



аппаратуре систем ГЛОНАСС и GPS / М.Ю. Казанцев, Ю.Л. Фатеев // Журн. радиоэлектроники. – 2002. – № 12. – С. 4-6.

2. Giffard, R.P. Estimation of GPS ionospheric delays using LI code and carrier-phase observables / R.P. Giffard // Proceedings of 31st Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, December 7-9, 1999, Dana Point, California. – P. 405-417.

3. Guochang, Xu. GPS Theory, Algorithms and Applications / Xu. Guochang. – Berlin – Heidelberg – New York: Springer, 2007. – 340 p.

4. Klobuchar, J.A. Ionospheric effects on GPS // GPS World / J.A. Klobuchar 1991. – Vol. 2. – No. 4 – P. 48-51.

5. Seeber, G. Satellite Geodesy / G. Seeber. – Berlin – New York: Walter de Gruyter, 2003. – 586 p.

Інтернет-джерело

6. Число сонячних плям прогресії. – Реж. доступу: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_cycle_24_sunspot_number_progression_and_prediction.gif

Надійшла 05.05.15

* * *

УДК 629.056.88+551.51

Ф. Д. Заблоцький, М. В. Пазяк

АНАЛІЗ ЗЕНІТНОЇ ТРОПОСФЕРНОЇ ЗАТРИМКИ, ВИЗНАЧЕНОЇ В ХОДІ ГНСС-ВИМІРЮВАНЬ ТА РАДІОЗОНДУВАНЬ У ТРОПІЧНИХ І СЕРЕДНІХ ШИРОТАХ

Используя данные аэрологических и ГНСС-станций, проанализированы пространственно-временные изменения значений зенитной тропосферной задержки в тропических и средних широтах. На основании полученных в процессе исследований результатов выявлено, что наиболее значительные изменения в значениях зенитной тропосферной задержки вызваны преимущественно ее влажной составляющей.

According to the data of aerological and GNSS stations spatial and temporal changes in values of zenith tropospheric delay in tropical and middle latitudes have been analyzed. Basing on findings obtained during researches it was revealed that the main changes in values of zenith tropospheric delay were caused mainly by its wet component.

Постановка проблеми. Зенітну тропосферну затримку (ЗТЗ) визначають з подвійною метою: для підвищення точності ГНСС-вимірювань і для встановлення вмісту водяної пари в атмосфері за значенням вологості складової. Найпоширенішим методом визначення ЗТЗ останнім часом стали ГНСС-вимірювання, що дозволяють знаходити її в процесі опрацювання даних ГНСС-спостережень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій на цю тему. Питання тропосферної затримки досліджувалось, починаючи практично з другої половини минулого століття. Особливості зенітної тропосферної затримки в тропічній зоні, визначені за даними радіозондування і за аналітичними моделями, висвітлено в працях [1, 2, 5, 6]. Аналіз явища ЗТЗ у середніх широтах здійснили автори статей [3, 4].

У пропонованій читачу публікації йдеться про зенітну тропосферну затримку, одержану в процесі ГНСС-вимірювань і за матеріалами радіозондування у тропічних і середніх широтах.

Постановка завдання. Основна наша мета – дослідження просторово-часових змін значень зенітної тропосферної затримки, обчислених із ГНСС-вимірювань і з даних радіозондування в тропічній зоні, та порівняння одержаних результатів з показниками середніх широт.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, повна ЗТЗ складається з двох частин: гідростатичної та вологості. Першу складову з достатньо високою точністю визначають моделюванням, проведеним на основі точних вимірювань атмосферного тиску в приземному шарі. Другу практично неможливо змодельовати з надійною точністю лише за приземними метеопараметрами.

За вихідні дані у дослідженні приймалися тропосферні файли ГНСС-вимірювань на двох станціях, що знаходяться в екваторіальній зоні, та ще двох, розміщених у середніх широтах, а також дані радіозондувань аерологічних станцій, які розташовані найближче до обраних ГНСС-станцій. Їх місцезнаходження вказано у табл. 1.

Тропосферні файли створюються при ГНСС-вимірюваннях для кожної доби і зберігаються в архівах інтернет-ресурсів, зокрема в документах [7, 8]. Вони містять масив усереднених значень повної ЗТЗ з часовим інтервалом у 5 хв та в 1 год відповідно. Для вказаних вище станцій такі файли завантажувались на три доби січня та липня 2013 р.

Дані ГНСС-вимірювань порівнювались із матеріалами радіозондування. Оскільки зондування приводились в 0^h UT, то дані ГНСС-вимірювань теж вибирались для 0^h UT. Зазначимо, що дані радіозондування на аерологічних станціях бралися до висот ГНСС-станцій методом інтерполювання.

© Ф. Д. Заблоцький, М. В. Пазяк, 2015



Таблиця 1. Координати аерологічних та ГНСС-станцій

Аерологічні станції			ГНСС-станції			Країна	Відстань між ГНСС та аерологічними станціями, км
Широта, градуси і мінута	Довгота, градуси і мінута	Висота, м	Широта, градуси і мінута	Довгота, градуси і мінута	Висота, м		
<i>Тропічні широти</i>							
Pago Pago, 91765			ASPA			США	1,8
-14 20	-170 43	3,0	-14 19	-170 43	53,7		
Singapore, 48698			NTUS			Сінгапур	35,4
1 22	103 59	16,0	1 20	103 40	79,0		
<i>Середні широти</i>							
Legionowo, 12374			BOGI			Польща	10,9
52 23	20 57	96,0	52 28	21 02	139,9		
Voejkovo, 26063			PULK			Росія	28,8
59 57	30 41	78,0	59 46	30 20	101,2		

Порівнюючи значення ЗТЗ, виведені з ГНСС-вимірювань, з відповідними значеннями, взятими із радіозондування, ми помітили, що різниці між ними ($Z_{ГНСС} - Z_{аер}$) для тропічних станцій здебільшого додатні. Максимальні різниці спостерігалися між станціями ASPA – Pago Pago і вони коливалися в межах від 40 до 70 мм, мінімальні – на станціях NTUS – Singapore: від -10 до 10 мм.

Для середніх широт ці різниці носять як від'ємний, так і додатний характер та змінюються приблизно в межах від -40 до 40 мм. Результати зведено в табл. 2.

З таблиці видно, що значення повної ЗТЗ у тропічних широтах і в січні, і в липні практично однакові, оскільки для тропіків характерні стабільно високі температура й насиченість повітря протягом року. Натомість у середніх широтах чітко виражений контраст між зимовим та літнім сезонами, і за рахунок вологості складової різниці значень ЗТЗ досить значні. Так, ці величини в тропіках більші в середньому на 330 мм у січні й на 200 мм у липні, ніж у помірних широтах. Це пояснюється тим, що в середніх широтах показник вологості складової d_w^z у січні мінімальний; у липні він зростає за рахунок збільшення вмісту вологи в тропосфері, що видно з табл. 4.

Те, що основні часові зміни значень ЗТЗ викликані в основному зміною вологості компоненти, підтверджує характер гідростатичної складової. З аналізу

Таблиця 2. Величини $d_{троп}^z$ за даними аерологічних та ГНСС-станцій і різниці між ними

Дата	Назва станції	Тропічні широти		Середні широти	
		ASPA – Pago Pago	NTUS – Singapore	BOGI – Legionowo	PULK – Voejkovo
<i>Січень, 2013</i>					
12	ГНСС	2697	2625	2265	2322
	аер.	2625	2615	2301	2335
	Д	72	10	-36	-13
13	ГНСС	2679	2631	2343	2345
	аер.	2607	2617	2308	2358
	Д	72	14	35	-13
14	ГНСС	2681	2596	2306	2352
	аер.	2637	2586	2324	2371
	Д	44	10	-18	-19
<i>Липень, 2013</i>					
12	ГНСС	2625	2629	2386	2413
	аер.	2580	2621	2409	2410
	Д	45	8	-22	3
13	ГНСС	2592	2586	2421	2399
	аер.	2542	2591	2417	2415
	Д	50	-5	4	-16
14	ГНСС	2635	2620	2493	2392
	аер.	2599	2629	2488	2402
	Д	36	-9	5	-10

гідростатичних компонент (табл. 3), отриманих за даними радіозондування, видно, що різниці між ними в тропічних та середніх широтах коливаються здебільшого в межах 20 мм.

З метою аналізу висотного розподілу вмісту вологості складової d_w^z проведено її інтегрування у різних шарах тропосфери, обмежених стандартними ізобаричними поверхнями: $P_0 - 850$ гПА = ~1500 м; $850 - 700$ гПА = ~1500 м; $700 - 500$ гПА = ~3000 м; $500 -$ верхня межа зондування відносної вологості U . Зазначимо, що верхні три шари формують більше ніж 90 % вологості складової d_w^z . Результати аналізу подано в табл. 4.

Таблиця 3. Гідростатична складова ЗТЗ

Дата	Тропічні широти		Середні широти	
	Pago Pago	Singapore	Legionowo	Voejkovo
<i>Січень, 2013</i>				
12	2275	2286	2256	2301
13	2276	2285	2279	2297
14	2275	2283	2296	2301
<i>Липень, 2013</i>				
12	2276	2273	2263	2279
13	2278	2270	2263	2285
14	2285	2269	2262	2280

Проаналізувавши результати, наведені у табл. 4, ми виявили таке:

- у зоні як тропічних, так і середніх широт найбільший вклад у формування вологості складової вносить нижня частина тропосфери, що включає три перших шари до висоти близько 6 км;
- цей вклад на зазначених станціях у тропічних широтах становить приблизно 300 мм;
- для вибраних станцій помірних широт величина цього вкладу сягає ~40 мм у січні та ~140 мм у липні.

Висновки. На підставі проведених досліджень зазначимо таке:

- різниці гідростатичних компонент у тропічних та середніх широтах коливаються здебільшого в межах 20 мм;

- значення ЗТЗ у тропічній зоні у відносно однакових за висотою шарах тропосфери значно більші, ніж у середніх широтах, що спричинено насамперед величиною вологості складової. Так, складові d_w^z на станціях тропічних широт перевищують відповідні показники в помірних широтах у січні у 8 разів, а в липні – у 2 рази. Така контрастність викликана мінімальним вмістом вологи в тропосфері у помірних широтах у зимовий

Таблиця 4. Розподіл d_w^z в шарах тропосфери за даними аерологічних станцій

Дата	Шар	Тропічні широти		Середні широти	
		Pago Pago	Singapore	Legionowo	Voejkovo
Січень, 2013					
12	$P_0 - 850$	147,2	139,6	22,8	16,4
	850 - 700	104,6	92	13,1	9,9
	700 - 500	85,2	76,1	7,7	4,8
	500 - в. м. з. U	22,1	29	0,9	2,5
	Σ	359,1	336,7	44,5	33,6
13	$P_0 - 850$	146	146,1	15,3	21,6
	850 - 700	93,8	98,7	9,6	22,5
	700 - 500	72,4	73,2	4,1	12,7
	500 - в. м. з. U	27,3	21,4	0,3	4,1
	Σ	339,5	339,4	29,3	60,9
14	$P_0 - 850$	152,6	140,1	18	27,5
	850 - 700	107,1	76,9	8,4	22,5
	700 - 500	83,5	65,6	1,4	14,9
	500 - в. м. з. U	26,4	26,7	0,4	4,8
	Σ	369,6	309,3	28,2	69,7
Липень, 2013					
12	$P_0 - 850$	148,8	153,9	67,8	68,4
	850 - 700	89,3	90,6	52,2	45
	700 - 500	59,4	81,7	22,8	11,4
	500 - в. м. з. U	18,3	30,1	2,6	6,4
	Σ	315,8	356,3	145,4	132,2
13	$P_0 - 850$	141,1	151	79	57,7
	850 - 700	60,2	59,7	59,5	38,8
	700 - 500	48,8	79,9	10,8	26,9
	500 - в. м. з. U	20,2	37,2	4,7	7,2
	Σ	270,3	327,8	154	122,4
14	$P_0 - 850$	142,6	149,7	92	53,6
	850 - 700	89,1	96,4	69,8	32,3
	700 - 500	65,1	84,8	50,3	23,8
	500 - в. м. з. U	23,5	37,1	12,8	12,9
	Σ	320,3	368	224,4	122,6

період і максимальним насиченням повітря вологою літом.

Література

1. *Заблоцький, Ф.* Аналіз зенітної тропосферної затримки в тихоокеанських широтах / Ф.Д. Заблоцький, О.Ф. Заблоцька // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Ліга-Прес, 2010. – Вип. I. – С. 50-55.
2. *Заблоцький Ф.Д.* Аналіз тропосферної затримки сигналу в екваторіальній зоні за матеріалами зондування / Ф.Д. Заблоцький, О.Ф. Заблоцька // Вісн. геодез. та картогр. – 2009. – № 6. – С. 9-11.
3. *Каблак, Н.І.* Оцінка впливу атмосфери у мережі активних референційних GNSS-станцій / Н.І. Каблак // Геодез., картогр. і аерофотознім. – 2010. – Вип. 73. – С. 17-21.
4. *Савчук, М.В.* Оцінювання гідростатичної складової зенітної тропосферної затримки за даними радіозондування / М.В. Савчук, Ф.Д. Заблоцький // Вісн. геодез. та картогр. – 2014. – № 6 – С. 3-5.
5. *Mendes, V.B.* Modeling the neutral-atmosphere propagation delay in radiometric space techniques / V.B. Mendes // Ph.D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report № 199, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1999, p. 35.
6. *Parameswaran, K.* Region-specific Tropospheric Delay Model for the Indian Subcontinent. / K. Parameswaran, C. Suresh Raju, Kovak Saha, Sudha Ravindram. Space Physics Laboratory, VSSC, Trivandrum. ICG-meeting, 2007. – P. 1-13.

Інтернет-джерела

7. *Тропосферні файли GNSS-спостережень* // Інтернет-ресурс. – Реж. доступу: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/troposphere/new/>
8. *GNSS Data Center* // Інтернет-ресурс. – Реж. доступу: <http://igs.bkg.bund.de/file/productsearch/>

Надійшла 18.05.15

* * *

УДК 528.48

М. С. Звягіна, Я. М. Костецька

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ СТАБІЛЬНОСТІ РЕПЕРІВ ДЕРЖАВНОЇ НІВЕЛІРНОЇ МЕРЕЖІ ТА ЗНАКІВ ВИСОТНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ВОДОМІРНИХ ПОСТІВ НА МОРСЬКИХ УЗБЕРЕЖЖЯХ

Обосновывается целесообразность определения характерных типов территории ввиду изменения во времени отметок знаков Государственной нивелирной сети и ходов высотной привязки водомерных постов. Указаны пути получения достоверных значений уровней морей, выявления проявлений техногенных процессов в местах размещения зданий и гидротехнических сооружений, обеспечения возможности использования накопленных данных для составления долгосрочных прогнозов.

The reasonability of determining the specific territory types taking into account inter-temporal changes of State levelling network marks and computation line of benchmark gauges vertical positioning is substantiated. The ways how to obtain reliable level values, to reveal initial manifestations of industry-related processes in areas of location of buildings and hydrotechnical structures and to ensure the possibility of use of accumulated data in long-term forecasts are shown.

Постановка проблеми. У попередніх працях авторів на тему вивчення процедури визначення рівнів

Чорного та Азовського морів були наведені висновки стосовно вирівнювання стрибків висотних позначок рівнів води на водомірних постах [3, 4]. Не менш важливим і нагальним є також питання

© М. С. Звягіна, Я. М. Костецька, 2015