

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Колоскова Олександра Валерійовича «Електромагнітні прояви низькочастотних процесів у геокосмосі», подану на здобуття наукового ступеня **доктора фізико-математичних наук** за спеціальністю **01.04.03 – «Радіофізика»**

Актуальність обраної теми. Дисертація О.В. Колоскова присвячена розробці нових оригінальних підходів і методів електромагнітної діагностики низькочастотних процесів в навколосемному космічному оточенні Землі, спрямованих на вивчення найбільш потужних за рівнем енерговиділення геокосмічних явищ. Тема роботи пов'язана з найважливішими фундаментальними проблемами сучасної радіофізики та практично значущим завданням моніторингу космічної погоди. Відзначимо, що ця проблематика визначена Міжнародним комітетом з космічних досліджень COSPAR як один з пріоритетних напрямів сучасних космічних досліджень.

Зокрема актуальність теми, що досліджується дисертантом, обумовлена потребами забезпечення стабільного радіозв'язку, телерадіомовлення, радіонавігації і низки завдань, від рішення яких залежить нормальна життєдіяльність практично всіх сучасних наземно – космічних технологій. Мова йде не тільки про життєздатність систем космічного базування, але і функціонування численних наземних технологічних об'єктів енергетики, мобільного зв'язку, інтернет комунікацій, комп'ютерної техніки, повітряних перевезень, а також життя і здоров'я космонавтів, пілотів і пасажирів міжконтинентальних авіалайнерів тощо. Слід зазначити, що основними факторами, які впливають на стан космічної погоди, роботу технологічних систем і здоров'я людини є флуктуаційні процеси в геокосмосі, стимульовані спорадичною активністю Сонця. А вони, на відміну від відносно добре досліджених регулярних процесів у навколосемному просторі, вивчені далеко неповно.

Все відзначене вище свідчить про безсумнівну **актуальність** і **значимість** роботи.

Розвинений в роботі підхід використання природних процесів в ролі індикаторів космічної погоди є **новим і оригінальним**. Пошукувач суттєво розвиває традиції дистанційних досліджень геокосмосу всесвітньо відомої Харківської школи космічної радіофізики. Ним запропоновано концепцію застосування глобальних електромагнітних резонаторів, зокрема, шуманівського (ШР) і іоносферного альфвенівського (ІАР), у якості індикаторів стану космічної погоди. З використанням їх реакції досліджені електромагнітні прояви найбільш потужних низькочастотних процесів в геокосмосі, які стимульовані регулярною і спорадичною активністю Сонця, потужними збуреннями в магнітосфері, тропосфері і на поверхні Землі. До першої групи належать: 11-ти річний цикл сонячної активності, сезонні і добові варіації. Другу групу складають геокосмічні бурі, спалахи на Сонці, авроральні активації, потужні тропосферні погодні фронти, глобальна грозова активність, землетруси, акустико-гравітаційні хвилі і штучні стимульовані впливи на геокосмічну плазму.

Суттєво новим результатом слід вважати картографування надпотужних блискавичних розрядів з використанням оригінальної методики поляризаційної пеленгації джерел з урахуванням гіротропії іоносфери. Крім того, експериментально виявлено і досліджено новий ефект «розщеплення» спектральних максимумів іоносферного альфвенівського резонансу, та встановлено і апробовано нову методику розрахунку критичної частоти іоносферного шару F2 за даними моніторингу ІАР.

В методичному плані новим результатом слід вбачати розроблення та реалізацію нової методики спектрально-поляризаційної діагностики в Антарктиді рівнів «паразитного» випромінювання енергетичних систем, яка дозволила оцінити рівень забруднення електромагнітного оточення Антарктики випромінюванням енергомереж інших континентів. Автор вперше використав область штучної іоносферної турбулентності для керованого живлення міжшарового (E - F) іоносферного хвилеводу що дозволило встановити

залежність між неоднорідностями різних масштабів і спектральною структурою стимульованої електромагнітної емісії іоносфери.

Характерною рисою новизни запропонованих в дисертації підходів є екологічна чистота і енергоефективність методів вирішення проблеми. Використовується випромінювання природного і штучного походження, що не призводять до додаткового забруднення електромагнітного оточення Землі. Такий підхід, а також проведення вимірювань на Українській антарктичній станції (УАС) при практично повній відсутності там паразитних шумів і сигналів, дозволили виявити новий «тонкий» ефект поширення випромінювання промислових енергосистем в Антарктику, вивчити його особливості, та провести аналіз ефектів збудження ШР і ІАР на добовому, сезонному і річному інтервалах, а також протягом повного одинадцятирічного циклу сонячної активності.

Досліджувані в роботі процеси і явища носять планетарний характер, тому їх аналіз вимагав від автора проведення спостережень в різних регіонах Землі. Для вирішення цього завдання було створено унікальну мережу просторово-рознесених, автономних, постійно діючих радіофізичних комплексів дистанційної діагностики геокосмосу, розміщених в Антарктиці, Арктиці, Європі, Азії і Африці, які виконують моніторинг електромагнітних полів і сигналів в широкому діапазоні частот від УНЧ до УВЧ. Основний масив результатів, представлених в дисертації, отримано за допомогою цієї мережі. Результати вимірювань не тільки зберігаються в єдиному центрі, а також обробляються та візуалізуються практично у реальному часі в мережі Інтернет, що дозволяє оперативно оцінювати стан космічної погоди. Така методологія є безсумнівним свідченням інноваційного підходу автора до вирішуваної проблеми.

Результати дисертаційної роботи викладені у 6 основних розділах та висновках, до яких доданий список літературних джерел. Вступ присвячений обґрунтуванню актуальності теми, зв'язку роботи з науковими темами та проектами, визначає мету і завдання роботи, методи дослідження, обґрунтовує наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Крім того,

визначається особистий внесок здобувача, а також наведені дані про апробацію та основні наукові публікації.

Розділі 1 є аналітичним оглядом і містить опис сучасного стану досліджень навколоземного космічного простору. Викладені сучасні уявлення про магнітосферу, іоносферу, атмосферу та літосферу, та представлені методи і комплекси сучасної дистанційної радіофізичної діагностики геокосмосу. Крім того наведено класифікацію процесів, що досліджуються в роботі. Це дозволило автору обґрунтувати вибір проблематики досліджень, визначити їх місце у світовій кооперації, показати необхідність і перспективність розв'язання задач дисертаційної роботи.

У Розділі 2 представлені вимірювальні комплекси і методики обробки їх даних, які використано для отримання експериментальних результатів роботи. З наведеної інформації випливає, що автор особисто брав участь, розробці та у інсталяції програмного і методичного забезпечення, а також експлуатації переважної більшості вимірювальної техніки, яку встановлено в Антарктиці, Арктиці, Європі та Україні.

Розділ 3 присвячено дослідженню властивостей шуманівських резонансів. Зокрема аналізуються і інтерпретуються добово-сезонні залежності інтенсивності та пікових частот ШР для різних моделей джерел та порожнини Земля-іоносфера. Підтверджено необхідність врахування гіротропії резонансної порожнини. Досліджено поведінку параметрів ШР протягом повного 11-ти річного циклу сонячної активності, розглянуто можливі механізми довгострокових варіацій пікових частот і інтенсивностей, а також розроблені феноменологічні моделі, які пояснюють виявлені в експерименті зміни параметрів ШР. Розглянуто оригінальні алгоритми поляризаційної локації надпотужних блискавичних розрядів за даними магнітометричних ННЧ спостережень.

У Розділі 4 викладено результати досліджень іоносферного альфвенівського резонатору, представлено теоретичну модель поширення магнітогідродинамічних хвиль в іоносфері і магнітосфері. Вивчені характерні особливості поведінки IAP на добовому, сезонному і річному інтервалах, а

також досліджено поведінку резонансів в залежності від сонячної і геомагнітної активності. Представлено новий ефект «розщеплення» нижчих мод ІАР та розроблено оригінальну методику оцінки критичної частоти іоносферного шару F2 за величиною різниці частот між резонансними модами.

Розділі 5 демонструє результати практичної реалізації запропонованого підходу використання природних резонаторів в якості індикаторів геокосмічних процесів. У ньому детально, у якості прикладу, проаналізовані ефекти впливу надпотужної геокосмічної бурі жовтня-листопада 2003 року на параметри електромагнітних резонаторів та систематично розглянуті реакції ШР на менш потужні протонні і рентгенівські сонячні спалахи. Продемонстрована реакція ШР на потужний землетрус. Вивчені ефекти «проникнення» випромінювання енергосистем північноамериканського континенту в Антарктику.

Розділ 6 присвячено результатам, які отримано при багатопозиційній радіодіагностиці низькочастотних процесів іоносфері. Вивчено нове явище «розщеплення» доплерівських спектрів сигналів, розсіяних областю штучної іоносферної турбулентності (ШТ) та розглянуто методики використання даних ракурсного розсіяння ВЧ сигналів для ідентифікації та оцінки параметрів іоносферних неоднорідностей. Представлена оригінальна методика картографування іоносферних збурень з використанням даних регіональних мереж ГНСС приймачів. Вперше продемонстрована можливість штучного керованого живлення міжшарового (Е та F шари) іоносферного хвилеводу за допомогою надпотужного нагрівного стенду HAARP (США).

Загальний висновок, який можна зробити, аналізуючи текст дисертації О.В. Колоскова, полягає в високому науковому рівні роботи, обґрунтованості ключових наукових положень та значущості для розвитку радіофізики і практичних застосувань. Про це свідчить і включення більшості результатів пошукувача до циклу робіт «Структура і динаміка геофізичних полів як відображення еволюції і взаємодії геосфер в Антарктиці», якому присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки за 2015 рік.

Найбільш вагомими та значущими вважаю наступні результати.

1. Використання природних електромагнітних резонаторів Землі в ролі “індикаторів” стану космічної погоди та розроблені фізичні моделі, що пояснюють механізми взаємодії радіаційних і корпускулярних потоків сонячної енергії з навколоземною плазмою.

2. Створення унікальної багаторічної бази даних багатопозиційних спостережень в результаті впровадження та експлуатації глобальної мережі Інтернет-керованих приймальних систем УНЧ, ННЧ і ВЧ діапазонів для дистанційної діагностики іоносфери і глобальної грозової активності

3. Картографування надпотужних блискавичних розрядів з використанням оригінальної методики поляризаційної пеленгації джерел з урахуванням гіротропії іоносфери.

4. Експериментальне виявлення нового ефекту розщеплення спектральних максимумів іоносферного альфвенівського резонансу, та апробація нової методики розрахунку критичної частоти іоносферного шару F2 за даними моніторингу IAP.

5. Розроблення та реалізацію нової методики спектрально-поляризаційної діагностики в Антарктиді рівнів «паразитного» випромінювання енергетичних систем, яка дозволила оцінити рівень забруднення електромагнітного оточення Антарктики випромінюванням енергомереж інших континентів.

6. Використання області штучної іоносферної турбулентності для керованого живлення міжшарового (E - F) іоносферного хвилеводу, та встановлення залежності між неоднорідностями метрових-декаметрових масштабів і спектральною структурою стимульованої електромагнітної емісії іоносфери.

8. Розроблення та реалізацію оригінальної методики побудови регіональних карт варіацій повного електронного вмісту за даними «регіональних» мереж ГНСС приймачів, яка дозволила виявляти і відобразити природні низькочастотні збурення в геокосмосі.

9. Створення і впровадження в експлуатацію апаратно-програмного забезпечення «Комплексу електромагнітного зондування навколишнього середовища» Низькочастотної обсерваторії РІ НАНУ, що є об'єктом національного надбання України.

Обґрунтованість та достовірність отриманих у роботі результатів обумовлена зокрема застосуванням методів статистичної обробки та кореляційний аналіз великих масивів експериментальних даних, широкого спектру засобів верифікації результатів за допомогою комп'ютерного моделювання, порівнянням з існуючими фізичними моделями, перехресними перевітками з іншими даними спостережень тощо. Первинні дані вимірювань та їх обробка проводилися відповідно до стандартизованих міжнародних правил URSI.

Практична значущість результатів дисертації полягає в здатності застосування розроблених вимірювальних систем, методик, програмного забезпечення і фізичних моделей для моніторингу стану космічної погоди, діагностики процесів, що відбуваються в геокосмосі і на поверхні Землі, а також аналізу і прогнозу глобальних кліматичних змін. Фундаментальний і практичний інтерес представляє нова оригінальна концепція застосування природних електромагнітних резонаторів у ролі «індикаторів» геокосмічних і наземних збурень та стану плазмового оточення Землі. Важливим прикладним результатом є продемонстрована можливість використання для діагностики навколоземного простору автоматизованих, інтернет-керованих компактних приймальних систем, які в якості пробних застосовують вже існуючі природні та техногенні сигнали. Розробки, результати та висновки дисертаційної роботи вже знайшли та знаходять практичне використання при виконанні низки національних та міжнародних програм досліджень.

Про повноту викладених результатів свідчить перелік опублікованих праць зокрема в рейтингових міжнародних виданнях. Усі основні наукові положення та результати дисертації опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях (38 наукових публікацій, 12 з них викладено у матеріалах національних і міжнародних конференцій). Всі статті опубліковано у виданнях,

спеціалізація яких відповідає напряму досліджень автора. Сумарний імпакт-фактор публікацій пошукувача (RG Score – 19.35 та h-index – 7 за даними мережі Research Gate) свідчить про достатньо високий рівень видань, в яких опубліковані результати дисертаційної роботи, та їх цитування.

Матеріали досліджень у дисертаційній роботі та авторефераті викладені достатньо чітко, отже не виникає двозначних інтерпретацій або непорозумінь. В тексті майже відсутні технічні помилки, суттєвих зауважень до подання матеріалу та оформлення немає.

До змісту дисертаційної роботи вважаю доцільним навести такі **зауваження:**

1. Невдалим вважаю формулювання одного з завдань дослідження як «розробка спрощених фізичних моделей». Таке ж формулювання вживається автором при обґрунтуванні наукової новизни роботи (стор. 4 автореферату). Характеристику моделі слід було б визначати за ступенем її адекватності та достовірності, а рівень «спрощеності» винести у обговорення деталей.

2. В процесі порівняння експериментальних та розрахункових результатів автор нечітко проводить межу між відомими результатами, викладеними в літературі та власними розрахунками (наприклад при аналізі поляризаційних характеристик сигналів ШР, розділ 3 стор. 116-119 дисертації). Примітка автора, щодо «более углубленного анализа» не прояснює викладення і в деяких випадках утруднює ідентифікацію власного внеску автора в вирішення поставлених в роботі завдань.

3. Не зовсім коректно видається оцінка можливих довгострокових змін температури на основі вимірювань інтенсивності ШР сигналів (розділ 4 стор. 156-158). Співставлення провадиться без урахування похибок вимірювань, отже зроблені висновки щодо регулярних глобальних змін температури поверхні в тропіках, пов'язаних з 11-річним циклом сонячної активності не є переконливими.

4. Серед проаналізованих можливостей використання глобальних резонаторів не вистачає висновків щодо можливості використання супутникових даних, оскільки накопичена достатня кількість свідоцтв щодо

реєстрації полів МР, ШР та ІАР з борту ШСЗ. Це питання є практично важливим для космічних досліджень в Україні в зв'язку з підготовкою до реалізації супутникової місії «Іоносат – Мікро».

5. В тексті дисертації зустрічаються окремі мовні помилки, наприклад, «ефект саморозсіювання» замість «ефект саморозсіяння». Також вживаються не вірні визначення деяких фізичних величин такі як: «КеВ» замість «кеВ», «сек» замість «с» та ін. На сторінці 194 розмірність фізичних величин наведено англійською мовою.

Відмічені вище зауваження суттєво не впливають на загальне позитивне враження від роботи та не знижують цілком позитивної оцінки дисертації.

Загалом можна зробити наступний висновок. Дисертаційна робота Олександра Валерійовича Колоскова «Електромагнітні прояви низькочастотних процесів у геокосмосі», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – «Радіофізика», являє собою завершене наукове дослідження, присвячене актуальній науковій проблемі розробки оригінальних підходів і нових методів електромагнітної діагностики низькочастотних процесів в геокосмосі, та реалізує новий підхід, який передбачає використання електромагнітних резонаторів Землі в якості індикаторів стану космічної погоди.

Висока наукова кваліфікація пошукувача мені особисто добре відома завдяки його неодноразовим виступам на наукових семінарах та конференціях з космічних досліджень. Значна кількість публікацій О.В. Колоскова у співавторстві з провідними вченими з США та Європи в галузі радіофізичних досліджень геокосмосу свідчить про його визнання на міжнародному рівні.

Дисертаційна робота оформлена у відповідності з вимогами до докторських дисертацій. Автореферат та опубліковані роботи здобувача за темою дисертації з достатньою повнотою відображають її зміст.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості наукових результатів, практичною цінністю, повнотою викладення матеріалу та якістю оформлення дисертаційна робота відповідає чинним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння

вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р.) щодо докторських дисертацій, а її автор Олександр Валерійович Колосков заслуговує на присудження ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – «Радіофізика».

Офіційний опонент

директор Інституту космічних досліджень

НАН України та ДКА України

доктор фіз.-мат. наук,

член-кор. НАН України,

лауреат Державної премії України

в галузі науки і техніки



О.П. Федоров

17 жовтня 2016 р