

**ВІДГУК**  
офіційного опонента  
доктора фізико-математичних наук, с.н.с.  
**Залізовського Андрія Владиславовича**  
на дисертаційну роботу  
**Скороход Тетяни Владиславівни**  
«Внутрішні гравітаційні хвилі в термосфері  
за даними прямих супутниковых спостережень»,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

**Актуальність теми дослідження.**

Навколоzemний космічний простір, або геокосмос, у теперішній час є середовищем мешкання людської цивілізації, саме тому його дослідження набувають першорядного значення. Починаючи з мезосферних висот (близько 50 км) і до верхньої границі іоносфери (~1000 км) простір заповнений слабо іонізованим газом, характеристики якого змінюються з висотою. На динаміку атмосфери впливають чинники як аеродинамічної, так і електродинамічної природи. Модель атмосфери та її динаміки на висотах геокосмосу ще знаходиться у стадії розробки, тому нові експериментальні та теоретичні дані про процеси на цих висотах необхідні та вкрай важливі.

В дисертації досліджуються атмосферні гравітаційні хвилі (АГХ), які є власними хвильами в атмосфері Землі від поверхні до висот верхньої іоносфери (400-500 км). Це робить АГХ транспортним агентом, здатним переносити енергію збурень між різними шарами атмосфери, переважно знизу догори, тому що основна енергія зосереджена у нижніх шарах. При поширені вгору, відносна амплітуда АГХ зростає, оскільки щільність атмосфери зменшується, тому ідентифікувати АГХ у верхніх шарах як правило легше, ніж поблизу джерела. Типовими плазмовими проявами АГХ є рухомі іоносферні збурення (РІЗ). Поширення АГХ є однією з причин виникнення плазмових неоднорідностей, таких як спорадичні шари в Е області та ефект F-розсіювання в F області, які поряд з РІЗ суттєво впливають на параметри електромагнітних хвиль різних частотних діапазонів, що поширяються крізь іоносферну плазму. Це призводить до того, що АГХ/РІЗ впливають на якість роботи майже всіх наземно-супутниковых систем. Моделей, які б надійно описували та дозволяли прогнозувати генерацію та поширення АГХ/РІЗ на разі не існує. Саме тому експериментальне та теоретичне дослідження АГХ безумовно актуальне та має велике практичне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.**

Робота над дисертацією велась в Інституті космічних досліджень НАНУ-ДКАУ в рамках багатьох відомчих тем НАН України, ДКА України, та конкурсних проектів. Слід відзначити, що низку результатів було отримано при виконанні міжнародних наукових проектів, а саме спільного

наукового проекту НАН України та EISCAT «Аналіз та моделювання плазмових і магнітних збурень за даними супутниковых вимірювань в арктичному регіоні», та грантової угоди 7-ї Рамкової програми Євросоюзу «Проблемно-орієнтований аналіз та розроблення інформаційної системи іоносферних супутниковых спостережень» (POPDAT) (2011–2013 pp.).

### **Структура та короткий зміст дисертаційного дослідження.**

Дисертація складається із анотації, вступу, 4 розділів, та 5 додатків. Слід відзначити відмінний, на мою думку, перший оглядовий розділ дисертації, в кінці якого виявлено наявну прогалину в дослідженнях АГХ та обґрунтовано мету дисертаційного дослідження. Другий розділ присвячено аргументації та опису методики обробки даних, що використовувалась в роботі. Треба відзначити роль автора в каталогізації подій АГХ. Третій розділ роботи присвячено обробці супутниковых даних з точки зору класичної теорії АГХ. Четвертий розділ присвячено аналізу зв'язку супутниковых вимірювань АГХ із потенційними джерелами їх генерації. Загальний обсяг дисертації складає 128 сторінок, включаючи 58 рисунків і 5 таблиць, список використаних джерел із 119 бібліографічних найменувань, та 5 додатків.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна.**

Обґрунтованість експериментальних результатів роботи базується на традиційних методах вимірювань та високій якості апаратури, що була встановлена на борту супутників. Експериментальні дані аналізуються в рамках класичних підходів до обробки сигналів. Отримані результати не суперечать загальноприйнятній теорії атмосферних гравітаційних хвиль. Результати роботи пройшли апробацію на багатьох національних та міжнародних конференціях та семінарах.

### **Основні результати наукового дослідження.**

В рамках роботи розроблено комплексний метод визначення та аналізу спектрального складу хвильових збурень термосфери за даними прямих супутниковых спостережень, розроблено методику оцінювання похибок визначення характеристик АГХ, отримано кількісну характеристику планетарного розподілу АГХ, а також створено програмний комплекс для автоматизованого опрацювання й інтерпретації супутниковых даних. Серед основних результатів слід також відзначити проведення каталогізації АГХ, а також загальні висновки про складність ідентифікації АГХ відгуку на тропічні циклони та старти ракет на супутниковых висотах.

### **Наукове значення результатів дисертаційної роботи.**

Вважаю, що при роботі над дисертацією Т.В. Скороход здобула нові експериментальні та теоретичні відомості про властивості АГХ та їх географічний розподіл на висотах верхньої атмосфери. Застосована в роботі практика кількісного аналізу параметрів АГХ та похибок,

що виникають при їх оцінці, виглядає перспективною. Отриманні нові знання про природу АГХ можуть в подальшому бути використані при уточненні моделей верхньої атмосфери та геокосмосу. На мою думку, досить важливими виглядають «сховані» у четвертому розділі роботи висновки про відсутність хвилеподібних збурень, пов'язаних із тропічними циклонами та стартами потужних ракет на супутниковых висотах. У даному випадку негативний висновок також додає важливої інформації про природу АГХ на висотах 300 км і вище.

**Наукова новизна дисертаційного дослідження** полягає у тому, що в роботі проведені прямі вимірювання інтенсивності АГХ. Зроблено уточнення кількісного внеску АГХ в енергетичний баланс термосфери. Встановлено обмеження на точність визначення спектральних параметрів АГХ в умовах космічного експерименту, зумовлені прямими точковими вимірюваннями просторових параметрів АГХ вздовж орбіти супутника. Показано, що обмеження виникають з первинних принципів і не підлягають корегуванню при подальшій обробці. В рамках роботи модернізовано методики та алгоритми селекції хвильових збурень в експериментальних даних.

### **Практичне значення результатів дисертаційної роботи.**

Практична користь від дисертаційної роботи полягає в наступному. Створено каталог супутникових спостережень АГХ, що дозволяє або полегшує використання баз даних АГХ у майбутніх дослідженнях. Розроблено програмне забезпечення для доступу до баз даних. Введено практику оцінки похибок при вимірюванні параметрів АГХ за супутниковими даними, що корисно з огляду на обробку даних майбутніх наукових супутниковых експериментів. Досить глибоко розглянуто причини похибок, які виникають при обробці супутниковых даних; результати цього аналізу можна використовувати на стадії планування експериментів.

### **Повнота викладення отриманих результатів у наукових працях.**

Зміст дисертації Т.В. Скороход досить повно розкрито в 5 статтях у фахових журналах, одній монографії, у звіті до COSPAR, та матеріалах низки вітчизняних та міжнародних конференцій.

### **Зауваження та недоліки дисертації та автореферату.**

1. Висновок про виділення передвісники землетрусів виглядає досить суперечливо, зокрема, суперечить висновку про те, що АГХ від приземних джерел спостерігаються рідко.
2. У розділі 2.2.6 недостатньо пояснено принцип розбиття спектру АГХ на пакети. «Візуально розділяються...» - це не критерій. У підрозділі 3.2.6 наведено більш детальний опис процедури, який, тим не менш, залишає питання. Треба було б більш ретельно обґрунтувати гіпотезу про існування 2-3 хвильових пакетів (чому не 1 або 4-5?). Оскільки цього не

зроблено, виникає питання, чому не розглядаються окрім кожна просторова гармоніка, яка вище рівня шуму в спектрі?

3. В роботі майже не звертається увага на те, що висота супутника при отриманні однієї хвильової форми змінюється, іноді досить суттєво. На рис. 2.13 показано зміни висоти супутника, це 300-450 км, що досить багато порівняно з висотою стандартної атмосфери. В каталогі (Додаток В) для витка 7789, що детально розглядається в роботі, вказано висоти супутника 257-273-341 км. Такі варіації можуть привести до того, що на різних рівнях спостерігаються процеси, пов'язані з різними пакетами АГХ. Зміни висоти супутника мають братися до уваги в подальшому аналізі даних. Логічним виглядає розгляд одного процесу в діапазоні висот не більшим за висоту приведеної атмосфери.

4. На стор. 70 у підрозділі «2.2.7 Верифікація методики селекції ГХ» сказано, що «Для верифікації методики було, по-перше, проведено порівняння з даними вейвлет-аналізу». Представлення процесу в базисі інших ортогональних функцій само по собі не є верифікацією методики селекції АГХ.

5. Робота не вільна від деякої кількості описок та русизмів. Наприклад, має місце збій у нумерації підрозділів на стор. 107-109. Підрозділи 3.2.2-3.2.5 на цих сторінках, це підрозділи 3.3.2-3.3.5.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.**

Відзначенні недоліки та зауваження не зменшують моєї високої оцінки проведених досліджень та отриманих результатів. Дисертаційна робота Т.В. Скороход є закінченою науковою працею, її результати опубліковано в достатній кількості статей, їх було представлено на багатьох наукових конференціях і семінарах. За формує дисертаційна робота повністю задовольняє вимогам діючого законодавства, а науковий рівень роботи свідчить про те, що її авторка безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження.

### **Офіційний опонент:**

доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач відділу радіофізики геокосмосу  
Радіоастрономічного інституту НАН України

А.В. Залізовський

Підпис офіційного опонента А.В. Залізовського підтверджую:  
Завідувач відділу кадрів Радіоастрономічного інституту НАН України



Тимошевська Н.Ф.