

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук Корепанова Валерія Євгенійовича на дисертацію Сумарука Юрія Петровича «Просторово-часовий розподіл вікових варіацій геомагнітного поля від зовнішніх та внутрішніх джерел» подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 - геофізика (103 - науки про Землю)

Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження.

Магнітне поле є одним з основних факторів, що забезпечує існування життя на Землі, отже важливість і актуальність дослідження вікових варіацій (ВВ) магнітного поля Землі (МПЗ) для розуміння механізму його генерації не підлягають сумніву. Завдання розшифровки природи ВВ вирішується уже багато років і до цього часу є дискусійним.

Вікові варіації геомагнітного поля мають складну просторово-часову структуру, яка є суперпозицією змін полів від струмів в ядрі, в літосфері та магнітосфері-іоносфері. Донедавна вклад компонент від зовнішніх джерел не враховували, припускаючи, що усереднення іррегулярних варіацій за інтервал часу тривалістю в рік веде до виключення цієї компоненти. Як показали роботи останніх десятиліть, такого спрощення роботи не можна. Визначення швидкості зміни головного магнітного поля Землі за геомагнітними вимірюваннями без врахування впливу варіацій, пов'язаних з магнітосферно-іоносферними системами струмів, інтенсивність яких залежить від сонячної хвильової та корпускулярної активності, веде до неправильної оцінки динаміки земного диполя.

Отже, розділення ВВ від зовнішніх та внутрішніх джерел має важливе значення, оскільки дозволяє виділити ВВ від внутрішніх джерел в чистому вигляді і таким чином покращити розуміння механізмів генерації головної складової МПЗ. Інтерес до вивчення вікових варіацій значною мірою виникає внаслідок необхідності прогнозувати їх, а також для того, що розуміння причин вікових варіацій дозволить уточнити деякі суттєві сторони сучасної теорії гідромагнітного динамо, яке пояснює головну частину геомагнітного поля.

Саме цьому питанню і присвячена дисертація Сумарука Ю.П.

Актуальність обраної здобувачем теми зумовлена й тим, що матеріали дисертації є частиною науково-дослідних робіт, що виконуються за планами відділу геомагнетизму Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами і напрямками науково-дослідних робіт.

Робота виконана на базі відділу геомагнетизму Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України за такими науковими темами:

- «Дослідження зв'язку геомагнітного поля з кліматом і довготривалими змінами оточуючого середовища» (1998–2002), № держ. реєстрації 0198U000211;
- Динаміка геомагнітних варіацій, її відображення в процесах атмосферної циркуляції та зв'язок з еволюцією геосфер Землі (2003 - 2008), № держ. реєстрації 0103U000389; Динаміка і моделі геомагнітного поля за результатами інструментальних спостережень і палеомагнітних досліджень (2009 - 2014), № держ. реєстрації 0109U000102;
- «Літосферні і зовнішні джерела геомагнітного поля території України: проблеми геологічної еволюції земної кори, рудо- та нафтогазоносності і екологічного стану доквілля» (2013–2017) № держ. реєстрації 0113U000344;
- «Інформативність магнітних моделей різновікових тектонотипів мантіїно-корових структур для вирішення задач геодинаміки та прогнозування корисних копалин території України» (2018–2022), № держ. реєстрації 0118U000013.

Мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження. Метою роботи було дослідження просторово-часового розподілу вікових варіацій геомагнітного поля від зовнішніх і внутрішніх джерел та оцінка вкладу цих джерел в залежності від параметрів сонячної та геомагнітної активності.

Об'єкт дослідження – геомагнітне поле Землі та навколоземний простір.

Предмет дослідження – вікові варіації геомагнітного поля та сонячно-земні зв'язки.

Методи дослідження та достовірність і обґрунтованість отриманих результатів і висновків. Дослідження просторово-часового розподілу вікових варіацій геомагнітного поля під впливом зовнішніх та внутрішніх джерел здійснювались за допомогою статистичного аналізу та математичних розрахунків з використанням даних геомагнітних обсерваторій України та світової мережі INTERMAGNET, а також даних міжнародних центрів даних по сонячно-земній фізиці, що дало змогу з максимальною достовірністю оцінити вклад зовнішніх джерел.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів і висновків забезпечується застосуванням статистичних та строгих математичних розрахунків при використанні даних світових геомагнітних обсерваторій та міжнародних центрів даних з сонячно-земної фізики.

Наукова новизна дисертаційної роботи Сумарука Ю.П. полягає у отриманні ним нових теоретичних і практичних результатів, що у сукупності вирішують поставлені завдання. Найбільше значення для геофізичної науки мають наступні положення:

1. Розроблено методику розділення вікових варіацій геомагнітного поля від зовнішніх та внутрішніх джерел за допомогою довгих рядів спостережень на геомагнітних обсерваторіях розміщених на різних широтах.
2. Зроблено оцінку вкладу зовнішніх джерел у вікову варіацію геомагнітного поля. Показано, що величина вкладу залежить від збуреності геомагнітного поля. В збурені дні величина вкладу у вікову варіацію геомагнітного поля співрозмірна з величиною вікової варіації.
3. Вперше пораховано вклад зовнішніх джерел в вікову варіацію геомагнітного поля за даними геомагнітних обсерваторій України. Показано, що величина вкладу залежить від геомагнітної активності. В збурені роки амплітуда змін вікових варіацій зростає в 1,5-2 рази.
4. Впроваджено сучасні методи вимірювання та обробки даних на геомагнітних обсерваторіях «Львів», «Київ», «Одеса». Розроблено програми для обробки та online відправки даних в форматі INTERMAGNET до міжнародних центрів даних.
5. Розроблено метод усунення завад при ресстрації складових геомагнітного поля на обсерваторіях, що створюються залізницями, електрифікованими постійним струмом.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована методика розділення впливу зовнішніх та внутрішніх джерел на вікові варіації геомагнітного поля дасть можливість вдосконалити існуючі моделі джерел головного магнітного поля Землі.

Дослідження довготривалих змін геомагнітного поля за найновішими даними спостережень на магнітних обсерваторіях світу дозволить врахувати динаміку змін геомагнітного поля і вдосконалити прогноз на майбутнє. Адже, як показано в роботі, після 50-х років XX століття спостерігається різке зменшення геомагнітної активності, пов'язане зі зменшенням величини великомасштабного магнітного поля Сонця і наближенням до мінімуму 200-літнього циклу сонячної активності. Отримані результати також потрібні для побудови карт магнітного схилення, які використовуються для потреб морського та повітряного сполучення, карт вертикальної компоненти і модуля МПЗ. На підставі цих даних можна виділити аномалії, пов'язані з покладами мінеральної сировини.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертаційної роботи, її завершеності та оформлення. Дисертаційна робота Сумарука Ю.П. в цілому є завершеною науковою працею. Робота викладена на 326 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 5 додатків, ілюстрована 30 таблицями та 110 рисунками. Список використаних джерел містить 455 найменувань.

У вступі дано загальну характеристику роботи, обґрунтовано доцільність обраного напрямку та актуальність дисертації, сформульовано мету, основні методи і задачі досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів, сформульовані основні наукові досягнення дисертанта, наведена інформація щодо апробації отриманих результатів, публікацій, структури та обсягу роботи.

У першому розділі проведено детальний огляд літератури за темою дисертації та відображено сучасний стан проблеми, що розглядається в роботі. Показано, що на сьогоднішній основним інструментом вивчення механізму генерації МПЗ є саме ВВ. Зроблено висновок, що розділення ВВ від зовнішніх та внутрішніх джерел має важливе значення, оскільки дозволяє виділити ВВ від внутрішніх джерел в чистому вигляді і таким чином покращити розуміння механізму генерації головного магнітного поля Землі. На підставі прийнятої методики виділення аномалій в вікових варіаціях розглянуто основні зовнішні джерела варіацій ВВ і беззаперечно підтверджено, що вони дають суттєвий вклад у ВВ геомагнітного поля.

У другому розділі досліджуються просторово-часовий розподіл вікових варіацій геомагнітного поля та тектонічна будова Землі.

Проведено аналіз даних геомагнітних обсерваторій світу, на підставі якого переконливо доведено, що ВВ мають внутрішні та зовнішні джерела. Розділено механізми генерації складових ВВ від внутрішніх та зовнішніх джерел. Окремо розглянуто вклад у ВВ магнітних флуктуацій у полярних шапках, на Африканській плиті та Євразійській плиті та висвітлено особливості формування складових ВВ на кожній з цих плит. На підставі обробки даних геомагнітних обсерваторій підтверджено, що на кожній з плит внесок у ВВ від різних джерел необхідно розглядати окремо через різну кореляція між віковими варіаціями в північній та південній полярних шапках Землі, а також між береговими антарктичними обсерваторіями та суміжними по довготі середньополісними обсерваторіями. Швидкість зміни ВВ в обох полярних шапках Землі корелює з величиною вектора магнітного поля Сонця та південної компоненти міжпланетного магнітного поля (ММП), що вказує на значний вклад у ВВ зовнішніх джерел. Також відзначено, що на прибережних та острівних обсерваторіях величина як короткоперіодних, так і довгоперіодних ВВ зростає, що підтверджує гіпотезу про вплив на ВВ електропровідних океанських течій.

Досліджено ВВ геомагнітного поля на магнітних обсерваторіях Європи і показано, що вони по різному відображаються у вертикальній та горизонтальній компоненті: величина ВВ збільшується в вертикальній компоненті із збільшенням широти місця спостереження, а в горизонтальній компоненті - із зменшенням широти. При цьому величина і знак компоненти ВВ від зовнішніх джерел добре корелює з величиною і знаком середньорічних значень південної компоненти ММП.

У третьому розділі розглянуто зв'язок сонячної і геомагнітної активності з ВВ МПЗ. При розгляді особливостей сонячної та геомагнітної активності у ХХ та на початку ХХІ століття показано, що зміни у сонячній активності, а саме орієнтації і величини ММП добре відображаються у вікових варіаціях геомагнітного поля. Продемонстровано залежність ВВ від сонячної активності як на довгих, так і на коротких проміжках часу, та від різних параметрів сонячної активності. Показано, що на фазі росту 11-річного циклу сонячної активності величина горизонтальної компоненти ВВ зменшується, а на фазі спаду збільшується. Виявлено три типи складових варіацій у ВВ від зовнішніх джерел: короткоперіодні варіації (квазідворічні), амплітуда яких зростає в магнітозбурені дні і

фази яких в горизонтальній ВВ(Н) і вертикальній ВВ(Z) компонентах протилежні; середньоперіодні (~ 11 років) ВВ, величина яких спадає на фазі росту сонячної активності і зростає на фазі спаду; і довгоперіодні (~ 80 років) ВВ, які мають графік залежності від часу квазисинусоїдальної форми.

Показано, що у приєкваторіальних широтах зовнішні джерела спричиняють зменшення ВВ геомагнітного поля. Зроблено висновок, що тут відображається вплив кільцевого магнітосереднього струму та струмів на денній поверхні магнітосфери. Пояснено, чому залежності величини внеску зовнішніх джерел у ВВ у горизонтальну, вертикальну та повну напруженість поля на окремих обсерваторіях мають значні відхилення від модельних кривих.

Досліджено залежність геомагнітної активності від зміни секторної структури ММП. Збільшення сонячної активності веде до перебудови двосекторної структури в багатосекторну, до появи V_z -складової ММП значної величини і до збільшення геомагнітної активності, що відображається у вікових варіаціях геомагнітного поля. При цьому короткоперіодні варіації ВВ(Н) і ВВ(Z) змінюються в протифазі і спостерігається антикореляція між ВВ(Н) та магнітною активністю. Порівнявши довгоперіодні (близько 80 років) ВВ із сонячною активністю, виділено хорошу кореляцію цих процесів.

Проведено також оцінку вкладу у ВВ дуже великих магнітних бур і показано, що вони дали значний вклад у середньорічні значення поля і у ВВ відповідно: потужні спалахи й пов'язані з ними екстрабури в роки високої сонячної активності ведуть до значного зменшення середньорічних значень напруженості геомагнітного поля.

В четвертому розділі розглянуто просторово-часову структуру магнітного поля Землі на території України. Приведено детальний огляд стану та обладнання геомагнітних обсерваторій України, три з яких – обсерваторії Антарктичної станції України «Академік Вернадський», «Львів» та «Київ», - входять до міжнародної мережі INTERMAGNET, що об'єднує найкращі геомагнітні обсерваторії світу. Проаналізовано довготривалі зміни геомагнітного поля за даними спостережень на обсерваторіях, розташованих на території України, за весь час їх неперервної діяльності (п'ять останніх 11-річних циклів сонячної активності), з використанням яких розраховано динаміку магнітного поля, а також виконано оцінку вкладу в варіації поля як внутрішніх, так і зовнішніх джерел. Детально розглянуто внесок у ВВ окремих складових варіацій МПЗ і показано, що динаміка розглянутих компонент геомагнітного поля в різних обсерваторіях добре узгоджується з результатами зміни компонент геомагнітного поля за результатами дослідження на пунктах вікового ходу. Показано, що на геомагнітних обсерваторіях України варіації геомагнітного поля в усіх компонентах є синхронними, але відрізняються в деталях, оскільки підстилаючі поверхні під обсерваторіями є неоднаковими. На підставі виявленого зв'язку між магнітосферно-іоносферними та індукційними струмами і зумовленими ними варіаціями магнітного поля та кількістю енергії, яка поступає на Землю, доведено можливість прогнозувати поведінку місячних величин ВВ.

П'ятий розділ присвячено удосконаленню методів спостережень на геомагнітних обсерваторіях та побудові регіональних моделей геомагнітного поля. Особливу увагу у даному розділі приділено розробці нового методу виключення завад від промислових джерел, пов'язаних з генерацією електричного струму. В роботі досліджено параметри збурюючого електромагнітного поля і запропоновано новий метод його визначення та компенсації. Подано приклад застосування нового методу і показано, що порівняння К-індексу, визначеного за оригінальними та реконструйованими даними, покращує результат для обсерваторії «Львів» на 29 %.

Проведено також моделювання просторового розподілу геомагнітного поля та його часових змін з використанням методу, запропонованого автором, що дозволяє визначити величини компонент геомагнітного поля в будь-якій точці простору. Суть нового методу полягає в тому, що для моделювання регіонального геомагнітного поля запропоновано використовувати таку базову систему функцій, якій властива ортогональність на довільній

сферичній трапеції. Обчислено дисперсію визначених коефіцієнтів моделі і стандартне відхилення аномальних значень компонент геомагнітного поля від їх модельних значень, а також різниць між ними. В якості вхідних даних було використано виміри компонент геомагнітного поля на дев'яти геомагнітних обсерваторіях Центральної Європи і побудовано карти компонент B_x, B_y, B_z для епохи 2010 року. Порівняння з глобальною моделлю геомагнітного поля IGRF на ту ж епоху дало можливість виділити аномальні значення компонент $\Delta B_x, \Delta B_y, \Delta B_z$ і побудувати їх карти. Проведена оцінка показала достатньо високу роздільну здатність моделі: стандартне відхилення аномальних значень компонент геомагнітного поля і їх модельних значень різняться в межах 20 %.

У **висновках** наведено основні результати досліджень.

Важливо зазначити, що дисертацію Сумарука Ю.П. та автореферат написано державною мовою, з дотриманням стилю, належним чином оформлено та проілюстровано якісним графічним матеріалом, необхідним і достатнім за обсягом.

Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.

Позитивно оцінюючи роботу, вважаю за необхідне зробити зауваження та звернути увагу на наступні дискусійні положення.

1. Вказано, що наявність у Землі двох зовнішніх об'єктів - Сонця і Місяця - веде до появи горизонтальної гравітаційної (приливної) сили, яка створює рух рідини в рідкому ядрі, пропорційний приливній силі і обернено пропорційний періоду обертання планети. Добре було б подати хоча б приблизну оцінку відносного внеску цих об'єктів у величину ВВ.

2. У другій главі розглянуто особливості розвитку ВВ в основному в полярних зонах, на Африканській плиті та у Європі. Оскільки висновки в роботі відносяться до всієї Земної кулі, треба було б дати роз'яснення, чому введено таке обмеження.

3. У розділі 3 автор не вказує, що може бути критерієм при віднесенні геомагнітних збурень до категорії екстрабур.

4. При аналізі даних, отриманих на українських обсерваторіях (розділ 4), не використані дані від магнітоваріаційної станції Радіоастрономічного Інституту НАНУ, розташованої у с. Мартове Харківської області.

5. У п'ятому розділі описано новий метод компенсації завад, що створюються електрифікованими залізними дорогами, який базується на знаходженні частотно-передавальної функції між співвідношеннями горизонтальних компонент на обсерваторії, записи якої зашумлені завадами, та обсерваторії, яка не має таких завад. Треба пояснити, чому розглядалися співвідношення саме горизонтальних компонент на обсерваторіях, а не вертикальних або ж обох?

6. В тексті роботи мають місце деякі описки (наприклад, «іоносередніх авроральних електроструменів»).

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій Сумарука Ю.П. в опублікованих працях відповідає встановленим вимогам. Основні наукові результати та висновки, викладені в дисертаційній роботі, одержані автором особисто та опубліковані в журналах, які входять до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з фізико-математичних наук та в престижних загальнонавчаних геофізичних журналах за кордоном. За темою дисертації автором опубліковано 62 наукові праці: 37 статей (11 входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), з них 9 – без співавторів та 25 тез доповідей на українських та міжнародних наукових конференціях та нарадах.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації.

Зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

Вимоги "Порядку присудження наукових ступенів" та нормативних актів МОН України.

Дисертаційна робота Сумарука Ю.П. за змістом, обсягом і стилем викладеного матеріалу та оформленням відповідає вимогам п.п. 9. II. 12. 13. 14 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, які внесені згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а також вимогам наказу №40 від 12.01.2017 р. "Про затвердження вимог до оформлення дисертації" які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, інших нормативних актів МОН України та паспорту спеціальності 04.00.22 - геофізика (103 - науки про Землю).

Загальний висновок.

Дисертацію Сумарука Юрія Петровича «Просторово-часовий розподіл вікових варіацій геомагнітного поля від зовнішніх та внутрішніх джерел» присвячено актуальній темі, основні наукові положення і висновки є обґрунтованими та достовірними й достатньо висвітлені у наукових публікаціях, а отримані результати сукупно свідчать про вирішення конкретного наукового завдання – дослідженню вікових варіацій геомагнітного поля та сонячно-земних зв'язків і моделюванню регіональних та аномальних варіацій магнітного поля Землі.

Дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, містить наукову новизну, має практичне значення, а її автор – Сумарук Юрій Петрович - заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 - геофізика (103 - науки про Землю).

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, заст. директора Львівського центру Інституту космічних досліджень НАНУ-ДКАУ

В. Є. Корепанов

Підпис В.Є. Корепанова засвідчую:

Директор Львівського центру Інституту космічних досліджень НАНУ-ДКАУ



А.А. Лукенюк