

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 за спеціальністю 104 – фізика та астрономія

Актуальність дослідження.

Нижня іоносфера є важливою ланкою у механізмах взаємодії між явищами у ближньому космосі та в атмосфері Землі. Так, наприклад, на висотах мезопаузи 80 – 90 км відбуваються процеси руйнування хвильових процесів, збуджених різними джерелами у атмосфері та літосфері, та їх перетворення у турбулентний стан, що призводить до збурень електронної концентрації. У той же час, нижня іоносфера залишається найменш вивченою областю внаслідок труднощів, пов'язаних із вимірюваннями з використанням супутників, ракет або балонів, а також низькою чутливістю методів активного зондування шарів з низькою концентрацією заряджених частинок. Радіофізичні методи дистанційного зондування нижньої іоносфери розглядаються як перспективні інструменти для таких спостережень. Поширення випромінювання від блискавок у хвилеводі Земля-іоносфера у значній мірі визначається властивостями нижньої іоносфери. За рахунок низького загасання радіохвиль наднизьких та дуже низьких частот (ННЧ і ДНЧ), область моніторингу сягає від декількох тисяч кілометрів для ДНЧ радіохвиль до глобального масштабу для ННЧ. Останніми роками спостерігаються зміни кліматичних умов у світі, і зростає актуальність спостережень за різними аспектами цих змін. Одним з таких аспектів може бути підвищення грозової активності внаслідок підвищення середніх температур на поверхні Землі. Крім підвищення частоти виникнення гроз, може також змінюватися структура електричних спалахів та їх потужність, що створює додаткові ризики для транспорту, зв'язку та інших об'єктів. Тому, розвиток методик дослідження процесів у нижній іоносфері та

визначення, пов'язані з впливом іоносфери і представлені у дисертаційній роботі, є актуальними.

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

Ступінь наукової обґрунтованості та наукова новизна результатів роботи. Фізичні параметри нижньої іоносфери визначались через інтерпретацію результатів аналізу частотної дисперсії сигналів твік-атмосфериків в моделі хвилеводу Земля-іоносфера, яка базується на даних ракетних вимірювань. Оцінку фізичних параметрів потужних розрядів блискавок виконано із використанням класичних однопозиційних та багатопозиційних методів локації блискавок та шляхом порівняння модельних спектрів випромінювання з результатами вимірювань ННЧ сплесків. Для аналізу результатів спостережень використовувалися класичні методи математичної статистики, статистичної радіофізики, цифрової фільтрації та кластеризації.

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

1. Вперше, виявлено сезонні зміни ефективної висоти нижньої межі нічної іоносфери у північній та південній півкулях та прояв 27-денного циклу сонячної активності за результатами аналізу твік-атмосфериків. Вперше одержані варіації параметрів моделі різко обмеженої нижньої іоносфери – висоти нижньої межі та концентрації електронів протягом ночі.
2. Вперше, проаналізовано особливості добових варіацій поляризації поля ННЧ сплесків при проходженні траси поширення поблизу термінатора. Встановлено, що вплив неоднорідності «день-ніч» на поширення радіохвиль ННЧ діапазону призводить до похибки визначення пеленгу розрядів блискавок у 10-15 градусів.

3. Продемонстровано перевагу синхронних вимірювань ДНЧ атмосфериків та ННЧ сплесків при визначенні координат та параметрів струму. Удосконалено метод локації потужних блискавок на основі аналізу розрядів блискавок.
4. Були одержані оцінки частоти виникнення блискавок та зростання рівня електромагнітного випромінювання у діапазонах ННЧ та ДНЧ під час надпотужного виверження вулкану Тонга 15 січня 2022 року. Виявлено суттєву різницю у спектральному складі випромінювання блискавок в діапазонах ДНЧ та ННЧ, що дозволяє зробити висновок щодо відмінності фізичних умов формування розрядів поблизу жерла та у попеловому шлейфі вулкану.

Список публікацій здобувачки за матеріалами дисертації містить 14 публікацій: в 4-х наукових статтях, з яких одна у виданні із квантилем Q3, яке індексується в міжнародній наукометричній базі даних Scopus, і одна стаття у фаховому науковому виданні України за суміжною спеціальністю, 1-му патенті України на корисну модель, а також у 9-ти збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і зміст дисертації. Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок що включає в себе: анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел та додаток із переліком публікацій авторки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність проведених досліджень, визначено мету, задачі та стисло - результати роботи, зазначено ступінь їхньої апробації.

У *першому розділі* дисертації зроблено огляд існуючих на сьогодні методів вивчення нижньої іоносфери, на основі аналізу існуючих експериментальних даних ракетних вимірювань обґрунтовано вибір моделі для визначення її параметрів. Розглянуті 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 представлено 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. Із застосуванням комбінації методів пеленгації та затримок часу приходу з використанням даних трипозиційної локації блискавок була суттєво підвищена точність локації блискавок у порівнянні з однопозиційним методом. Запропоновано удосконалений метод визначення ефективної висоти нижньої іоносфери на основі використання даних локації блискавок при аналізі 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 досягали 10-15 градусів – до заходу при проходженні ранкового та до сходу при проходженні вечірнього сонячного термінатора поблизу траси поширення. Спостережувані відхилення пеленгів були інтерпретовані з використанням концепції геометричної оптики відбиття радіохвиль від денно-нічної неоднорідності.

У четвертому розділі було продемонстровано методики щодо визначення статистичних параметрів моменту струму, зміни моменту заряду, характерної тривалості позитивних і негативних розрядів блискавок та їх просторового розподілення із використанням результатів синхронної реєстрації ННЧ сплесків і ДНЧ атмосфериків на 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. За результатом порівняння з даними глобальної мережі локації блискавок WWLLN було 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, отриманих у дисертаційній роботі Швець А. О., полягає у одержанні розв'язків зворотної задачі радіофізики щодо пасивної локації точкових імпульсних джерел у хвилеводі Земля-іоносфера, та визначення їх параметрів, створенні алгоритмів та програм для автоматичного виявлення й аналізу ННЧ сплесків та ДНЧ атмосфериків, які можуть бути використані при створенні однопозиційних і багатопозиційних систем локації надпотужних блискавок, автоматизованих систем моніторингу стану нижньої іоносфери та попередження про катастрофічні явища у навколишньому середовищі.

Можливі шляхи використання результатів досліджень. Отримані в дисертаційній роботі А. О. Швець наукові результати можуть бути використані в установах та організаціях, які займаються радіофізичними дослідженнями, зокрема, в ІРЕ НАНУ та РІ НАНУ, Інституті іоносфери МОН і НАН України, а також у вищих навчальних закладах, зокрема, ХНУ імені В. Н. Каразіна, ХНУРЕ, НПУ «ХПІ», НАКУ «ХАІ», НПУУ «КПІ», КНУ імені Т. Г. Шевченка, ДНУ і т. і.

Вони мають широку практичну цінність для моніторингу нижньої іоносфери та потужних розрядів блискавок і в подальшому можуть стати основою для напису монографії.

Оформлення дисертаційної роботи. Дисертаційну роботу написано загальнозрозумілою науковою мовою, оформлено відповідно до існуючих вимог.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. Представлені в роботі результати не порушують правил академічної доброчесності. Запозичені результати інших авторів мають посилання на відповідне першоджерело.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В дисертації присутні деякі орфографічні помилки описки та русизми, наприклад: стор.19 – «різко обмеженої нижній іоносфери» – потрібно «нижньої»; стор. 31 «накладання імпульсів від розрядів», - потрібно «розрядів»; стор.29-« моніторингу стану нижньої іоносфери для є актуальним завданням» лишнє слово «для»; стор.54 «2900 хвилевих форм були визначені як твікі» - потрібно твіки, аналогічно стор.95- «вздовж траси поширення, коли виявляються твікі.»
2. Присутні елементи недбалості при оформленні, наприклад рис.1.1 стор.25 на осі ординат «У» у позначенні « $\log_{10}[m^{-3}]$ » відсутня величина N –кількість часток на одиницю об'єму N; на стор.72, 84 в різних частинах тексту використані різні типи шрифтів (New Roman 14 та Gungsuh 14); в підрозділі мета і задачі досліджень, стор. 18 при переліку завдань, що вирішуються в дисертації, нумерація почата з 6 позиції; стор. 74 формула 3.2 замість гіперболічного арктангенсу мабуть повинен бути звичайний; стор.75 – «Еліптичність ε оказує відхилення...» – мабуть потрібно «показує»; стор.80 – «Часи сходу та заходу сонця на рис. 4 та рис. 5» - повинно бути рис.3.4, рис.3.5; стор.98 –підпис під рис.4.2 – «Карти просторового розподілення позитивних (червоні) та негативних (сині) розрядів блискавок за 29/03/2019 р.» - а нижче написано-«Позитивні розряди помічені хрестиками, негативні – кружечками». Суперечливі твердження. На малюнку є як сині хрестики так і кружечки; деякі рисунки, наприклад 3.4, 3.6, 3.7 рисунок розміщено на одній сторінці, а його назва на іншій.
3. В дисертації отримано багато цікавих результатів. Однак в ряді випадків проводиться тільки їх констатація: наприклад: наявність 27 денної періодичності у зміні висоти на середньоширотній станції і відсутність таких змін на УАС Академік Вернадський, часові особливості поляризаційної структури сигналів, що проявляються в змінах поведінки коефіцієнту еліптичності, меридіональна асиметрія нижньої границі іоносфери у північній та південній кулях однак

відсутнє їх пояснення. Відсутній аналіз можливих причин та механізмів, що призводять до їх появи.

4. Відзначається суттєво більша нестабільність варіацій висоти іоносфери, визначеної за характеристиками траси твік-атмосфериків у Південній Америці, відносно траси у Атлантичному океані, однак причини цього не проаналізовані.
5. Проведено співставлення кількості атмосфериків з пуасонівською моделлю під час виверження вулкану Тонга і фонового числа при відсутності виверження. Встановлено, що якщо при виверженні спостерігається гарний збіг з моделлю, то при його відсутності є суттєві розходження. Однак відсутнє роз'яснення такої поведінки. Посилання на групування фонових атмосфериків біля триггеру також не пояснює причину такої поведінки. Доцільно було б зіставити поведінку щільності фонового числа атмосфериків в різні періоди часу, як до так і після виверження для перевірки стійкості такого критерію, та можливості його використання в якості передвісника виверження..
6. Методика визначення пеленгу сигналів блискавок має неоднозначність визначення напрямку у 180^0 , що ускладнює інтерпретацію отриманих результатів. При оцінці пеленгу використовувалась порогова процедура для відсічки слабких сигналів (менших ніж 15 пТл). При побудові динаміки зміни пеленгів на протязі декількох днів (рис.3.4-3.6 використовувалася порогова процедура відбору найбільших за амплітудою блискавок (більше 15 пТл). Доцільніше було б використовувати як третю координату яскравість (або колір) для відзначення амплітуди блискавки. Якщо при цьому ще використати множники компенсації відстані до джерела (з використанням апріорних даних), то це могло б дати ще більш достовірну інформацію про розподіл щільності пеленгів блискавок. На це звернув увагу і автор: «Цей результат може означати, що або звична картина глобальної динаміки грози неправильна, або просторово-часова динаміка

надпотужних розрядів відхиляється від середньої кількості ударів блискавки.» -стор.86.

Всі наведені недоліки не стосуються основних результатів роботи та можуть бути корисними у подальших дослідженнях автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

Вважаю, що зміст дисертаційної роботи Швець А. О. «Методи моніторингу нижньої іоносфери та локації потужних розрядів блискавок за даними вимірювань ННЧ-ДНЧ атмосфериків» дає підставу вважати її завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «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 авторка, Швець Аліса Олександрівна заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

Рецензент

Доктор фіз.-мат. наук, професор,
завідуючий лабораторією
моніторингу та спектроскопії середовищ

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

В. І. Луценко

Підпис В. І. Луценка засвідчую.

ВО вченого секретаря

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

кандидат фіз.-мат. наук



О. В. Кривенко