

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ім. О. Я. Усикова

Ляшенко Михайло Володимирович

УДК 550.388.2

**РЕГІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ІОНОСФЕРИ ЗА ДАНИМИ ХАРКІВСЬКОГО
РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ**

04.00.22 – геофізика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті іоносфери Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:	доктор фізико-математичних наук, професор Чорногор Леонід Феоктистович , Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, професор кафедри космічної радіофізики
Офіційні опоненти:	доктор фізико-математичних наук, професор Ківва Фелікс Васильович , Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України, зав. відділу поширення радіохвиль у природних середовищах
	доктор фізико-математичних наук, професор Рогожкін Євген Васильович , Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, професор кафедри радіоелектроніки

Захист відбудеться “8” липня 2008 р. о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.157.01 Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України за адресою: 61085, м. Харків, вул. Академіка Проскури, 12, в актовій залі.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України за адресою: 61085, м. Харків, вул. Академіка Проскури, 12.

Автореферат розісланий “6” червня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Рудь Л. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Моделювання середньоширої іоносфери є однією з важливих проблем дослідження навколоземного середовища та космічної погоди. Даною проблемою займаються наукові колективи США, Російської Федерації, Європейського Союзу та інших країн. В Україні проблему моделювання середньоширої іоносфери й процесів у ній вирішують харківські геофізики, до яких належить і автор дисертації.

Розробка регіональної моделі іоносфери дозволить просунути в розумінні поведінки середньоширої іоносфери центрально-європейського регіону та процесів, відповідальних за формування космічної погоди.

Як показує практика, глобальні моделі іоносфери та термосфери, такі як IRI (International Reference Ionosphere), MSIS (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter), не завжди коректно відображають просторово-часові зміни основних параметрів іоносферної плазми в конкретних геліогеофізичних умовах і конкретному регіоні. Зокрема це пов'язано з нерівномірністю розподілу засобів спостереження за довготними секторами західної та східної півкуль. Істотне розходження в розподілі параметрів середньоширої іоносфери над Європою та Америкою викликано незбігом географічного і геомагнітного полюсів.

Радар некогерентного розсіяння (НР) у Харкові є єдиним у середніх широтах Європи еталонним комплексним засобом для одержання відомостей про параметри та процеси, що протікають в іоносфері.

Беручи до уваги те, що фізичні властивості іоносферних параметрів мало відрізняються на відстанях ~ 1000 км (за винятком високоширої іоносфери), дані радара НР можуть бути використані для створення регіональної моделі іоносфери, яка буде справедливою в межах кола із центром у Харкові та радіусом близько 1000 км (протяжність України приблизно 1000×1000 км).

Регіональна модель іоносфери припускає можливість розрахунку параметрів іоносферної плазми залежно від рівня сонячної активності (СА), сезону, часу доби та стану космічної погоди.

Регіональна модель може бути використана для більш точного розрахунку умов поширення радіохвиль у центрально-європейському 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.

Регіональна модель іоносфери, яка має самостійну цінність під час розв'язання прикладних задач моделювання стану космічної погоди й поширення радіохвиль, також може бути використана в подальшому як одна зі складових частин Міжнародної довідкової моделі іоносфери (IRI) для підвищення точності прогнозу просторово-часового розподілу іоносферних параметрів над Центральною Європою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати дисертаційної роботи отримано в рамках науково-дослідних робіт, що виконувалися в Інституті іоносфери НАН і МОН України: "Експериментальні і

теоретичні дослідження сезонно-добових варіацій космічної погоди для створення прогностичних методик”, шифр “А-06-1”, номер держреєстрації 0106U007088; “Моделювання фундаментальних фізичних процесів у геокосмічній плазмі над Україною за даними некогерентного розсіяння”, шифр “Триплет”, номер держреєстрації 0106U001259; “Експериментальні і теоретичні дослідження сезонно-добових варіацій космічної погоди для створення прогностичних методик”, шифр “А-07-9”, номер держреєстрації 0107U004527; “Дослідження теплових, динамічних і фотохімічних процесів у нижній частині F-області іоносфери”, шифр “Трек”, номер держреєстрації 0206U002358; “Дослідження властивостей іоносферної плазми в областях E і F іоносфери”, шифр “А-02-5”, номер держреєстрації 0102U002996. У перших трьох роботах автор дисертації був відповідальним виконавцем, в останніх – виконавцем.

Автор дисертації став лауреатом премії Президента України для молодих учених в 2006 р. і обласного конкурсу “Кращий молодий учений Харківщини” 2006 р., відповідно, за цикл робіт “Радіофізичні спостереження над Україною і моделювання фізичних процесів у геокосмосі” та за роботу “Модель іоносфери центрально-європейського регіону”.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є побудова регіональної моделі іоносфери за даними харківського радара некогерентного розсіяння.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі розв’язуються такі задачі:

- 1) аналіз стану іоносфери та космічної погоди над Україною протягом циклу сонячної активності (1997 – 2006 рр.);
- 2) фізичне тлумачення спостережуваних фізичних процесів і явищ;
- 3) напівемпіричне моделювання параметрів іоносфери.

Результати, описані в даному дослідженні, отримані за допомогою єдиного в середніх широтах Європи радара некогерентного розсіяння. Дані НР використовуються для побудови моделей варіацій космічної погоди як для України й середньоширотного європейського регіону, так і в глобальних масштабах.

Для розв’язання поставлених задач використано масив експериментальних даних, отриманих на харківському radarі НР у період з 1986 р. до 2006 р. (приблизно за два цикли сонячної активності).

Об’єкт дослідження – процеси у геокосмічній плазмі в діапазоні висот 100 – 1000 км над Україною.

Предмет дослідження – особливості та моделювання фізичних процесів у геокосмосі в спокійних умовах, а також під час досить рідкісних подій у навколосемному космічному просторі – часткових сонячних затемнень.

Методи дослідження – експериментальні, статистичний аналіз отриманих результатів; напівемпіричне моделювання фізичних процесів у геокосмічній плазмі.

Наукова новизна одержаних результатів. Виявлено основні закономірності поведінки параметрів іоносфери (добовий та сезонний хід основних параметрів іоносфери, піврічна та сезонна аномалії), виконано фізичне тлумачення сезонно-добових варіацій параметрів геокосмічної плазми над

Україною в період 23-го циклу сонячної активності (1997 – 2006 рр.) та проведено теоретичне моделювання цих варіацій.

Вперше побудовано напівемпіричну модель варіацій параметрів геокосмічної плазми, яка визначає зміни космічної погоди в 1997 – 2006 рр. над Україною.

Встановлено особливості фізичних процесів у геокосмічній плазмі над Україною та їх кількісні характеристики, що супроводжували рідкісні події в геокосмосі – часткові затемнення Сонця 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р. Встановлено, що ефекти затемнень Сонця упевнено спостерігалися у варіаціях параметрів іоносфери в діапазоні висот 200 – 1200 км. Виявлено зменшення концентрації електронів, температури електронів й іонів на висотах 200 – 700 км, а також збільшення концентрації іонів водню у діапазоні висот 900 – 1200 км.

Практичне значення одержаних результатів. 1) Виявлено та досліджено варіації параметрів геокосмоса, що визначають стан космічної погоди, які істотно впливають на функціонування космічних апаратів, радіоелектронних засобів, енергосистем, засобів телекомунікацій, а, можливо, і на самопочуття та здоров'я людей. 2) Проведено фізичне тлумачення та комп'ютерне моделювання, які дозволили просунутися в розв'язанні задач регіонального та глобального моделювання та прогнозування стану космічної погоди. 3) Побудовано основи напівемпіричних моделей параметрів геокосмічної плазми й їхніх варіацій у широкому діапазоні висот (100 – 1000 км) для регіону України (середньоширотної Європи).

Особистий внесок здобувача. Розв'язання задач, поставлених у дисертаційній роботі, виконано автором особисто або при його безпосередній участі. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в [1 – 24].

У роботах [1, 10, 12, 17, 18, 21] автор брав участь у аналізі експериментальних даних, отриманих на радарі НР в період з 1986 р. до 2002 р., для подальшого використання цих даних з метою побудови регіональної моделі іоносфери. Автором отримано регресійні залежності значень концентрації електронів N_m у максимумі області F2 іоносфери від рівня SA, виконано моделювання добових варіацій N_m залежно від рівня SA.

В роботах [2, 19, 22] автор брав участь в аналізі добових і сезонних варіацій параметрів геокосмічної плазми в період спаду SA. Автором також проведено теоретичне моделювання варіацій параметрів динамічних процесів у плазмі.

У роботах [3, 22] автор брав участь в аналізі, інтерпретації та моделюванні добових і сезонних варіацій параметрів геокосмоса в період максимуму 23-го циклу SA, а також у виявленні регіональних особливостей просторово-часового розподілу основних параметрів іоносфери.

У статтях [4, 22] автор брав участь в аналізі поведінки параметрів іоносферної плазми в період росту SA для чотирьох геофізичних періодів – весняного й осіннього рівнодень, літнього та зимового сонцестоянь, а також у проведенні теоретичного моделювання параметрів середовища та динамічних процесів, безпосередньо не вимірюваних на харківському радарі НР.

У роботах [11, 16, 23, 24] автором проведено аналіз добових і сезонних варіацій параметрів геокосмоса в період мінімуму 23-го циклу СА. Представлено елементи регіональної моделі іоносфери.

У статті [5] автор брав безпосередню участь у дослідженні варіацій параметрів плазми в період часткового сонячного затемнення 29 березня 2006 р., а також у оформленні результатів спостережень, аналізі та моделюванні ефектів затемнення Сонця в навколосемному середовищі над Харковом.

У статті [6] автором виконано аналіз іоносферних ефектів часткового сонячного затемнення 3 жовтня 2005 р. у Харкові. Проведено моделювання динамічних процесів у геокосмосі в період затемнення Сонця.

У роботах [7 – 9, 13 – 15, 20] автор брав безпосередню участь у дослідженні варіацій повного електронного вмісту (ПЕВ) над Харковом, в побудові карт ПЕВ для центрально-європейського регіону, а також у дослідженні хвильових процесів в навколосемному середовищі.

Апробація результатів дисертації. Результати, представлені в дисертаційній роботі, доповідалися на міжнародних, національних і місцевих конференціях, форумах, симпозіумах і семінарах. Усього опубліковано 29 тез доповідей на конференціях, основні з яких [15 – 24].

Міжнародні конференції. IRI-2005 Workshop “New satellite and ground data for IRI, and comparison with regional models” (Observatori de l'Ebre Roquetes, Spain, 2005); Международная конференция “Солнечно-земная физика” (Іркутськ, 2004 р.); XI, XII, XIII, XIV и XV Международная научно-практическая конференция: Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (Харків, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 pp.); Байкальская Молодежная Научная Школа по Фундаментальной Физике (Іркутськ, 2003, 2004, 2005 pp.); Второй Международный радиоэлектронный Форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ – 2005 (Международная конференция по системам локации и навигации. МКСЛН – 2005) (Харків, 2005 р.); XXI Всероссийская научная конференция по распространению радиоволн (Йошкар-Ола, 2005 р.); 6-th International conference “Problems of geocosmos” (St. Petersburg, Russia, 2006).

Національні конференції. II, III, IV, V, VI і VII Українська конференція з перспективних космічних досліджень (відповідно 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 pp.); Школа-семінар для молодих учених “Наукові космічні дослідження” (с. Жукин, Київська обл., відповідно 2003, 2004, 2005 pp.).

Місцеві конференції. III, IV і V Харківська конференція молодих учених “Радіофізика та НВЧ електроніка” (Харків, відповідно 2004, 2004, 2005 pp.).

Публікації. Основні результати дисертації викладено в 8 статтях у фахових вітчизняних і зарубіжних журналах та додатково висвітлено в 6 статтях у нефахових наукових виданнях і 10 тезах доповідей на конференціях різного рівня.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаної літератури, включає 21 таблицю та 81 рисунок. Перелік використаних джерел містить 129 бібліографічних посилань на 15 сторінках. Основний текст роботи викладено на

144 сторінках друкованого тексту. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 204 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **Вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, описано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також структуру та короткий зміст роботи.

У **першому розділі** представлено аналітичний огляд літератури, присвяченої моделюванню варіацій параметрів іоносферної плазми. Розглянуто типи іоносферних моделей і принципи їх побудови. Наведено приклади сучасних емпіричних, теоретичних і напівемпіричних моделей іоносфери, коротко дано їх опис. Визначено проблеми та задачі моделювання основних параметрів іоносферної плазми в спокійних умовах.

У розділі також наведено короткий опис технічних характеристик засобів радіозондування іоносфери – радара НР й іонозонда “Базис” Інституту іоносфери НАН і МОН України.

Харківський радар НР дозволяє одержувати з високою точністю (від одиниць процентів) і заданим розділенням по висоті (10 – 100 км) такі параметри іоносфери: концентрацію електронів N , температури іонів T_i та електронів T_e , вертикальну складову швидкості переносу плазми V_z і відносний іонний склад в діапазоні висот 100 – 1000 км.

У розділі також наведено аналіз похибок одержуваних даних.

У **другому розділі** представлено результати аналізу сезонно-добових варіацій параметрів іоносфери на різних фазах 23-го циклу сонячної активності (СА) (1997 – 2006 рр.) для чотирьох характерних геофізичних періодів: літнього й зимового сонцестоянь, весняного й осіннього рівнодень.

У табл. 1 наведено дати вимірювань на харківському радарі НР.

Таблиця 1.

Дати вимірів на харківському радарі НР

Зростання СА	Максимум СА	Спад СА	Мінімум СА
24 – 26.03.1998 р.	12 – 14.03.2002 р.	29 – 31.03.2004 р.	29 – 31.03.2006 р.
24 – 25.06.1997 р.	09 – 11.06.2000 р.	15 – 17.06.2004 р.	21 – 23.06.2006 р.
22 – 23.09.1998 р.	11 – 12.09.2001 р.	13 – 16.09.2004 р.	20 – 22.09.2006 р.
02 – 04.12.1997 р.	12 – 13.06.2000 р.	16 – 18.12.2003 р.	19 – 22.12.2006 р.

Для середніх широт центрально-європейського регіону підтверджено, що основні параметри геокосмічної плазми зазнавали значних добових і сезонних варіацій протягом 23-го циклу сонячної активності. Ці варіації не були монотонними.

Як і слід було сподіватися, на всіх фазах 23-го циклу СА варіації концентрації електронів на висотах нижче максимуму області F2 іоносфери як узимку, так і влітку залежали, в основному, від величини зенітного кута Сонця.

Вище максимуму іонізації істотну роль у формуванні профілю концентрації електронів відігравали потоки частинок й енергії. Існування локальних максимумів у нічні години можна пояснити потоками частинок із плазмосфери в іоносферу.

У максимумі СА в період літнього сонцестояння в денний час концентрація електронів N_{\max} була приблизно в 1,2 і 2,2 рази більше N_{\min} у мінімумі СА на висотах 300 і 400 км відповідно. У нічних умовах $N_{\max} > N_{\min}$ в 2,4 і 6,5 рази на висотах 300 і 400 км. У зимовий період удень $N_{\max} > N_{\min}$ в 5,9 і 3,6 рази, а в нічні години концентрації різняться в 1,5 і 2,8 рази на тих же висотах.

Для весняного рівнодення в денні години в період максимальної активності Сонця концентрація N в 5,8 і 9,4 рази перевищувала значення N у мінімумі СА на висотах 300 і 400 км. У період осіннього рівнодення розходження між значеннями N у максимумі та мінімумі СА в денні години становило 4,4 і 9,5 рази на тих же висотах. У нічні години в періоди рівнодень значення N у максимумі СА приблизно в 2,5 і 6,5 рази більше значень N у мінімумі СА.

Температура електронів на всіх фазах сонячного циклу зазнавала значних добових варіацій. У добових варіаціях T_i реєструвалися два максимуми – ранковий (09 – 11 LT) і вечірній (16 – 20 LT). Помічено, що зі збільшенням висоти положення цих максимумів зсувалися на більш ранні та пізні години відповідно. У добових варіаціях T_e також досить добре був виражений локальний мінімум в полуденні години, що обумовлено зростанням інтенсивності охолодження електронного газу в результаті збільшення концентрації частинок і швидкості передачі тепла від електронів до іонів у процесі електрон-іонних зіткнень.

Температура електронів у максимумі та мінімумі СА в періоди, близькі до весняного й осіннього рівнодень, у денні години розрізнялася не більш ніж в 1,3 – 1,5 рази. У нічні години значення T_e у максимумі СА перевищували значення T_e у період мінімуму приблизно в 1,7 рази. Улітку значення T_e у максимумі СА в денні години приблизно в 1,2 рази були більші значень T_e у мінімумі СА. Уночі значення $T_{e\max}$ були більші T_{emin} приблизно в 1,2 рази на висотах 300 і 400 км.

Для періоду зимового сонцестояння в мінімумі СА вдень значення T_e приблизно на 400 і 100 К були більші значень T_e у максимумі активності на висотах 300 і 400 км відповідно. У нічних умовах тенденція перевищення значень T_e у мінімумі активності над значеннями T_e у максимумі активності зберігалася та становила 120 – 150 К у діапазоні висот 300 – 400 км.

У добових варіаціях T_i явно виражені максимуми не виявлялися. Як і слід було сподіватися, температура іонів збільшувалася зі сходом Сонця в місці спостереження, досягала максимальних значень і зменшувалася після заходу Сонця.

Для періоду літнього сонцестояння в максимумі СА вдень значення T_i приблизно на 220 і 120 К були більші значень T_i у мінімумі СА на висотах 300 і 400 км. На тих же висотах у нічних умовах значення T_{imax} були більші T_{imin} приблизно на 220 – 230 К. Узимку в денний час значення $T_{imax} > T_{imin}$ приблизно на 250 – 330 К у діапазоні висот 300 – 400 км, уночі – приблизно на 120 – 200 К.

Параметри іоносферної плазми зазнавали значних варіацій залежно від сезону. Для середніх широт європейського регіону у варіаціях концентрації

електронів на висотах, близьких до висоти максимуму шару F2, мали місце сезонна та піврічна аномалії. Для періоду максимуму СА отримано, що зимові значення N_m перевищували літні приблизно в 2,5 – 3 рази. У мінімумі СА також мали місце ефекти сезонної аномалії. Установлено, що в мінімумі СА зимові полуденні значення N_m усього на 10 – 15 % були більші літніх. Зі збільшенням висоти та вночі ефекти сезонної аномалії не проявлялися.

Все це підтвердило існування ефекту піврічної аномалії, що полягає в перевищенні значень N у періоди рівнодень над значеннями концентрації електронів у періоди сонцестоянь. У період максимуму СА денні значення N_m у період весняного рівнодення перевищували зимові на 15 %, літні – на 78 %. Для мінімуму СА весняні й осінні значення N у максимумі області F2 іоносфери перевищували літні й зимові приблизно на 6 %.

Третій розділ присвячено моделюванню регулярних варіацій параметрів іоносферної плазми.

У даному розділі представлено результати аналізу даних харківського радара НР, використані для побудови моделі іоносфери над центрально-європейським регіоном. Для розв'язання поставленої задачі проаналізовано масив експериментальних даних НР із 1986 р. до 2002 р. Отримано регресійні залежності концентрації електронів N_m у максимумі шару F2 іоносфери від індексу СА $F_{10,7}$ для 00 і 12 годин місцевого часу. Проведено аналіз сезонних варіацій концентрації N_m у максимумі шару F2 іоносфери. Виявлено ряд регіональних особливостей поведінки N_m . Так, для опівнічних значень N_m спостерігався зсув літнього максимуму в сезонних варіаціях на 1 місяць під кінець року зі збільшенням рівня СА. Для полуденних значень N_m найбільш помітною особливістю сезонних варіацій був зсув рівноденних максимумів (особливо весняного) на початок року приблизно на 2 місяці з ростом СА.

Таким чином, установлено, що дані харківського радара НР доцільно використовувати для підвищення точності моделювання параметрів іоносфери над Центральною Європою. Отримані регресії дозволяють розраховувати значення N_m із задовільною точністю при відображенні основних особливостей сезонних варіацій N_m на різних фазах СА.

Як відомо, задача моделювання фізико-хімічних процесів в іоносфері є багатопланою. В одних випадках теоретичному моделюванню підлягають висотно-часові розподіли N , T_e , T_i та інших параметрів. Потім ці розподіли порівнюються з результатами спостережень.

В інших випадках теоретичне моделювання спрямоване на розрахунок параметрів нейтральної атмосфери та плазми, які безпосередньо не вимірюються методом НР. Такими параметрами є частоти зіткнень заряджених і нейтральних частинок, поздовжні компоненти тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності, величини енергії, яка підводиться до електронів, перенос тепла електронами то що.

У дисертаційній роботі основна увага приділяється другому напрямку, тому що він недостатньо представлений у літературі.

У розділі наведено результати моделювання добових і сезонних варіацій параметрів динамічних процесів з використанням експериментальних даних

харківського радара НР. Для розрахунків параметрів нейтральної атмосфери залучалася термосферна емпірична модель NRLMSISE.

При використанні відомих теоретичних співвідношень, розраховано такі параметри: густина повного потоку частинок і потоку частинок за рахунок амбіполярної дифузії; величини швидкостей еквівалентного нейтрального вітру та меридіональної складової нейтрального вітру; густина потоку тепла, яке переноситься електронами з плазмосфери в іоносферу; величина енергії, яка підводиться до електронного газу. Виконано розрахунок значень поздовжньої складової тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності електронного газу, частоти зіткнень електронів з іонами та іонів з нейтральними частинками.

Результати моделювання параметрів іоносферної плазми представлено в табличному вигляді. Кожна з таблиць являє собою добові варіації параметрів іоносфери на фіксованих висотах. До вихідних параметрів регіональної моделі належать:

1) первинні, одержувані з вимірювань, параметри середовища – концентрація електронів N , температури електронів T_e й іонів T_i , швидкість переносу плазми V_z ;

2) вторинні параметри середовища, що безпосередньо не вимірюються на радарі НР – частоти зіткнень заряджених і нейтральних частинок (ν_{ei} та ν_{in}), поздовжні складові тензорів амбіполярної дифузії D_a та теплопровідності κ_e , плазмова приведена висота H_p , плазмова температура T_p ;

3) модельні параметри динамічних процесів у геокосмосі – швидкість переносу частинок за рахунок амбіполярної дифузії V_{dz} , густина повного потоку частинок Π_p , густина потоку за рахунок амбіполярної дифузії Π_d , швидкості нейтральних вітрів (w та V_{nx}), підведення енергії до електронів Q і густина потоку тепла Π_T , яке переноситься електронами з плазмосфери в іоносферу.

У розділі також наведено похибки модельних параметрів геокосмічної плазми, що увійшли до регіональної напівемпіричної моделі іоносфери. У табл. 2 представлені результати розрахунку відносних статистичних похибок первинних і вторинних параметрів іоносфери для різних значень співвідношення сигнал/шум q і часу накопичення t_n .

Похибка розрахунку параметрів геокосмічної плазми за регіональною напівемпіричною моделлю, у першу чергу, залежить від похибки визначення первинних параметрів плазми (концентрації електронів, температури електронів й іонів, швидкості переносу плазми), одержаних безпосередньо в ході експерименту на радарі НР. Більш докладно ці похибки розглянуто в підпункті 1.2.3 і табл. 1.4 дисертаційної роботи.

Похибки параметрів динамічних процесів іоносферній плазмі розраховувалися з застосуванням методу переносу помилок і використанням даних про похибки первинних параметрів іоносфери.

Як і слід було сподіватися, що зі зменшенням співвідношення сигнал/шум має місце збільшення похибки визначення первинних параметрів іоносфери і, внаслідок цього, збільшення похибок розрахунку вторинних параметрів середовища (табл. 2). Так, наприклад, при зменшенні співвідношення q в 10 разів відносна похибка первинних і вторинних параметрів збільшується приблизно в

1,3 і 1,5 рази. При зменшенні q приблизно в 100 разів похибки для N , T_e і T_i збільшуються в 6,5, 4,9 і 7,3 рази відповідно. Для плазмової температури та приведеної висоти відносна похибка збільшується приблизно в 6,6 рази. Для частот зіткнень ν_{ei} і ν_{in} збільшення похибки становить 5,9 і 7,5 рази відповідно, для поздовжніх складових тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності збільшення відносної похибки склало 6,7 і 5,8 рази.

Таблиця 2.

Розрахунок відносних статистичних похибок первинних і вторинних параметрів іоносферної плазми для різних значень співвідношення сигнал/шум q і часу накопичення $t_n = 15$ хв

Похибки	$q = 10$	$q = 1$	$q = 0,2$
σ_N / N	0,026	0,039	0,169
σ_{T_e} / T_e	0,013	0,017	0,064
σ_{T_i} / T_i	0,022	0,035	0,161
σ_{V_z} / V_z	0,200	0,250	0,300
$\sigma_{V_{dz}} / V_{dz}$	0,069	0,104	0,459
σ_{H_p} / H_p	0,026	0,039	0,173
σ_{T_p} / T_p	0,026	0,039	0,173
$\sigma_{\nu_{ei}} / \nu_{ei}$	0,033	0,047	0,194
$\sigma_{\nu_{in}} / \nu_{in}$	0,008	0,013	0,060
σ_{D_a} / D_a	0,027	0,041	0,183
$\sigma_{\kappa_e} / \kappa_e$	0,044	0,063	0,256
σ_{Π_p} / Π_p	0,202	0,253	0,344
σ_{Π_d} / Π_d	0,073	0,111	0,489
σ_w / w	0,211	0,271	0,548
$\sigma_{V_{nx}} / V_{nx}$	0,211	0,271	0,548
σ_Q / Q	0,123	0,181	0,781
σ_{Π_T} / Π_T	0,064	0,092	0,383

У цілому ж, отримані значення похибок розрахунку параметрів іоносфери можна вважати прийнятними.

У розділі також представлено результати порівняльного аналізу варіацій параметрів середовища та динамічних процесів у геокосмосі на різних фазах 23-го циклу СА. Виявлено, що значення густини потоків заряджених частинок і тепла, величини енергії, яка підводиться до електронів, частоти зіткнень нейтральних і заряджених частинок, значення поздовжніх складових тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності зазнавали значних варіацій протягом циклу сонячної активності.

Отримано, що величини густини потоків заряджених частинок у максимумі СА приблизно в 5 – 7 разів були більші значень густини потоків частинок плазми в мінімумі СА як у періоди рівнодень, так і в періоди сонцестоянь. Величина енергії, яка підводиться до електронного газу, в період максимальної активності Сонця приблизно на 70 – 80 % була більше величини Q/N у період мінімуму СА.

Значення поздовжньої складової тензора амбіполярної дифузії D_a в період максимуму СА приблизно в 2,4 – 3,1 рази були більші значень D_a в мінімумі СА в денні години. В нічних умовах значення D_a в період мінімуму СА приблизно в 1,25 – 1,6 рази перевищували D_a в період максимуму СА для березня, вересня та грудня. Для періоду літнього сонцестояння розходження становило приблизно 3,2 рази.

В період максимуму СА значення поздовжньої складової тензора теплопровідності κ_e були приблизно на 30 – 60 % більші значень κ_e в мінімумі СА в періоди літнього сонцестояння й осіннього рівнодення. Для періодів зимового сонцестояння та весняного рівнодення мала місце протилежна ситуація. Значення κ_e в мінімумі СА були приблизно в 1,6 – 2,1 рази більше значень κ_e в період максимальної активності Сонця.

Частота зіткнень електронів з іонами в період максимуму СА приблизно в 7,5 разів була більша аналогічних значень у період мінімальної активності Сонця. У нічні години значення v_{ei} у максимумі СА перевищували значення в мінімумі СА не більш ніж в 1,5 рази. Для всіх сезонів у денний час доби $v_{inmax} > v_{inmin}$ приблизно в 2,5 – 3,8 рази. У нічних умовах частоти v_{in} у мінімумі та максимумі СА розрізнялися приблизно в 3 – 4 рази для всіх сезонів.

Четвертий розділ присвячено моделюванню нерегулярних варіацій фонових значень параметрів іоносферної плазми. До таких нерегулярних подій у геокосмічному середовищі можна віднести затемнення Сонця (ЗС).

Процеси в геокосмічній плазмі, що супроводжують ЗС, якісно подібні до процесів, що протікають у вечірньо-ранковий час. Спостереження при кожному ЗС дозволяють виявити та уточнити супутні динамічні процеси в геокосмосі. Ці процеси істотно впливають на параметри атмосферно-іоносферного каналу поширення радіохвиль у широкому діапазоні частот (від ДНЧ до УВЧ), а значить і на точність і якість функціонування радіоелектронних систем різного призначення.

У даному розділі представлено результати аналізу та моделювання ефектів у геокосмосі, що супроводжували два часткових сонячних затемнення 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р. Також представлено порівняльний аналіз ефектів в іоносфері, викликаних ЗС 11 серпня 1999 р., 31 травня 2003 р., 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р.

Затемнення Сонця 3 жовтня 2005 р. над Харковом було частковим. Воно почалося в 08:36 (тут і далі UT), а закінчилося в 10:42. Максимальне покриття диска Сонця спостерігалось в 09:38. Функція покриття диска Сонця не перевищувала 24 %, освітленість поверхні Землі й атмосфери зменшилася не більш ніж в 1,3 рази. Незважаючи на це, ефекти затемнення досить упевнено спостерігалися у варіаціях параметрів іоносферної плазми.

ЗС привело до зменшення на 5 – 6 % концентрації електронів у максимумі шару F2 іоносфери. Збільшення висоти цього шару, очевидно, не перевищувало декількох кілометрів. Установлено, що затемнення супроводжувалося уповільненням швидкості падіння N у часі на висотах 190 – 210 км й її прискоренням на висотах 290 – 680 км.

Під час затемнення 3 жовтня 2005 р. виявлено малоінерційне зменшення температури електронів і інерційне (із запізнюванням 25 – 5 хв на висотах 240 – 410 км відповідно) зменшення температури іонів. Величина цих ефектів поступово збільшувалася з зростання висоти. Зменшення T_e і T_i досягли відповідно 200 і 80 К (або ~ 10 і 8 %) на висоті близько 410 км.

Виявлено, що в день затемнення на висотах 360 – 470 км спостерігалось збільшення модуля спрямованої вниз вертикальної складової швидкості переносу плазми приблизно на 20 м/с. На відміну від контрольних днів поблизу моменту фази максимального покриття диска Сонця на всіх висотах згадана складова швидкості приймала негативні значення (як у нічний час).

Затемнення Сонця супроводжувалося збільшенням до двох разів концентрації іонів водню на висотах 400 – 800 км й її зменшенням в 7 – 10 разів на висотах 900 – 1200 км, що характерно для нічної іоносфери.

Ефекти ЗС 3 жовтня 2005 р. упевнено виявилися у варіаціях параметрів динамічних процесів в іоносферній плазмі. Показано, що на висотах 340 – 410 км ЗС супроводжувалося істотним збільшенням значень густини повного потоку плазми з плазмосфери. Затемнення супроводжувалося збільшенням на десятки процентів густини потоку заряджених частинок за рахунок амбіполярної дифузії.

Виявлено, що ЗС на висотах 290 – 340 км привело до зменшення на 40 – 20 % величини енергії, яка підводиться до електронів.

Показано, що величина густини потоку тепла, яке переноситься електронами, зменшувалася на 17 – 13 % на висотах 290 – 340 км відповідно.

Установлено, що ЗС супроводжувалося зменшенням температури нейтралів на 35 – 45 К на висотах 300 – 360 км. Затемнення викликало зменшення цієї температури, принаймні, на 5 – 15 К. Великомасштабний (порядку кілька тисяч кілометрів) спад температури газу в термосфері міг бути причиною змін хвильової активності в атмосфері та іоносфері, що й спостерігалось.

Продемонстровано, що на висотах 410 – 490 км протягом ЗС відбувалися істотні зміни компоненти швидкості вертикального переносу плазми за рахунок вітрового захоплення та електромагнітного дрейфу.

Аналіз даних експерименту та результатів моделювання показав, що навіть слабке часткове ЗС здатне привести до помітної перебудови фізичних процесів в атмосфері та іоносфері.

Затемнення Сонця 29 березня 2006 р. також було частковим. Максимальне покриття диска Сонця становило 77,4 %. При цьому освітленість поверхні Землі зменшилася більш, ніж в 5 разів. Затемнення над Харковом спостерігалось з 10:02 до 12:21 UT, максимальне покриття диска Сонця мало місце в 11:12 UT. Загальна тривалість часткового затемнення над Харковом склала 2 години 18 хв.

Затемнення 29 березня 2006 р. викликало в геокосмосі ряд складних динамічних процесів, що істотно впливають на параметри атмосферно-

іоносферного каналу поширення радіохвиль. Як і під час ЗС 3 жовтня 2005 р., варіації параметрів середовища якісно нагадували короточасну перебудову середовища до нічних умов і назад до денного. Під час ЗС спостерігалось зменшення критичної частоти шару F2 на 18 %, концентрації електронів у максимумі області F2 іоносфери на 33 %, збільшення висоти максимуму шару на 30 км.

Відзначено також зменшення температури електронів на 150 – 300 К і температури іонів на 100 – 200 К у діапазоні висот 210 – 490 км.

Збільшення відносної концентрації іонів водню $N(H^+)/N$ під час максимальної фази ЗС становило 25 і 20 % на висотах 900 і 1200 км відповідно.

ЗС 29 березня 2006 р. також істотно вплинуло на поведження параметрів процесів переносу заряджених частинок і енергії в іоносфері. Так, під час затемнення мало місце збільшення значень швидкості нейтрального вітру w та меридіональної швидкості нейтрального вітру V_{nx} до $-(40 - 20)$ м/с і $-(110 - 55)$ м/с відповідно в діапазоні висот 290 – 410 км. У момент ЗС величина густини потоку заряджених частинок збільшилася в порівнянні з контрольним днем приблизно на 60 і 40 % висотах 340 і 410 км відповідно.

Величина енергії, яка підводиться до електронного газу, Q/N зменшилася під час ЗС приблизно на 20 % на висоті 290 км, що добре пояснює причину зменшення температури електронів.

Зменшення величини густини потоку тепла, яке переноситься електронами з плазмосфери в іоносферу, під час ЗС на висоті 340 км склало близько 1,5 разів. Варіації P_T погоджуються з варіаціями температури електронів під час ЗС.

Порівняння затемнень Сонця 11 серпня 1999 р., 31 травня 2003 р., 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р. показало, що ефекти в іоносферній плазмі, що супроводжують розглянуті ЗС, якісно подібні. Однак у варіаціях параметрів середовища під час подібних за своїми характеристиками ЗС мали місце значні кількісні розходження. Природно, до таких розходжень приводило те, що ці затемнення мали місце в різних геліогеофізичних умовах (при низьких рівнях сонячної й магнітної активностей, у різний час доби і т. д.). Таким чином, підтверджено, що кожне ЗС має свої індивідуальні особливості.

ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано актуальну задачу побудови регіональної напівемпіричної моделі іоносфери за даними радара НР у Харкові, яка може бути використана для більш точного розрахунку умов поширення радіохвиль у центрально-європейському регіоні, що дозволить зменшити потужність радіопередавальних пристроїв, поліпшити завадостійкість засобів радіозв'язку, радіолокації та радіонавігації, а також для розв'язання задач моделювання стану космічної погоди.

Основні результати роботи полягають у такому:

1. Отримано регресійні залежності концентрації електронів від індексу SA $F_{10,7}$ для 00 і 12 годин місцевого часу. Отримано аналітичну залежність, що описує добові варіації N_m для різних рівнів SA.

2. Отримано кількісні характеристики добових і сезонних варіацій основних параметрів геокоосмічної плазми в діапазоні висот 100 – 1000 км в 1997 – 2006 рр.

3. Проаналізовано добові та сезонні варіації параметрів геокоосмічної плазми в періоди, близькі до весняного й осіннього рівнодень, зимового та літнього сонцестоянь на різних фазах 23-го циклу СА. Для середніх широт центрально-європейського регіону підтверджено, що основні параметри геокоосмічної плазми зазнають значних і немонотонних добових і сезонних варіацій протягом циклу сонячної активності. Визначено межі цих варіацій.

Підтверджено існування сезонної та піврічної аномалій у варіаціях концентрації електронів на висотах, близьких до висоти максимуму шару F2 іоносфери.

4. Побудовано регіональну напівемпіричну модель іоносфери за даними радара НР у Харкові, що дозволяє розраховувати основні параметри іоносфери, а також параметри динамічних процесів у плазмі. Дану модель рекомендується використовувати для оцінки стану та прогнозу космічної погоди, для більш точного розрахунку умов поширення радіохвиль різних діапазонів у центрально-європейському регіоні, що дозволить зменшити потужність радіопередавальних пристроїв, поліпшити завадостійкість засобів радіозв'язку, радіолокації та радіонавігації, знизити електромагнітне “забруднення” навколишнього середовища тощо.

5. Досліджено ефекти рідкісних подій у навколоземному космічному просторі – часткових сонячних затемнень 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р. Установлено, що ефекти ЗС досить упевнено спостерігалися у варіаціях параметрів іоносферної плазми в діапазоні висот 200 – 1200 км. Виявлено зменшення концентрації електронів, температури електронів й іонів на висотах 200 – 700 км, а також збільшення концентрації іонів водню у діапазоні висот 900 – 1200 км.

6. Виконано моделювання варіацій параметрів динамічних процесів у середовищі під час ЗС 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р. Показано, що ефекти ЗС привели до помітної перебудови фізичних процесів у плазмі. Варіації параметрів іоносфери під час ЗС якісно подібні варіаціям у ранкові та вечірні години.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дзюбанов Д. А., Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Моделирование полуденных значений электронной концентрации в максимуме области F2 ионосферы по данным Харьковского радара некогерентного рассеяния // Космічна наука і технологія.–2004.–Т. 10, № 2/3.–С. 28–35.
2. Ляшенко М. В., Склярів И. Б., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период спада солнечной активности // Космічна наука і технологія.–2006.–Т. 12, № 2/3.–С. 45–58.
3. Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период максимума солнечной активности // Космічна наука і технологія.–2006.–Т. 12, № 4.–С. 56–70.

4. Ляшенко М. В., Пуляев В. А., Черногор Л. Ф. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период роста солнечной активности // *Космічна наука і технологія*.—2006.—Т. 12, № 5/6.—С. 58–68.
5. Бурмака В. П., Григоренко Е. И., Емельянов Л. Я., Лысенко В. Н., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Радарные наблюдения эффектов в геокосмосе, вызванных частным солнечным затмением 29 марта 2006 г. // *Успехи современной радиоэлектроники*.—2007.—№ 3.—С. 38–53.
6. Бурмака В. П., Лысенко В. Н., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 1. Результаты наблюдений // *Космічна наука і технологія*.—2007.—Т. 13, № 6.—С. 74–86.
7. Taran V. I., Zakharov I. G., Tyrnov O. F., Lyashenko M. V. Spatial and temporal distribution of the total electron content inferred from beacon-satellite observations and Kharkiv incoherent scatter radar data // *Adv. Space Res.*—2007.—Vol. 39, № 5.—P. 803–807.
8. Захаров И. Г., Ляшенко М. В., Тырнов О. Ф. Вариации ионосферных параметров в возмущенных условиях, зарегистрированные на Харьковском радаре НР // *Космічна наука і технологія*. Додаток до журналу.—2003.—Т. 9, № 2.—С. 48–52.
9. 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.
10. Ляшенко М. В. Моделирование сезонных вариаций электронной концентрации в максимуме области F2 ионосферы для 00 и 12 часов местного времени // *Радиофизика и электроника*. Сборник научных трудов ИРЭ НАНУ.—2005.—Т. 10, № 2.—С. 212–216.
11. Дзюбанов Д. А., Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Вариации электронной концентрации ионосферы в спокойных условиях по данным харьковского радара НР // *Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”*. Тематический выпуск “Радиофизика и ионосфера”.—2003.—Т. 4, вып. 7.—С. 31–34.
12. Дзюбанов Д. А., Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Регрессионные зависимости электронной концентрации области F2 ионосферы от солнечной активности по данным Харьковского радара некогерентного рассеяния // *Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”*. Тематический выпуск “Радиофизика и ионосфера”.—2004.—№ 23.—С. 19–24.
13. Ляшенко М. В. Квазипериодические возмущения в среднеширотной ионосфере по данным радара некогерентного рассеяния в Харькове и мировой сети ионозондов // *Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”*. Тематический выпуск “Радиофизика и ионосфера”.—2004.—№ 23.—С. 69–72.
14. Захаров И. Г., Ляшенко М. В., Федоренко В. Н. Построение карт полного электронного содержания ионосферы по регистрациям сигналов ИСЗ и по данным

радары НР в Харькове // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. Тематический выпуск “Системный анализ, управление и информационные технологии”.—2005.—№ 18.—С. 71–76.

15. Ляшенко М. В. Волновые возмущения в термосфере по данным Харьковского радара НР и мировой сети ионозондов в течение 1997–2002 гг. // Труды VI Сессии молодых ученых “Волновые процессы в проблеме космической погоды”, БШФФ-2003.—Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2003.—С. 49–51.

16. Дзюбанов Д. А., Емельянов Л. Я., Ляшенко М. В. Характеристики рекомбинационных процессов в ночной F-области ионосферы по данным некогерентного рассеяния / Космічна наука і технологія. Додаток до журналу. Матеріали Другої конференції з перспективних космічних досліджень (21 – 27 вересня 2002 р.).—2003.—Т. 9, № 2.—С. 106–108.—1 електрон. опт. диск (CD-ROM): кольор; 12 см.—Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP.—Заголовок з титул. екрану.

17. Ляшенко М. В. Моделирование сезонных вариаций полуденных значений электронной концентрации в максимуме области F2 ионосферы // Труды VII Конференции молодых ученых “Взаимодействие полей и излучения с веществом”, БШФФ-2004.—Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2004.—С. 144–147.

18. Дзюбанов Д. А., Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Моделирование электронной концентрации в максимуме области F2 ионосферы по данным радара некогерентного рассеяния в Харькове // Распространение радиоволн: Сб. докладов XXI Всероссийской научной конференции. В 2-х т. Йошкар-Ола, 25–27 мая 2005 г.—Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005.—С. 190–193.

19. Ляшенко М. В. Вариации параметров ионосферной плазмы в период спада 23-го цикла солнечной активности // Труды VIII Конференции молодых ученых “Астрофизика и физика околоземного космического пространства”, БШФФ-2005.—Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2005.—С. 108–112.

20. Taran V. I., Zakharov I. G., Tyrnov O. F., Lyashenko M. V. Spatial and temporal distribution of the total electron content inferred from beacon-satellite observations and Kharkiv incoherent scatter radar data: Misrepresentation by the IRI-2001 // IRI-2005 Workshop “New satellite and ground data for IRI, and comparison with regional models”. Observatori de l'Ebre Roquetes, Spain, 27 June – 1 July 2005.—P. 21.

21. Dzyubanov D. A., Lyashenko M. V., Zakharov I. G. Diurnal variations of electron density in f2-region ionospheric maximum modeling according to Kharkov incoherent scatter radar data // 6-th International conference “Problems of geocosmos” (May 23 – 27, 2006), St. Petersburg University (SPbU), St. Petersburg, Russia. Book of Abstracts.— P. 198–199.

22. Chernogor L. F., Emel'yanov L. Ya., Lyashenko M. V. Diurnal and seasonal variations of main ionospheric parameters on 23-th solar activity cycle // 6-th International conference “Problems of geocosmos” (May 23 – 27, 2006), St. Petersburg University (SPbU), St. Petersburg, Russia. Book of Abstracts.— P. 185–186.

23. Ляшенко М. В. Полуэмпирическая модель параметров динамических процессов в геокосмической плазме (100–1000 км) // Международная Байкальская Молодежная Научная Школа по Фундаментальной Физике. IX Конференция

молодых ученых “Физические процессы в космосе и околоземной среде”, 11 – 16 сентября 2006 г. Программа и тезисы докладов.– Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2006.–С. 62–63.

24. Емельянов Л. Я., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Вариации параметров геокосмической плазмы в период минимума 23-го цикла солнечной активности // VII Украинская конференция по космическим исследованиям, 3 – 8 сентября 2007 г. Сборник тезисов.–Крым, Евпатория: Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 2007–С. 117.

АНОТАЦІЇ

Ляшенко М. В. Регіональна модель іоносфери за даними харківського радару некогерентного розсіяння.–Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика. – Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України, м. Харків, 2008.

Одержано кількісні характеристики добових та сезонних варіацій концентрації електронів, температур електронів і іонів на різних фазах 23-го циклу сонячної активності у періоди, близькі до весняного та осіннього рівнодень, зимового та літнього сонцестоянь.

Виконано детальний аналіз добових та сезонних варіацій основних параметрів геокосмічної плазми на різних фазах 23-го циклу сонячної активності. Виявлено та підтверджено існування сезонної та піврічної аномалій у варіаціях концентрації електронів на висотах, близьких до висоти максимуму області F2 іоносфери.

Побудовано регіональну напівемпіричну модель іоносфери, яка включає в себе дані про концентрацію частинок, температури електронів та іонів, швидкість переносу плазми, а також густину повного потоку частинок, густину потоку частинок за рахунок амбіполярної дифузії, швидкості нейтральних вітрів в іоносфері, густину потоку тепла, яке переноситься електронами та величину енергії, що підводиться до електронного газу. Також модель включає дані про величини повздовжньої складової тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності електронного газу, частоти зіткнень заряджених і нейтральних частинок.

Виконано спостереження, аналіз і моделювання ефектів у геокосмосі, які супроводжували затемнення Сонця 3 жовтня 2005 р. та 29 березня 2006 р. Виявлено особливості варіацій параметрів геокосмічної плазми, супутніх цим затемненням Сонця.

Ключові слова: геофізика, геокосмічна плазма, іоносферне моделювання, регіональна модель іоносфери.

Ляшенко М. В. Региональная модель ионосферы по данным харьковского радара некогерентного рассеяния.—Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 04.00.22 – геофизика. – Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков, 2008.

Диссертационная работа посвящена построению региональной полуэмпирической модели ионосферы по данным харьковского радара некогерентного рассеяния (НР). Для достижения цели в работе решаются следующие задачи: анализ состояния ионосферы и космической погоды над Украиной в течение цикла солнечной активности (1997 – 2006 гг.); физическое истолкование наблюдаемых физических процессов и явлений; полуэмпирическое моделирование параметров ионосферы.

В работе представлен аналитический обзор литературы, посвященной моделированию параметров ионосферы, рассмотрены типы ионосферных моделей, принципы их построения, определены проблемы и задачи моделирования основных параметров ионосферной плазмы в невозмущенных условиях, а также приведено краткое описание технических характеристик средств радиозондирования ионосферы – радара НР и ионозонда “Базис”.

Представлены результаты анализа сезонно-суточных вариаций параметров ионосферы в течение 23-го цикла солнечной активности (СА) (1997 – 2006 гг.) для четырёх характерных геофизических периодов – летнего и зимнего солнцестояний, весеннего и осеннего равноденствий. Получены количественные характеристики суточных и сезонных вариаций концентрации электронов, температур электронов и ионов на разных фазах 23-го цикла СА. Выполнен детальный анализ суточных и сезонных вариаций основных параметров геокосмической плазмы на разных фазах 23-го цикла солнечной активности. Обнаружено и подтверждено существование сезонной и полугодовой аномалий в вариациях концентрации электронов на высотах, близких к высоте максимума области F2 ионосферы.

Выполнено моделирование регулярных вариаций параметров ионосферной плазмы. Представлены результаты анализа данных харьковского радара НР, использованные для построения модели ионосферы над центрально-европейским регионом. Для решения поставленной задачи проанализирован массив экспериментальных данных НР с 1986 по 2002 гг. Получены регрессионные зависимости концентрации электронов N_m в максимуме области F2 ионосферы от индекса СА $F_{10,7}$ для 00 и 12 часов местного времени. Проведен анализ сезонных вариаций концентрации N_m в максимуме области F2 ионосферы. Выявлен ряд региональных особенностей поведения N_m . Установлено, что данные радара НР в Харькове целесообразно использовать для повышения точности моделирования параметров ионосферы над центральной Европой. Полученные регрессии позволяют рассчитывать значения N_m с удовлетворительной точностью при отражении основных особенностей сезонных вариаций N_m для разных уровней СА.

В диссертационной работе приведены результаты моделирования суточных и сезонных вариаций параметров динамических процессов с использованием

экспериментальных данных харьковского радара НР. Также для расчетов параметров нейтральной атмосферы привлекалась модель NRLMSISE-00.

Представлено описание разработанной региональной полуэмпирической модели ионосферы, включающая в себя данные о концентрации частиц, температурах электронов и ионов, скорости переноса плазмы, а также плотности полного потока частиц, плотности потока частиц за счёт амбиполярной диффузии, скоростях нейтральных ветров в ионосфере, плотности потока тепла, переносимого электронами и величине энергии, подводимой к электронному газу. Также модель включает данные о величинах продольной составляющей тензоров амбиполярной диффузии и теплопроводности электронного газа, частотах соударений заряженных и нейтральных частиц. Приведены погрешности моделируемых параметров геокосмической плазмы, вошедших в региональную полуэмпирическую модель ионосферы.

Представлены результаты сравнительного анализа вариаций параметров среды и динамических процессов в геокосмосе на разных фазах 23-го цикла СА. Выявлено, что значения плотностей потоков заряженных частиц и тепла, величины энергии, подводимой к электронам, частоты соударений нейтральных и заряженных частиц, значения продольных составляющих тензоров амбиполярной диффузии и теплопроводности испытывали значительные вариации в течение цикла СА.

В работе представлены результаты анализа временных вариаций и моделирования параметров ионосферной плазмы во время уникальных событий в геокосмической среде – затмений Солнца (ЗС). Выполнены наблюдения, анализ и моделирование эффектов в геокосмосе, вызванных частными ЗС 3 октября 2005 г. и 29 марта 2006 г. Выявлены особенности вариаций параметров геокосмической плазмы, сопутствующие этим затмениям Солнца.

Представлен сравнительный анализ эффектов в ионосфере, вызванных ЗС 11 августа 1999 г., 31 мая 2003 г., 3 октября 2005 г. и 29 марта 2006 г.

Ключевые слова: геофизика, геокосмическая плазма, ионосферное моделирование, региональная модель ионосферы.

Lyashenko M. V. Regional Model of Ionosphere Based on the Kharkov Incoherent Scatter Radar Database.—Manuscript.

Thesis for scientific degree of the candidate of physical and mathematical sciences on the speciality 04.00.22 – geophysics. – Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkov, 2008.

Quantitative characteristics of diurnal and seasonal variations of electron density, ion and electron temperatures on different 23-th solar activity phases for winter and summer solstices, vernal and autumnal equinoxes are obtained.

Detailed analysis of diurnal and seasonal variations of the main geospace plasma parameters on 23-th solar cycle period is carried out. Seasonal and semi-annual anomalies occurred in the electron density variations at the height near ionospheric F2-region maximum height are revealed and confirmed.

Regional semi-empirical model of the ionosphere is developed. This model includes particle densities, electron and ion temperatures, plasma drift velocity and heat

and particles fluxes, values of input energy to electron gas data as well as thermospheric winds values, ion-electron and ion-neutral collision frequencies, heat conductivity and ambipolar diffusion tensors, ionospheric scale height data.

Observations, analysis and modeling of effects caused in geospace by the partial solar eclipses on October 3, 2005 and on March 29, 2006 are carried out. Geospace plasma parameters variations features during solar eclipses are revealed.

Key words: geophysics, geospace plasma, ionospheric modeling, regional ionospheric model.