

УДК 528.3

Л. М. ЯНКІВ-ВІТКОВСЬКА, А. В. ЗАДЕМЛЕНЮК

Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, тел. 099-32-01-857, ел. пошта: luba_y@ukr.net; a.zademlenyuk@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ АЗИМУТАЛЬНО-ЧАСОВИХ ВАРІАЦІЙ СТАНУ ІОНОСФЕРИ ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ З МЕРЕЖІ GNSS-СТАНЦІЙ

Мета. Дослідити азимутально-часові варіації стану іоносфери в період активного збурення, за даними спостережень референційної станції SULP та проаналізувати отримані дані. **Методика.** Вихідними даними ми вибрали іонофайли із регулярних GNSS-спостережень референційної станції SULP на дату 1, 2, 3 вересня та 1, 2, 3 жовтня 2013 р. на 0, 6, 12, 18 та 23 год. Наступний наш крок полягав у виборі даних про супутники. Таку інформацію формують у добовому файлі програмному забезпеченні Trimble Planning. Частоту реєстрації такого файлу користувач задає індивідуально. В нашому випадку реєстрація даних відбувалася із періодичністю 10 хвилин. На основі вибраних мінімальних, максимальних та середніх значень вертикального вмісту електронів в іоносфері (*VTEC*), ми обчислили похилі значення загального вмісту електронів в іоносфері (*STEC*) за вересень і жовтень 2013 р. Представлені карти із азимутально-часовими варіаціями стану іоносфери, виконані за допомогою програмного середовища *Surfer*. **Результати.** На основі даних шести добових серій, пов'язаних із збуреннями на Сонці проведено дослідження азимутально-часових варіацій стану іоносфери за спостереженнями референційної GNSS-станції SULP за період 1, 2, 3 вересня 2013 р. та 1, 2, 3 жовтня 2013 р. Проаналізувавши отримані значення *STEC*, ми побачили, що більш спокійний стан іоносфери спостерігається у вересні, ніж у жовтні, що зумовлено спалахом на Сонці саме 2 жовтня 2013 р. Найспокійніший стан іоносфери зафіксовано на 23 годину кожної доби, максимальне збурення за добовими даними припадає на 12 годину. **Наукова новизна** полягає у дослідженні азимутально-часових варіацій стану іоносфери в період активного збурення, за вдосконаленою методикою визначення параметрів іоносфери у мережі супутникових станцій Західної України, використовуючи дані спостережень на станції SULP, яка входить до мережі референційних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS. **Практична значущість.** Дослідивши азимутально-часові варіації стану іоносфери для однієї станції, ми зможемо виконати просторово-часовий розподіл іоносфери для території України за даними референційних GNSS-станцій.

Ключові слова: GNSS-спостереження; мережа активних референційних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS; *TEC*, *VTEC*, *STEC*; просторово-часовий розподіл іоносфери.

Вступ

Використання супутникових навігаційних систем для вивчення та контролю стану іоносфери є науково-технологічним проривом у галузі дистанційного зондування верхньої атмосфери і є глобальною перспективою, що зумовлена великою кількістю супутників і наземних станцій спостереження. Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) можна використовувати для вивчення таких характеристик іоносфери, як інтегральна електронна концентрація, профіль висотного розподілу електронної концентрації, іоносферні неоднорідності, перенесення великомасштабних неоднорідностей, вплив штучних збурень на іоносферу, реально-часові і азимутально-часові варіації [Антонович К. М., 2005]. Широке застосування глобальних навігаційних супут-

никових систем сприяє визначенню параметрів іоносфери на основі аналізу властивостей сигналів, що приймаються від GNSS-супутників. Тому поява сучасних навігаційних супутникових систем, що працюють на двох і більше сигналах, відкриває нові можливості для дистанційного зондування іоносфери Землі.

Безпосередні дослідження іоносфери дають можливість отримати відомості про її фізичні характеристики за допомогою установок, розташованих на Землі, проте вони дають інформацію тільки про параметри нижнього шару іоносфери. Щодо параметрів верхньої іоносфери, то інформацію про висотний розподіл електронної концентрації раніше отримували тільки за допомогою іонозондів космічного базування (Ратовский К. Г., 2004, Memarzhad Y., 2009) установок некогерентного

розсіяння радіохвиль (Захаров І. Г., Ляшенко М. В., 2003), вертикальних запусків ракет. Наприклад, за допомогою радара, що розташований у м. Харків, отримують дані про фізичні властивості іоносфери у середніх широтах Центрально-Європейського регіону. Залежно від режимів роботи цей радар дає змогу отримувати такі параметри іоносфери: концентрацію електронів, температури електронів та іонів, вертикальну складову швидкості переносу іонізованої плазми тощо [Черногор Л. Ф., 2012]. Однак використання такого типу радарів є дуже кошовною процедурою для дослідження іоносфери, крім того, він не працює перманентно. Для прогнозування стану іоносфери та для визначення її фізичних характеристик потрібно застосовувати інші методи дослідження, які є доступні та надійні. Метод діагностики іоносфери за допомогою GNSS-радіосигналів є найбільш економічним, оскільки ґрунтується на вже існуючій космічній інфраструктурі та наземній мережі постійнодіючих станцій. Саме за допомогою GNSS-спостережень можна отримати висотний розподіл електронної концентрації іоносфери Землі в будь-який час доби і будь-якій точці земної поверхні.

Мета

У роботі проведено дослідження азимутально-часових варіацій стану іоносфери в період активного збурення, за даними спостережень референційної станції SULP, однієї із мережі референційних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS.

Методика

Один із найважливіших показників стану іоносфери – загальний вміст електронів *TEC* можна або безпосередньо виміряти шляхом радіозондування, або розрахувати, використовуючи іоносферні моделі.

Як відомо, існує два підходи до моделювання *TEC*. Перший підхід передбачає використання вибраної моделі профілю електронної концентрації N_e , величина *TEC* визначається як інтеграл від цього профілю *j-i* уздовж розглянутої траєкторії *S* поширення радіохвилі, тобто

$$TEC = \int_j^i N_e(s) ds. \tag{1}$$

Зв'язок між *TEC* та концентрацією електронів N_e можна наближено подати такою залежністю

$$TEC \approx 2.27 \cdot 10^5 \times N_e. \tag{2}$$

Величина *TEC* вимірюється в одиницях *TECU* (*TEC Units*), що визначаються як 10^{16} ел/м². Усі значення *TEC* на графіках і в таблицях в одиницях *TECU*.

Другий підхід передбачає пряме моделювання *TEC*. Таких моделей існує досить багато. Можемо лише зазначити дві з них, які мають широке застосування: це модель International Reference Ionosphere [IRI] та модель Klobuchra [Klobuchar J., 1987].

Для розроблення моделі *TEC*, призначеної для використання в практичних цілях, найбільш перспективним підходом є побудова регіональної моделі, що допускає можливість періодичної корекції з поточних вимірювань, що виконуються за допомогою доступних засобів іоносферного моніторингу.

На рис. 1 наведено геометричне трактування *VTEC* і *STEC*. На рис. 2 показано геометричний зв'язок між *VTEC* і *STEC*.

Залежність між *STEC* і *VTEC* можна подати так

$$STEC = VTEC \times \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 z'}}, \tag{3}$$

де z' – зенітна відстань підіоносферної точки IPP (Ionospheric Pierce Point – точка заломлення променя в шарі іоносфери).

$$\sin z' = \sin z \times \frac{R_3}{R_3 + h_{iono}}, \tag{4}$$

а зенітна відстань z може бути розрахована за відомими положеннями супутника *j* та приймача *i*.

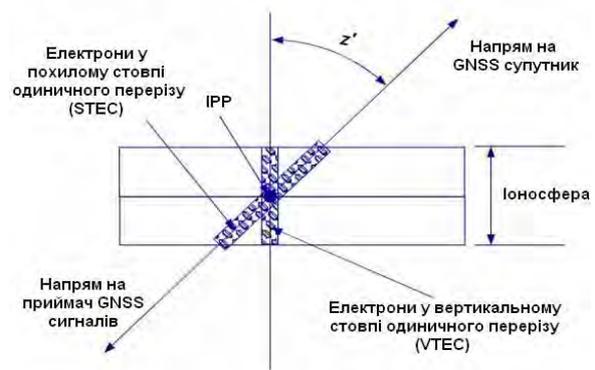


Рис. 1. Графічне подання геометричного зв'язку *VTEC* і *STEC*

Fig. 1. Graphical representation of geometric connection *VTEC* and *STEC*

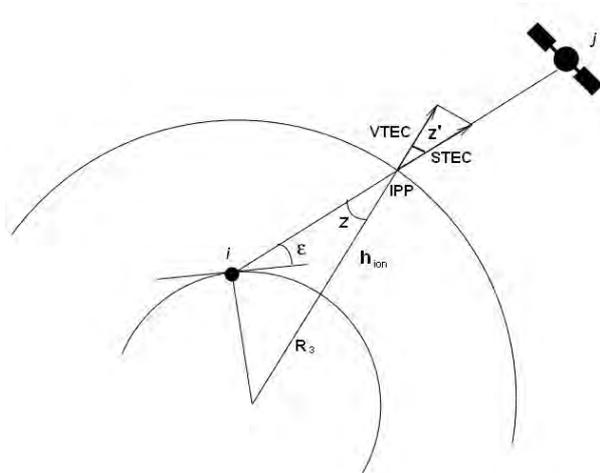


Рис. 2. Геометричний зв'язок VTEC і STEC
Fig. 2. Geometric connection VTEC and STEC

Основні формули визначення іоносферної за-
тримки у двочастотних GNSS приймачах наведе-
но в роботі [Янків-Вітковська Л. М., 2012].

Як вихідні дані ми вибрали іонофайли із
регулярних GNSS спостережень референційної
станції Sulp на дату 1, 2, 3 вересня та 1, 2, 3
жовтня 2013 р. на 0, 6, 12, 18 та 23 год. Оскільки
2 жовтня 2013 р. відбувся геомагнітний шторм,
планетарний індекс K_p різко почав зростати
($K_p \gg 4$) [<http://www.spaceweather.com/archive.php?view=1&day=10&month=02&year=2013/>], то ми
вибрали один день до шторму і другий день
після. Теж саме було вибрано і для даних за
вересень. Це дало би нам змогу отримати дані із
порівнянь різних дат та різних годин. Реєстрація
іонофайлів відбувається з періодичністю 15 с.
Кількість супутників за цей період була: міні-
мальна – 13, а максимальна – 18, середня – 15.

Наступний наш крок полягав у виборі даних
про супутники. Таку інформацію формують у
добовому файлі програмного забезпеченні
Trimble Planning. Частоту реєстрації такого
файла користувач задає індивідуально. У нашому
випадку реєстрація даних відбувалася із періодич-
ністю 10 хвилин.

Результати

На основі вибраних значень вертикального
вмісту електронів в іоносфері (VTEC) нам
потрібно було обчислити похиле значення –
STEC. Для простішого обчислення STEC,
кожний окремих супутник ми приводили до
зеніту. Результати обчислень наведені у табл. 1
та 2 за період 1, 2, 3 вересня та 1, 2, 3 жовтня
2013 р. на 0, 6, 12, 18 та 23 години.

Таблиця 1

Результати обчислень STEC на вересень 2013 р. The results of calculations STEC for September 2013

1 ве- ресня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	6.442	14.712	20.873	23.491	5.743
max	25.561	39.029	55.388	62.601	22.243
сер.	12.287	24.614	35.065	36.722	14.462
2 ве- ресня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	6.781	13.956	19.928	18.937	9.331
max	32.754	34.601	54.530	51.707	24.250
сер.	15.567	22.155	33.133	30.918	14.196
3 ве- ресня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	8.518	51.924	26.046	21.589	13.516
max	20.836	16.945	63.250	55.562	26.416
сер.	13.474	28.220	39.352	34.838	19.908

Таблиця 2

Результати обчислень STEC на жовтень 2013 р. The results of calculations STEC for October 2013

1 жовт- ня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	14.114	16.711	25.898	19.399	11.579
max	29.809	47.582	65.845	38.793	31.602
сер.	18.392	29.077	42.771	27.241	17.961
2 жовт- ня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	11.572	16.788	16.856	11.422	7.128
max	27.662	60.735	77.723	45.467	26.948
сер.	17.584	36.322	33.646	20.427	15.430
3 жовт- ня	години				
	0	6	12	18	23
STEC					
min	8.778	10.431	18.158	10.881	7.430
max	32.834	35.941	64.485	29.246	17.975
сер.	17.336	21.584	34.232	16.517	12.571

Зміну значень STEC ми привели у гра-
фічному вигляді. Однак на основі самих тільки
графіків, недостатньо буде визначити збурення
іоносфери.

Зміна добових значень STEC

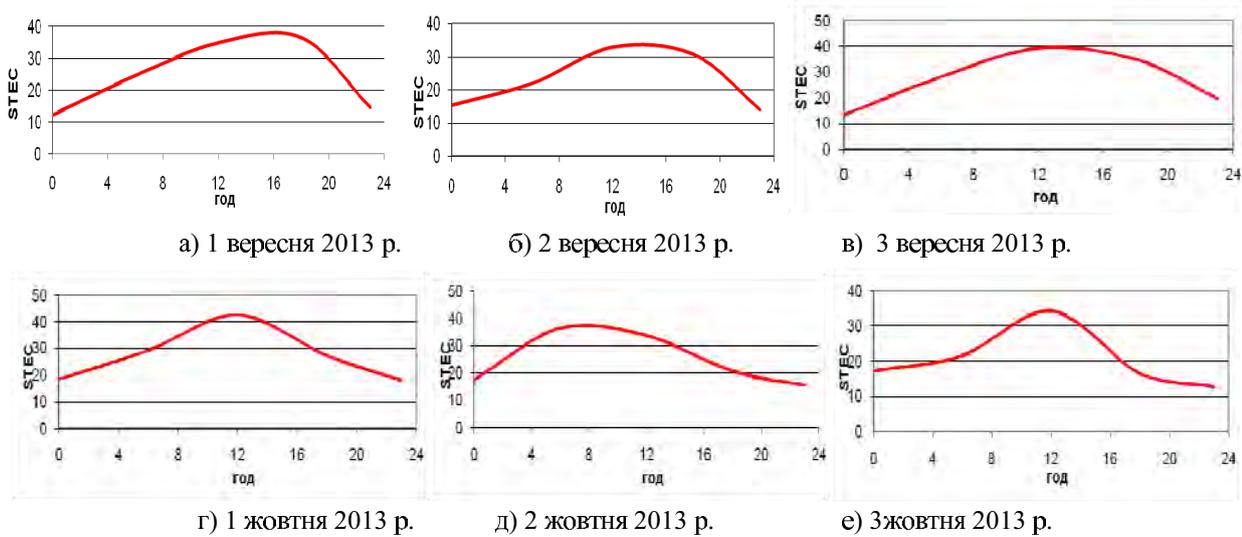


Рис. 3. Графіки зміни добових значень STEC
 Fig. 3. Schedules of change of STEC daily values

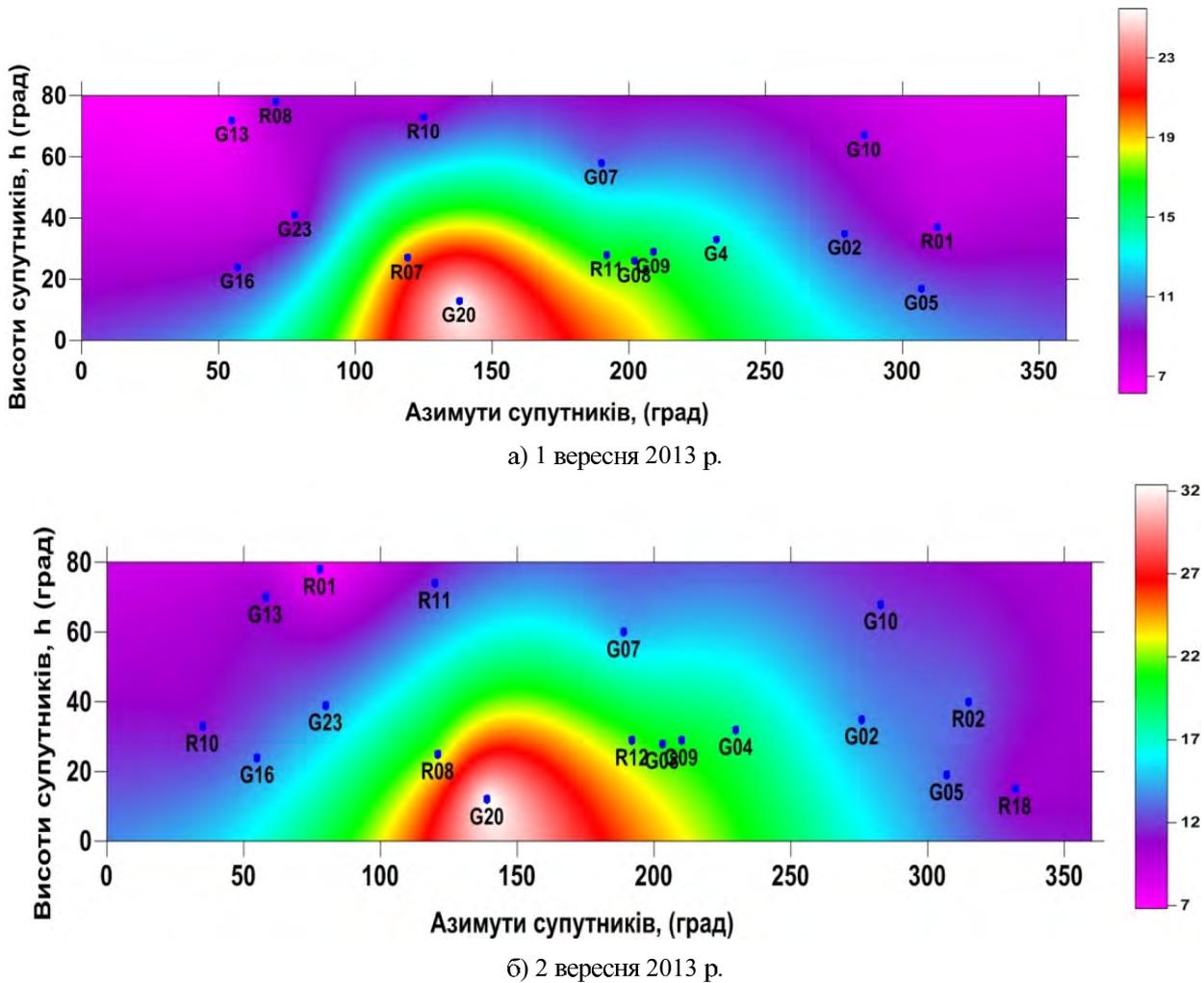
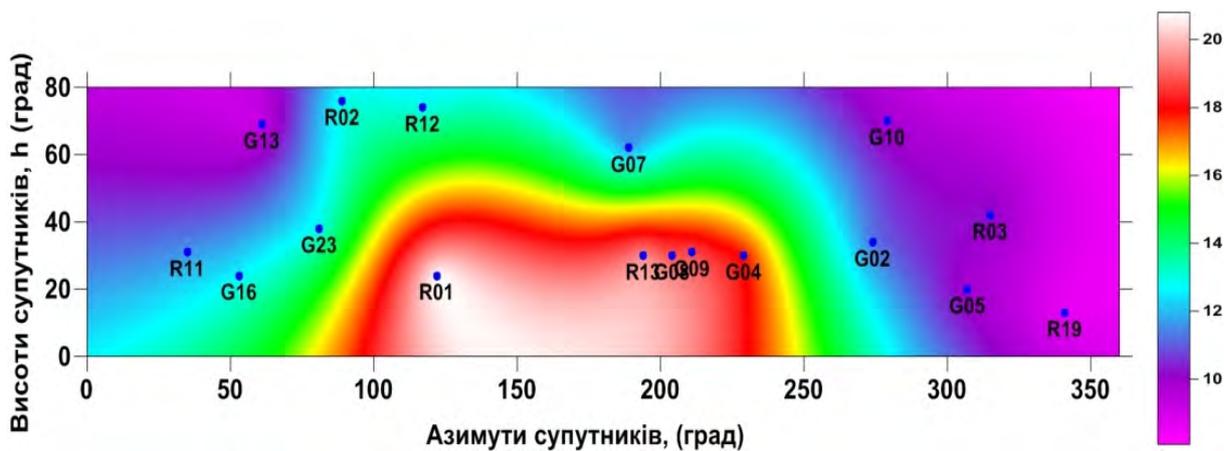
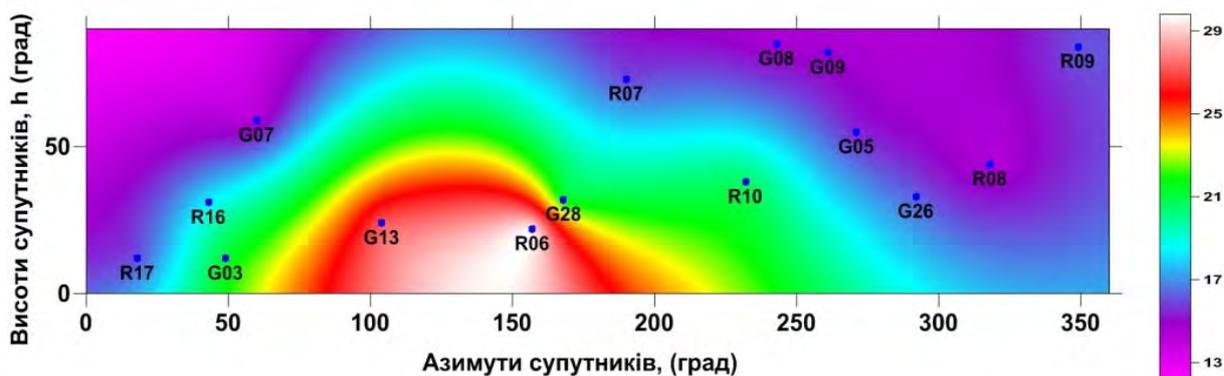


Рис. 4. Азимутально-часові варіації стану іоносфери станції SULP на 00 год
 Fig. 4. Azimuth and temporal variations of ionosphere state of the station SULP for time 00

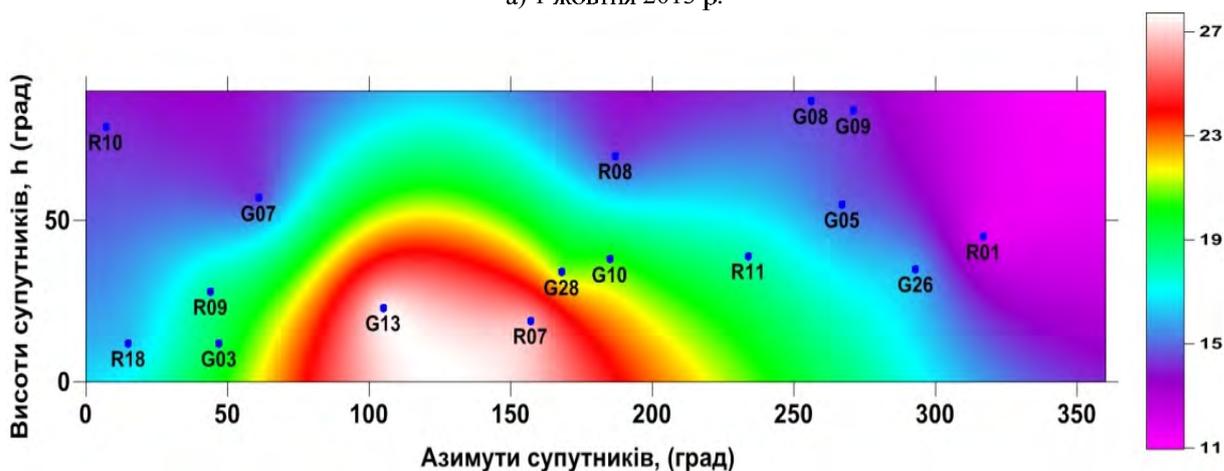


в) 3 вересня 2013 р.

Рис. 4. (Продовження) Азимутально-часові варіації стану іоносфери станції SULP на 00 год
 Fig. 4. (Continuation) Azimuth and temporal variations of ionosphere state of the station SULP for time 00



а) 1 жовтня 2013 р.



б) 2 жовтня 2013 р.

Рис. 5. Азимутально-часові варіації стану іоносфери станції SULP на 00 год
 Fig. 5. Azimuth and temporal variations of ionosphere state of the station SULP for time 00

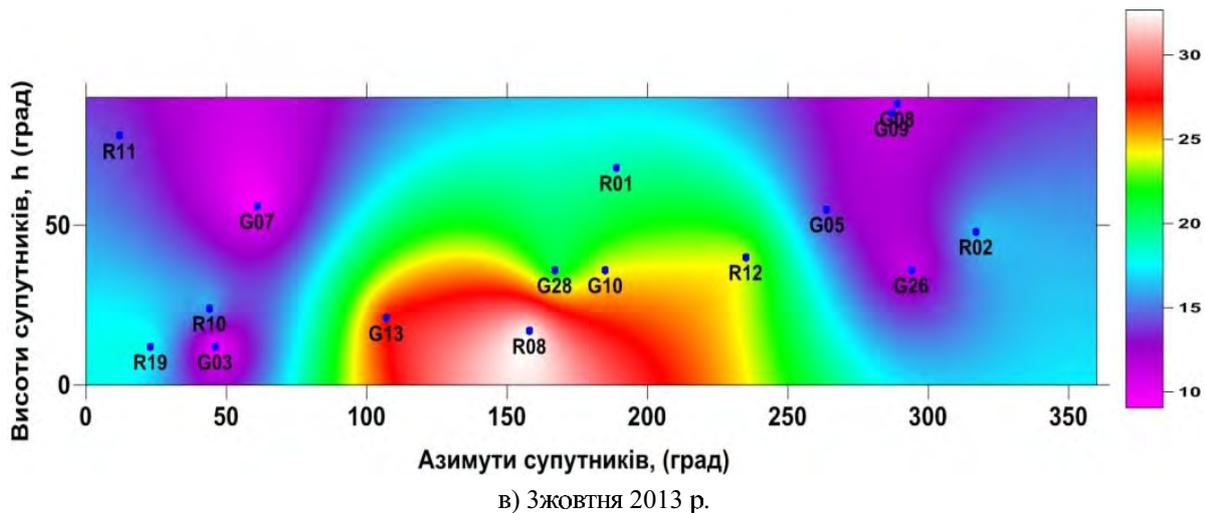


Рис. 5. (Продовження) Азимутально-часові варіації стану іоносфери станції SULP на 00 год
 Fig. 5. (Continuation) Azimuth and temporal variations of ionosphere state of the station SULP for time 00

Наступним нашим кроком потрібно було показати азимутально-часові варіації стану іоносфери станції SULP на конкретну годину окремого дня у вигляді карт. Представлені карти із азимутально-часовими варіаціями стану іоносфери виконувались у програмному середовищі *Surfer*. Приклад таких карт станції SULP станом на 00 год вересня наведено на рис. 4 (а, б, в) та жовтня на рис. 5 (а, б, в).

Наукова і практична значущість

полягає у дослідженні азимутально-часових варіацій стану іоносфери в період активного збурення, за методикою розрахунку параметрів іоносфери [Янків-Вітковська Л. М., 2013], використовуючи дані із спостережень на станції SULP, яка входить до мережі референсних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS. Дослідивши азимутально-часові варіації стану іоносфери для однієї станції, ми зможемо виконати просторово-часовий розподіл іоносфери для території України за даними референсних GNSS-станцій

Висновки

На основі даних шести добових серій, пов'язаних із збуреннями на Сонці, проведено дослідження азимутально-часових варіацій стану іоносфери за спостереженнями референсної GNSS-станції SULP за період 1, 2, 3 вересня 2013 р. та 1, 2, 3 жовтня 2013 р. Максимальні зміни STEC на 00 год досягає в напрямі $\approx 100^{\circ}$ – 200° причому, під час збурень ця границя може значно розширюватися, від

80° – 250° . На 6 год зафіксовано зміни іоносфери по азимуту в межах 0° – 260° , а STEC набуває значення в межах 12–60. Станом на 12 год максимальні азимутальні зміни досягають у напрямі $\approx 50^{\circ}$ – 270° , а 1 жовтня до 360° . STEC досягає максимального значення 70. О 18 год результати свідчать про азимутальну зміну в межах $\approx 70^{\circ}$ – 300° , а 1 жовтня 50° – 310° . Діапазон значень STEC становить – 11–60. Азимутальні зміни на 23 год коливаються в межах 45° – 260° , а 3 жовтня відмічено в межах 80° – 150° , вже зафіксований значний спад STEC до рівня 6–31.

Із отриманих значень STEC за 3 дні вересня і 3 дні жовтня спостерігається спокійніший стан іоносфери у вересні, ніж у жовтні, що зумовлено спалахом на Сонці саме 2 жовтня 2013 р.

Дослідивши азимутально-часові варіації стану іоносфери для однієї станції, ми зможемо виконати просторово-часовий розподіл іоносфери для території України за даними референсних GNSS-станцій. На основі наших досліджень можемо створювати базу даних змін параметрів іоносфери Землі, аналізувати їх сезонні зміни, встановлювати кореляційні залежності з активними процесами на Сонці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. Монография / К. М. Антонович. – М.: ФГУП “Картгеоцентр”, 2005. – 334 с.

- Міжнародна іоносферна модель IRI: <https://cosparhq.cnes.fr/>
- Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Сравнение экспериментальных и модельных значений полного электронного содержания в ионосфере над Восточной Европой // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, 3. – С. 280–286.
- Ратовский К. Г., Потехин А. П., Медведев А. В., Куркин В. И. Современный цифровой ионозонд DPS-4 и его возможности // Солнечно-земная физика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – Вып. 5 (118). – С. 102–104.
- Черногор Л. Ф. Исследование ионосферных процессов над Украиной / Л. Ф. Черногор, И. Ф. Домнин, Л. Я. Емельянов, Д. В. Котов, М. В. Ляшенко // Космічні дослідження в Україні (2010–2012) – К.: Академперіодика, 2012. – С. 33–43.
- Янків-Вітківська Л. М. Методика визначення параметрів іоносфери у мережі супутникових станцій Західної України. / Л. М. Янків-Вітківська // Космічна наука і технологія. – 2013. – Т. 19. – № 6. – С. 47–52.
- Янків-Вітківська Л. М. Використання двочастотних GNSS спостережень для визначення параметрів іоносфери / Л. М. Янків-Вітківська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С. 19–29.
- Klobuchar J., Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users // IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System, 1987, AES 23(3), pp. 325–331.
- Memarzhahed Y. Ionospheric modeling for precise GNSS applications, PhD thesis, 2009. – 242 p.
- Zakpos – мережа референційних GPS-станцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakpos.zakgeo.com.ua>.
- <http://www.spaceweather.com/archive.php?view=1&day=10&month=02&year=2013>

Л. М. ЯНКІВ-ВИТКОВСКАЯ, А. В. ЗАДЕМЛЕНЮК

Кафедра высшей геодезии и астрономии, Национальный университет “Львовська политехніка”, ул. С. Бандеры 12, Украина, 79013, тел. 099-32-01-857, эл. почта: luba_y@ukr.net; a.zademlenyuk@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ АЗИМУТАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СЕТИ GNSS-СТАНЦИЙ

Цель. Исследовать азимутально-временные вариации состояния ионосферы по наблюдениям с GNSS-станции SULP и проанализировать полученные данные. **Методика.** В качестве исходных данных нами было выбрано ионофайлы с регулярных GNSS наблюдений референсной станции SULP на дату 1, 2, 3 сентября и 1, 2, 3 октября 2013 на 0, 6, 12, 18 и 23 ч. Следующий наш шаг заключался в выборе данных о спутниках. Такую информацию формируют в суточном файле программном обеспечении Trimble Planning. Частоту регистрации такого файла пользователь задает Индивидуальный. В нашем случае регистрация данных происходила с периодичностью 10 минут. На основе выбранных минимальных, максимальных и средних значений вертикального содержания электронов в ионосфере (*VTEC*), нами было вычислено наклонные значения общего содержания электронов (*STEC*) за сентябрь и октябрь 2013. Представленные карты с азимутально-временными вариациями состояния ионосферы выполнены с помощью программной среды Surfer. **Результаты.** На основе данных 6-ти суточных серий, связанных с возмущениями на Солнце было проведено исследование азимутально-временных вариаций состояния ионосферы по наблюдениям референционной GNSS-станции SULP за период 1, 2, 3 сентября 2013 и 1, 2, 3 октября 2013. Проанализировав полученные значения *STEC* мы увидели, что более спокойное состояние ионосферы наблюдается в сентябре, чем в октябре, что обусловлено вспышкой на Солнце именно 2 октября 2013. Самым спокойным состояние ионосферы было зафиксировано на 23 часа каждые сутки, максимальное возмущение по суточным данным приходится на 12 часов. **Научная новизна** заключается в исследовании азимутально-временных вариаций состояния ионосферы в период активного возмущения, по методике определения параметров ионосферы в сети спутниковых станций Западной Украины, используя данные наблюдений на станции SULP, которая входит в сеть референционных станций ZAKPOS/UA-EUPOS. **Практическая значимость.** Исследовав азимутально-временные вариации состояния ионосферы для одной станции мы сможем выполнить пространственно-временное распределение ионосферы для территории Украины по данным референционных GNSS-станций.

Ключевые слова: GNSS –наблюдение, активные референционные станции ZAKPOS/UA-EUPOS, TEC, VTEC.

L. M. YANKIV-VITKOVSKA, A. V. ZADEMLENYUK

Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
e-mail: luba_y@ukr.net, a.zademlenyuk@gmail.com.

RESEARCH OF AZIMUTH-TEMPORAL VARIATIONS OF THE IONOSPHERE FROM GNSS-STATIONS NETWORK

Purpose. It is necessary to examine the azimuth-temporal variations of the ionosphere during active disturbance, according to observations Sulp-station and to analyze the data. **The technique.** As input data we selected ionofiles with regular GNSS observations of the reference station Sulp-on date 1, 2, 3 September and 1, 2, 3 October 2013 at 0, 6, 12, 18 and 23 h The next step was to our choice of satellite data. This information formed in the daily Files Software Trimble Planning. The frequency of such registered user specifies the personal file. In this case, registration of data took place periodicity of 10 minutes. Based on the selected minimum, maximum and average values of vertical electron content in the ionosphere (VTEC), we calculated the slanted electron content in the ionosphere (STEC) in September and October 2013. Represented map of the azimuthal-temporal variations in the ionosphere were made using Surfer. **Results.** Based on 6 daily series associated with disturbances on Sun study was conducted the azimuthal-time variations of the ionosphere on GNSS-observations referentsnoyi station Sulp for period 1, 2, 3 September 2013 and 1, 2, 3 October 2013. After analyzing the value of STEC we saw that a calm ionosphere is observed in September, which is caused solar flares October 2, 2013. The most calm ionosphere was fixed at 23 o'clock. every day, maximum ionospheric disturbances on daily data is at 12 o'clock. **Scientific novelty** consists in the study the azimuthal-temporal variations of the ionosphere during active disturbance with the help improved methods for determining the parameters of the ionosphere using observations at the Sulp-station. which is a part of ZAKPOS/UA-EUPOS network. **Practical significance.** If we examine the azimuthal-temporal variations of the ionosphere for one station, we can perform spatial-temporal distribution of the ionosphere for the territory of Ukraine using data from GNSS-stations.

Key words: GNSS-observation, active network of reference stations ZAKPOS / UA-EUPOS, TEC, VTEC, STEC.

REFERENCES

- Antonovych K. M. *Ispol'zovanye sputnykovykh radyonavyhacyonnykh system v heodezyi: V 2 t.* [The use of satellite navigation systems in geodesy]. Moskov, 2005, 334 p.
- International ionospheric model IRI* [Virtual resource] – Available at: <https://cosparhq.cnes.fr/>
- Zaharov I. G., Ljashenko M. V. *Sravnenie jeksperi mental'nyh i model'nyh znachenij polnogo jelektronnogo sodержaniya v ionosfere nad Vostochnoj Evropoj* [Comparison of the experimental and modeling values of the total electron content in the ionospheric over Eastern Europe]. *Radiofizika i radioastronomija* [Radio and radio astronomy. 2003, T. 8, 3, pp. 280–286.
- Ratovskij K. G., Potehin A. P., Medvedev A. V., Kurkin V. I. *Sovremennyy cifrovoj ionozond DPS-4 i ego vozmozhnosti* [The modern digital ionosond DPS-4 and its possibilities]. *Solnechno-zemnaja fizika* [Solar-terrestrial physics]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2004, issue 5 (118), pp. 102–104.
- Chernohor L. F., Domnyn Y. F., Emel'yanov L. Ya., Kotov D. V., Lyashenko M. V. *Issledovanye ionosfernykh processov nad Ukrainoj* [The research of ionospheric processes over Ukraine] *Space research in Ukraine* (2010–2012). Kyiv, pp. 33–43.
- Yankiv-Vitkovska L. M. *Vykorystannya dvochastotnyx GNSS sposterezhen dlya vyznachennya parametriv ionosfery* [The use of dual-frequency GNSS observations to determine the parameters of the ionosphere]. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, No 76, 2012, Lviv, pp. 19–29.
- Yankiv-Vitkovska L. M. *Metodyka vyznachennya parametriv ionosfery u merezhi suputnykovyx stancij Zaxidnoyi Ukrainy* [Method of determining the parameters of the ionosphere in the satellite stations in Western Ukraine]. *Space science and technology*. Kyiv, 2013, vol. 19, No 6, pp. 47–52.
- Klobuchar J., *Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users*. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System*, 1987, AES 23(3), pp. 325–331.
- Memarzhed Y. *Ionospheric modeling for precise GNSS applications*, PhD thesis, 2009, 242 p.
- Zakpos –network of reference GPS stations [Virtual resource] –Available at: <http://zakpos.zakgeo.com.ua>.
<http://www.spaceweather.com/archive.php?view=1&day=10&month=02&year=2013>

Надійшла 01.12.2014 р.