

ВІДГУК

офіційного опонента
Розуменко Віктора Тимофійовича
на дисертаційну роботу Резниченко Марини Олексіївни
«Прояви слабких варіацій космічної погоди в системі іоносфера-плазмосфера:
результати спостережень та моделювання», яка
представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі
науки).

Актуальність теми дисертації

Прогнозування космічної погоди та моделі навколоземного середовища важливі для прогнозування негативного впливу навколоземного середовища на функціонування систем телекомунікації, радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії і дистанційного радіозондування. Варіації в космічній погоді поблизу Землі викликані процесами, які зумовлюють магнітосферно–іоносферну взаємодію. Заряджені частинки **прив'язані** до сильного магнітного поля Землі, і на їх рух впливають електричні поля, які генеруються в магнітосфері та в динамо області, коли нейтральні частинки рухаються поперек магнітного поля, а зіткнення нейтральних частинок з іонами зумовлюють взаємодію їх рухів. Таким чином, потрібно знати, як поведінка електричних і магнітних полів поблизу поверхні Землі та в глибокому геокосмосі призводять до глибоких наслідків в поведінці нейтральної атмосфери та плазми в іоносфері і навпаки. До останнього не зовсім зрозумілими були процеси, які протікали за слабо збурених умов, що зумовлювало значні похибки прогнозування та моделей відносної концентрації іонів водню. Для розв'язання цієї наукової задачі особливо підходять спостереження, які проводяться в Інституті іоносфери НАН та МОН України єдиним в середніх широтах Європи радаром некогерентного розсіювання та іонозондом. Оскільки проведене в дисертації дослідження присвячено саме тому, як динаміка сонячної активності впливає на фізичні процеси магнітосферно–іоносферно–термосферної взаємодії за помірно збурених умов, то **тема дисертації є актуальною.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у науково-дослідних роботах Інституту іоносфери НАН і МОН України. Зокрема, в роботах “Дослідження сезонних особливостей іоносферних проявів геокосмічних бур над Антарктидою та Україною”, № ДР 0119U103572 (2019 р.); “Дослідження системи іоносфера-плазмосфера над Антарктидою та Україною в періоди зі спокійною космічною погодою”, № ДР 0120U104549 (2020 р.) авторка була відповідальним виконавцем. У роботах “Моделювання просторово-часових варіацій параметрів плазми та фізичних процесів в геокосмосі над Україною у

рамках розвитку регіональної моделі іоносфери”, № ДР 0118U003831 (2018 – 2020 рр.) та “Дослідження повільних змін плазмосфери: нові результати для безпеки в космосі і на Землі”, № ДР 0119U100032 (2019 – 2021 рр.) авторка була виконавцем.

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є дослідження впливу слабких змін космічної погоди на систему іоносфера-плазмосфера за допомогою моделювання фізичних процесів та комплексних експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети передбачалося розв'язання таких задач:

1. Обробка та аналіз експериментальних даних, отриманих за допомогою метода некогерентного розсіяння, а також супутникового моніторингу для періодів до, під час та після слабких геокосмічних бур.

2. Порівняльний аналіз даних експериментальних досліджень висотно-часових варіацій параметрів іоносферної плазми з розрахунками емпіричних моделей.

3. Проведення моделювання іоносфери та плазмосфери з використанням унікальних можливостей фізичної моделі (FLIP), яка в якості вхідних параметрів може використовувати результати спостережень.

4. Встановлення ключових фізичних механізмів, що призводять до змін у системі іоносфера-плазмосфера.

Об'єкт дослідження – геокосмічна плазма та процеси в ній в діапазоні висот 200–7000 км.

Предмет дослідження – варіації в системі іоносфера-плазмосфера, викликані впливом слабких збурень космічної погоди та фізичні механізми, відповідальні за ці варіації.

Методи дослідження. Спостереження стану іоносфери в періоди слабких змін космічної погоди виконані методами некогерентного розсіяння (НР) та вертикального зондування іоносфери (ВЗІ). Для аналізу результатів спостережень використовувалися методи математичної статистики та статистичної радіофізики. Обробку експериментальних даних проведено за допомогою оригінального програмного забезпечення, розробленого в Інституті іоносфери (модернізований пакет UPRISE). Дослідження фізичних механізмів, відповідальних за спостережувані зміни в системі іоносфера-плазмосфера, виконувалися за допомогою фізичного моделювання системи іоносфера-плазмосфера. Особливістю методики моделювання є використання результатів іоносферних спостережень у якості вхідних параметрів для фізичної моделі Field Line Interhemispheric Plasma (FLIP). Перевірка змодельованих варіацій параметрів плазмового середовища проводилася шляхом порівняння з даними супутникових спостережень параметрів іоносфери та плазмосфери.

Наукова новизна одержаних результатів.

Офіційний опонент погоджується з основними положеннями наукової новизни дисертації представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

1. Вперше продемонстровано, що навіть слабкі варіації космічної погоди здатні призводити до значної перебудови взаємодії в системі іоносфера – плазмосфера, викликаючи, зокрема, сильну модуляцію іоносферно-плазмосферних потоків іонів водню (H^+).

2. За допомогою фізичного моделювання встановлено механізми, відповідальні за зміни у взаємодії іоносфери та плазмосфери. Головними причинами змін є вертикальний рух іоносфери або часткове спустошення плазмосфери.

3. Встановлено, що найбільш чутливим до слабких змін космічної погоди параметром іоносферної плазми є відносна концентрація іонів водню H^+ . Ця знахідка дозволила пояснити багаторічну проблему низьких прогностичних можливостей моделі іонного складу зовнішньої іоносфери міжнародного емпіричного стандарту International Reference Ionosphere.

Практичне значення отриманих результатів полягає в отриманні нових даних та знань про реакцію системи іоносфера-плазмосфера на слабкі зміни космічної погоди сприятимуть поглибленню розуміння впливу Сонця на навколоземний космічний простір та дозволять **просунутися** у розв'язанні актуальних проблем прогнозування космічної погоди та корегування моделей навколоземного плазмового середовища задля достовірного прогнозування негативного впливу іоносфери та плазмосфери на рух та функціонування космічних апаратів, супутникових систем зв'язку, радіолокації та глобального позиціонування.

Особистий внесок здобувача полягає в розв'язанні задач, поставлених у дисертаційній роботі, виконано авторкою особисто або за її безпосередньої участі. Авторка брала безпосередню участь в обробці та аналізі експериментальних даних, одержаних за допомогою радару некогерентного розсіювання Інституту іоносфери, супутникових даних, займалась фізичним моделюванням системи іоносфера–плазмосфера, брала участь в інтерпретації результатів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та методи досліджень.

Всі наукові результати та положення, які містяться в дисертаційній роботі, достатньо науково обґрунтовані, а отримані висновки і наведені рекомендації носять практичний характер та достовірні. Обґрунтованість досліджень, та сформульованих у дисертаційній роботі висновків і рекомендацій підтверджується виконанням досліджень із застосуванням

відомих аналітичних та числових методів, коректними припущеннями та постановкою завдань, збігом теоретичних досліджень та результатів обчислень та моделювання, опублікуванням результатів роботи та їх обговоренням на наукових конференціях.

Основний зміст дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості стосовно апробації роботи і публікацій результатів досліджень.

У розділі 1 наведено огляд сучасних уявлень про сонячно-земні зв'язки та основні фізичні механізми, що визначають космічну погоду, наведено опис процесу збурення геомагнітного поля та класифікацію геокосмічних бур за геомагнітними індексами, описано загальну структуру іоносфери та плазмосфери Землі та розглянуто основні драйвери збурень в іоносфері та плазмосфері. Окремо представлено аналіз сучасного стану досліджень навколоземного космічного середовища, методів та засобів його діагностики (дистанційних радіофізичних та супутникових), а також сучасних моделей іоносфери та плазмосфери. Обґрунтовано вибір проблематики досліджень, необхідність і актуальність вирішення завдань дисертаційної роботи.

У розділі 2 представлено результати аналізу часових варіацій параметрів плазмового оточення Землі, отриманих за допомогою радару некогерентного розсіяння Інституту іоносфери до, під час та після слабких варіацій космічної погоди в різні сезони на різних фазах циклу сонячної активності (23-го та 24-го). Виконано порівняльний аналіз результатів спостережень відносного вмісту іонів водню з оцінками міжнародної моделі іонного складу IRI-2016/TBT-2015.

Отримано наступні результати:

- виявлено, що для більшості досліджуваних періодів слабкі варіації космічної погоди не призводять до істотних змін у варіаціях концентрації електронів в області максимуму іонізації іоносфери та зовнішній іоносфері; виключенням є період у грудні 2017 р., для якого концентрація плазми у нічні години після слабого геомагнітного збурення зменшилася удвічі;

- виявлено, що протягом усіх досліджених періодів, що супроводжувалися слабкими змінами космічної погоди, не відбувалося істотних змін у варіаціях температур електронів; це свідчить про відсутність значного посилення кільцевого струму, який міг би вплинути на варіації концентрації електронів в області F_2 та у зовнішній іоносфері;

- знайдено, що, на противагу іншим параметрам плазми, відносна концентрація іонів водню у зовнішній іоносфері значно змінювалася під час слабких збурень космічної погоди. Відносна концентрація іонів водню може змінюватися до 2–3 разів навіть при дуже слабкому посиленні геомагнітної

активності ($K_p \leq 3$), причому посилення геомагнітної активності призводить до зменшення $N(H^+)/N$, а послаблення – до збільшення;

- виявлено, що найкраща узгодженість між результатами спостережень та модельними оцінками відносного вмісту іонів H^+ має місце при посиленій геомагнітній активності; розбіжності збільшуються зі зменшенням магнітної активності.

У розділі 3 проведено моделювання фізичних процесів в системі іоносфера-плазмосфера, в тому числі з використанням даних радара НР Інституту іоносфери. Отримано наступні результати:

- продемонстровано, що навіть слабкі варіації космічної погоди здатні призводити до значної перебудови взаємодії в системі іоносфера – плазмосфера. Ця перебудова відбувається внаслідок значної модуляції іоносферно-плазмосферних потоків іонів водню;

- встановлено ключові фізичні механізми, відповідальні за зміни у взаємодії іоносфери та плазмосфери, та зв'язок цих механізмів зі слабкими варіаціями космічної погоди. Головними причинами змін вертикального руху плазми, що спричиняє модуляцію потоків іонів водню під час збурень космічної погоди, можуть бути два головних фактори: посилення горизонтальних термосферних вітрів, спрямованих до екватору вночі (внаслідок розігріву авроральних зон), та проникнення зональних магнітосферних електричних полів в середні широти;

- проведено перевірку змодельованих варіацій параметрів іоносфери та плазмосфери шляхом порівняння з даними спостережень за допомогою радара НР, а також з даними супутникових спостережень параметрів іоносфери та плазмосфери

- пояснено головні причини значних відмінностей між спостережуваними варіаціями $N(H^+)/N$ та прогнозами моделі іонного складу IRI-2016/TBT-2015 в спокійних геомагнітних умовах;

- проведено дослідження варіацій іоносферної плазми в двох віддалених регіонах Північної півкулі – європейському (Харків, Україна) та азійському (Шигаракі, Японія). Встановлено, що різна реакція іоносфери на слабкі варіації космічної погоди над Центральноєвропейським та азійським регіонами може бути пояснена ефектом місцевого часу. Результати проведеного моделювання узгоджуються з даними супутникових спостережень параметрів іоносфери (Swarm) та плазмосфери (DMSP).

У висновку зазначено, що дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі геофізики, яка полягає в дослідженні проявів слабких варіацій космічної погоди в системі іоносфера-плазмосфера. Зроблено узагальнення результатів досліджень.

Оцінка змісту та оформлення дисертації.

За змістом відповідають встановленим вимогам з атестації кадрів щодо обсягу і структури.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається із анотації двома мовами, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг становить 124 сторінки, з них: 30 рисунків по тексту; 5 рисунків на 5 окремих сторінках; 3 таблиці по тексту; список використаних джерел з 144 найменувань на 18 сторінках; 2 додатки на 10 сторінках.

Апробація результатів дисертації. Результати, представлені в дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на міжнародних конференціях, школах і семінарах.

Міжнародні конференції. EGU General Assembly (м. Відень, Австрія, 2017 р., 2018 р. та 2020 р.); IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (“ELNANO-2018”) (Київ, 2018 р.); COSPAR 2018 42-nd Assembly (м. Пасадена, США, 2018 р.); IX та X Міжнародна антарктична конференція (Київ, 2019 р. та 2021 р.); Beacon Satellite Symposium (м. Ольштин, Польща, 2019 р.); International Reference Ionosphere Workshop (м. Нікосія, Кіпр, 2019 р.); American Geophysical Union Fall Meeting (м. Сан-Франциско, США, 2019 р.); XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (м. Харків, Україна, 2019 р.); XXIX Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD – 2021) (м. Харків, Україна, 2021 р.)

Публікації. Основні наукові результати опубліковані в 21 науковій праці, серед яких: 3 статті у міжнародних рецензованих журналах, що відносяться до квартилю Q1 за класифікацією Scimago Journal Ranking і входять до бази Scopus, одна у науковому фаховому виданні України, 12 у матеріалах міжнародних та вітчизняних конференцій і семінарів. Додатково наукові результати дисертації відображені в 4 статтях та у одній колективній монографії.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Враховуючи вище наведене, слід вважати ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій такою, що відповідає вимогам щодо дисертаційних робіт, представленим на отримання наукового ступеня доктора філософії.

Зауваження до змісту дисертації.

Дисертація Резниченко М. О. містить певні недоліки.

1. Літературні джерела далеко не повні. Наприклад, (стор. 5), заява авторки про те, що "Дослідженням проявів космічної погоди (геокосмічних бур) у навколоземному космічному просторі присвячена велика кількість робіт" зроблена голосливо.

В той же час головні праці з цієї «великої кількості робіт» та їх аналіз за 1974–2014 рр. можна знайти в колективній монографії "Magnetosphere-Ionosphere Coupling in the Solar System, Charles R. Chappell, Robert W. Schunk, Peter M. Banks, Richard M. Thorne, James L. Burch, John Wiley & Sons, 2016, 414 pp., ISBN: 978-1-119-06677-4 або <https://www.wiley.com/en-us/Magnetosphere+Ionosphere+Coupling+in+the+Solar+System-p-9781119066774>, яка описує розвиток уявлень про іоносферно–магнітосферну взаємодію впродовж сорока років.

2. На стор. 29 перелічені рівняння, які використовує авторка "розв'язуючи рівняння **неперервності та переносу** для електронів і іонів різних типів, а також рівняння теплового балансу [110 – 112]", тоді як треба було "розв'язуючи рівняння **нерозривності та переносу імпульса** для електронів і іонів різних типів, а також рівняння теплового балансу [110 – 112]" і т.п.

3. При порівнянні експериментальних результатів і розрахунків зустрічаються емоційні оцінки без наведення числових характеристик. Так, наприклад, на стор. 73 фраза «модель FLIP **дуже добре** відтворює варіацію концентрації іонів H^+ » про верхню панель рис. 3.8 на стор. 74. Таке ж зауваження можна зробити з приводу подібної фрази на стор. 75 «результати дуже добре узгоджується з результатами спостережень» про рис. 3.9 на стор. 76. Тоді, як потрібно наводити якісь числові, наприклад, середньостатистичні оцінки, а не обмежуватися емоційними оцінками, яких слід уникати в наукових працях.

4. На стор. 31 авторка заявляє, що "**зазвичай** ефекти збурень космічної погоди в іоносфері та плазмосфері розглядаються окремо", що дивно чути в 2021 р., оскільки їх почали розглядати разом ще в 1974 р. (див. розділ 1 "Magnetosphere–Ionosphere Coupling, Past to Future" (та URL: <http://dx.doi.org/10.15142/T3J01P>), написаний J. L. Burch в колективній монографії, посилання на яку зроблено в першому зауваженні вище.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

Висновок

Представлена дисертація Резниченко М. О. «Прояви слабких варіацій космічної погоди в системі іоносфера-плазмосфера: результати спостережень та моделювання» доктора філософії за своїм змістом відповідає спеціальності 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки). Дисертація є завершеною науково-дослідною працею, що присвячена розв'язанню важливої науково-практичної задачі, яка полягає в отриманні нових даних та знань про реакцію системи іоносфера-плазмосфера на слабкі зміни космічної погоди, які сприятимуть поглибленню розуміння впливу Сонця на навколоземний космічний простір та дозволять просунутися у розв'язанні актуальних проблем прогнозування космічної погоди та корегування моделей навколоземного плазмового середовища задля достовірного прогнозування негативного впливу іоносфери та плазмосфери на рух та функціонування космічних апаратів, супутникових систем зв'язку, радіолокації та глобального позиціонування.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність, узагальнення результатів виконаних досліджень і не знижують загальної оцінки роботи.

Враховуючи висловлене, вважаю, що дисертаційна робота «Прояви слабких варіацій космічної погоди в системі іоносфера-плазмосфера: результати спостережень та моделювання» за рівнем отриманих наукових результатів, змістом та обсягом є закінченою науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані та достовірні теоретичні та практичні результати.

Дисертаційна робота Резниченко М. О. відповідає вимогам пунктів 10, 11, 12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, Затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а здобувачка Резниченко Марина Олексіївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки).

Офіційний опонент:

Доктор фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри космічної радіофізики

Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
21.12.2021

Віктор Розуменко Віктор РОЗУМЕНКО

