

**УДК 550.388**

**Дмитро Іскра, Вячеслав Колодяжний, Михайло Ляшенко, к.ф.-м.н., с.н.с.**  
Інститут іоносфери НАН та МОН України, Україна

## **РОЗВИТОК РЕГІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІОНОСФЕРИ CERIM ПОН В РАМКАХ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ ПРОГНОЗУ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ**

Представлено опис комп'ютерної версії регіональної моделі іоносфери CERIM ПОН. Виконано розрахунки за моделлю CERIM ПОН для чотирьох характерних геофізичних періодів – зимового та літнього сонцестоянь, весняного та осіннього рівнодень. Представлено результати порівнювального аналізу розрахунків за регіональною моделлю іоносфери CERIM ПОН з експериментальними даними та розрахунками за глобальною моделлю IRI-2016.

Ключові слова: іоносфера, регіональна модель іоносфери, космічна погода

## **Dmytro Iskra, Vyacheslav Kolodyazhnyi, Mykhaylo Lyashenko** **DEVELOPMENT OF THE REGIONAL IONOSPHERIC MODEL CERIM ПОН IN** **THE FRAME OF CREATION OF THE INFORMATION SERVICE FOR SPACE** **WEATHER FORECASTING**

Description of the computer version of the regional ionospheric model CERIM ПОН is presented. Calculations were made using the CERIM ПОН model for four characteristic geophysical periods – the winter and summer solstices, the vernal and autumn equinoxes. The results of a comparative analysis of calculations using the CERIM ПОН regional ionospheric model with experimental data and calculations using the IRI-2016 global model are presented.

Keywords: ionosphere, regional model of ionosphere, space weather

Відомо, що для вирішення широкого кола практичних задач, наприклад, для розрахунку параметрів динамічного та теплового режимів іоносферної плазми, необхідно мати достовірні відомості про основні параметри іоносфери (концентрацію електронів, температуру електронів та іонів, швидкість вертикального переносу плазми та ін.). Частково, цю проблему можна вирішити, використовуючи дані, які розраховано за допомогою моделей атмосфери та іоносфери. В цей час до таких сучасних моделей навколоземного космічного середовища відносяться – модель нейтральної атмосфери NRLMSISE-00 [1] і довідкова модель іоносфери IRI (International Reference Ionosphere) [2]. Однак, як показує досвід користування такими моделями на практиці та порівняння розрахунків за ними з реальними експериментальними даними, такі моделі не завжди адекватно відображують просторово-часовий розподіл параметрів атмосфери та іоносфери в реальних умовах і конкретному регіоні. Причому, нарівні з кількісними, нерідко мають місце і якісні відмінності в варіаціях параметрів геокосмосу. Проблема підвищення точності розрахунків за сучасними глобальними моделями може вирішити розробка нових і вдосконалення існуючих регіональних моделей іоносфери.

Метою роботи є розвиток регіональної моделі іоносфери CERIM ПОН для створення української служби прогнозування космічної погоди. Ця робота в Інституті іоносфери виконується за договором з Інститутом космічних досліджень НАН України та ДКА України в рамках виконання наукового проекту “Інформаційний сервіс космічної погоди” відповідно до Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018 – 2022 рр.

В Інституті іоносфери НАН та МОН України побудовано регіональну модель іоносфери CERIM ION, яка базується на масиві експериментальних даних, отриманих за допомогою Харківського радара некогерентного розсіяння (НР) та іонозонду в період з 1986 по 2016 рр. [3 – 5].

У попередній версії моделі CERIM ION залежність параметрів іоносфери від сонячної активності визначалася фазами циклу сонячної активності – максимумом, мінімумом, фазою зростання та спаду. Модель розроблено для магнітоспокійних умов (індекс  $K_p \leq 3$ ). До вихідних параметрів регіональної моделі відносяться: концентрація електронів  $N$ , температури електронів  $T_e$  та іонів  $T_i$ , швидкість переносу плазми; частоти зіткнень заряджених і нейтральних частинок, повздовжні складові тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності, плазмова наведена висота; швидкість переносу частинок за рахунок амбіполярної дифузії, щільність повного потоку частинок, щільність потоку за рахунок амбіполярної дифузії, швидкості нейтральних вітрів, значення енергії, що підводиться до електронів і щільність потоку тепла, яке переноситься електронами із плазмосфери в іоносферу. Ця версія моделі була оформлена у вигляді довідника з таблицями відповідних параметрів. Нажаль, ця форма представлення регіональної моделі CERIM ION не є зручною для використання. Тому прийнято рішення про подальше вдосконалення моделі шляхом створення нової комп'ютерної версії, яка буде зручнішою для використання на практиці.

Також в новій версії моделі залежність параметрів іоносфери від сонячної активності визначається вже не фазами циклу, а регресійними залежностями відповідних іоносферних параметрів від індексу сонячної активності  $F_{10,7}$ , який відповідає потоку радіовипромінювання Сонця на довжині хвилі 10,7 см [3, 5].

На цей час розроблено та реалізовано модельні блоки розрахунку сезонно-добових варіацій основних параметрів області F2 іоносфери. Програму реалізовано за допомогою мови програмування C++. Результати розрахунку відображуються на екрані персонального комп'ютера у відповідному вікні (рис. 1). Є можливість запису результатів у текстовий файл для подальшого збереження та використання в інших задачах прикладного характеру.

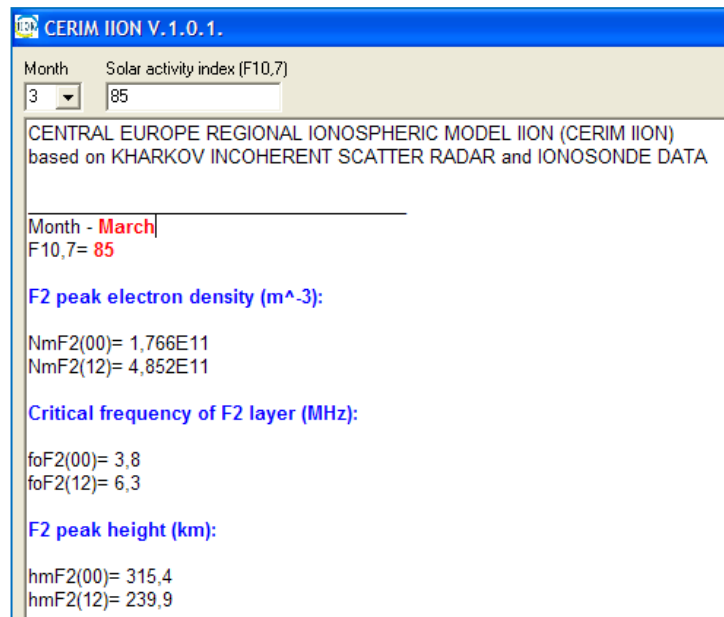


Рис. 1. Інтерфейс комп'ютерної версії регіональної моделі іоносфери CERIM ION для розрахунку основних параметрів області F2 іоносфери

Основні вхідні параметри моделі: значення індексу сонячної активності  $F_{10,7}$  (діапазон значень від 60 до 250) та номер місяця (від 1 до 12).

Основними вихідними параметрами програми є: 1) сезонно-добові варіації концентрації електронів в максимумі області F2 іоносфери  $Nm$  ( $\text{м}^{-3}$ ); 2) сезонно-добові варіації критичної частоти шару F2 іоносфери  $foF2$  (МГц); 3) сезонно-добові варіації висоти максимуму області F2 іоносфери  $hm$  (км).

Комп'ютерна програма має можливість до оновлення, яке може відбутися у разі перерахунку відповідних коефіцієнтів регресій. Відповідні коефіцієнти регресій можуть корегуватися за рахунок збільшення масиву експериментальних даних.

Для апробації регіональної моделі виконано розрахунки добових варіацій основних параметрів шару F2 іоносфери – концентрації електронів в максимумі області F2 іоносфери  $NmF2$  та висоти цього максимуму  $hmF2$  для чотирьох характерних геофізичних періодів – зимового та літнього сонцестоянь, весняного та осіннього рівнодень на фазі спаду 24-го циклу сонячної активності. На рис. 2 – 3 представлено добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери. Для порівняльного аналізу на цих графіках додано експериментальні дані  $NmF2$  та  $hmF2$ , які отримано на радарі НР та іонозонді протягом рівнодень та сонцестоянь у 2016 – 2018 рр. Також на рис. 2 – 3 представлено результати моделювання добових варіацій  $NmF2$  та  $hmF2$  за розрахунками по глобальній моделі іоносфери IRI-2016.

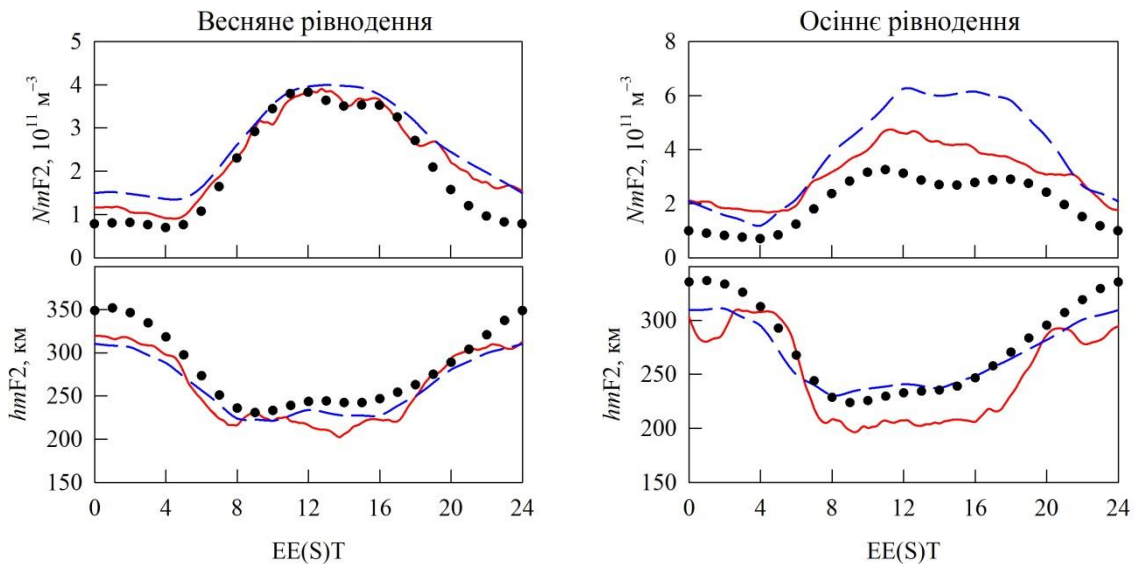


Рис. 2. Добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери в періоди весняного та осіннього рівнодень. Тут і далі на графіках позначені криві: суцільна лінія – усереднені експериментальні дані, тире – розрахунки за моделлю CERIM ION, точки – розрахунки за моделлю IRI-2016

Результати розрахунків за розглянутими моделями показують, що добові модельні залежності основних параметрів шару F2 іоносфери якісно відображують форму добового ходу. Форма добових варіацій  $NmF2$  та  $hmF2$  є типовою для розглянутих сезонів. Однак з тим, існують і кількісні розбіжності між експериментальними даними та модельними розрахунками. Порівняння розрахунків за моделлю CERIM ION з модельними даними IRI-2016 показало, що модель CERIM ION в більшості випадків краще за глобальну модель іоносфери IRI-2016. Основні розбіжності, які спостерігаються при порівнянні з експериментом, пов'язані з недостатністю експериментальних даних для певних місяців для побудови відповідних модельних регресійних залежностей. Ще одна з причин розбіжностей – відміна

реальної геліогеофізичної обстановки від спокійних геомагнітних умов, для яких побудовано регіональну модель іоносфери CERIM ІОН.

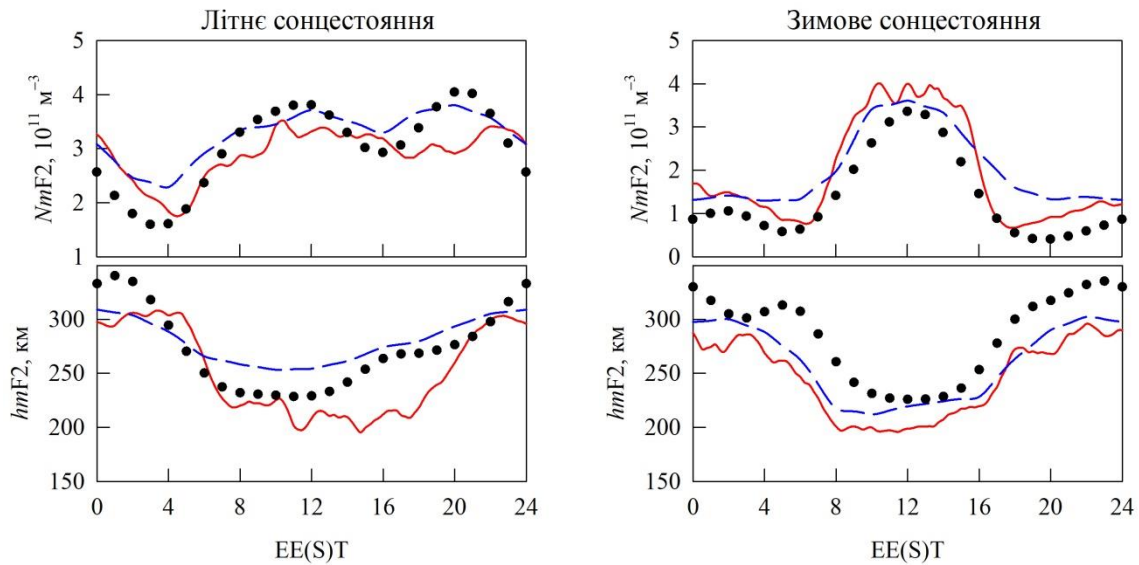


Рис. 3. Добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери в періоди літнього та зимового сонцестоянь

У цілому, подальший розвиток регіональної моделі іоносфери CERIM ІОН є перспективною задачею. Особливо це затребуване в рамках створення української служби прогнозування космічної погоди. Регіональна модель іоносфери може бути використана для більш точного розрахунку умов поширення радіохвиль у центральноевропейському регіоні, що дозволить зменшити потужність радіопередавальних пристроїв, поліпшити завадостійкість засобів радіозв'язку, радіолокації та радіонавігації. Зменшення енерговитрат дозволить поліпшити електромагнітну і, тим самим, екологічну обстановку як в Україні, так і Центральній Європі.

### Література

1. Picone J.M. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues / J.M. Picone, A.E. Hedin, D.P. Drob, A.C. Aikin // J. Geophys. Res. – 2002. – 107, No. A12. – P. SIA 15 1 – 16.
2. Bilitza D. International Reference Ionosphere 2000 / D. Bilitza // Radio Sci. – 2001. – 36, No. 2. – P. 261 – 275.
3. Lyashenko M.V. Simulation of Seasonal Variations of Electron Concentration in the Ionospheric F2-Peak for Midnight and Noon Local Time / M.V. Lyashenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2005. – 64, № 11. – P. 973 – 980, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v64.i11.90.
4. Chernogor L.F. Central Europe Regional Ionospheric Model (CERIM ІОН) Based On The Kharkov Incoherent Scatter Radar Database / L.F. Chernogor, L.Ya. Emel'yanov, M.V. Lyashenko // 36th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods.– Kyiv (17 – 22 August, 2009). – P. 38.
5. Ляшенко М.В. Регіональна модель іоносфери CERIM ІОН: расчет высоты максимума слоя F2 ионосфери / М.В. Ляшенко, А.В. Сидоренко // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Радіофізика та іоносфера. – 2017. – № 47. – С. 51 – 56.