

Рецензія
отримана 14.08.2023р.
Голова спеціалізованої
вченої ради
[Підпис]
/Сергій ШУЛЬЗІ

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, професора кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізикоматематичних наук, старшого наукового співробітника зі спеціальності «радіофізика» Бердника Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Шевелева Микити Богдановича **«Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Шевелева Микити Богдановича присвячена експериментальному і теоретичному дослідженню впливу інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами як природного, так і техногенного походження, на параметри атмосферно-космічних радіоканалів, що використовуються засобами телекомунікації, радіолокації, радіонавігації, радіопеленгації, тощо, а також на характеристики радіохвиль. Для виявлення сигналів інфразвукових хвиль, визначення їхніх параметрів та ідентифікація (визначення типів хвиль), порівняння виявлених ефектів з попередньо очікуваними параметрами та визначення джерела інфразвукових подій і розпізнавання типу джерела створено ефективні інфразвукові мережі. Розв'язання кожної із цих задач не є простим процесом і потребує

комплексного підходу. На сьогодні для виявлення закономірностей в параметрах інфразвукових сигналів, що генеруються потужними вибухами, проводяться дослідження на прикладі відомих локалізованих у часі та просторі джерел: вулканів, тайфунів, землетрусів, польотів великих літаків і крупних ракет, серій хімічних вибухів тощо. Це є необхідним для моніторингу глобальних катастроф, якісного розуміння взаємозв'язків між геооболонками та фізичними процесами, які виникають протягом інфразвукового впливу високоенергетичних джерел.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота виконана у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, семи розділів, висновків та переліку використаної літератури, який містить 240 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 249 сторінок. Робота ілюстрована 107 рисунками та 16 таблицями.

У розділі 1 дисертації наведено аналітичний огляд публікацій, присвячених джерелам інфразвуку різного походження та аналізу збурень від подібних джерел. Надано інформацію про технічні засоби реєстрації інфразвукових коливань. Описано основні методи аналізу інфразвукових сигналів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Показано, що теоретичне описання поширення інфразвуку в атмосфері потребує застосування відповідних моделей і фізичних спрощень.

Розділ 2 присвячено визначенню статистичних характеристик метеороїдів, що вторгалися до атмосфери Землі, які є важливим джерелом інфразвуку. Встановлено основні закони розподілу кількості падінь космічних тіл за широтою, довготою, енергіями свічення, швидкостями тощо.

У розділі 3 на прикладі падінь і вибухів низки великих космічних тіл встановлено залежності основних параметрів інфразвукових хвиль від відстані, обчислено головні параметри сигналів – час запізнення сигналу,

швидкість приходу, амплітуду, тривалість сигналу. За допомогою системного спектрального аналізу вивчено структури зареєстрованих сигналів, обчислено коефіцієнти надширокосмуговості. Наведено кореляційні поля та регресії, що ілюструють залежність одних параметрів від інших. Оцінено середні значення швидкостей приходу та періодів інфразвукових сигналів.

У розділі 4 отримано залежності амплітуди інфразвукової хвилі, згенерованої вулканом Св.Олени, від відстані. Обчислено коефіцієнти достовірності та стандартні відхилення для кожної апроксимації. Надано фізичний сенс для найбільш вдалих регресій. Обґрунтовано вибір найбільш вдалої апроксимації.

Розділ 5 присвячено характеру поширення інфразвуку від масових хімічних вибухів на складах боєприпасів. На прикладах вибухів поблизу м. Ічня та смт Калинівка показано, що збільшення амплітуди та періоду переважаючого коливання спостерігалось при збільшенні енерговиділення, також зростала і тривалість цугів коливань. Обговорено особливості поширення сигналів інфразвукового діапазону та їхні характеристики. Кількісно оцінено параметри поширення сигналів у діапазоні періодів від 0,2 до 5–7 с.

У розділі 6 розглядається сильна геокосмічна буря, як важливе джерело інфразвуку. Проаналізовано особливості хвильових форм геомагнітних компонент, зареєстрованих за допомогою світової мережі *InterMagnet*. Визначено основні періоди, амплітуду і тривалість квазіперіодичних коливань.

Розділ 7 демонструє, що помірний землетрус може викликати квазіперіодичні варіації рівня геомагнітного поля. Визначено переносник збурень та відносне збурення концентрації електронів у ньому.

У висновках наводяться основні результати, одержані у дисертаційній роботі. Список використаних джерел містить посилання на літературні та власні публікації за темою дисертації.

Наукова новизна полягає у наступних основних результатах:

1. Вперше проведено глобальний статистичний аналіз космічних тіл за низкою основних параметрів на основі бази даних NASA. Встановлено основні фізичні закономірності між кількістю падінь космічних тіл і фізичними параметрами, а також основні статистичні характеристики.

2. Вперше для п'яти унікальних космічних тіл проведено всебічний аналіз варіацій параметрів інфразвукових сигналів і оцінено основні статистичні характеристики. Побудовано кореляційні поля для азимутів, періодів і швидкостей приходу та встановлено стійкий статистичний зв'язок між цими параметрами, що необхідно для створення адекватних фізико-математичних моделей поширення інфразвукових хвиль у атмосфері Землі.

3. Для супервулкану St. Helens виявлено ключові просторові залежності варіацій амплітуди тиску. Здійснено апроксимацію експериментальних даних законами, які найбільш відповідають фізичному сенсу. Пояснено можливі механізми поширення інфразвукових хвиль у термосферних і стратосферних хвилеводах, наведено можливі фізичні процеси, які супроводжували поширення хвиль на глобальні відстані. Обчислено коефіцієнти та глибини загасання для різних моделей поширення хвиль інфразвукового діапазону.

4. Вперше з використанням мережі українських інфразвукових станцій досліджено характеристики варіацій тиску у інфразвуковій хвилі, викликаних серією хімічних вибухів на складах боєприпасів. Було встановлено основні закономірності варіацій параметрів спектрального складу сигналів залежно від їхнього енерговиділення. Проведено системний спектральний аналіз структури інфразвукових сигналів.

5. На прикладі застосування відомих радіофізичних методів досліджено великомасштабні збурення в геомагнітному полі протягом помірної магнітної бурі вересня 2017 року. Оцінено амплітуду, тривалість і часи запізнювання квазіперіодичних та аперіодичних збурень. Доведено, що геомагнітні збурення допомагають з'ясувати взаємодію між підсистемами нашої планети,

але для вивчення ефектів бурі потрібен комплексний метод всебічного вивчення ефектів у всіх геосистемах.

6. За допомогою смугової фільтрації та системного спектрального аналізу ефектів від землетрусів помірної сили побудовано часові залежності геомагнітних флуктуацій обох компонент геомагнітного поля. Надано фізичну інтерпретацію отриманих результатів, оцінено можливості генерації різних типів хвиль і їх реєстрації магнітометричними системами.

Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Наукові положення та висновки, наведені у дисертаційній роботі, є раніше невідомими, надійно обґрунтованими та доведеними. Кількість і якість публікацій і доповідей здобувача на конференціях говорить про його науковий досвід і вміння вести наукові дискусії. Усі положення ґрунтуються на відомих фізичних законах і явищах, що стосуються теорії поширення інфразвукових хвиль у неоднорідних і нестационарних середовищах. Дисертант добре орієнтується в літературних джерелах і спроможний проводити наукові дослідження, спираючись на достовірні факти. Публікації здобувача в фахових і міжнародних журналах, а також його показники в наукових базах даних підтверджують наведені тези та ключові висновки дисертації.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Визначення кількісних значень статистичних характеристик та їхніх збурень у інфразвукових хвилях і параметрах каналу поширення під дією природних та техногенних високоенергетичних джерел (падінь метеороїдів, геокосмічних бурь, потужних вибухів, вивержень вулканів і землетрусів) має велике практичне значення, оскільки вони визначають ефективність функціонування систем різного призначення, таких як системи виявлення потужних процесів і їхнього глобального контролю, акустичного зондування атмосфери, телекомунікації, радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії та дистанційного радіозондування.

Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення

1. Доцільно було б збільшити кількість підрозділів у розділі 5. Інакше створюється враження, що він присвячений лише загальним відомостям і ніякого аналізу в ньому не проводилося.

2. С. 49: «...із метеороїдом Юйшу, вторгнення та вибух у приземній атмосфері якого мали місце о 23:23:33 UTC». Вторгнення та вибух відбулися в один і той самий час?

3. С. 45: «Поширюючись в хвилеводі Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера, грози генерують електричне поле». Грози не поширюються у хвилеводах.

4. На цій же сторінці є речення «..., і лише в двох випадках спостерігалось значення швидкості від 45 км/с до 49 км/с». На мою думку некоректно говорити про діапазон, якщо спостерігалися лише значення на його межах.

5. В тексті немає посилання на рис. 1.4.2, зате на с. 45 є посилання на рис. 1.5, маючи на увазі рис. 1.4.3.

6. На с. 7 не узгоджено відмінки у «...при стратосферного відображенні хвиль...».

7. На с. 21 присутні два підрозділи з номером 4.4.

8. На с. 3 написано: «Швидкість більшості космічних тіл варіювалася в діапазоні приблизно від 12,5 км до 20 км/с». Повинно бути «...від 12,5 км/с до 20 км/с».

9. На с. 30 написано: «Представлені в роботі результати доповідалися на 9 міжнародних і національних конференціях, основні з яких наступні:...» і наведено 9 конференцій.

10. Різне написання станції Ноймайер III на с. 35 та с. 36.

Вказані недоліки не зменшують якість результатів дисертаційної роботи і обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Шевелева Микити Богдановича «Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи» є 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, Шевелев Микита Богданович за своїми професійними якостями є цілком сформованим вченим, що заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент,

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
професор кафедри фізичної і біомедичної
електроніки та комплексних
інформаційних технологій
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна



Сергій БЕРДНИК

14.08.2023

Підпис Сергія Бердника засвідчую

В.О. Начальник відділу кадрів
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна



Олена ГРОМИКО
Олена Громико

Рецензія отримана
14.08.2023 р.
Голова спеціалізованої
вченої ради [підпис] /Сергій ШУЛЬЗІ

Голові разової спеціалізованої
вченої ради Харківського
національного університету
імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків,
61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, професора кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізико-математичних наук, професора кафедри теоретичної радіофізики Батракова Дмитра Олеговича на дисертаційну роботу Шевелева Микити Богдановича **«Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи»**, представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Актуальність теми дисертації

Свою роботу дисертант М. Б. Шевелев присвятив дослідженню особливостей поширення інфразвукових хвиль, згенерованих різними джерелами. Багато уваги присвячено впливу інфразвукових хвиль на характеристики радіоканалів у атмосфері та космосі. Як відомо, багато засобів військового та цивільного призначення використовують такі радіоканали в різних діапазонах радіохвиль: від міліметрового до кілометрового, чим і обумовлено актуальність досліджуваної тематики.

Важливо, що для ідентифікації та розрізнення інфразвукових сигналів використовувались дані світової мережі акустичних

і сейсмічних приладів. Оскільки існує досить багато джерел генерації хвиль у інфразвуковому діапазоні, виявлення ефектів на фоні завад було складною задачею. Від її розв'язання залежить у подальшому якість контролю за ядерними випробуваннями та реєстрацією вибухів у будь-якій точці планети. У цьому й полягає значущість даної роботи. Іншим фактором, який спонукав дисертанта обрати таку тему роботи, стало вивчення взаємозв'язків між геооболонками протягом впливу високоенергетичних джерел.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Кваліфікаційна робота дисертанта виконана у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Наукова праця містить Вступ, сім розділів, Висновки, перелік використаної літератури та два додатки. У якості допоміжного матеріалу наведено 107 рисунків і 16 таблиць. Робота відповідає всім вимогам, які висуваються для проведення процедури захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня «доктор філософії».

Розділ 1 дисертації ілюструє багате розмаїття джерел інфразвукових коливань на прикладі численних публікацій іноземних і вітчизняних авторів. Продемонстровано приклади аналізу збурень від джерел різного походження, до яких входять не лише звичні нам катастрофи (землетруси, тайфуни, вибухи), але й звичні грози, лавини та навіть шум мегаполісів. Описано засоби та методи реєстрації коливань тиску в інфразвуковому діапазоні. Наведено основні формули та моделі поширення інфразвукових хвиль.

У розділі 2 підприємлято спробу визначення статистичних параметрів, що характеризували падіння метеороїдів на території планети за останню чверть століття. Як відомо, метеороїди є вкрай важливим джерелом інфразвуку, тому цікаво дослідити явище генерації інфразвуку не лише з точки зору акустичних досліджень, але й астрономії та геофізики. Отримано кількісні характеристики розподілу

числа падінь крупних космічних тіл за географічними координатами, енергетичними характеристиками, висотою вибуху тощо

Розділ 3 присвячено отриманню якісних часових і просторових залежностей основних параметрів інфразвукових хвиль, згенерованих низкою унікальних космічних тіл (таких, як Челябінське та Камчатське). Застосування відомих радіофізичних методів допомогло вивчити спектральний склад сигналів, виявити закономірності в залежностях часів запізнювання та швидкостей приходу від відстані, оцінити вплив вітру на характер поширення інфразвукових сигналів, пояснити певні відмінності між спостережуваними та істинними азимутами приходу інфразвуку.

У **розділі 4** на прикладі виверження потужного вулкану St. Helens 18 травня 1980 року здійснено спробу апроксимацій просторових залежностей коливань тиску сімома регресіями, які описують різну фізику поширення інфразвукових хвиль. Установлено найбільш імовірний тип розбіжності хвильового фронту, зроблено граничні оцінки та пояснено поведінку таких регресій відповідними фізичними законами. Для кожної апроксимації здійснено обчислення коефіцієнту достовірності та середньоквадратичного відхилення та проведено фізичний аналіз.

У **розділі 5** автором досліджено особливості поширення інфразвукових хвиль у атмосфері Землі від масових хімічних вибухів на арсеналах боєприпасів. Особливістю цих досліджень є проведення вимірювань за допомогою систем різного призначення (акустичних і сейсмічних датчиків) на відстані 150–200 км під різними азимутальними кутами, чого раніше не проводилось. Показано, що при збільшенні початкового енерговиділення від окремого вибуху зростали період і тривалість корисного сигналу, так само, як і амплітуда переважаючого коливання. Ця особливість дозволила простежити розпливання дисперсійного пакету в процесі поширення в ближній зоні (до 200 км). Системний спектральний аналіз дозволив отримати

кількісні значення основних параметрів поширення сигналів у інфразвуковому діапазоні.

У розділі 6 оцінено основні параметри флуктуацій компонент геомагнітного поля, згенерованих надпотужною геомагнітною бурею вересня 2017 року. За допомогою технічних засобів *InterMagnet* визначено амплітуди, періоди та тривалості збурень на різних географічних широтах, пояснено механізми збурень і відмінності в характері квазіперіодичних коливань у різних частинах світу.

Розділ 7 присвячено ефектам у геомагнітному полі Землі, джерелами яких є помірні землетруси, прикладом яких є катастрофа в Албанії в листопаді 2019 року. За допомогою технічних засобів Радіофізичної обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна, а також радіофізичних методів, досліджено варіації геомагнітного поля та встановлено основні параметри квазіперіодичних збурень. Описано механізм їхнього переносу. Доведено складність реєстрації магнітних збурень від землетрусів помірної сили на фоні інших потужних геокосмічних процесів.

У висновках підкреслено ключові моменти, одержані у кваліфікаційній роботі дисертанта. Перелік використаних джерел містить посилання на публікації зарубіжних і вітчизняних авторів за темою дисертації, а також посилання на доробок самого дисертанта.

Наукова новизна полягає у наступних основних результатах:

1. Обчислено статистичні характеристики низки параметрів падінь космічних тіл по земній кулі за 23 роки на основі бази даних NASA. Виявлено ключові фізичні закономірності між логарифмом числа падінь крупних тіл та іншими фізичними величинами, а також статистичні характеристики основних параметрів.

2. Вперше для п'яти унікальних космічних тіл (Тунгуського, Індонезійського, Челябінського, Камчатського, Липецького метеороїдів) здійснено аналіз головних характеристик сигналів,

згенерованих у інфразвуковому діапазоні, й оцінено основні статистичні характеристики для основних параметрів космічних тіл. За допомогою кореляційного аналізу побудовано поля для швидкостей, істинних і спостережуваних азимутів, періодів та доведено стійкий статистичний зв'язок між цими параметрами. Отримано вихідні дані для створення адекватних фізичних моделей поширення інфразвукових хвиль у геооболонках.

3. Для високоенергетичної катастрофи, а саме – виверження вулкану St. Helens, побудовано моделі залежностей варіацій амплітуди тиску від відстані при поширенні на глобальні відстані (до 40 Мм).

4. Вперше з використанням української мережі мікробарографів встановлено ключові закономірності варіацій основних параметрів сигналів, викликаних хімічними вибухами залежно від напрямку, енерговиділення, умов поширення на радіотрасах. Досліджено залежності коливань тиску у хвилі інфразвукового діапазону, проведено аналіз тонкої структури інфразвукових сигналів.

5. На прикладі унікальної геокосмічної бурі за допомогою даних мережі *InterMagnet*. досліджено параметри основних варіацій в головних компонентах магнітного поля Землі та проведено аналіз характеру квазіперіодичних та аперіодичних коливань. Визначено основні періоди та тривалості подібних збурень, надано фізичне тлумачення отриманої залежності амплітуди зареєстрованих на магнітометрах сигналів, від широти розташування станції світової мережі магнітометрів. Підтверджено фундаментальне положення про тісний взаємозв'язок геооболонки і необхідність системного підходу для дослідження високоенергетичних космічних явищ.

6. За допомогою технічних засобів, розташованих у Радіофізичній обсерваторії м. Харкова, проведено аналіз геомагнітних даних, які спостерігалися протягом землетрусу помірної сили в Албанії. Вивчено особливості поширення збурень в геомагнітному полі на глобальні відстані, визначено параметри хвиль,

які спостерігались в контрольні моменти часу до та після землетрусу, надане фізичне пояснення отриманих результатів.

Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Висновки та наукові положення у роботі дисертанта є достовірними, доведеними, в достатній мірі обґрунтованими. Список публікацій, наведених у кінці дисертації, та перелік статей і тез здобувача в достатній мірі розкривають тему дисертаційної роботи; теоретичні положення, які витікають із аналізу експериментальних даних, мають під собою фізичне підґрунтя та не суперечать фактам, фізичним законам, відкритим раніше, та загальноприйнятим положенням.

Апробація дисертації та публікації

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені на наступних конференціях: IEEE Ukrainian Microwave Week, Astronomy and Space Physics in the Kyiv University, Українська конференція з космічних досліджень, International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. Опубліковано три статті у закордонних виданнях, які індексуються міжнародними наукометричними базами Web of Science/SCOPUS, та одну статтю в фаховому виданні. Здобувач брав участь у 4 науково-дослідних роботах і в госпдоговірній темі Національного фонду досліджень України (проект № 2020.02/0015).

Практична значущість результатів дисертаційного дослідження

Визначення кількісних значень статистичних характеристик та їхніх збурень у інфразвукових хвилях і параметрах каналу поширення під дією природних та техногенних високоенергетичних джерел (падінь метеороїдів, геокосмічних бур, потужних вибухів, вивержень вулканів і землетрусів) має велике практичне значення, оскільки вони визначають ефективність функціонування систем різного призначення, таких як

системи виявлення потужних процесів і їхнього глобального контролю, акустичного зондування атмосфери, телекомунікації, радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії та дистанційного радіозондування.

Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення

Зауваження з наукової частини дисертації

1. В чому полягає доцільність наведення регресій логарифму числа подій від логарифму енергії свічення?
2. На рис. 3.2.1 не позначено, чому дорівнює час запізнювання сигналу при відстанях $r < 2$ Мм.
3. На рис. 3.5.4 після приходу сигналу о 02:00:00 UT спостерігаються незначні флуктуації, які є дещо більшими, ніж до 01:50:00 UT. Із чим це пов'язано? Можливо, дисертантом невірно обрано смугу фільтру пропускання?
4. До рис. 5.2.12: чому не на всіх експериментальних точках наведено «вуса», які характеризують похибку?
5. На мою думку, розділи 6 і 7 дещо віддалені від основної теми дисертаційної роботи, оскільки досліджують хвилі, відмінні за природою генерації від інфразвукових.
6. У розділі 6 на рис. 6.4.1 в частині в 9 вересня 2017 року опівночі спостерігається різкий викид в амплітуді обох компонент. Із чим він пов'язаний, якщо 8 вересня наприкінці доби амплітуда була майже нульовою? Чи не сприйняв дисертант крайовий ефект як помилковий «ефект» від бурі?
7. Цікаво було б порівняти регресії залежностей варіацій тиску від відстані від різних космічних тіл.

Зауваження зі стилю та оформлення

1. Масштаби по вісі відстаней на рис. 3.1.9 і 3.2.5, 3.5.18 різні.

2. Якість рисунків у підрозділі 2.2 не зовсім задовільна, апроксимації, накладені на гістограми, не є безперервними, а йдуть ніби «сходінками».

3. На рис. 2.2.5 доцільно переписати великі числа або шляхом винесення 10^3 у підпис вертикальної вісі, або підібрати іншу фізичну величину.

4. На с. 201 компоненти геомагнітного поля позначено в різному стилі.

5. У співвідношенні (3.2.8) і табл. 5.2.3 десятковий дріб написаний через кому, хоча всюди зберігається написання через крапку.

6. На жаль, на рис. 3.5.3 неможливо визначити максимальний і мінімальний рівні амплітуди через чорно-білу якість рисунку та відсутність числових значень на шкалі. Крім того, амплітуду сигналу складно визначити через малий масштаб рисунку та відсутність відомостей у підпису.

Вказані недоліки не зменшують якість результатів дисертаційної роботи і обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

Загальний висновок

Вважаю, що робота Шевелева М. Б. «**Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи**» – це якісний показник успішного засвоєння дисертантом освітньо-наукової програми на здобуття наукового ступеня «доктор філософії». Вона 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, Шевелев Микита Богданович, є

кваліфікованим спеціалістом, який заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент

професор кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор фізико-математичних наук, професор



Дмитро БАТРАКОВ

14.08.2023

Підпис д. ф.-м. н., професора Батракова Д. О. засвідчую

В.О. Начальник відділу кадрів

Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Олена ГРОМИКО
Марина Пашенко



УКРАЇНА
місто Харків
ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА
ЕЛЕКТРОНІКИ ім. О.Я.УСИКОВА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ
Ідентифікаційний код 03534593
61035, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 12
телефон 720-33-80

№ _____
на № _____

*Відгук офіційно
10.08.2023
Голова спеціалізованої
вченої ради*
Сергій ШУЛЬЗІ

Голові
разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача відділу дистанційного зондування Землі Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника зі спеціальності «Радіофізика» Іванова Віктора Кузьмича на дисертаційну роботу Шевелева Микити Богдановича «Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Актуальність теми дисертації

Кваліфікаційна робота дисертанта Шевелева М. Б. на здобуття наукового ступеня «доктор філософії» присвячена розв'язанню актуальних задач і зачіпає низку важливих для наукової спільноти питань, зокрема: поширення інфразвукових хвиль і розробка адекватної фізико-математичної моделі цього процесу для атмосферного, термосферного та стратосферного хвилеводів; реєстрація акустичних збурень на малих (декілька десятків і сотень кілометрів) і глобальних (більше декількох тисяч кілометрів) відстанях; проблема ідентифікації джерела інфразвуку при поширенні в нестационарних, неоднорідних і нелінійних середовищах; урахування впливу важливих чинників у процесі поширення; реєстрація магнітних збурень від високоенергетичних джерел. У кваліфікаційній роботі дисертанта проведено аналіз реальних акустичних збурень від багатьох джерел штучного та техногенного походження з урахуванням різних умов поширення. У процесі аналізу в роботі використовувались дані зі світової та української мереж мікробарографів. Дослідження, проведені в дисертації, є цікавими з точки зору геофізики, прикладної фізики та дистанційного моніторингу віддалених джерел енерговиділення, а в перспективі – й можливості передбачення такого впливу на канали комунікації та дистанційного моніторингу.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Кваліфікаційна робота дисертанта виконана у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Вона містить двомовну анотацію, Вступ, 7 розділів. Висновки та Переліку джерел посилання, який складається з 240 найменувань. Робота добре ілюстрована (107 рисунків) і має компактні роз'яснення у вигляді 16 таблиць. Усього в дисертаційній роботі 249 сторінок.

У розділі 1 дисертації наведено огляд публікацій, присвячених джерелам інфразвуку різного походження та аналізу збурень від подібних джерел. Надано інформацію про технічні засоби реєстрації інфразвукових коливань. Описано основні методи аналізу інфразвукових сигналів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Показано, що теоретичне описання поширення інфразвуку в атмосфері потребує застосування відповідних моделей і фізичних спрощень.

Розділ 2 присвячено визначенню статистичних характеристик метеороїдів, які є важливим джерелом інфразвуку, що вторгалися до атмосфери Землі. Встановлено основні закони

розподілу числа падінь космічних тіл за широтою, довготою, енергіями свічення, швидкостями тощо.

У **розділі 3** встановлено залежності основних параметрів інфразвукових хвиль, згенерованих падіннями і вибухами низки великих космічних тіл (Індонезійського, Тунгуського, Челябінського, Липецького та Камчатського космічних тіл), від відстані. Побудовано кореляційні поля та регресії. Оцінено середні значення періодів та швидкостей приходу інфразвукових сигналів.

У **розділі 4** наведено залежності амплітуди інфразвукової хвилі, згенерованої потужним вулканом, від відстані. Обґрунтовано вибір найбільш вдалої апроксимації.

Розділ 5 присвячено масовим вибухам складів боєприпасів. На цих прикладах показано, що при збільшенні енерговиділення спостерігалось збільшення амплітуди та періоду переважаючого коливання та тривалість цугів коливань. Виявлено особливості хвильових форм інфразвукових сигналів, їхніх амплітуд і спектрального складу. Наведено кількісні оцінки основних параметрів сигналів.

У **розділі 6** розглядається сильна геокосмічна буря, як важливе джерело інфразвуку. Проаналізовано особливості хвильових форм геомагнітних компонент, зареєстрованих за допомогою світової мережі *InterMagnet*. Визначено основні періоди, амплітуду і тривалість квазіперіодичних коливань.

Розділ 7 демонструє, що помірний землетрус може викликати квазіперіодичні варіації рівня геомагнітного поля. Визначено переносник збурень та відносне збурення концентрації електронів у ньому.

У **висновках** наводяться основні результати, одержані у дисертаційній роботі. **Список використаних джерел** містить посилання на літературні та власні публікації за темою дисертації.

Наукова новизна полягає у наступних основних результатах:

1. Вперше проведено глобальний статистичний аналіз космічних тіл, на основі бази даних NASA, за низкою основних параметрів. Встановлено основні фізичні закономірності між кількістю падінь космічних тіл і фізичними параметрами, а також основні статистичні характеристики.

2. Вперше для п'яти унікальних космічних тіл проведено всебічний аналіз варіацій параметрів інфразвукових сигналів і оцінено основні статистичні характеристики. Вперше побудовано кореляційні поля для азимутів, періодів і швидкостей приходу та встановлено стійкий статистичний зв'язок між цими параметрами, що необхідно для створення адекватних фізико-математичних моделей поширення інфразвукових хвиль у атмосфері Землі.

3. Вперше для потужного виверження вулкану Св. Олени побудовано регресії для встановлення характеру поширення хвильового фронту та виявлено найбільш ймовірний механізм розбіжності фронту хвилі. Проведено регресійний аналіз і встановлено найбільш фізичні залежності, які пояснюють особливості поширення вибухових хвиль при подоланні відстаней, еквівалентних довжині земного екватора.

4. Вперше з використанням мережі українських інфразвукових станцій досліджено характеристики варіацій тиску у інфразвуковій хвилі, викликаних серією хімічних вибухів на складах боєприпасів. Було встановлено основні закономірності варіацій параметрів спектрального складу сигналів залежно від їхнього енерговиділення. Проведено системний спектральний аналіз структури гармонік інфразвукових сигналів.

5. Вперше на прикладі сильної геомагнітної бурі з використанням баз даних NOAA та OMNIWeb встановлено фізичні характеристики збурень геомагнітного поля. Оцінено величину амплітуди квазіперіодичних та аперіодичних коливань, їхні тривалості та часи запізнювання. Доведено, що ефекти в магнітному полі викликані саме унікальною в 24-му циклі сонячної активності геомагнітною бурею.

6. Вперше на прикладі помірного землетрусу встановлено характерні параметри аперіодичних і квазіперіодичних збурень, спектральний склад і тонку структуру коливань горизонтальних компонент магнітного поля Землі. Наведено основні фізичні характеристики появи таких коливань.

Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Головні положення кваліфікаційної праці дисертанта є надійно встановленими, добре обґрунтованими та раніше невідомими. Використання поширених засобів і математичних алгоритмів, зокрема, спектрального, статистичного та кореляційного аналізів, методів статистичної радіофізики та математичної статистики, робить ці результати достовірними. Дисертантом опубліковано 4 роботи, які індексуються в наукометричних базах, також опубліковано більше десятка тез конференцій, чим добре підтверджено апробацію результатів.

Практична значущість результатів дисертаційного дослідження

Застосування в праці дисертанта відомих радіофізичних методів до обробки сигналів від джерел природного та антропогенного походження, аналіз результатів і вивчення тонкої структури сигналу, збір статистичних даних варіацій характеристик інфразвукових сигналів і їхнє узагальнення – важлива задача для виявлення впливу таких джерел на різні геооболонки та розуміння зв'язку між ними, взаємодії між ними, впливу на умови поширення різних фізичних чинників. Це потрібно для функціонування комплексів глобального моніторингу на планеті, розробки нових апаратних методів ідентифікації та розрізнення нових типів сигналів і джерел, для аналізу нових типів джерел і попередження нових загроз.

Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення

1. У дисертаціях доктора філософії рекомендується 3–4 розділи.
2. У роботі у різній степені досліджено інфразвукові ефекти п'яти метеороїдів; одні більш детально, інші – менш детально.
3. Не всі рисунки виконано з однаковою якістю.
4. Автор стверджує, що «...робота присвячена розв'язанню проблеми...». Це не скромно, в дисертації доктора філософії розв'язується задача (задачі).
5. Автору потрібно було б більше уваги приділити порівнянню інфразвукових ефектів усіх описаних у роботі метеороїдів.
6. Те ж саме стосується порівняння інфразвукових ефектів масових вибухів на різних складах.
7. Здається, що для дисертації доктора філософії забагато розділів. Тим паче що розділ 2 стоїть осторонь від розділів 3–5. Розділи 6 і 7 за тематикою дещо відрізняються від тематики розділів 3–5.
8. На мою думку, варто було би вказати, який саме тип вейвлетів використовувався в системному спектральному аналізі в розділах 3–7, оскільки незрозуміло, за якою концепцією вираховувалися основні періоди коливань.
9. Зустрічаються граматичні помилки.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертація Шевелева М. Б. «*Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної фізичної природи*» – це повністю сформована наукова праця, 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., її автор, Шевелев Микита Богданович – спеціаліст, який здатний компетентно та всебічно проводити наукові дослідження та комплексно аналізувати поставлену задачу, а тому – заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,

завідувач відділу дистанційного

зондування Землі Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України,

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник


Віктор ІВАНОВ
10.08.2023:

Підпис Іванова В. К. ЗАСВІДЧУЮ:

ТВО вченого секретаря

Інституту радіофізики та електроніки

ім. О. Я. Усикова НАН України




Ірина ЛУЦЕНКО

Відгук отримано
08.08.2023
Голова спеціалізованої
вченої ради /Сергій ШУЛЬЗІ

Голові разової
спеціалізованої Вченої ради
Харківського Національного
університету імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента Залізівського Андрія Владиславовича, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, завідувача відділу радіофізики геокосмосу Радіоастрономічного інституту НАН України, на дисертацію Микити Шевелева "ПАРАМЕТРИ ІНФРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ, ЗГЕНЕРОВАНИХ ДЖЕРЕЛАМИ РІЗНОЇ ПРИРОДИ", подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали з галузі знань 10 – природничі науки.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Об'єктом дослідження є атмосферний інфразвук, предметом – особливості механізмів його поширення, а також параметри інфразвуку, згенерованого різними джерелами. В дисертації обґрунтування теми подається через важливість систем контролю щодо дотримання договору про заборону ядерних випробувань. Це, звісно, вірно, але не вичерпно. Інфразвукові канали забезпечують швидке і з малими втратами поширення енергії з нижніх щільних шарів на висоти середньої та верхньої атмосфери, що важливо з точки зору впливу процесів у приземних шарах атмосфери на стан навколоземного космічного простору. Поширення інфразвуку в атмосферних хвилеводах приводить до атмосферних збурень на великих відстанях від джерела енергії. В роботі досліджуються параметри інфразвуку від вибухів декількох метеороїдів, вулкану, серій хімічних вибухів на складах боєприпасів. Це, звичайно, актуально, оскільки надає додаткову інформацію про механізми генерації і поширення інфразвуку, що в подальшому може враховуватись при вирішенні зворотної прикладної задачі діагностики його джерел, а також параметрів атмосфери, середовища поширення інфразвукових коливань.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому, і оформлення.

Дисертація складається з анотації на українській і англійській мовах, вступу, семи розділів, підсумків, списку використаних джерел з 240

найменувань, і двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 250 сторінок, основного тексту – 150 сторінок. Робота ілюстрована 107 рисунками, 16 таблицями. Список використаних джерел містить 240 найменувань, що для дисертації рівня доктора філософії є досить пристойним показником.

В першому розділі зроблено аналітичний огляд стану проблеми, а також природи атмосферного інфразвуку. Наведено загальні дані щодо технічних засобів, алгоритмів, пакетів прикладних програм, які використовуються для реєстрації та обробки інфразвукових коливань. Обґрунтовано використання променевого й хвилеводного наближення для опису поширення інфразвуку в атмосфері Землі.

Другий розділ присвячено розгляду характеристик метеороїдів як джерела інфразвукових хвиль, розглянуто їх розподіли за енергією світіння, напрямками і швидкостями входу до атмосфери Землі, географічний розподіл числа падінь, залежність числа космічних тіл від висоти області їхнього максимального свічення, статистичний зв'язок між початковою швидкістю космічного тіла та енергією світіння.

Третій, найбільший розділ роботи присвячено встановленню залежностей основних параметрів інфразвукових хвиль, згенерованих падінням і вибухом порівняно великих космічних тіл, від відстані. Зроблено спробу вивести прості математичні співвідношення, засновані на фізично адекватних і зрозумілих механізмах поширення інфразвукових хвиль на глобальні відстані уздовж поверхні Землі. У розділі розглянуто п'ять космічних тіл, а саме, Тунгуське, Челябінське, Індонезійське, Липицьке й Камчатське.

У четвертому, найменшому розділі роботи наведено приклади залежності амплітуди інфразвукової хвилі, згенерованої виверженням потужного вулкану, від відстані до джерела. Найбільш вдалою виявилась апроксимація, що описує хвилеводне поширення зі загасанням.

П'ятий розділ присвячено аналізу характеристик інфразвукових хвиль, джерелом яких стали масові вибухи на складах боєприпасів у Вінницький і Чернігівській областях. Проаналізовано характеристики коливань, які поширювались крізь стратосферний, і, можливо, термосферний канал.

Шостий розділ присвячено розгляду варіацій магнітного поля на різних геомагнітних обсерваторіях, що входять до мережі INTERMAGNET, під час сильної геокосмічної бурі. Хоч і зазначається, що геокосмічні бурі є важливим джерелом інфразвуку, однак, інфразвук як такий у розділі відсутній. Розглянуто лише варіації горизонтальних компонент магнітного поля під час сильної магнітної бурі вересня 2017 року.

У цьому розділі зроблено спробу виміряти магнітну реакцію на землетрус (на мою думку, не дуже вдалу спробу). Крім слів, що землетруси є джерелом інфразвуку, більше інфразвуку у розділі немає. З контексту витікає, що використовувались виміри індукційного магнітометра, який, ймовірно, знаходився на обсерваторії в сел. Граково Харківської області. У вимірах спостерігались періоди порядку 10 хвилин і більше, які автор намагається асоціювати з землетрусом.

У підсумках сформульовано основні результати роботи та їх наукову новизну. Список використаних джерел із 250 найменувань свідчить про великий обсяг оглядової роботи, який було проведено дисертантом.

В цілому, дисертація є завершеною роботою, її оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

3. Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами, грантами

У дисертації наведено результати досліджень, які входили до науково-дослідних робіт кафедри космічної радіофізики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна протягом 2016–2022 рр. Автор був виконавцем у наступних НДР:

1. Моделювання динамічних процесів в іоносфері та геомагнітному полі в період аномального 24-го циклу сонячної активності (2015–2017 рр., 0115U000467).
2. Дистанційний вплив потужного радіовипромінювання на канали телекомунікацій та електронну апаратуру (2016–2018 рр., 0116U000822).
3. Глобальні та великомасштабні збурення в геокосмосі, викликані дією високоенергійних джерел, та їх екологічні наслідки (2018–2020 рр., 0118U002039).
4. Великомасштабні та глобальні фізичні процеси в атмосфері та геокосмосі природного та техногенного походження (2019–2021 рр. 0119U002538).
5. Великомасштабні та глобальні фізичні процеси в системі Земля–атмосфера–іоносфера–магнітосфера природного та техногенного походження (2022–2024 рр., 0122U001476).
6. Проект Національного фонду досліджень України 2020.02/0015 “Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень

природного і техногенного походження в системі Земля-атмосфера-іоносфера” (2020–2021 рік).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Актуальність досліджень інфразвукових хвиль в атмосфері Землі добре обґрунтовано через важливість точного врахування параметрів інфразвуку і особливостей його поширення в системах контролю щодо дотримання договору про заборону ядерних випробувань. Результати здебільшого отримано завдяки використанню загально прийнятих підходів математичної статистики. Оцінки енергії подій зроблено різними методами, і вони принципово не відрізняються одна від одної. Вимірювання інфразвукових коливань проводились на світових і національних мережах акустичних станцій, надійність даних яких не викликає сумнівів. Результати роботи досить непогано опубліковано та апробовано на 9 міжнародних і національних конференціях.

5. Основні наукові результати, отримані автором, і їх новизна.

Наукові результати опубліковано в 3 статтях в журналі *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, який індексується у провідних наукометричних базах, а також одній статті у Віснику Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Радіофізика та електроніка», який є національним фаховим виданням. Результати було також висвітлено у 17 доповідях на наукових конференціях. Новизна результатів полягає в наступному:

Вперше проведено глобальний статистичний аналіз космічних тіл, зареєстрованих базою даних NASA, за основними параметрами: географічними координатами, компонентами та модулем швидкості, висотою максимального свічення, енергією свічення, початковою кінетичною енергією. Встановлено основні фізичні закономірності між числом падінь космічних тіл і фізичними параметрами, а також основні статистичні характеристики.

Для п'яти космічних тіл (Тунгуського, Індонезійського, Челябінського, Липицького, Камчатського) за даними NASA проведено всебічний аналіз варіацій параметрів інфразвукових сигналів і оцінено основні статистичні характеристики (швидкості приходу, амплітуди, періоди, відношення сигнал/шум тощо). Побудовано кореляційні поля для азимутів, періодів і швидкостей приходу інфразвуку та встановлено статистичний зв'язок між цими параметрами, що є необхідним для створення адекватних фізико-

математичних моделей поширення інфразвукових хвиль, що збуджуються космічними тілами метрового-декаметрового розмірів.

Для потужного виверження вулкану Св. Олени побудовано регресії «варіації тиску – відстань до джерела» для встановлення характеру поширення хвильового фронту. Виявлено найбільш ймовірний механізм розбіжності фронту хвилі, а саме – хвильовдне поширення зі загасанням. Оцінено основні параметри загасання амплітуди інфразвуку при поширенні на глобальні (до 40 Мм) відстані.

З використанням даних мережі українських інфразвукових станцій вперше досліджено характеристики варіацій тиску, викликаних серією хімічних вибухів у 2017 та 2018 роках на складах боєприпасів поблизу смт Калинівка (Вінницька обл.) та м. Ічня (Чернігівська обл.). За допомогою регресійного аналізу встановлено залежності основних фізичних параметрів зареєстрованих приходів сигналів одне від одного. Оцінено швидкості та амплітуди хвиль, що, ймовірно, поширюються завдяки відбиттю в термосфері та стратосфері.

6. Практичне значення отриманих результатів

В роботі отримано кількісні значення статистичних характеристик інфразвукових хвиль, згенерованих під дією високоенергетичних джерел (падінь метеороїдів, потужних вибухів, вивержень вулканів, тощо), які можна використати для визначення ефективності функціонування систем виявлення потужних процесів і їхнього глобального контролю, а також акустичного зондування атмосфери. Частина результатів дисертації увійшла в підсумкові звіти за науково-дослідними роботам кафедри космічної радіофізики ХНУ ім. В.Н. Каразіна, для яких отримані акти про впровадження результатів досліджень.

7. Дотримання академічної доброчесності

Аналіз дисертаційної роботи та публікацій автора не виявляє порушень академічної доброчесності. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Не можна сказати, що дисертація вільна від спірних, інколи некоректних тверджень. Окремі важливі аспекти теми залишились поза увагою автора. Нижче зупинюсь на деяких недоліках дисертації і твердженнях, що викликають питання.

1. У вступі і аналітичному огляді дисертації відсутній опис акустичних хвиль як таких, зокрема, їх відокремлення від атмосферних гравітаційних хвиль. У дисертації, присвяченій інфразвуку, це було б доречно зробити. Фраза на стор. 40 *«Варто згадати, що інфразвук є частиною акустико-гравітаційних хвиль, які теж мають свої особливості поширення»*, хибна, тому що АГВ і акустичні хвилі – це хвилі різні за своєю природою і, звичайно, дисперсійними рівняннями. Автором використовується дві різні назви *«акустико-гравітаційні»* та *«акусто-гравітаційні»* для позначення одних і тих же хвиль.
2. В описі публікацій, на яких базується дисертація є таке: *«3 – праці в зарубіжних наукових спеціалізованих виданнях (входять до міжнародних наукометричних баз Scopus/Web of Science)»*. Дійсно, журнал “Kinematics and Physics of Celestial Bodies”, де опубліковано 3 статті за участі автора, входить до зазначених наукометричних баз, але він не є закордонним виданням, оскільки заснований і видається Головною астрономічною обсерваторією НАН України.
3. Не зроблено пояснень щодо природи хвилеводів інфразвукових хвиль, до яких автор звертається протягом усієї роботи. Не пояснено термін *«тропосферно-стратосферний вітер»*, який часто вживається в дисертації. Є навіть *«...вплив тропосферно-стратосферно-термосферного вітру»* (стор. 123), який мені важко уявити. Чому у цьому ланцюгу проігноровано мезосферу? Як взагалі можна усереднювати дуже різні за всіма характеристиками вітри у такому товстому шарі?
4. Зауваження до розділу 2, щодо кількості зареєстрованих випадків метеороїдів: *«Із рис. 2.1.1 видно, що найбільша щільність мала місце поблизу географічного екватору»*. Обрано вкрай невдалу проекцію карти, вочевидь, меркаторську, для ілюстрації цього твердження. Якщо аналізувати саме карту, зменшення густини випадків на 60 градусі широти у 2 рази порівняно з екватором пов'язане саме з проекцією карти, а не з природою. Вочевидь, зменшення щільності немає. Щонайменше, його неможна довести у той спосіб, як це зроблено в роботі.
5. Зауваження до розділу 3. В деяких місцях спостерігається свавілля щодо експериментальних даних. Наприклад, рисунки 3.3.5 і опис до них. *«Після виключення найбільш віддалених точок...»* - відкинуто дані не найбільш віддалених від події точок спостережень, а ті точки на кореляційному графіку, які віддалені від уявної тенденції, без якогось об'єктивного обґрунтування. Отримана в такий спосіб апроксимація (рис. 3.3.5 б) ніяк не пов'язана з експериментальними даними.

6. Стор. 162. «На жаль, ця регресія не є справедливою при $r \rightarrow \infty$ *прямує до безкінечності*». На планеті у сферичному хвилеводі (або резонаторі) відстань не може прямувати до безкінечності. Тому перевірка на безкінечності – некоректна у випадку поширення сигналів у навколоземних хвилеводах. Якщо сигнал обігнув Землю, неминуче спостерігається інтерференційна картина з вузлами і пучностями. Вочевидь, поблизу антиподу джерела буде спостерігатись збільшення енергії сигналу за рахунок фокусування. В такому разі апроксимація розподілу енергії на глобальних відстанях монотонною функцією виглядає невиправданою.
7. Вступ до розділу 5, стор. 165: «Таким чином, дослідження параметрів інфразвукових хвиль, які утворилися в процесі техногенних катастроф на воєнних складах, і особливостей їхнього поширення є актуальною радіофізичною задачею». Де тут радіохвилі? До чого тут радіофізика? Геофізика – так, прикладна фізика – так, але не радіофізика.
8. Загальне зауваження до розділів 6 і 7 полягає у відсутності інфразвуку у цій частині дисертації як такого. Можна зрозуміти бажання автора висвітлити всі наявні результати, але у підсумку розділи 6-7 виглядають тематично відірваними від попередньої частини роботи. В мене є багато запитань до результатів, що висвітлено в цих розділах, але, оскільки вони знаходяться дещо осторонь мети і завдань дисертації, не буду на них зупинятись.
9. У тексті дисертації досить багато друкарських помилок і русизмів. Наприклад, рисунок 3.1.9 взагалі підписано російською мовою. Загальним місцем є використання зайвого числа незначущих цифр для усереднених фізичних величин.

Зазначені зауваження не впливають на позитивну оцінку отриманих результатів і зроблених висновків, дисертаційної роботи загалом.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Микити Шевелева на тему: «Параметри інфразвукових хвиль, згенерованих джерелами різної природи», що подана до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали з галузі знань 10 – природничі науки, є завершеною науковою роботою, виконаною на рівні, достатньому для присудження наукового ступеня доктора філософії.

В дисертації вирішується актуальна задача досліджень інфразвуку в атмосфері Землі, який генерується різними джерелами. Виявлені закономірності мають прикладне значення з точки зору вирішення оберненої

задачі і використання інфразвукових сигналів для моніторингу відповідних процесів у надрах і атмосфері, що є джерелами інфразвукових коливань.

Здобувач Шевелев Микита Богданович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник

завідувач відділу радіофізики геокосмосу

Радіоастрономічного інституту НАН України



Андрій ЗАЛІЗОВСЬКИЙ

Підпис д.ф.-м.н., с.н.с. Андрія Залізовського засвідчую,

Вчений секретар

Радіоастрономічного інституту НАН України

к.ф.-м.н.



Юлія АНТОНЕНКО

08.08.2023