

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Черкеса Семена Івановича

на тему

«Палеомагнетизм палеопротерозойських порід коростенського анортозит-
рапаківігранітного комплексу Українського щита»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 Природничі науки

за спеціальністю 103 Науки про Землю

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота С.І. Черкеса присвячена комплексному палеомагнітному, петромагнітному, магнітно-мінералогічному та мікроскопічному дослідженню палеопротерозойських порід коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу Українського щита (УЩ). Тематика досліджень охоплює кілька актуальних напрямів в науках про Землю: глобальної палеомагнітології докембрію, реконструкції траєкторій позірної міграції полюса (ТПМП) тектонічних блоків та вивчення еволюції геомагнітного поля у давньому геологічному минулому.

Актуальність обраної теми обумовлена насамперед тим, що, на відміну від фанерозою, для якого накопичено значний обсяг надійних палеомагнітних визначень, докембрій (і зокрема палеопротерозой) залишається істотно недовивченим («білою плямою» в геологічній історії) через обмежену збереженість об'єктів геологічного минулого, вплив метаморфізму та брак надійних геохронологічних прив'язок. Для Східноєвропейської платформи (СЄП) і, зокрема, для її сарматського сегмента (Український щит) кількість палеомагнітних визначень, які відповідають сучасним критеріям надійності (таких як індекс Ван дер Ву $QV \geq 3$), є вкрай обмеженою, а для інтервалу 1,76–1,72 млрд років існували суттєві прогалини. Отримання надійно обґрунтованого палеомагнітного полюса для УЩ безпосередньо заповнює цю прогалину і дозволяє уточнити модель ТПМП Сарматії та час остаточної амальгамації палеоконтиненту Балтика, що є важливим

в розумінні їхньої участі у циклах збірки суперконтинентів, таких як Нуна/Колумбія та Родінія.

Важливо також відзначити, що крім суто палеотектонічного значення, результати досліджень мають і фундаментальне геофізичне спрямування. Оскільки отримані визначення палеонапруженості геомагнітного поля методом Тельє-Кое розширюють вкрай обмежену для протерозою глобальну базу даних палеонапруженості, що є необхідним для перевірки гіпотези геоцентричного осевого диполя в докембрії та для розуміння режимів роботи геодинамо.

Отже, тема дисертації є актуальною як у регіональному (уточнення геодинамічної історії УЩ та СЄП), так і у глобальному (еволюція геомагнітного поля Землі) аспектах.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Результати досліджень мають теоретичне значення – у розширенні знань про режими роботи геодинамо у палеопротерозої та обґрунтуванні застосування моделі геоцентричного осевого диполя для цього періоду.

Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання для створення уточнених палеотектонічних схем Східноєвропейської платформи, побудови об'ємних гравімагнітних моделей глибинної будови Коростенського плутону та впровадження матеріалів у навчальний процес для підготовки фахівців-геологів. Результати магнітно-мінералогічних і мікроскопічних досліджень мають також прикладне значення для подальшого вивчення феномену магнетизму інтрузивних порід.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження підтверджується низкою вперше отриманих даних і полягає в наступному:

1) уперше для головної анортозитової серії (A2, 1761–1758 млн років) Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону виділено первинну високотемпературну термозалишкову характеристичну компоненту намагніченості (X_{KH}) та розраховано новий палеомагнітний полюс ($\Phi = 26,6^\circ$, $\Lambda = 168,0^\circ$, $A_{95} = 3,6^\circ$, $N_s = 10$), який відповідає сучасним критеріям надійності ($QV = 6$) і пропонується як референтний для палеотектонічних реконструкцій Сарматії;

- 2) уперше виконано дослідження магнітної текстури (анізотропії магнітної сприйнятливості) габроїдів Володарськ-Волинського масиву та показано наявність добре впорядкованих еліпсоїдів АМС у габро на відміну від масивної, слабо орієнтованої текстури анортозитів, що дозволило пов'язати магнітну текстуру з елементами первинної тектоніки;
- 3) на основі комплексу магнітно-мінералогічних, гістерезисних та мікроскопічних (оптичних і електронно-мікроскопічних) досліджень діагностовано основний носій ХКН – майже стехіометричний одно- та псевдооднодоменний магнетит (магнетит-II) із температурами Кюрі 550–580 °С, приурочений до кристалографічно орієнтованих структур твердого розпаду (ексклюзії) у плагіоклазах та піроксенах, що обґрунтовано визначило первинність цієї компоненти намагніченості;
- 4) отримано нові визначення віртуального дипольного моменту ($B_{\text{pal}} = 10,10 \pm 4,26$ мкТл; $\text{ВДМ} = (2,59 \pm 1,09) \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$) для віку 1,76 млрд років, які вказують на вдвічі занижену порівняно з сучасною інтенсивність геомагнітного поля та узгоджуються з глобальними оцінками палеонапруженості для протерозою;
- 5) уточнено кінематичну модель палеопротерозойського сегмента ТПМП Сарматії та виконано палеотектонічну реконструкцію, яка свідчить, що близько 1,76–1,75 млрд років тому Сарматія і Фенноскандія перебували в екваторіальних широтах, при цьому Сарматія була повернута відносно Фенноскандії на $\sim 40^\circ$ проти годинникової стрілки, а остаточна амальгамація палеоконтиненту Балтика відбулася не раніше ніж 1,75 млрд років тому.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується значним обсягом фактичного матеріалу (~615 зразків з 21 точки відбору), застосуванням широкого комплексу взаємодоповнюючих сучасних методів (детальна температурна та АF-чистка, аналіз головних компонент і кругів перемагнічування за Кіршвінком, тест Лоурі, аналіз кривих $J_s(T)$ та J_r , діаграма Дея-Данлопа, метод Тельє-Кое з повним набором перевірок pTRM-check, pTRM-tail check, MAD, FRAC, β , DRAT тощо), використанням сучасного метрологічного обладнання (магнітометри JR-6A, 2G SQUID, каппа-містки AGICO, вібромагнітометри Lake Shore Cryotronics) та незалежною верифікацією первинності намагніченості польовим тестом обернення ($\gamma = 8,60^\circ$, $\gamma_c = 9,37^\circ$, клас «Б»). Важливим аргументом на користь достовірності є узгодженість отриманих визначень із результатами, отриманими для близьких за

віком порід Волинського та Інгульського мегаблоків УЩ, а також критичний підхід автора до відбракування ненадійних визначень (зокрема, обґрунтоване виключення з інтерпретації полюса «Tomashgorod swarm» як такого, що відповідає вторинній, а не первинній компоненті намагніченості).

Отже, у дисертаційній роботі поставлені наукові завдання виконано повністю, а здобувач продемонстрував володіння сучасною методологією палеомагнітних, петромагнітних та мінералого-петрографічних досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Черкеса С.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 103 Науки про Землю та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми Науки про Землю третього (доктор філософії) рівня вищої освіти.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям палеомагнетизму та петромагнетизму докембрійських утворень Українського щита.

Робота складається з анотації (українською та англійською мовами), переліку умовних позначень і скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (221 найменування) та п'яти додатків; загальний обсяг становить 201 сторінку, з них 136 сторінок основного тексту, що повною мірою розкривають зміст дослідження, і відповідає вимогам до обсягу дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії в галузі природничих наук.

Структура роботи є логічною та послідовною: **розділ 1** містить огляд сучасного стану проблеми палеомагнітної інформативності докембрійських утворень і геолого-тектонічну характеристику ССП та аналіз світових баз даних палеомагнітних визначень, який акцентує значну нестачу визначень для докембрію у порівнянні з фанерозоєм. Виділено особливу роль Східноєвропейської платформи у глобальних палеогеографічних реконструкціях як фанерозою, так і докембрію; **розділ 2** – охоплює геологічну характеристику об'єктів дослідження. Зокрема, надається аналіз наявних геохронологічних визначень для порід коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу, згідно з якими його

формування відбувалося в діапазоні 1815–1743 млн років тому. Відзначено також головну фазу формування Володарськ-Волинського масиву, в межах якого було відібрано 15 колекцій зразків, що припадають на інтервал 1761–1758 млн років тому; в розділі 3 наведено методику польових і лабораторних досліджень. Обґрунтовуються результати досліджень в сенсі їх достовірності та придатності для використання як базового фактичного матеріалу; розділ 4 містить результати петромагнітних та магнітно-мінералогічних характеристики порід. Зокрема, визначено, що основним феромагнітним мінералом у анортозитах та габро є одно- та псевдооднодоменний магнетит або титаномангнетит з низьким вмістом Ti. Це найкращий кандидат у носії найбільш стабільної, первинної компоненти намагніченості. Проведені дослідження анізотропії магнітної сприйнятливості показали, що анортозити характеризуються нейтральним або слабо вираженими еліпсоїдами анізотропії магнітної сприйнятливості, однак габро мають виражені еліпсоїди, які за параметрами орієнтації корелюють із елементами первинної тектоніки; розділ 5 надає ключові результати власних палеомагнітних досліджень і визначення палеонапруженості. На основі аналізу отриманих палеомагнітних напрямків характеристичної компоненти намагніченості розраховано новий палеомагнітний полюс віком 1,76 млрд років, що відповідає сучасним критеріям надійності і може бути запропонований як референтний. Крім того, важливо зазначити, що отримані результати вказують на те, що 1,76 млрд років тому інтенсивність геомагнітного поля була вдвічі меншою за сучасну; розділ 6 представляє побудову ТПМП та палеотектонічну реконструкцію СЄП. На основі вибірки з 42-х найбільш достовірних палеомагнітних визначень побудовано траєкторії позірної міграції полюса Східноєвропейської платформи та її сегментів – Сарматії та Фенноскандії. За результатами опрацьованих матеріалів досліджень автор прийшов до фундаментального висновку, що близько 1,76–1,75 млрд років тому Сарматія та Фенноскандія займали екваторіальні та субекваторіальні широти. Однак Сарматія (порівняно з її сучасним розташуванням у складі Східноєвропейської платформи) була повернута відносно Фенноскандії на $\sim 40^\circ$ проти годинникової стрілки. Остаточна амальгамація палеоконтиненту Балтика, згідно з палеомагнітними даними, відбулася не раніше ніж 1,75 млрд років тому.

Важливо відзначити, що особистий внесок здобувача чітко визначено: основні наукові результати й висновки отримані автором особисто та представлені у трьох опублікованих наукових працях, у тому числі одній одноосібній статті. У співавторських публікаціях частка особистого внеску здобувача (виконання магнітно-мінералогічних досліджень, лабораторних вимірів АМС, польових робіт) окремо обумовлена у тексті роботи, що відповідає вимогам до висвітлення внеску співавторів. Крім того, основні результати досліджень були представлені на 6 конференціях (із них 4 міжнародних і 2 всеукраїнські) та отримали позитивну фахову оцінку.

За результатами змістовного аналізу тексту дисертації використані ідеї, дані та результати інших дослідників (зокрема Н.П. Михайлової, С.-О. Елмінга, С.В. Богданової, О.В. Митрохіна та ін.) коректно атрибутовані з посиланнями на першоджерела; запозичені методичні підходи (метод Тельє-Кое, тест Лоурі, аналіз головних компонент за Кіршвінком) також в тексті дисертації відзначені з посиланням на класичні та сучасні методичні роботи.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою; анотація продубльована англійською мовою на належному науковому рівні. Виклад матеріалу послідовний, термінологічно коректний, із широким і доречним використанням загальноприйнятої спеціальної термінології палеомагнітології та петрології (характеристична компонента намагніченості, деблокуюча температура, анізотропія магнітної сприйнятливості, віртуальний геомагнітний полюс тощо), що супроводжується детальним переліком умовних позначень і скорочень.

Стиль викладу – академічний з представленням тексту подібно до монографічної літератури, із чітким розмежуванням фактичного матеріалу, його інтерпретації та порівняння з даними у літературних джерелах. Робота добре ілюстрована (38 рисунків, 6 таблиць), при цьому графічний матеріал інформативний і коректно підписаний. Розрахункові дані представлено з достатньою деталізацією у додатках (А–Д), що дозволяє читачеві самостійно оцінити первинні дані та критерії їх відбору.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у наукових публікаціях здобувача, серед яких одноосібна стаття автора у періодичному науковому виданні (Cherkes, 2025, *Geodynamics*) та співавторські статті у фахових виданнях (зокрема *Geofizicheskiy Zhurnal*), а також тези доповідей на міжнародних наукових конференціях молодих дослідників (GeoTerrace-2023, Mon23 та ін.). Список публікацій здобувача за темою дисертації наведено окремо на початку роботи.

Наявність одноосібної статті у виданні, що індексується у визнаних міжнародних базах даних (Scopus, Web of Science), разом із кількома співавторськими публікаціями та конференційними тезами, свідчить про систематичну апробацію результатів дисертації науковою спільнотою впродовж усього періоду виконання дослідження.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Попри загалом високий науковий рівень роботи, слід відзначити такі зауваження та питання, які є дискусійними:

- 1) дослідження анізотропії магнітної сприйнятливості аноксидів (розділ 4.3) не дозволило отримати статистично надійні середні напрямки осей тензора АМС через велике значення довірчого інтервалу E_{95} , що автор сам коректно констатує; водночас у дисертації не до кінця розкрито, якою мірою це обмежує застосовність отриманих даних АМС для структурного аналізу масиву в цілому, а не лише в межах окремих точок відбору. Крім того, довірчий інтервал E_{95} значно ускладнює використання методу АМС як повноцінного інструменту структурного аналізу саме для аноксидових масивів, попри їхню домінуючу роль у складі плутону;
- 2) дослідження виконані в роботі підтвердило, що граніти Коростенського плутону є непридатними для визначення ХКН, оскільки містять переважно в'язку намагніченість, пов'язану з багатодоменим магнетитом. Це створює методичний розрив у палеомагнітній історії плутону, не дозволяючи отримати прямі порівняльні дані для кислих фаз впровадження, що займають до 75% його площі.

- 3) у розділі 5.1 значна частка визначень характеристичної компоненти намагніченості виключена з остаточної інтерпретації (точки відбору № 1, 2, 10, 16) через малу кількість визначень, перекриття спектрів деблокуючих температур або статистичну ненадійність; хоча обґрунтування кожного випадку наведено, бажано було б більш системно оцінити, як таке відбракування ~40% точок відбору впливає на репрезентативність розрахованого середнього палеомагнітного полюса;
- 4) розкид визначень палеонапруженості (B_{pal}) у межах вибірки є значним (від 0,84 до 36,2 мкТл), і хоча автор наводить якісне пояснення цього розкиду (вплив багатодомених зерен, новоутворення феромагнітних мінералів), кількісна оцінка внеску кожного з цих факторів у підсумкову невизначеність ВДМ залишається переважно якісною;
- 5) у розділі 6, присвяченому палеотектонічній реконструкції, порівняння нових палеомагнітних даних із тектонофізичними оцінками обертання Сарматії (за Гинтовим та Мичаком, 2014) показує неповну узгодженість (зокрема щодо величини повороту в інтервалі 1,75–1,72 млрд років тому); автор коректно вказує на ймовірну причину цієї невідповідності (помилкова геохронологічна прив'язка полюса № 7), однак це питання залишається відкритим і потребує додаткового підтвердження новими геохронологічними визначеннями;
- 6) при побудові ТПМП для Сарматії та Фенноскандії автор зіткнувся із значними часовими розривами (наприклад, ~250 млн років для Сарматії після 2,0 млрд років). Це робить інтерполяцію сегментів траєкторії між ключовими полюсами менш надійною та залишає відкритою можливість для існування неврахованих петлеподібних рухів блоків у ці періоди.
- 7) текст роботи місцями містить термінологічні та стилістичні неточності технічного характеру (зокрема дрібні розбіжності у написанні хімічних формул і позначень одиниць вимірювання між основним текстом і таблицями додатків), які доцільно усунути при підготовці публікацій за матеріалами дисертації.

Висловлені зауваження мають переважно дискусійний і рекомендаційний характер, не є визначальними і не зменшують загальної наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів, а також не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота Черкеса Семена Івановича на тему «Палеомагнетизм палеопротерозойських порід коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу Українського щита» виконана на високому науковому рівні, не порушує (за результатами наведеного змістовного аналізу) принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для палеомагнітології докембрію та регіональної геодинаміки Східноєвропейської платформи. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною відповідає вимогам, передбаченим у п. 6–9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44.

На підставі викладеного вище аналізу можна зробити висновок, що дисертаційна робота «Палеомагнетизм палеопротерозойських порід коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу Українського щита» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 103 Науки про Землю, а її автор Черкес Семен Іванович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інженерної геодезії

Національного університету

«Львівська політехніка»

д-р. техн. наук, професор

(посада, місце основної роботи,
науковий ступінь, вчене звання)

« 23 » 06 2026 р.

Підпис завідувача кафедри інженерної геодезії

д.т.н., проф. Анатолій ЦЕРКЛЕВИЧ засвідчую

Вчений секретар Національного університету

«Львівська політехніка» к.т.н., доцент

Анатолій ЦЕРКЛЕВИЧ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Роман БРИЛИНСЬКИЙ