

# ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.2:629.78

<sup>1</sup> І. В. ГІРЯК, <sup>2</sup> С. Г. САВЧУК

<sup>1</sup> Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, 79013, Україна, тел. 099-32-01-857, ел. пошта [imsavchuk@ukr.net](mailto:imsavchuk@ukr.net)

<sup>2</sup> Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, 79013, Україна, тел. 097-21-33-775, ел. пошта [ssavchuk@polynet.lviv.ua](mailto:ssavchuk@polynet.lviv.ua)

## ПОРІВНЯННЯ ВИМІРЯНИХ ВЕЛИЧИН ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ЕЛЕКТРОНІВ (ТЕС) З ВІДПОВІДНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ТЕС, ОТРИМАНИМИ ЗА ДАНИМИ ГЛОБАЛЬНИХ ІОНОСФЕРНИХ КАРТ (GIM)

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.01.005>

**Мета** роботи полягає у визначенні та порівнянні різниць між вимірними величинами загального вмісту електронів (ТЕС) та відповідними значеннями ТЕС, отриманими за даними глобальних іоносферних карт (GIM) у різні періоди сонячної активності. **Методика.** У роботі використано дані загального вмісту електронів (ТЕС) та дані глобальних іоносферних карт (GIM) для станції SULP, а також для кращої наочності взято дані із сайту Ionolab, де по суті використано вузлові значення ТЕС із тих самих глобальних іоносферних карт (GIM). Суть досліджень полягала у порівнянні значень (ТЕС), отриманих двома вищевказаними методами в різні періоди сонячної активності (висока сонячна активність – дані за 2013 р., низька сонячна активність – 2018 р.). **Результати.** Визначено, що різниці (ТЕС) за малої сонячної активності здебільшого від’ємні і сягають  $\approx 8$  TECU, а за піка сонячної активності як виміряні, так і модельні значення ТЕС переважно однакові й коливаються в межах від 0,3 до 6,8 TECU. **Наукова новизна.** Отримано та наведено варіації значень загального вмісту електронів ТЕС для станції SULP на різні періоди прояву сонячної активності та встановлено, що за низької сонячної активності виміряні величини ТЕС переважають модельні значення більш як на 20 % і не перевищують  $\approx 6$  TECU, а за високої сонячної активності як модельні, так і виміряні значення практично однакові й приблизно коливаються в межах від 4 до 31 TECU. **Практична значущість.** Отримані результати можна використати для побудови регіональних карт та швидкостей і напрямку руху іоносферних плям, вирішення деяких завдань для певного регіону.

*Ключові слова:* загальний вміст електронів (ТЕС), глобальні іоносферні карти (GIM), іоносфера Землі, GNSS-вимірювання.

### Вступ

На динаміку іоносфери впливають певні фактори, зокрема, потік сонячного іонізуючого випромінювання, геомагнітна активність та інші різні метеорологічні явища. Повний вміст електронів (ТЕС) іоносфери є узагальнювальною фізичною характеристикою стану іоносфери. Розвиток методів дослідження і моделювання динаміки ТЕС зумовлений, насамперед, науковим інтересом до проблеми вивчення верхньої частини атмосфери Землі, а також необхідністю розв’язання деяких прикладних задач для забезпечення стійкого радіозв’язку, супутників систем навігації та радіолокації [Maslennikova & Bochkarev, 2014; Афраїмович, 2006; Zhang & Zhao, 2018].

Інформацію про ТЕС можна отримати з двочастотних спостережень GPS і глобальних

іоносферних карт (Global Ionospheric Maps – GIM), які надають різні аналітичні центри [Ионосферные карты]. Проте зауважимо, що нерівномірний розподіл GNSS-станцій на поверхні Землі й практично повна їх відсутність в акваторіях океанів і полярних районах істотно знижують точність карт ТЕС і, як наслідок, ефективність їх використання [Wienia, 2008; Feltens et al., 2010; Feltens et al., 2009; Roma-Dollase et al., 2018]. Це вказує на невідповідність GIM з врахуванням іоносферної поправки до них. Тому для вирішення деяких завдань для певного регіону необхідна побудова локальних карт та швидкостей і напрямку руху іоносферних плям.

Варіації ТЕС можуть слугувати індикатором стану іоносферної плазми. Повний електронний вміст в одиничному атмосферному стовпі визначається зіставленням затримки похилого шляху поширення сигналу на двох частотах

(1,545 і 1,226 ГГц). Затримка реєструється двочастотними приймачами, які розташовані по всій земній кулі й входять у глобальну мережу IGS [Янків-Вітковська, 2012; Hernández-Pajares et al., 2016; Hernández-Pajares et al., 2017]. У декількох дослідницьких центрах розроблено технологію GIM, яка забезпечує побудову глобальних карт абсолютного вертикального значення TEC іоносфери на основі інтерполяції даних, отриманих міжнародною службою IGS. Іоносферні карти поширюються у форматі IONEX, що містять значення вертикального TEC для різних регіонів земної кулі з дискретністю: 2,5 – за широтою, 5 – за довготою і 2:00 – за часом [Krankowski, et al., 2010; Schaer, et al., 1998]. Глобальні карти іоносфери за щільністю вмісту електронів створюються в режимі реального часу зіставленням даних, отриманих зі стаціонарних наземних GPS-станцій. Ці карти складають для перевірки показників у режимі реального часу, надаючи отримані дані на карту. Це відображення інформації дає змогу забезпечити точне калібрування для навігаційних систем. Крім того, ці карти також використовують для моніторингу стану іоносфери, прогнозу іоносферних збурень, які часто виникають як відповідь на вплив магнітного поля Землі на потік сонячного вітру [Alizadeh, et al., 2011; Todorova, et al., 2008; Alizadeh, et al., 2015].

Результати використання глобальних іоносферних карт (GIM) в задачах високоточного GNSS-позиціонування подані в роботі [Желанов, Безсонов, 2011]. Показано, що використання моделі IGS в задачах високоточного GNSS-позиціонування забезпечує прийнятний рівень точності компенсації іоносферної затримки у разі використання одночастотних спостережень і дає можливість зменшити систематичну складову іоносферної похибки в два і більше разів в порівнянні з широко використовуваною моделлю Klobuchar.

У роботі [Терещенко та ін., 2015] представлено метод оперативного визначення TEC за сигналами супутників ГЛОНАСС. Проведено порівняння розрахованих значень TEC за сигналами супутників ГЛОНАСС з величинами TEC, отриманими за розрахунками глобальної чисельної моделі верхньої атмосфери Землі UAM і даними глобальної іоносферної карти GIM.

Враховуючи те, що за даними GIM, просторовий розподіл TEC є здебільшого згладженим, а також, зважаючи на двогодинну дискретність цих даних по часу, досить складно досліджувати відносно швидкі і локальні процеси, що відбуваються в іоносфері. Тому необхідно з'ясувати, чи можна враховувати такі швидкоплинні й маломасштабні процеси за рахунок вимірних величин загального вмісту електронів (TEC). Використовувати вимірні величини TEC замість модельних GIM, на нашу думку, потрібно ще й тому, що глобальні іоносферні карти по суті є градусною сіткою значень TEC і охоплюють далеко не всі GNSS-станції (для прикладу, з мережі GNSS-станцій, розміщених у Західній частині України, для створення GIM використовують дані тільки зі станції SULP). Варто зазначити, що інтерполяція вузлових значень TEC дещо спотворює реальні величини загального вмісту електронів, внаслідок такого моделювання не завжди достовірно відображається реальний стан іоносфери. Натомість, добре розвинена локальна мережа ZAKPOS забезпечує достатню щільність та безперервність GNSS-даних, що своєю чергою дозволяє точніше описати дійсний характер іоносфери на місцевому рівні.

Основна мета цього дослідження полягала у визначенні та порівнянні різниць між вимірними величинами загального вмісту електронів (TEC) та відповідними значеннями TEC, які отримані за даними глобальних іоносферних карт (GIM) у різні періоди сонячної активності.

### Методика і результати роботи

Для цього дослідження використано дані загального вмісту електронів (TEC) та дані глобальних іоносферних карт (GIM), а також для кращої наочності взято дані зі сайту [Ionospheric Research Laboratory: IONOLAB], де по суті використовуються вузлові значення TEC, з тих самих глобальних іоносферних карт (GIM). Дані опрацьовувались за вересень 2013 року та за липень 2018 року для станції SULP. Час спостережень обирали згідно з циклом сонячної активності. За даними сайту [Число сонячних плям прогресії] мінімум у циклі сонячної активності припав на 2018 рік, максимум – спостерігався в 2013 році (рис. 1). Дані брали на кожен день для вересня 2013 р. та липня 2018 року з інтервалом 2 години.



Рис. 1. Кількість сонячних плям прогресії

Для аналізу загального вмісту електронів (ТЕС) використати дані з файлу, фрагмент якого поданий на рис. 2, було складно, оскільки їх навели для кожного супутника окремо, а з плином часу супутники змінювали один одного. Тому було використано програму Station TEC 07102013, яка створена на кафедрі вищої геодезії та астрономії. Ця програма виконує перетворення даних VTEC із файлу, наприклад: [LP\_ATMO\_2150.16TEC], у робочі файли за станціями спостережень. На рис. 3 подано зразок такого файлу:

```
Total Electron Content (TEC)
FileName: lpi_iono_0050.18TEC
Epoch rate (sec): 15

#[Year] [Month] [Day] [Hour] [Minute] [Second] [Number of stations]
[Station code] [Number of satellites]
[Satellite id];[Vertical TEC value];[Pierce point Lat[rad]];[Pierce point Long[rad]]

#2018 01 05 12 25 45.00000000 29
SULP 14
G02;9.659;0.828601759;0.198084207
G05;10.446;0.915068084;0.29084424
G07;12.016;0.859213941;0.423104307
G09;14.621;0.863441412;0.485682797
G16;7.431;0.992132464;0.604613910
G23;10.050;0.835742118;0.621987013
G30;12.863;0.831518352;0.378857413
R01;9.823;0.906672504;0.358476652
R07;14.400;0.773683854;0.566332427
R08;13.459;0.859731803;0.443176765
R09;8.578;0.951027079;0.534958759
R10;12.959;0.862405755;0.438476240
R11;13.773;0.776843112;0.373156474
R17;12.243;1.029795572;0.186943054
DORO 13
G02;11.527;0.802068602;0.232228114
G05;10.252;0.890130397;0.337209662
```

Рис. 2. Фрагмент подобового файлу загального вмісту електронів (ТЕС)

З файлу глобальних іоносферних карт (GIM), частина якого подана на рис. 4, безпосередньо використати дані для аналізу було важко, через те, що значення вертикального ТЕС подано за широтою через кожних 2,5°, за довготою через кожних 5° і 2:00 – за часом. Тому у програмному середовищі Delphi створено програму для спрощення обчислень, фрагмент якої наведено на рис. 5.

```
% Цей файл згенерований автоматично програмою station_TEC_07102013
% Програма виконує перетворення даних VTEC із файла [Lpi_iono_0050.18TEC]
% у робочі файли по станціях спостережень, які знаходяться в [C:\TEMP\]
% Робочий файл містить оператор присвоєння новому Matlab
%*****
% SULP_UVEC - масив значень UVEC станції SULP
%*****
% Перший стовпчик масиву SULP_UVEC - час [0 - 24], в долях годин доби
% Другий стовпчик масиву SULP_UVEC - значення UVEC
```

```
1.243e+001 1.1597e+001
1.243e+001 1.1242e+001
1.244e+001 1.1489e+001
1.244e+001 1.1722e+001
1.245e+001 1.2206e+001
1.245e+001 1.2403e+001
1.245e+001 1.2501e+001
1.246e+001 1.2493e+001
1.246e+001 1.2488e+001
1.247e+001 1.2489e+001
1.247e+001 1.2473e+001
1.248e+001 1.2150e+001
1.248e+001 1.2094e+001
1.248e+001 1.2063e+001
1.249e+001 1.2013e+001
1.249e+001 1.1994e+001
1.250e+001 1.1942e+001
1.250e+001 1.1953e+001
1.250e+001 1.1944e+001
1.251e+001 1.1937e+001
1.251e+001 1.1930e+001
1.252e+001 1.1932e+001
1.252e+001 1.1952e+001
```

Рис. 3. Фрагмент файлу за станціями спостережень

```
50.0-180.0 180.0 5.0 450.0 LAT/LON1/LON2/DLON/H
89 92 96 101 103 103 99 92 84 76 69 67 68 69 71 70
67 61 56 51 47 45 44 44 44 44 43 42 39 35 32
30 31 32 35 39 45 51 58 66 74 80 83 85 88 90 93
95 96 96 96 97 98 99 100 100 100 101 99 98 95 91 88
85 84 84 85 86 86 87 88 89
47.5-180.0 180.0 5.0 450.0 LAT/LON1/LON2/DLON/H
89 93 98 104 108 108 106 100 91 83 76 72 71 72 72 71
67 63 58 54 51 49 48 48 49 49 48 47 45 41 37 34
32 33 34 37 41 46 53 61 70 78 84 88 90 92 95 99
102 103 103 103 103 104 106 107 107 107 106 104 101 97 94
91 88 87 87 86 86 85 86 89
```

Рис. 4. Фрагмент файлу глобальних іоносферних карт (GIM)

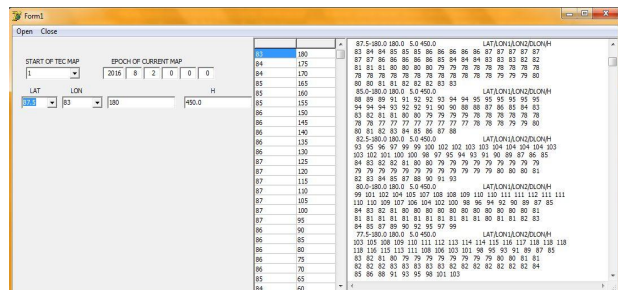


Рис. 5. Фрагмент програми

Суть наших досліджень полягала у порівнянні значень загального вмісту електронів (ТЕС) та глобальних іоносферних карт (GIM), тобто у визначенні їх різниць. А також, як уже зазначено, для кращої наглядності наведені ще дані зі сайту Ionolab. За отриманими значеннями побудовано графіки за вересень 2013 року та за липень 2018 року, які подано на рис. 6 та 7.

Аналізуючи приведені графіки, можна сказати, що за низької сонячної активності, яка спостерігалась у 2018 році, значення ТЕС в загальному коливаються в межах від 0 до 14,9 TECU.

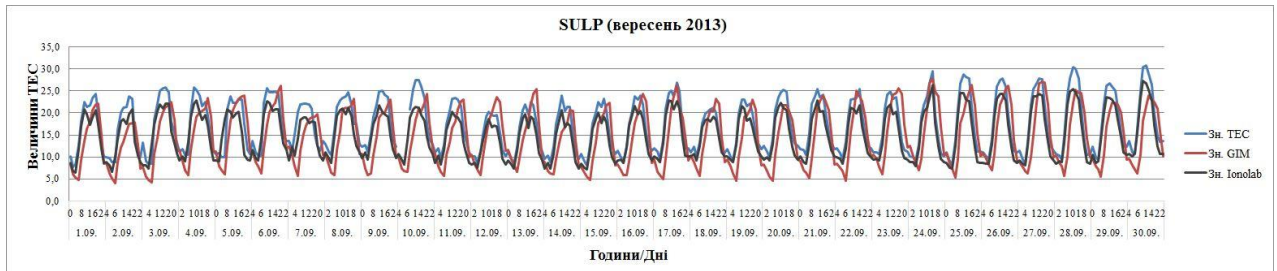


Рис. 6. Варіації значень загального вмісту електронів для станції SULP за вересень 2013

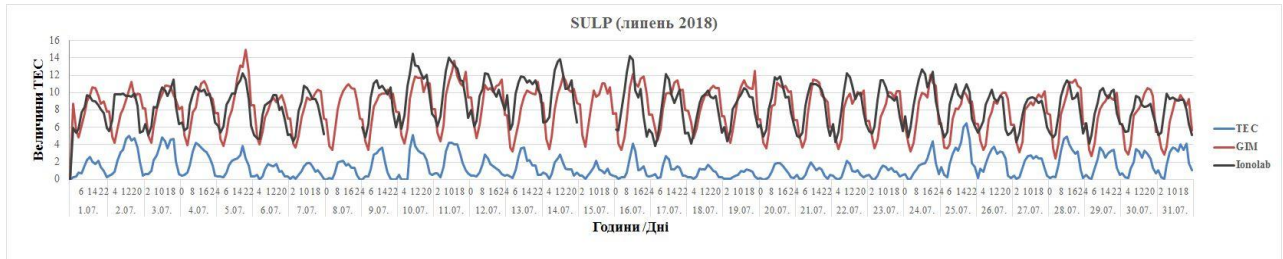


Рис. 7. Варіації значень загального вмісту електронів для станції SULP за липень 2018 року

Враховуючи це, виміряні величини TEC переважають модельні значення більш ніж на 20 % і переважно не перевищують  $\approx 6$  TECU (див. рис. 7). Що ж до результатів, отриманих у вересні 2013 року, то тут і виміряні, і модельні значення TEC є близькі між собою і приблизно коливаються в межах від 4 до 31 TECU, що, на

нашу думку, безпосередньо пов'язано з піком сонячної активності, який, як уже зазначалось, припав на 2013 р.

За допомогою програмного забезпечення MYSTAT отримано статистичні характеристики усереднених різниць TEC, які приведено у табл. 1.

Таблиця 1

#### Статистичні характеристики усереднених різниць TEC

	Усереднені різниці	
	Вересень 2013	Липень 2018
Кількість	30	31
Мінімум	-0,1	-8,2
Максимум	6,8	-4,2
Середнє арифметичне значення	2,68	-6,65
Стандартне відхилення	0,25	0,18

Під час аналізу даних виявлено, що різниці TEC для обраної станції за вересень 2013 року є здебільшого додатними і коливаються в межах від 0,3 до 6,8 TECU із стандартним відхиленням 0,2. У липні 2018 року показники різниць TEC переважно від'ємні і сягають  $\approx 8$  TECU, оскільки, в цьому році спостерігався мінімум сонячної активності й виміряні зна-

чення TEC були значно меншими за їх відповідні модельні показники. Потрібно зазначити, що і для цього місяця стандартне відхилення становить 0,2.

У табл. 2 та 3 приведено статистичні характеристики виміряних та модельних величин TEC за вересень 2013 року та липень 2018 року відповідно.

Таблиця 2

**Статистичні характеристики виміряних величин ТЕС**

	0h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h
Вересень 2013 року												
Кількість	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29
Мінімум	9,5	7,8	8,1	8,5	15,1	19,1	20,2	17,5	14,0	15,0	12,5	10,5
Максимум	13,7	20,9	25,4	27,5	27,4	30,4	30,8	30,0	29,5	25,1	19,7	17,5
Середнє арифметичне значення	11,52	10,86	10,18	13,70	20,13	23,36	24,36	23,77	23,93	21,31	15,75	12,63
Стандартне відхилення	1,15	2,20	3,17	3,52	2,68	2,72	2,63	2,99	2,98	2,10	1,84	1,52
Липень 2018 року												
Кількість	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Мінімум	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,9	0,9	0,8	0,7	0,1	0,0
Максимум	1,4	1,3	0,9	2,2	3,5	5,1	5,0	5,0	6,0	6,4	4,6	2,1
Середнє арифметичне значення	0,43	0,34	0,24	0,91	1,99	2,74	2,86	2,45	2,38	2,24	1,96	0,87
Стандартне відхилення	0,30	0,28	0,29	0,64	0,90	1,09	1,12	1,16	1,24	1,43	1,29	0,65

За даними табл. 2 видно, що у вересні 2013 року значення виміряних величин ТЕС знаходяться в межах від 7,8–30,8 TECU із стандартним відхилення 1,1–3,5 TECU. У липні

2018 року значення виміряних ТЕС змінюються від 0 до 6,4 TECU, а стандартна похибка середнього арифметичного коливається в межах від 0,3 до 1,4 TECU.

Таблиця 3

**Статистичні характеристики модельних значень ТЕС**

	0h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h
Вересень 2013 року												
Кількість	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Мінімум	7,6	5,5	4,8	4,1	8,9	12,2	13,4	15,9	17,5	17,7	17,9	12,5
Максимум	12,5	10,3	8,8	7,0	12,3	18,3	22,3	26,8	27,9	26,9	26,3	19,2
Середнє арифметичне значення	9,92	7,91	6,74	5,62	10,28	15,37	19,17	21,34	22,24	22,84	21,92	15,83
Стандартне відхилення	1,34	1,21	1,01	0,78	0,84	1,54	2,21	2,77	2,55	2,12	2,04	1,73
Липень 2018 року												
Кількість	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Мінімум	5,5	3,4	2,4	3,8	6,6	7,7	8,1	8,5	8,9	9,2	8,5	8,6
Максимум	9,5	6,6	4,9	6,3	9,7	11,2	12,5	13,7	13,2	12,9	14,9	12,5
Середнє арифметичне значення	7,36	4,64	3,70	5,12	7,69	8,99	9,89	10,28	10,50	10,44	10,20	10,20
Стандартне відхилення	0,96	0,81	0,62	0,77	0,74	1,03	1,07	1,18	0,92	0,88	1,15	1,02

Як видно з табл. 3, модельні значення ТЕС за високої сонячної активності (вересень 2013 року) приблизно коливаються в межах від 4 до 28 TECU зі стандартною похибкою  $\approx$  0,8–2,8 TECU. За

низької сонячної активності (липень 2018 року) стандартна похибка середнього арифметичного становить 0,6–1,2 TECU, а модельні значення проходять у межах від 2,4 до 14,9 TECU.

### Висновки

На основі проведених досліджень, які полягали у визначенні та порівнянні різниць між вимірними величинами загального вмісту електронів (ТЕС) та відповідними значеннями ТЕС, отриманих за даними глобальних іоносферних карт (GIM), встановлено:

1) за низької сонячної активності абсолютні величини ТЕС – виміряні, переважають над відповідними модельними значеннями більш ніж на 20 % і в середньому не перевищують 6 TECU, а показники різниць ТЕС переважно від’ємні і сягають  $\approx 8$  TECU;

2) за високої сонячної активності і модельні, і виміряні значення є практично однаковими і знаходяться в межах від 4 до 31 TECU, їхні різниці є здебільшого додатними і коливаються в межах від 0,3 до 6,8 TECU;

3) враховуючи іоносферну поправку з використанням глобальних іоносферних карт, потрібно зважати на максимум та мінімум сонячної активності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Афраймович Э. Л., Астафьева Э. И., Живетьев И. В. Солнечная активность и глобальное электронное содержание. Доклады Академии Наук, 2006. Т. 409. № 3. С. 399–402.
- Желанов О. О., Безсонов С. А. Использование глобальных ионосферных карт IGS в задачах высокоточного ГНСС-позиционирования. Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал, 2011. Т. 10. № 3. С. 302–306.
- Ионосферные карты. Режим доступа: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/>
- Терещенко Е. Д., Миличенко А. Н., Швець М. В., Черняков С. М., Кораблева И. Определение полного электронного содержания по сигналам спутников глобальной навигационной системы ГЛОНАСС. Вестник Кольского научного центра РАН, 2015. Вип. № 1 (20). – С. 655–665.
- Число сонячних плям прогресії. – Режим доступу: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_cycle\\_24\\_sunspot\\_number\\_progression\\_and\\_prediction.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_cycle_24_sunspot_number_progression_and_prediction.gif)
- Янків-Вітковська Л. М. Використання двочастотних GNSS спостережень для визначення параметрів іоносфери. *Геодезія, картографія та аерофотознімання*, 2012. № 76. С. 19–28.
- Alizadeh, M. M., Schuh, H., Todorova, S., & Schmidt, M. (2011). Global Ionosphere Maps of VTEC from GNSS, satellite altimetry, and Formosat-3/COSMIC data. *Journal of Geodesy*, 85(12), 975–987.
- Alizadeh, M. M., Schuh, H., & Schmidt, M. (2015). Ray tracing technique for global 3-D modeling of ionospheric electron density using GNSS measurements. *Radio Science*, 50(6), 539–553.
- Ionospheric Research Laboratory: IONOLAB. Режим доступу: <http://www.ionolab.org/>
- Feltens, J., Angling, M., Jakowski, N., Hernandez-Pajares, M., & Zandbergen, R. (2010, January). GNSS contribution to next generation global ionospheric monitoring. In *Beacon Satellite Symposium*.
- Feltens, J., Angling, M., Jakowski, N., Mayer, C., Hoque, M., Hernández-Pajares, H., ... & Aragón-Angel, A. (2009). *Analysis of the state of the art ionosphere modelling and observation techniques*. (No. 1/0). Technical Report OPS-SYS-TN-0017-OPS-GN.
- Hernández-Pajares, M., Roma-Dollase, D., Krankowski, A., García-Rigo, A., & Orús-Pérez, R. (2017). Methodology and consistency of slant and vertical assessments for ionospheric electron content models. *Journal of Geodesy*, 91(12), 1405–1414.
- Hernández-Pajares, M., Roma-Dollase, D., Krankowski, A., García-Rigo, A., & Orús Pérez, R. (2016). Comparing performances of seven different global VTEC ionospheric models in the IGS context. In *International GNSS Service Workshop (IGS 2016): Sydney, Australia: february 8–12, 2016* (pp. 1–13). International GNSS Service (IGS).
- Krankowski, A., Wielgosz, P., Hernández-Pajares, M., & García-Rigo, A. (2010). Present and future IGS Ionospheric products. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 12, p. 6721).
- Maslennikova, Y., & Bochkarev, V. (2014). Principal component analysis of global maps of the total electronic content. *Geomagnetism and Aeronomy*, 54(2), 216–223.
- Roma-Dollase, D., Hernández-Pajares, M., Krankowski, A., Kotulak, K., Ghoddousi-Fard, R., Yuan, Y., ... & Feltens, J. (2018). Consistency of seven different GNSS global ionospheric mapping techniques during one solar cycle. *Journal of Geodesy*, 92(6), 691–706.
- Schaer, S., Gurtner, W., & Feltens, J. (1998, February). IONEX: The ionosphere map exchange format version 1. In *Proceedings of the IGS AC workshop, Darmstadt, Germany* (Vol. 9, No. 11).
- Todorova, S., Hobiger, T., & Schuh H. (2008). Using the Global Navigation Satellite System and satellite altimetry for combined Global Ionosphere Maps. *Advances in Space Research*, 42(4), 727–736.
- Wienia, R. J. (2008). Use of Global Ionospheric Maps for Precise Point Positioning. Developing an optimised procedure in using Global Ionospheric Maps for single-frequency standalone positioning with GPS.
- Zhang Q., Zhao Q., / Global Ionosphere Mapping and Differential Code Bias Estimation during Low and High Solar Activity Periods with GIMAS Software // *Remote Sensing* 10(5):705, May 2018.

I. HIRIAK<sup>1</sup>, S. SAVCHUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. 099-32-01-857, e-mail [imsavchuk@ukr.net](mailto:imsavchuk@ukr.net)

<sup>2</sup> Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. 097-21-33-775, e-mail [ssavchuk@polynet.lviv.ua](mailto:ssavchuk@polynet.lviv.ua)

COMPARISON OF THE MEASURED VALUES OF TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) WITH THE  
CORRESPONDING TEC VALUES, OBTAINED ACCORDING TO GLOBAL IONOSPHERIC MAPS (GIM)  
DATA

**The purpose** of this work lies in comparing and defining the differences between the measured values of the total electron content (TEC) and the corresponding TEC values, obtained according to global ionospheric map (GIM) data in different periods of solar activity. **Methodology.** The TEC and the data of global ionospheric maps (GIM) for the SULP station were used in the work, as well as the data from the Ionolab website for better clarity, where the nodal values of the TEC are essentially used, from the same global ionospheric maps (GIM). The essence of the research was to compare the values of TEC, obtained by the two above-mentioned methods in different periods of solar activity (a high solar activity – data for 2013, a low solar activity – for 2018). **Results.** It was determined that the differences of TEC at a low solar activity are mostly negative and reach  $\approx 8$  TECU, and at the peak of solar activity both were measured and the model TEC values were basically the same and varied in range from 0,3 to 6,8 TECU. **Scientific novelty.** The variations of the values of total electron content TEC for the SULP station in different periods of the manifestation of solar activity were obtained and given and it was established that at a low solar activity the measured TEC values prevail over the model values by more than 20 % and do not exceed  $\approx 6$  TECU, and at a high solar activity both the model and the measured values are practically the same and range approximately from 4 to 31 TECU. **Practical significance.** The results obtained can be used for constructing regional maps and the velocities and direction of ionospheric stain movements, as well as in solving some issues for a certain region.

*Key words:* total electron content (TEC); global ionospheric maps (GIM); the Earth's ionosphere; GNSS-measurement.

Надійшла 04.02.2018 р.