

УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ
Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ2012

15-17 НОЕМВРИ 2012
15-17 NOVEMBER 2012

International Jubilee Conference UACEG2012: Science & Practice
UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГЛОБАЛНИТЕ СПЪТНИКОВИ НАВИГАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА СОНДИРАНЕ НА АТМОСФЕРАТА

Л. Пашова¹, Г. Герова², К. Гръков³, Р. Петков⁴

Ключови думи: Глобални навигационни спътникови системи, радио окултация, атмосферно и йоносферно сондиране

Научна област: Геодезия, картография и дистанционни методи

РЕЗЮМЕ

В статията се представят съвременните тенденции в използване на Глобалните навигационни спътникови системи (ГНСС) за анализ и оценка на атмосферни и йоносферни параметри. Разгледани са два примера за използване на данни от перманентни станции в България за изследване съдържанието на водни пари в тропосферата и за оценяване на тоталното електронно съдържание в йоносферата.

1. Въведение

Развитието на Глобалните навигационни спътникови системи (ГНСС) разширява обхвата на научните изследвания и приложения в различни области на науката и практиката. Потенциалът за използване на ГНСС за изследвания на причинно-следствени връзки между процеси и явления в земната атмосфера непрекъснато се разширява. Параметрите, които се оценяват по ГНСС наблюденията са количеството водни пари (Precipitable water vapor - PWV) в тропосферата [1] и общото електронно съдържание (Total Electron Content - TEC) в йоносферата [2, 3]. Тези оценявани параметри са важен източник за оценка състоянието на тропосферата за целите на метеорологични и климатологични приложения и за изучаване земната йоносфера при спокойни условия, при геомагнитни бури и други природни явления.

¹ Л. Пашова, доц. д-р, Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН, ул. Акад. Г. Бончев Бл. 3, 1113 София, e-mail: bismall@bas.bg

² Г. Герова, гл. ас. д-р, Физически факултет, Софийски университет "Св. Климент Охридски", бул. Дж. Баучър 5, 1164 София, e-mail: guerova@phys.uni-sofia.bg

³ К. Гръков, инж., Солитех, бул. Г. Делчев 55, 1680 София, e-mail: kiril.grukov@solitech.bg

⁴ Р. Петков, инж., Солитех, бул. Г. Делчев 55, 1680 София e-mail: rosen.petkov@solitech.bg

Статията представя накратко теоретичните постановки за използване на данни от ГНСС за целите на йоносферната физика и метеорологията. Разгледани са два примера за използване на данни от перманентни станции в България за оценка на някои атмосферни и йоносферни параметри. Първият пример касае проследяване преминаването на топъл атмосферен фронт над територията на страната през 2003 г. по данни от IGS станция SOFI, а във втория пример е оценено ТЕС в йоносферата в регионален обхват по време на земетресението на 22 май т. г. в района на гр. Перник.

2. Сондиране на атмосферата чрез ГНСС

Успоредно с развитието на GPS за точно позициониране и навигация през 90-те години се разработват и наземни и космически базирани методи за дистанционни наблюдения на атмосферата [4]. Основният принцип на тези техники е определянето на атмосферни параметри (температура, водна пара, общо електронно съдържание и др.) от модифицирани спътникови сигнали, преминаващи през земната атмосфера. Излъчваните сигнали от ГНСС спътниците претърпяват забавяне на груповите скорости, амплитудни и фазови промени на електромагнитните вълни при преминаване през различните слоеве на атмосферата, поради нейната нееднородност. Йоносферните и тропосферни закъснения на ГНСС сигналите се оценяват при определяне на високоточни геодезически координати. Те са и основен източник за извличане на информация за водните пари и за ТЕС в земната атмосфера.

Напоследък наличната инфраструктура от ГНСС спътници и мрежи от геодезически референтни станции се използва активно в метеорологични и климатологични изследвания. Концепцията за използване на ГНСС данни за метеорологични цели е предложена през 1992 г. от М. Бевис [1] и е наречена "GPS метеорология". След подобренията на системата ГЛОНАСС и европейската система Галилео вече се говори за "ГНСС метеорология" [4, 5]. Малките отклонения на ГНСС сигналите, поради наличието на водни пари в атмосферата, се използват за оценка на водната пара между спътниците и всяка отделна наземна станция. В наземните ГНСС станции се измерва т. нар. "интегрален" ефект на атмосферата. Величините, които се изчисляват от ГНСС наблюденията са тропосферното зенитно закъснение ZTD, с неговите две компоненти – „суха“, (хидростатична) ZHD и „мокра“ ZWD. Интегрираната с височината водна пара (ИВП) в тропосферата се определя от ZWD. Чрез измервания на закъснението на ГНСС сигнала е възможна и томографска реконструкция на пространственото поле на водните пари в атмосферата. За ефективно използване на тези оценки при прогнозиране на времето, е необходимо данните да бъдат на разположение в реално време [5].

Йоносферните нееднородности се изменят в пространството и времето и закъснението на сигналите е пропорционално на ТЕС по пътя от спътника до приемника в ГНСС станцията. ТЕС зависи от геомагнитната ширина на която се намира приемника, момента в денонощието, височината на спътника над хоризонта. Определянето на ТЕС в йоносферата е широко прилаган метод за изследване на йоносферните вариации в спокойно време [6], в случаите на силни геомагнитни бури [7], при сравнения с глобални йоносферни модели [8], при катастрофални земетресения [9, 10] и др.

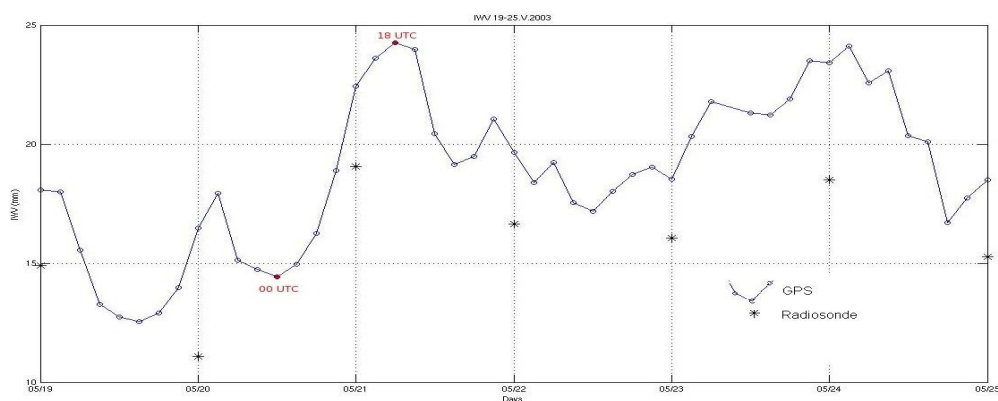
Наземните техники позволяват да се извършва регионален мониторинг на водната пара в тропосферата и ТЕС в йоносферата с висока точност във времето. Пространственото моделиране от спътникови наблюдения, основано на метода радио окултация (Radio occultation) позволява да се определя вертикалното разпределение на

атмосферните и йоносферни параметри с висока точност в световен мащаб. Наземните и космически базираните технологии са взаимно допълващи се по отношение на регионалното пространствено покритие и разделителната способност във времеви мащаб. Те имат голям потенциал за научните изследвания на атмосферата и йоносферата, подобряването на числените метеорологични прогнози, наблюденията на космическото време и откриването на промените в климата [4, 5, 11, 12].

3. Използване на GNSS данни от перманентни станции в България за целите на метеорологията и йоносферната физика

3.1. Изследване съдържанието на водни пари в тропосферата

Предимството на ГНСС за измерване на ИВП в тропосферата (долните 12 км от земната атмосфера) е във възможността да се проследяват пространствено-времените ѝ изменения с висока точност [1, 12]. Груповото закъснение на сигнала, преминаващ през тропосферата се дължи на „сухата“, ZHD компонента, главно на азотното и кислородно съдържание във въздуха. ZHD на морското равнище е ~ 2.1 м и се изменя с по-малко от 1% от средната стойност за няколко часа, заедно с температурата и атмосферното налягане. Втората компонента ZWD се изменя значително - от 1 до 80 см по посока на зенита и варира в граници 10-20% от средната стойност за няколко часа. Нейното времево изменение в ГНСС станция София (SOFI) за периода 19 - 25 май 2003 г. е представено на фиг. 1. От фигурата се вижда, че в рамките на едно денонощие ИВП нараства от 14 мм в 00 ч до 24 мм в 18 ч на 21 май. Причина за това нарастване е преминаването на топъл атмосферен фронт, който е свързан с настъпване на топла и влажна въздушна маса. Точният час на настъпване на тази промяна е 18 ч. Това е 6 часа след аерологичния сондаж (показан със звезда на фиг. 1), извършен в станция София на Националния институт по метеорология и хидрология. Чувствителността на метода ГНСС метеорология към атмосферни явления, които се проявяват в кратки времеви интервали може да се наблюдава през целия представен период. Изследванията по темата ГНСС метеорология ще продължат с използване на данни от ГНСС мрежата на фирма Зенитгео (www.geonet.bg), която покрива територията на цялата страна.



Фиг. 1. Времево изменение на ИВП за IGS станция SOFI при преминаване на топъл атмосферен фронт над страната през м. май 2003 г.

3.2. Определяне на ТЕС в централна Западна България по време на земетресението от 22 май 2012 г.

Изследвания, свързани с установяване на аномални изменения на атмосферни параметри в долната и горната (йоносферна) част на земната атмосфера преди и след земетресение са от особен научен интерес. Проследяването на внезапни промени на сигнали в честотен диапазон от VLF до VHF в райони, които са сеизмично активни, не е рядко явление [9, 10]. Нивото на йоносферната активност в такива райони нараства непосредствено преди възникване на силно земетресение и демонстрира различно поведение 5-10 дни преди събитието. Интерес представляват изследвания за установяване съществуването на връзка между сеизмични събития и неочаквани вариации на йоносферната активност. Един от йоносферните параметри при такива събития, който може да претърпи необичайни изменения е ТЕС. Наличието на измервания от перманентни ГНСС станции, разположени в сеизмично активни райони, в комбинация с данни от други наземни и космически базирани технологии позволяват да се оценява пространственото и времево изменение на ТЕС с висока точност.

На 22.05.2012 г. в 03:00:32 ч местно време (00:00:32 UTC) в района на гр. Перник се случи силно земетресение с магнитуда $M_w=5.6$. Земетресението е усетено значимо на територията на цяла Западна България. Впоследствие, чрез Националната сеизмологична мрежа (www.niggg.bas.bg) са регистрирани множество афтершокови земетресения в региона с различна магнитуда. Данни от 4 ГНСС станции на НИГГГ (SOFA, DRAN, KQST, PAZA), IGS станция SOFI и 6 станции на мрежата Geonet (CHBR, MONT, SAMK, ZLAT, KOST, KUST), разположени в района на централна Западна България (фиг. 2а) са анализирани за оценяване на ТЕС. Графики на пространственото и времево изменение на ТЕС за интервала 22:00 (21.05.12) – 06:00 (22.05.12) UTC са представени на фиг. 2б-е. От фигурата се установяват по-високи ТЕС стойности с ~5-6 TECU след земетресението, нетипични за ранните часове на 22 май 2012 г. [7], което вероятно се дължи на физическия механизъм на взаимодействие между литосфера-атмосфера-йоносфера [10].

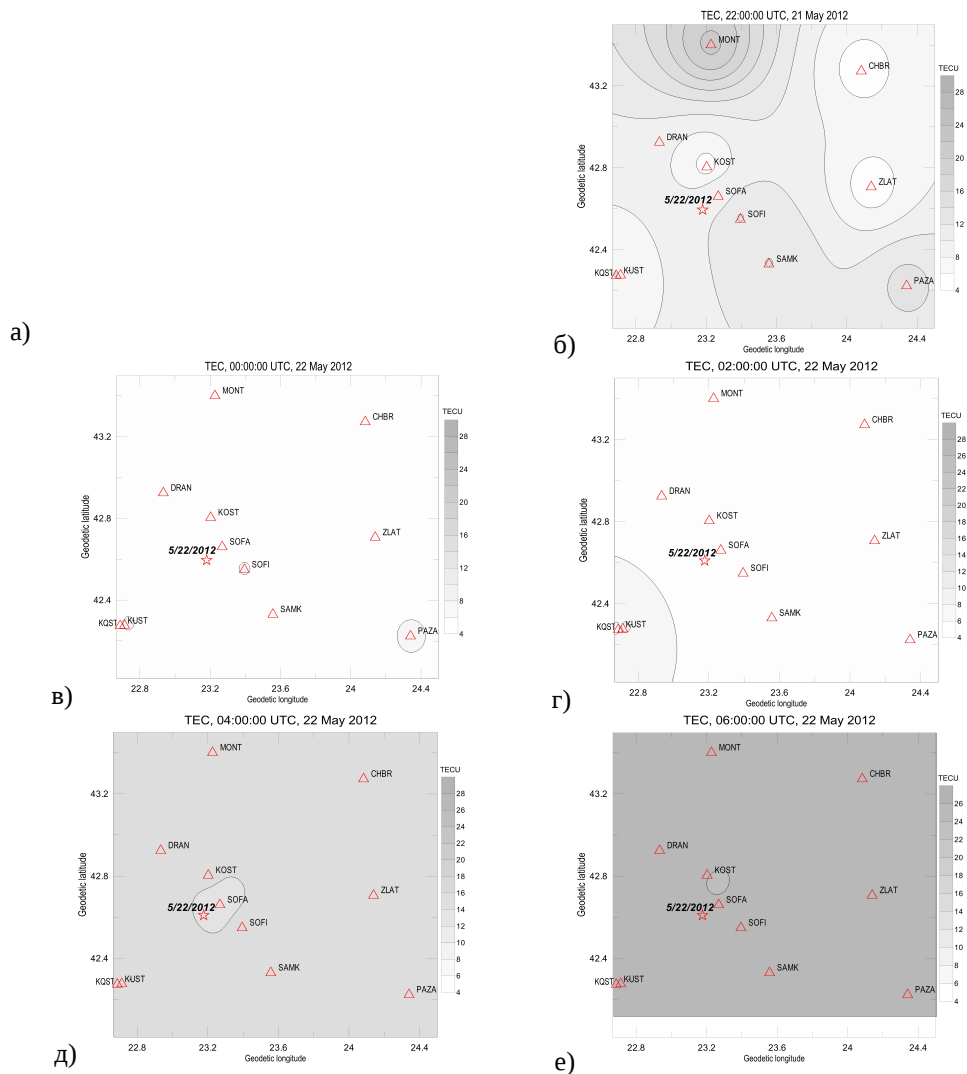
4. Заключение

ГНСС предоставят нови възможности за мониторинг на нерегулярното разпределение на количеството водни пари в атмосферата и ТЕС в йоносферата, чрез които се преодоляват липсата и недостатъците на традиционните измервателни техники. Основно предимство на наземните и космически базираните технологии е това, че наблюденията могат да се използват за построяване на 2D и 3D векторни полета на йоносферни и тропосферни параметри, да се проследява и прогнозира тяхното изменение в пространството и времето с висока точност. В България вече има изградени мрежи с над 50 перманентни ГНСС станции, покриващи цялата територия на страната. Измерванията в тези станции могат да бъдат ефективно използвани за развитие на съвременните научни изследвания и приложенията на ГНСС технологиите.

Благодарности

Д-р Герова изказва благодарност на д-р Ш. Бъйрам от Военноморската обсерватория на САЩ за предоставените ГНСС данни. Проектът "ГНСС

метеорология" се развива с подкрепата на грант за реинтеграция на д-р Герова в рамките на 7-ма рамкова програма на Европейската комисия.



Фиг. 2. Разположение на ГНСС станции (а) и изменения на ТЕС в йоносферата (б-е)

ЛИТЕРАТУРА

1. Bevis, M., S. Businger, T. Herring, C. Rocken, R. Anthes, R. Ware. GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor, JGR, 97 (D14), 15787-15801, 1992.
2. Klobuchar, J. A. Ionospheric effects on GPS, In: Global Positioning System: Theory and Applications, Vol. 1, AIA, Inc., SW, Washington, DC, 1996.
3. Schaer, S. Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, PhD thesis, 164 pp., Bern University, Bern, Switzerland, 1999.

4. Wickert, J., G. Michalak, T. Schmidt, G. Beyerle, C. Z. Cheng, S. B. Healy, S. Heise, C. Y. Huang, N. Jakowski, et al. GPS radio occultation: Results from CHAMP, GRACE and FORMOSAT-3/COSMIC. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 20, 35-50, 2009.
5. Bender, M., R. Stosius, F. Zus, G. Dick, J. Wickert, A. Raabe. GNSS water vapour tomography - expected improvements by combining GPS, GLONASS and Galileo observations, *Advances in Space Research*, 47, 5, 886–897, 2011.
6. Jakowski, N., S. Heise, A. Wehrenpfennig, S. Schluter, R. Reimer. GPS/GLONASS-based TEC measurements as a contributor for space weather forecast, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64, 5-6, 729–735, 2002.
7. Srebrov, B., L. Pashova. Investigation of the influence of strong geomagnetic storms on the signal parameters in GNSS station SOFI, *Proc. of 7th Scientific conference with International Participation, SES'2011*, 29 Nov.- 1 Dec. 2011, Sofia, 214-221, 2012.
8. Arikan, F., O. Arikan, C. Erol. Regularized estimation of TEC from GPS data for certain midlatitude stations and comparison with the IRI model, *Adv. in Sp. Res.*, 39, 5, 867–874, 2007.
9. Ouzounov, D., S. Pulnits, A. Romanov et al., *Atmosphere-Ionosphere Response to the M9 Tohoku Earthquake Revealed by Joined Satellite and Ground Observations*, *Earthquake Science*, 24, 557- 564, 2011.
10. Devi, M., A. K. Barbara. Total Electron Content and Anomalous Appearance of GPS Satellites as Pointers to Epicentre Identification of Major Japan Earthquake of 2011, *Positioning*, 3, 7-12, 2012.
11. Jin, S., G.P. Feng, S. Gleason. Remote sensing using GNSS signals: Current status and future directions, *Advances in Space Research*, 47, 10, 1645–1653, 2011.
12. Guerova, G., E. Brockmann, J. Quiby, F. Schubiger, C. Matzler, Validation of NWP mesoscale models with SWISS GPS network AGNES, *J. of Appl. Meteor.*, 42, 141-150, 2003.

APPLICATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS FOR ATMOSPHERE SOUNDING

L. Pashova¹, G. Guerova², K. Grukov³, R. Petrov⁴

Keywords: *Global Navigation Satellite Systems, radio occultation, atmosphere and ionosphere sounding*

Research area: *geodesy, cartography and remote sensing*

ABSTRACT

The article presents current trends in the use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) for analysis and evaluation of the atmospheric and ionosphere parameters. Two examples demonstrate the usage of GNSS data from the permanent stations located in

¹ L. Pashova, Assoc. Prof., Dr. Eng., National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography - BAS, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, 1113 София, e-mail: bismall@bas.bg

² G. Guerova, Ass., Dr., Physics Faculty, Sofia University "St. Kl. Ohridski", J. Bouchier Blvd. 5, 1164 Sofia, e-mail: guerova@phys.uni-sofia.bg

³ K. Grukov, Eng., Solitech, G. Delchev Blvd. 55, 1680 София, e-mail: kiril.grukov@solitech.bg

⁴ R. Petrov, Eng., Solitech, G. Delchev Blvd. 55, 1680 София, e-mail: rosen.petrov@solitech.bg

Bulgaria for evaluating the ZTD in the lower troposphere and the total electronic content in the ionosphere.