

ВІДГУК

офіційного опонента Чорногора Леоніда Феоктистовича
на дисертаційну роботу Швець Аліси Олександрівни
«Методи моніторингу нижньої іоносфері та локації потужних розрядів
блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю
104 «Фізика та астрономія»

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами

Дисертаційна робота присвячена вивченню процесів у нижній іоносфері, пов'язаних із впливом явищ космічного та атмосферного походження, електричних властивостей потужних розрядів блискавок. Нижня іоносфера розглядається як індикатор багатьох фізичних процесів та, зокрема, катастрофічних явищ у геокосмосі, атмосфері та літосфері. Але ця область є важко доступною для вивчення традиційними наземними методами із використанням традиційних іонозондів, радарів некогерентного розсіяння внаслідок низької концентрації електронів та високої частоти зіткнень із нейтральними частинками на висотах нижньої іоносфери. У той же час, радіохвилі у діапазонах наднизьких та дуже низьких частот (ННЧ та ДНЧ), які майже повністю відбиваються від цієї області та поширюються у порожнині Земля-іоносфера на великі відстані, використовуються як засіб для дистанційного моніторингу стану нижньої іоносфери. Варіації просторового розподілення, частоти виникнення та потужності розрядів блискавок розглядаються як індикатор погодних та кліматичних змін на планеті. Наявність даних довготривалих вимірювань ННЧ сплесків і ДНЧ атмосфериків на УАС «Академік Вернадський» і в Радіоастрономічній обсерваторії Радіоастрономічного Інституту НАН України надає унікальну можливість дослідити зміни нижньої іоносфери на різних масштабах часу у віддалених регіонах планети та визначити параметри потужних блискавок у

великому діапазоні відстаней від пунктів спостережень. Таким чином, **актуальність дисертаційної роботи** обумовлена необхідністю вдосконалення та розробки нових методик, які поєднують локацію потужних блискавок і дистанційний моніторинг стану нижньої іоносфери із використанням випромінювання блискавок у діапазонах ННЧ і ДНЧ. Оскільки використані та запропоновані у дисертації методики моніторингу базуються на використанні природних безкоштовних джерел зондувального випромінювання в цих діапазонах частот, ці дослідження є екологічно чистими та економічно доцільними. Отримані при виконанні дисертаційної роботи результати мають **велике науково-практичне значення** та пройшли апробацію при виконанні двох держбюджетних НДР і трьох госпдоговірних НДР з Державною установою Національний Антарктичний Науковий Центр МОН України.

2. Ступінь обґрунтованості й достовірності та наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є повністю обґрунтованими та достовірними з наступних причин.

1. Визначення параметрів нижньої іоносфери виконано методом радіозондування хвилеводу Земля-іоносфера випромінюванням блискавок на основі аналізу частотної дисперсії сигналів твік-атмосфериків.

2. Фізичні параметри нижньої іоносфери визначались за результатами порівняння з моделлю нічної нижньої іоносфери, яка базується на даних ракетних вимірювань.

3. Оцінка параметрів потужних розрядів блискавок виконано із використанням однопозиційних і багатопозиційних методів локації блискавок.

4. Фізичні параметри потужних розрядів блискавок визначались за шляхом порівняння модельних спектрів випромінювання з результатами вимірювань ННЧ сплесків. Для збільшення точності оцінки параметрів

потужних блискавок використовувались дані синхронних вимірювань ННЧ сплесків та ДНЧ атмосфериків.

5. Для аналізу результатів спостережень використовувалися добре апробовані методи математичної статистики, статистичної радіофізики, цифрової фільтрації та кластеризації.

6. Всі матеріали дисертації пройшли апробацію та були висвітлені в наукових публікаціях і матеріалах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Результати, наукові положення та висновки, отримані в дисертаційній роботі, є **новими**. Представляють інтерес результати аналізу твік-атмосфериків, за яким виявлено сезонні зміни ефективної висоти нижньої межі нічної іоносфери у північній і південній півкулях і прояв 27-денного циклу сонячної активності. Вперше авторкою одержані варіації параметрів моделі різко обмеженої нижньої іоносфери – висоти нижньої межі та концентрації електронів протягом ночі за даними вимірювань твік-атмосфериків.

В результаті аналізу даних отриманих на Антарктичній станції «Академік Вернадський» визначено регулярні відхилення параметрів поляризації ННЧ сплесків при проходженні траси поширення поблизу термінатора, які призводять до похибки визначення пеленгу розрядів блискавок до 10-15 градусів, що характеризують вплив неоднорідності «день-ніч» на поширення ННЧ радіохвиль у сферичному резонаторі Земля-іоносфера.

Удосконалений метод локації потужних блискавок на основі аналізу синхронних записів ДНЧ атмосфериків і ННЧ сплесків, дозволив визначити координати та параметри струму розряду блискавки.

Особливий інтерес представляють оцінки частоти виникнення блискавок під час надпотужного виверження вулкану Тонга 15 січня 2022 року. Вони показують перевищення кількості ударів блискавок та інтенсивності ННЧ і ДНЧ випромінювань на порядок по відношенню до фонових значень, які

визначаються грозовою активністю на всієї планеті. У якості особливості параметрів блискавок вулканічного походження виявлено суттєву різницю у спектральному складі випромінювання блискавок у діапазонах ДНЧ і ННЧ, яка свідчить про відмінність умов формування розрядів поблизу жерла вулкану й у попеловому шлейфі.

3. Висвітлення результатів дисертаційної роботи в опублікованих наукових працях

Основні результати, наукові положення та висновки дисертаційного дослідження здобувача опубліковано у наукових працях серед яких: 1 стаття у закордонному виданні, що відноситься до квартилю Q3 за класифікацією Scimago Journal Ranking і входить до бази Scopus, 2 статті в українському фаховому виданні, 1 патент України на корисну модель. Додатково матеріали роботи були висвітлені в збірниках матеріалів доповідей на 9-ти міжнародних наукових конференціях та в статті, опублікованої у виданні за суміжними спеціалізаціями. Всі **наукові** роботи автора є оригінальними. Результати дисертаційної роботи повністю та вичерпно викладено в наведених наукових фахових статтях.

4. Оцінка змісту дисертації та її завершеність

Представлені наукові положення, висновки та рекомендації, що виносяться на захист, є в повній мірі обґрунтованими. Постановка задач дисертаційної роботи виконана аргументовано та переконливо. Дисертація Швець А.О. складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, чотирьох розділів основного тексту, висновків до роботи, списку використаних джерел та одного додатка.

У **першому розділі** дисертації розглянуто наземні активні методи радіозондування нижньої іоносфери та пасивні методи із використанням природних джерел випромінювання – розрядів блискавок у діапазоні ДНЧ. Проаналізовано існуючі методики реєстрації випромінювання розрядів блискавок у ННЧ і ДНЧ діапазонах, визначено їхні переваги та недоліки. Обґрунтовано використання синхронних вимірювань ННЧ і ДНЧ для

підвищення точності локації та визначення моменту заряду блискавки. На основі аналізу існуючих експериментальних даних ракетних вимірювань обґрунтовано вибір моделі нижньої іоносфери для визначення її параметрів за результатами аналізу твік-атмосфериків.

У **другому розділі** на основі аналізу вимірювань твік-атмосфериків, зроблених на Українській Антарктичній станції «Академік Вернадський» виявлено відмінності варіацій параметрів нижньої іоносфери у північній та південній півкулях на сезонному масштабі часу та 27-денної періодичності сонячної активності у варіаціях ефективної висоти нижньої іоносфери. Із застосуванням комбінованої методики пеленгації та затримок часу приходу за даними трьохпозиційної локації блискавок було вдосконалено методику визначення ефективної висоти нижньої іоносфери за аналізом твік-атмосфериків.

У **третьому розділі** вивчено поляризаційні параметри магнітного поля ННЧ сплесків, записи яких було отримано на станції «Академік Вернадський» у період, близький до весняного рівнодення. Показано, що регулярні відхилення пеленгів ННЧ сплесків досягають 10-15 градусів – до заходу при проходженні ранкового та до сходу, при проходженні вечірнього сонячного термінатора поблизу траси поширення; регулярні “N”-подібні та “I”-подібні коливання спостерігаються у величині еліптичності ННЧ сплесків у відповідні моменти проходження термінатора. Спостережувані відхилення пеленгів були інтерпретовані на основі геометричної оптики, як результат інтерференції прямої та відбитої від денно-нічної неоднорідності радіохвиль.

У **четвертому розділі** продемонстровано перевагу синхронних записів ДНЧ атмосфериків і ННЧ сплесків. Вимірювання двох горизонтальних магнітних і вертикальної електричної компонент поля ДНЧ-атмосфериків дозволило більш точно й однозначно визначити напрямок на джерело та встановити полярність розрядів блискавок, що є неможливим при використанні тільки магнітних сенсорів, які, як правило, використовуються у спостереженнях у ННЧ діапазоні.

Розроблено автоматичну процедуру визначення моменту струму, зміни моменту заряду, характерної тривалості та просторового розподілу розрядів потужних блискавок; визначено асиметрію у розподілі параметрів позитивних і негативних розрядів блискавок за результатами синхронної реєстрації ННЧ сплесків і ДНЧ атмосфериків. Запропоновану методику було використано для аналізу результатів вимірювань, отриманих на Антарктичній станції «Академік Вернадський».

За результатами вимірювань на станції «Академік Вернадський» виявлено аномальне підвищення рівня радіошуму ННЧ і ДНЧ та потоку ДНЧ атмосфериків під час вибухового виверження вулкана Тонга 15 січня 2022 року. Зокрема показано, що на піку активності о 05:00 UT кількість зареєстрованих ДНЧ атмосфериків зросла майже в 15 разів порівняно з періодом, що передував виверженню, а оціночна частота ударів блискавок у зоні виверження досягала 360 за секунду. Визначено зростання спектральної щільності потужності поля у 10 разів як в ДНЧ, так і в ННЧ (навколо 150 Гц) діапазонах. Було показано, що суттєві відмінності у варіаціях інтенсивності випромінювання з зони виверження в діапазонах ННЧ і ДНЧ пов'язані зі змінами просторового розподілення розрядів блискавок. Так, вторинний пік інтенсивності випромінювання, який спостерігався тільки у ННЧ діапазоні, за даними локації блискавок мережею WWLLN відповідає концентрації розрядів в околиці жерла вулкана. З цього спостереження авторка робить важливий висновок про значну різницю у параметрах і, відповідно, у фізичних умовах формування розрядів блискавок, що відбувалися поблизу жерла та всередині шлейфу вулканічного попелу.

5. Наукова і практична значущість отриманих результатів

Наукова значущість результатів дисертаційної роботи Швець А.О. полягає в тому, що в результаті аналізу твік-атмосфериків здобувачем було отримано оцінки концентрації електронів на нижній границі іоносфери, які практично співпадають з результатами ракетних вимірювань “in situ” та теоретичними розрахунками для моделі різко обмеженої іоносфери, що

відзначає перспективність методів аналізу експериментальних даних, застосованих у дисертаційній роботі. Запропонована методика визначення параметрів розрядів потужних блискавок у широкому діапазоні відстаней від пункту спостереження із застосуванням синхронних вимірювань ННЧ сплесків та ДНЧ атмосфериків суттєво доповнює існуючі методики та розширює можливості однопозиційних спостережень за глобальною грозовою активністю.

6. Відомості про дотримання академічної доброчесності. Текст дисертаційної роботи, стилістика подання матеріалів дає підстави стверджувати, що робота виконана з дотриманням усіх правил академічної доброчесності. Список використаних джерел та інші інформаційні посилання на відповідне першоджерело оформлені належним чином. Зміст анотації не містить інформації, що не була представлена в дисертаційній роботі. В дисертації Швець А.О. відсутні ознаки академічного плагіату, фальсифікації, підтасовки тощо.

7. Недоліки та зауваження до змісту дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи дисертаційне дослідження Швець А.О., слід зауважити, що в роботі виявлено певні недоліки.

1. Аналітичний огляд методів дослідження нижньої іоносфери написано невдало. Згадуються роботи закордонних авторів, але відсутні посилання на роботи вітчизняних авторів, зокрема, на багаточисельні роботи авторів з Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та опонента цієї дисертації. Саме опонент стояв у витоків багатьох методів дослідження нижньої іоносфери. У 1970–1980 рр. він суттєво розвинув низку існуючих методів і запропонував низку нових методів дослідження нижньої іоносфери.

2. Формули (2.7) і (2.8) не зовсім коректні, оскільки ω і f мають різні розмірності (с^{-1} і Гц).

3. Плутаються такі поняття як точність і похибка (с. 30 – 31).

4. Дисперсією називається величина σ^2 , а не σ (с. 72).

5. Плутаються терміни «розподіл» і «розподілення».

6. Як правило, відсутні розділові знаки після формул.
7. На с. 47 не вказано, що таке ε_0 .
8. Підписи на рисунках іноді зроблені англійською мовою (рис. 1.2, рис. 2.12, 2.14).
9. Рис. 2.1. виконано не зовсім якісно.
10. На рис. 4.3 та 4.4 немає підписів на осях.
11. Чомусь іноді використовуються англійські позначення тангенса та логарифма.
12. Замість терміна «зонduючого» слід вживати термін «зондувального».
13. У роботі є одруки.

8. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам

Виявлені недоліки, зауваження та неточності, в цілому, не знижують науково-практичну значущість отриманих Швець А.О. результатів і не псувають загального **позитивного враження** від цієї дисертаційної роботи. Робота написана на високому науковому рівні, ясною та зрозумілою мовою, має всі відповідні посилання на першоджерела. Зміст анотації **повністю відповідає** основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є **завершеною науковою працею**, в якій відображені й обґрунтовані важливі науково-практичні надбання автора.

Вважаю, дисертаційна робота Швець А.О. «Методи моніторингу нижньої іоносфери та локації потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків» є всебічно завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Швець Аліса Олександрівна, повністю сформованим фахівцем високого

рівня, що заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент

завідувач кафедри космічної радіофізики

Харківського національного

університету імені В. Н. Каразіна,

Заслужений діяч науки та техніки України,

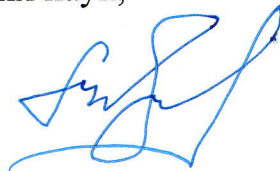
лауреат Державної премії УРСР,

двічі лауреат Премії РМ СРСР,

доктор фізико-математичних наук,

професор

24.01.2024



Леонід ЧОРНОГОР

Підпис ЗАСВІДЧУЮ

Начальник відділу кадрів

Харківського національного

університету імені В. Н. Каразіна



Олена ГРОМИКО