106	4.0	32.9
	MAW1—VERN	118	104	3.8	11.9
	MCM4—VERN	190	156	3.8	17.9
	RIOG—VERN	86	16	2.3	81.4
	SANT—RIOG	96	40	3.5	58.3

Таблиця 6. Характеристики різних розв'язків

Розв'язок	Кількість спостережень	Кількість невідомих	СКП, мм
F5B	828737	3883	1.1
F3B	520203	1479	1.3
AFC	828737	5439	1.0

Результати тесту наведені у табл. 4. Видно, що використання детерміністичних моделей іоносфери значно збільшило відсоток зафіксованих невизначеностей. Тому для кожної доби були побудовані детерміністичні моделі іоносфери [3], базовані на розвиненні загального вмісту електронів в ряд за сферичними гармоніками по географічній широті та годинному куті Сонця. Надалі фазові невизначеності фіксувались з використанням другого методу (табл. 5).

З отриманих результатів видно, що для дуже довгих баз (MAW1—VERN, MCM4—VERN) відсоток зафіксованих невизначеностей досить малий. Тому було вирішено отримати два фінальних розв'язки:

1) використовуючи всі п'ять баз (надалі розв'язок F5B);

2) використовуючи лише три бази: LPGS—RIOG, SANT—RIOG, RIOG—VERN (надалі розв'язок F3B).

Спочатку були отримані розв'язки на фазовій комбінації *L3* з використанням зафіксованих фазових невизначеностей окремо для кожної сесії зі збереженням файлів нормальних рівнянь та порахованих координат станцій RIOG і VERN. Використовувались спостереження супутників з мінімальним кутом місця 15°. Тропосферні параметри для кожної станції визначались кожних дві години. На координати станцій LPGS, MAW1, MCM4, SANT для розв'язку F5B та LPGS, SANT для розв'язку F3B були накладені жорсткі обмеження (0.1 мм).

Таблиця 7. Отримані координати, система відліку ITRF2000, епоха 13.03.2002 00:00 (час GPS). СКП1 — формальна СКП, СКП2 — СКП зваженого середнього для кожного компонента координат

Розв'язок	Станція	X, м Y, м Z, м	СКП1, м	СКП2, м	H, м B L	СКП1, м
F5B	RIOG	1429907.7613	0.0001	0.0014	32.0148	0.0002
		−3495354.7845	0.0001	0.0015	−53° 47′ 07.700627″	0.0001
		−5122698.6487	0.0002	0.0015	−67° 45′ 04.025658″	0.0000
	VERN	1163323.7342	0.0001	0.0011	19.8899	0.0002
		−2412205.6140	0.0001	0.0010	−65° 14′ 46.120249″	0.0001
		−5769272.6709	0.0002	0.0012	−64° 15′ 12.912375″	0.0000
F3B	RIOG	1429907.7647	0.0001	0.0016	32.0219	0.0003
		−3495354.7917	0.0002	0.0020	−53° 47′ 07.700478″	0.0001
		−5122698.6517	0.0002	0.0018	−67° 45′ 04.025636″	0.0000
	VERN	1163323.7377	0.0001	0.0015	19.8946	0.0003
		−2412205.6221	0.0002	0.0017	−65° 14′ 46.120006″	0.0001
		−5769272.6721	0.0003	0.0012	−64° 15′ 12.912401″	0.0000
AFC	RIOG	1429907.7619	0.0001	0.0010	32.0179	0.0002
		−3495354.7870	0.0001	0.0007	−53° 47′ 07.700598″	0.0001
		−5122698.6507	0.0002	0.0014	−67° 45′ 04.025679″	0.0001
	VERN	1163323.7335	0.0001	0.0006	19.8922	0.0002
		−2412205.6162	0.0001	0.0010	−65° 14′ 46.120225″	0.0001
		−5769272.6727	0.0002	0.0013	−64° 15′ 12.912499″	0.0001

Таблиця 8. Різниці отриманих координат станції RIOG з вихідними

Розв'язок	ΔX, мм	ΔY, мм	ΔZ, мм
F5B	−6.7±4.3	8.5±5.8	8.8±7.2
F3B	−3.3±4.4	1.3±5.9	5.8±7.2
AFC	−6.1±4.2	6.0±5.6	6.8± 7.1

Таблиця 9. Отримані довжини баз

День року	Розв'язок F5B		Розв'язок F3B		Розв'язок AFC	
	Довжина бази, м	Різниця, м	Довжина бази, м	Різниця, м	Довжина бази, м	Різниця, м
			LPGS—RIOG			
065	2222709.8823	−0.0029	2222709.8818	−0.0003	2222709.8795	−0.0056
066	2222709.8826	−0.0026	2222709.8797	−0.0024	2222709.8824	−0.0027
067	2222709.8793	−0.0059	2222709.8788	−0.0032	2222709.8783	−0.0067
068	2222709.8828	−0.0024	2222709.8783	−0.0038	2222709.8834	−0.0017
069	2222709.8836	−0.0015	2222709.8789	−0.0032	2222709.8832	−0.0019
070	2222709.8821	−0.0031	2222709.8789	−0.0032	2222709.8838	−0.0012
071	2222709.8900	0.0049	2222709.8900	0.0079	2222709.8885	0.0034
072	2222709.8906	0.0055	2222709.8865	0.0045	2222709.8909	0.0058
073	2222709.8936	0.0084	2222709.8903	0.0083	2222709.8926	0.0075
074	2222709.8931	0.0080	2222709.8878	0.0057	2222709.8935	0.0084
075	2222709.8864	0.0013	2222709.8847	0.0027	2222709.8862	0.0012
076	2222709.8811	−0.0041	2222709.8761	−0.0059	2222709.8818	−0.0032
077	2222709.8812	−0.0039	2222709.8771	−0.0050	2222709.8813	−0.0037
078	2222709.8811	−0.0040	2222709.8777	−0.0044	2222709.8832	−0.0019
Середнє	2222709.8851	0.0049	2222709.8821	0.0051	2222709.8850	0.0048

Закінчення табл. 9

День року	Розв'язок F5B		Розв'язок F3B		Розв'язок AFC	
	Довжина бази, м	Різниця, м	Довжина бази, м	Різниця, м	Довжина бази, м	Різниця, м
			RIOG—VERN			
065	1289316.5430	0.0049	1289316.5424	0.0060	1289316.5436	0.0050
066	1289316.5405	0.0023	1289316.5380	0.0016	1289316.5423	0.0037
067	1289316.5363	−0.0018	1289316.5361	−0.0003	1289316.5372	−0.0014
068	1289316.5342	−0.0039	1289316.5311	−0.0053	1289316.5345	−0.0042
069	1289316.5365	−0.0016	1289316.5338	−0.0025	1289316.5371	−0.0015
070	1289316.5325	−0.0056	1289316.5323	−0.0041	1289316.5324	−0.0063
071	1289316.5328	−0.0054	1289316.5329	−0.0035	1289316.5334	−0.0053
072	1289316.5382	0.0001	1289316.5368	0.0005	1289316.5379	−0.0007
073	1289316.5360	−0.0021	1289316.5335	−0.0029	1289316.5362	−0.0024
074	1289316.5351	−0.0030	1289316.5328	−0.0036	1289316.5352	−0.0034
075	1289316.5427	0.0046	1289316.5415	0.0052	1289316.5423	0.0037
076	1289316.5405	0.0024	1289316.5376	0.0012	1289316.5420	0.0034
077	1289316.5417	0.0036	1289316.5395	0.0032	1289316.5420	0.0033
078	1289316.5422	0.0041	1289316.5395	0.0031	1289316.5437	0.0051
Середнє	1289316.5381	0.0038	1289316.5364	0.0037	1289316.5386	0.0041
			MAW1—VERN			
065	4582620.5501	−0.0027			4582620.5523	−0.0024
066	4582620.5564	0.0036			4582620.5549	0.0001
067	4582620.5569	0.0041			4582620.5594	0.0047
068	4582620.5541	0.0013			4582620.5568	0.0020
069	4582620.5568	0.0040			4582620.5580	0.0032
070	4582620.5547	0.0019			4582620.5605	0.0057
071	4582620.5516	−0.0012			4582620.5612	0.0065
072	4582620.5466	−0.0062			4582620.5533	−0.0015
073	4582620.5509	−0.0018			4582620.5529	−0.0018
074	4582620.5484	−0.0044			4582620.5515	−0.0032
075	4582620.5469	−0.0059			4582620.5511	−0.0036
076	4582620.5547	0.0020			4582620.5509	−0.0038
077	4582620.5551	0.0023			4582620.5503	−0.0045
078	4582620.5568	0.0040			4582620.5547	0.0000
Середнє	4582620.5528	0.0037			4582620.5548	0.0037
			MCM4—VERN			
065	3706443.0742	−0.0016			3706443.0757	−0.0010
066	3706443.0784	0.0026			3706443.0763	−0.0004
067	3706443.0761	0.0003			3706443.0802	0.0035
068	3706443.0780	0.0022			3706443.0762	−0.0004
069	3706443.0786	0.0028			3706443.0777	0.0010
070	3706443.0810	0.0052			3706443.0808	0.0042
071	3706443.0702	−0.0056			3706443.0812	0.0045
072	3706443.0716	−0.0042			3706443.0776	0.0009
073	3706443.0730	−0.0028			3706443.0755	−0.0011
074	3706443.0709	−0.0049			3706443.0722	−0.0044
075	3706443.0688	−0.0069			3706443.0734	−0.0033
076	3706443.0791	0.0033			3706443.0750	−0.0017
077	3706443.0825	0.0067			3706443.0760	−0.0007
078	3706443.0783	0.0026			3706443.0757	−0.0009
Середнє	3706443.0758	0.0043			3706443.0767	0.0026
			SANT—RIOG			
065	2291833.4305	−0.0020	2291833.4300	0.0006	2291833.4284	−0.0039
066	2291833.4314	−0.0011	2291833.4284	−0.0010	2291833.4307	−0.0015
067	2291833.4267	−0.0058	2291833.4262	−0.0032	2291833.4253	−0.0069
068	2291833.4304	−0.0022	2291833.4257	−0.0037	2291833.4286	−0.0036
069	2291833.4305	−0.0021	2291833.4250	−0.0044	2291833.4303	−0.0020
070	2291833.4323	−0.0003	2291833.4294	0.0001	2291833.4307	−0.0015
071	2291833.4346	0.0020	2291833.4344	0.0050	2291833.4333	0.0010
072	2291833.4366	0.0040	2291833.4328	0.0035	2291833.4370	0.0048
073	2291833.4400	0.0074	2291833.4366	0.0073	2291833.4409	0.0086
074	2291833.4394	0.0069	2291833.4336	0.0042	2291833.4396	0.0074
075	2291833.4331	0.0006	2291833.4311	0.0018	2291833.4329	0.0007
076	2291833.4283	−0.0042	2291833.4227	−0.0066	2291833.4303	−0.0020
077	2291833.4302	−0.0023	2291833.4260	−0.0034	2291833.4302	−0.0021
078	2291833.4293	−0.0033	2291833.4260	−0.0034	2291833.4301	−0.0021
Середнє	2291833.4326	0.0040	2291833.4294	0.0042	2291833.4322	0.0044

Таблиця 10. Порівняння координат станцій з розв'язків для окремих сесій з фінальними розв'язками (компоненти: N — північний, E — східний, U — висотний, в мм)

Компонент	СКП	День року													
		065	066	067	068	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078
							F5B: RIOG								
N	4.6	3.6	3.4	4.8	1.7	1.6	0.4	−6.4	−4.4	−7.1	−6.9	−0.2	4.8	4.7	3.7
E	3.2	2.2	3.2	0.9	0.7	−0.7	5.5	−6.2	−3.3	−3.0	−3.1	−1.4	0.4	3.7	2.0
U	7.5	6.0	9.3	−7.5	−4.1	−2.9	−3.6	−20.2	0.0	4.2	2.1	2.0	1.5	9.2	−0.1
							F5B: VERN								
N	3.8	−1.2	1.8	4.1	4.5	2.9	5.4	−3.6	−4.1	−4.0	−3.9	−5.4	2.8	3.3	0.0
E	3.4	1.5	−1.1	−6.3	0.1	−1.8	3.8	−5.9	2.9	−0.5	−0.6	−1.3	1.7	6.5	−1.0
U	5.0	−2.6	5.1	−4.9	−6.0	2.8	−2.2	−1.5	−3.8	3.9	−3.5	−5.0	1.5	7.0	10.3
							F3B: RIOG								
N	5.1	−0.1	2.7	1.1	2.9	4.7	0.6	−10.5	−2.8	−6.9	−2.8	−2.2	8.3	6.4	3.6
E	3.4	1.7	3.1	0.5	0.8	−1.6	6.4	−6.8	−2.4	−3.0	−3.3	−2.0	−0.2	4.0	2.5
U	9.8	0.7	6.6	−12.9	−5.8	1.7	−1.5	−25.3	5.0	4.3	9.7	−1.8	7.4	12.7	−1.7
							F3B: VERN								
N	6.2	−7.1	1.1	−2.2	6.7	7.8	5.2	−10.2	−1.6	−3.2	2.3	−8.7	8.4	6.0	0.5
E	3.7	1.4	−1.1	−6.6	0.0	−3.0	4.8	−6.1	3.9	−0.6	−1.4	−1.8	0.7	6.7	−0.7
U	6.3	−8.0	−0.5	−8.3	−8.2	6.8	6.1	−2.4	2.2	1.5	3.4	−8.3	5.5	7.6	7.0
							AFC: RIOG								
N	4.1	5.0	2.6	5.6	1.9	1.3	1.2	−2.8	−4.1	−7.4	−7.3	0.3	2.5	2.2	2.6
E	2.7	4.1	2.6	0.7	−3.3	0.1	−0.3	−4.9	−2.5	1.1	−3.1	−0.8	2.9	3.6	0.0
U	5.2	2.6	3.2	−9.1	−7.9	−4.3	−2.2	−6.5	5.7	6.7	3.0	5.5	0.4	−2.2	2.2
							AFC: VERN								
N	3.3	−0.5	−1.1	5.3	3.9	1.8	6.4	2.9	−1.4	−3.6	−3.7	−3.0	−1.3	−1.3	−2.1
E	3.0	1.9	−0.1	−2.2	−4.6	−3.0	−3.0	−2.1	4.2	2.2	−1.2	0.9	3.0	5.5	−0.4
U	4.7	−3.3	2.8	−1.8	−8.8	1.2	−2.4	8.9	4.2	5.8	−1.8	−2.0	−4.0	−2.9	4.4

Таблиця 11. Параметри перетворення Гельмерта між різними розв'язками

Розв'язки	F5B — F3B	F5B — AFC	F3B — AFC
Кількість координат	12	18	12
СКП, мм	1.4	1.1	1.0
Зсув по X, мм	−2.3±0.7	−0.3±0.4	2.2±0.5
Зсув по Y, мм	0.0±0.7	0.4±0.4	0.5±0.5
Зсув по Z, мм	−3.6±0.7	−0.9±0.4	2.2±0.5
Поворот по X	0.0002±0.0003″	0.0000±0.0001″	0.0001±0.0002″
Поворот по Y	0.0005±0.0001″	0.0000±0.0000″	0.0003±0.0001″
Поворот по Z	0.0000±0.0001″	0.0000±0.0000″	0.0001±0.0001″
Масштабний множник, мм/км	0.0015±0.0005	−0.0001±0.0003	0.0015±0.0003″

За файлами нормальних рівнянь було виконано врівноважування і отримані фінальні розв'язки F5B та F3B (табл. 6). Отримані координати станцій RIOG та VERN показані в табл. 7. Табл. 8 містить різниці отриманих координат станції RIOG з вихідними.

Про точність отриманих розв'язків можно також судити за повторюваністю довжин баз (табл. 9), північних, східних та висотних компонентів координат станцій RIOG і VERN (табл. 10), а також за параметрами перетворення Гельмерта між отриманими розв'язками (табл. 11).

ВИСНОВКИ

З обробки даних GPS-спостережень були визначені координати станції Академік Вернадський (VERN) в системі координат ITRF2000 на середню

епоху спостережень 13.03.2002 00:00 (час GPS):

$$X = 1163323.7342 \pm 0.0011 \text{ м},$$

$$Y = -2412205.6140 \pm 0.0010 \text{ м},$$

$$Z = -5769272.6709 \pm 0.0012 \text{ м}.$$

Точність отриманих координат відповідає точності вихідних координат станцій LPGS, SANT, RIOG, MAW1 та MCM4 з каталогу ITRF2000 та апаратурній точності GPS-приймача «Trimble 4700» для статичної зйомки.

1. *Bernese* GPS Software Version 4.2 / Eds U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez. — Berne: Astronomical Institute, University of Berne, 2001.—515 p.
2. *Mervart L.* Ambiguity resolution techniques in geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System // Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultát der Universität Bern.—1995.—155 p.
3. *Schaer S., Beutler G., Mervart L., Rothacher M.* Global and regional ionosphere models using the GPS double difference phase observable // Proc. 1995 IGS Workshop «The IGS: special topics and new directions». — Potsdam (Germany), 1995.—P. 77—92.

Надійшла до редакції 05.08.02