

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію

Швець Аліси Олександрівни

**«Методи моніторингу нижньої іоносфери та локації потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 – Природничі науки

за спеціальністю 104 – фізика та астрономія

Радіохвилі ННЧ та ДНЧ діапазонів мали і мають досі широке практичне застосування в таких галузях, як глобальна навігація, радіозв'язок з підводними об'єктами, контроль над ядерними випробуваннями, геологічна розвідка корисних копалин. Ці сфери застосування зумовлені малим згасанням при поширенні в хвилеводному каналі Земля-іоносфера і великими довжинами хвиль, що здатні проникати на значну глибину у провідні середовища – морську воду та ґрунт.

Пов'язаними з практичним застосуванням також є дослідження нижньої іоносфери, елемент тракту поширення радіохвиль даних діапазонів, схильного до впливу локальних і глобальних збурень, викликаних явищами космічної погоди, процесами в земній корі та атмосфері, а також антропогенним впливом на навколишнє середовище. До об'єктів досліджень із застосуванням ННЧ/ДНЧ радіохвиль можна віднести глобальну грозову активність, як індикатор глобального потепління, вулканічну активність, надпотужні розряди блискавок, сонячні спалахи та процеси у земній корі, що передують потужним землетрусам.

Дисертаційну роботу Швець А.О. присвячено розробленню нових методик оброблення та аналізу результатів вимірювань природних електромагнітних полів ННЧ та ДНЧ діапазонів, параметри яких пов'язано з процесами в нижній іоносфері та світовою грозовою активністю, що зумовлює **актуальність** виконаних досліджень для вирішення проблем



моніторингу довготривалих змін у навколишньому середовищі та попередження про катастрофічні природні явища.

**Метою наукових досліджень дисертаційної роботи** є розробка нових та удосконалення існуючих методів моніторингу параметрів нижньої іоносфери та грозової активності на основі аналізу результатів вимірювань природних електромагнітних випромінювань в діапазонах ННЧ та ДНЧ.

**Наукова новизна** результатів, викладених у дисертаційній роботі Швець А.О., визначається наступним:

- 1) Вперше, за результатами аналізу твік-атмосфериків виявлено сезонні зміни ефективної висоти нижньої межі нічної іоносфери у північній та південній півкулях та прояв 27-денного циклу сонячної активності. Вперше одержано варіації параметрів моделі різко обмеженої нижньої іоносфери – висоти нижньої межі та концентрації електронів протягом ночі.
- 2) Виявлено регулярні відхилення параметрів поляризації ННЧ сплесків при проходженні траси поширення поблизу термінатора, які призводять до похибки визначення пеленгу розрядів блискавок до 10-15 градусів.
- 3) Удосконалено метод локації потужних блискавок на основі аналізу синхронних записів ДНЧ атмосфериків та ННЧ сплесків, що дозволяє визначати координати та параметри струму розряду блискавки.
- 4) Одержано оцінки частоти виникнення блискавок під час надпотужного виверження вулкану Тонга 15 січня 2022 року. Виявлено суттєву різницю у спектральному складі випромінювання блискавок в діапазонах ДНЧ та ННЧ, що свідчить про відмінність умов формування розрядів поблизу жерла та у попеловому шлейфі вулкану.

**Наукова обґрунтованість** результатів роботи не підлягає сумніву і підтверджується тим, що параметри нижньої іоносфери визначено шляхом інтерпретації результатів аналізу частотної дисперсії сигналів твік-атмосфериків в моделі хвилеводу Земля-іоносфера, яка базується на даних ракетних вимірювань. Оцінку параметрів потужних розрядів блискавок виконано із використанням широко відомих класичних однопозиційних та



багатопозиційних методів локації блискавок та шляхом порівняння модельних спектрів випромінювання з результатами вимірювань ННЧ сплесків. Для аналізу результатів спостережень використані класичні методи математичної статистики, статистичної радіофізики, цифрової фільтрації та кластеризації.

**Список публікацій здобувача** за матеріалами дисертації містить 14 наукових праць (у співавторстві), серед яких: 1 стаття [1] у міжнародному рецензованому журналі який відноситься до квартилю Q3 за класифікацією Scimago Journal Ranking і входить до бази Scopus, 2 статті у науковому фаховому виданні України [2-3], 1 патент України на корисну модель [4], 9 – у матеріалах міжнародних наукових конференцій і семінару [5-13]. Додатково наукові результати дисертації відображено в 1 статті [14].

**Структура і зміст дисертації.** Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок та включає в себе: анотацію, вступ, оригінальну частину із чотирьох розділів, висновки, список використаних джерел та один додаток, в якому наведено перелік публікацій здобувача за темою дисертації.

У *вступі* надано обґрунтування вибору теми досліджень, її зв'язок з науковими програмами. Визначено мету і задачі досліджень, методи їх вирішення. Стисло відображено наукову новизну одержаних результатів та їх практичне значення.

У *першому розділі* дисертації зроблено огляд існуючих методів вивчення нижньої іоносфери, на основі аналізу існуючих експериментальних даних ракетних вимірювань обґрунтовано вибір моделі для визначення її параметрів. Розглянуто методи радіозондування нижньої іоносфери із використанням природних джерел – розрядів блискавок. Проаналізовано існуючі методи реєстрації випромінювання розрядів блискавок у ННЧ і ДНЧ діапазонах, визначено їхні переваги та недоліки.

У *другому розділі* надано результати аналізу записів твік-атмосфериків, отриманих у пунктах спостережень в Антарктиці, в Україні, та на борту науково-дослідницького судна. Виявлено відмінності варіацій параметрів



нижньої іоносфери у північній та південній півкулях на сезонному масштабі часу та 27-денної періодичності сонячної активності у зміні ефективної висоти нижньої іоносфери. Комбінацією методів пеленгації та затримок часу приходу із застосуванням даних трьохпозиційної локації блискавок суттєво підвищено точність локації блискавок, у порівнянні із однопозиційним методом, та запропоновано вдосконалений метод визначення ефективної висоти нижньої іоносфери за аналізом твік-атмосфериків.

У *третьому розділі* основну увагу приділено аналізу поляризаційних параметрів експериментальних записів магнітного поля ННЧ сплесків, одержаних на УАС «Академік Вернадський» у період, близький до весняного рівнодення. Виявлено регулярні відхилення пеленгів ННЧ сплесків, які досягають 10-15 градусів – до заходу при проходженні ранкового та до сходу при проходженні вечірнього сонячного термінатора поблизу траси поширення. Спостережувані відхилення пеленгів інтерпретовано з використанням концепції геометричної оптики відбиття радіохвиль від денно-нічної неоднорідності.

У *четвертому розділі* за результатами отриманими на станції «Академік Вернадський» продемонстровано переваги використання синхронних записів ДНЧ атмосфериків і ННЧ сплесків щодо визначення напрямку на джерело та встановлення полярності розрядів блискавок, визначення моменту струму, зміни моменту заряду, характерної тривалості та просторового розподілення розрядів позитивних і негативних розрядів блискавок. Виявлено аномальне підвищення рівня радіошуму ННЧ і ДНЧ та потоку ДНЧ атмосфериків під час вибухового виверження вулкана Тонга 15 січня 2022 року. Порівнянням з даними глобальної мережі локації блискавок WWLLN показано, що відмінність у динаміці інтенсивності випромінювання з зони виверження в діапазонах ННЧ та ДНЧ свідчить про значну різницю в параметрах струмів розрядів блискавок, що відбувалися поблизу жерла вулкана та всередині шлейфу вулканічного попелу.



**Практичне значення наукових результатів.** Одержане рішення оберненої задачі для пасивної локації точкових імпульсних джерел у хвилеводі Земля-іоносфера, та визначення їх параметрів, алгоритми та програми для автоматичного виявлення й аналізу ННЧ сплесків та ДНЧ атмосфериків може бути використано при створенні однопозиційних та багатопозиційних систем локації надпотужних блискавок, автоматизованих систем моніторингу стану нижньої іоносфери та попередження про катастрофічні явища в атмосфері.

**Відомості про дотримання академічної доброчесності.** Представлені в роботі результати не порушують правил академічної доброчесності. Наведені в дисертації результати інших авторів мають відповідне посилання на першоджерело. Публікації здобувача, на яких базується робота є оригінальними і не містять плагіату.

**Зауваження до дисертаційної роботи.**

1) Назва роботи на титульній сторінці «Методи моніторингу нижньої іоносфери та потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків» не збігається з назвою у анотації (стор. 2) «Методи моніторингу нижньої іоносфери та локації потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків». На титульній сторінці немає слова «локації».

2) Присутні елементи недбалості при оформленні роботи. Наприклад, у *Вступі* на стор. 18 перелік задач, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети, починається з 6 позиції.

Стор. 25. На рис.1.1 на позначенні « $\log_{10}[m^{-3}]$ » відсутня величина  $N$  – значення концентрації електронів.

Стор. 29. 2 абзац розділу 1.2 – «...блакитні струми [див. напр. 39, 40]», потрібно «...блакитні струми (див. напр. [39, 40])».

Стор. 41. Немає вирівнювання тексту по ширині в абзаці, який починається зі слів «На рис. 2.3 червоним кольором...».

Стор. 51. Рис.2.8 – на осі *Y* позначення «*kt*» англійською, в той час як далі на стор.52 та стор.53 (рис.2.10, рис.2.12) – українською.

Стор. 55. Рис.2.14 на осі *Y* позначення англійською

Стор. 58. Вислів «...визначаються як сонячним кутом нахилу Сонця..», мабуть треба «...визначаються як кутом нахилу Сонця..».

Стор. 72, стор 84. Використано шрифт «Gungsuh» замість «Times New Roman».

Стор. 73. «...[ 54 Burke and Jones, 1996].», мабуть треба «...([54], Burke and Jones, 1996).»

Стор. 73, стор 77, стор 80, стор 86. Розрив рисунків (рис.3.2, рис.3.4, рис.3.6, рис.3.9,) та підпису під ними.

Стор. 80. «...заходу сонця на рис. 4 та рис. 5...» мабуть треба «...заходу сонця на рис.3.4 та рис.3.5...»

Стор. 82. 4 стрічка знизу «...проходять через інтерфейс день-ніч..», хоча вище «...межа день-ніч...».

Стор. 94. Рис.4.2. Підписи для рис.4.2а та рис.4.2б не збігаються з тим, що показано на рисунках, мабуть треба поміняти навпаки.

3) В роботі отримано декілька цікавих результатів, однак, є тільки їх констатація та відсутній аналіз можливих причин та механізмів їх виникнення. Наприклад, відзначено суттєво більшу нестабільність висоти іоносфери, визначеної за параметрами траси твік-атмосфериків у Північній Америці, відносно траси у Атлантичному океані, та не надано аналізу можливих причин цього явища.

4) В роботі не вказано модель, яку використано для обчислення теоретичних спектрів ННЧ сплесків.

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертації Швець А. О., на якість, наукову новизну та її практичну значимість. Їх можна розглядати як побажання для реалізації у подальших дослідженнях автора.

**Висновок щодо відповідності дисертації становленим нормам.**



Вважаю, що дисертаційна робота Швець А.О. «**Методи моніторингу нижньої іоносфери та локації потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків**» в цілому виконана на високому науковому рівні і становить завершену наукову працю, 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 12.01.2022 р., а її автор, Швець Аліса Олександрівна, заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

Рецензент

Завідуючий відділом

поширення радіохвиль у природних середовищах

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

Канд. фіз.-мат. наук

О.М. Роєнко

Підпис О.М. Роєнка засвідчую.

В.о. вченого секретаря

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

Канд. фіз.-мат. наук



О.В. Кривенко