

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора геологічних наук, професора, член-кор. НАН України, завідувача відділу петромагнетизму, в.о. заступника директора з наукової роботи Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України Бахмутова Володимира Георгійовича на дисертаційну роботу Шило Ольги Миколаївни «Моделювання та картографування планетарних геодинамічних процесів», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки зі спеціальності 103 Науки про Землю

Дисертаційну роботу Ольги ШИЛО присвячено дослідженню актуальної проблеми наук про Землю, а саме – побудові (удосконаленню) геодинамічної моделі Землі, яка пояснює її просторово-часову еволюцію на протязі геологічної історії (у роботі це фанерозой), узгоджується з сучасними знаннями про внутрішню будову Землі та відповідає наявним геоданим.

Починаючи з середини 19-го сторіччя науковці прагнули пояснити природу різноманітних явищ, таких як обертання Землі, рухи літосферних плит, аномалії гравітаційного поля, активізація сейсмічних процесів тощо. На сьогодні завдяки досягненням у галузях теоретичної геофізики та математичного моделювання, планетарної геодезії, геотектоніки, сейсмології тощо у науковців є потужний інструмент для аналізу та інтерпретації складних планетарних процесів. Але сучасні знання про внутрішню будову і еволюцію Землі, отримані різними методами геології та геофізики, вимальовують складну картину динамічних явищ, а природа геодинамічних сил дотепер залишається гіпотетичною з багатьма припущеннями відповідно до фундаментальних законів фізики, механіки та математичного моделювання.

Суть дисертаційної роботи полягає у подальшому розвитку методів моделювання та картографування геодинамічних процесів з метою удосконалення сучасних уявлень про механізми ротаційних ефектів та тектонічних рухів, зокрема зміщення географічного полюса обертання Землі (TruePolarWander або TPW) в масштабі геологічного часу. Це можна виділити як фундаментальну складову роботи. Що до практичного значення таких досліджень – можна привести багато прикладів застосування цих знань у різних дисциплінах наук про Землю (геодезія, вулканологія, океанологія, палеогеографія геотектоніка та ін.), але обмежусь тільки одним - деформаціями літосфери, що призводить до сейсмічної активності.

Загальна характеристика роботи. Дисертаційна робота Ольги ШИЛО складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 224 найменувань та двох додатків. Загальний обсяг роботи 219 стор., з яких основний зміст займає 158 сторінок, включаючи 60 рисунків та 15 таблиць.

У вступі наведена коротка характеристика роботи, викладено суть та актуальність наукової проблеми, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і

методи досліджень, виділено наукову новизну і практичне значення результатів, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами Інституту геодезії Національного університету "Львівська політехніка". Чітко виділений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію і структуру роботи.

У першому розділі «Огляд планетарних геодинамічних процесів та проблеми їх моделювання» підсумовується інформація з літературних джерел, у першу чергу про глибинну будову Землі, її основні структурні елементи (геосфери), методи їх дослідження. Основою всіх побудов і висновків у роботі є парадигма тектоніки літосферних плит, що пояснює горизонтальні рухи блоків земної кори та пов'язані з цим процеси (сейсмічність, землетруси, спрединг, субдукція тощо). Виконано аналіз сучасних уявлень про процеси у мантії та ядрі, про джерела енергії та механізми теплопередачі, що є рушійною силою тектонічних процесів. Для останніх вказано на важливість врахування ротаційного режиму Землі, що спричиняє додаткові напруження та деформації у земній корі. Розглянуто прояв різних ротаційних ефектів та їх вплив на розподіл маси в надрах планети, їхню роль у формуванні фігури рівноваги Землі, а також сучасні досягнення в галузі супутникової альтиметрії та ГНСС, що забезпечує високу об'єктивність та надійність дослідження сучасних рухів земної кори. Окремий підрозділ 1.8 присвячений математичному моделюванню планетарних геодинамічних процесів, які відбуваються у різних оболонках Землі.

Загалом, викладений у цьому оглядовому розділі матеріал прокладає шлях до кращого розумінню складних зв'язків між змінами обертового режиму, внутрішніми напруженнями і зовнішніми геофізичними явищами, про що йдеться у наступних розділах. Але у мене є зауваження які, ймовірно, обумовлені наступним. Тематика роботи присвячена планетарним геодинамічним процесам, що досліджуються в різних напрямках природничих наук, і кількість публікацій, де ці процеси розглядаються, нараховується п'ятизначними числами. Тому неможливо охопити усі напрямки фізики Землі, бракує узагальнених міждисциплінарних публікацій (особливо сучасних вітчизняних), і не геологу або не геофізику досить складно зробити повноцінне узагальнення. Мабуть тому багато посилань на російськомовні або перекладені на російську роботи ще часів СРСР [1, 3-10, 13-16 і далі], більшість з яких 40-50 річної давнини. У той же час роботи всесвітньо відомих науковців, що займалися проблемами дрейфу континентів, палеогеодинаміки, палеогеографії тощо (наприклад М. Evans, Т. Torsvik, R. Van der Voo, P. Hoffman, J. Kirschvink, E. Irving, M. Domeier та ін.) залишилися поза уваги. Як наслідок - аналіз деяких положень першого розділу не є повним. Деякі приклади. Підрозділ «1.1.2 Сучасна концепція тектоніки плит» - концепція об'єднує плейт- і плюм- тектоніку, але про останню нічого немає. Стор. 32 - абзац про палеомагнітні дослідження. В основі палеомагнітних реконструкцій - гіпотеза центрального осьового диполя. І тут доречно було б цю гіпотезу описати. Палеомагнітний метод є ключовим при кількісних палеогеографічних реконструкціях літосферних блоків. Але його опис на стор.33 (і далі - про становлення тектоніки

плит, динаміку границь між плитами (це взагалі не стосується теми роботи) подано вкрай невдало, навіть примітивно, скрізь з посиланням на єдину роботу [141]. Підрозділ 1.2 «Основні поняття та історичні етапи дослідження фігури Землі» - стор.37 і далі – не зрозуміло, з якої роботи (або робіт) запозичено цей історичний нарис. Стор.41 – опис і формули - це все з роботи [101] ? Стор. 50-52 – на основі багаторічного вивчення полів пружних напружень у гірських породах та їх звязку з структурними елементами земної кори в Інституті геофізики НАН України під керівництвом О.Б.Гінтова розроблено і впроваджено тектонофізичний метод, однак жодного посилання на роботи українських вчених немає (наприклад, монографія О.Гінтова «Польова тектонофізика» 2006 року вдання). Зміст підрозділу 1.4 викликає багато питань. Зокрема, стор. 54 – посилання на концепцію В Кузнецова [21] «...речовина в газоподібному, метастабільному стані» в центрі Землі – мабуть недоречно (багатьма вченими не приймається), а подальший опис (з того ж посилання [21]) на кшталт «Рух материків можна вважати встановленим фактом, однак, наявність коренів материків і гір, які мали б «чіплятися» за «дно» і не давати ковзати їм по астеносфері, викликають сумнів у багатьох геологів» примітивний, не науковий. У підрозділах 1.4-1.5 взагалі викладено досить багато загальновідомих речей (наприклад, поняття «геодезія», про «революцію в геофізиці з космосу» та ін. (посилання на [73]), які є мало інформативними та, на мою думку, недоречними, що штучно збільшує обсяг тексту. Інформативна частина починається з нижнього параграфу стор. 59. На стор.63 – підсумовуюча параграф фразу «Тим не менш, слід підкреслити, що такі продукти даних дійсно є оцінками і що вони можуть бути невідповідними для певних типів геофізичного моделювання» – важко сприймається. Подальші підрозділи 1.7-1.8 викладені фахово, зауважень немає.

У другому розділі «Моделювання та картографування планетарних змін фігури Землі в геологічному часі» наведено методичні засади моделювання та картографування змін фігури Землі в геологічному часі, що є основою для подальшого розуміння геодинамічних процесів. Описано залучення цифрових моделей рельєфу та палеогеографічних реконструкцій материків і океанічного дна для моделювати планетарні зміни рельєфу та форми Землі, проаналізовано супровідні процеси її трансформації під впливом різних сил, вказано на ключову роль тривалих геологічних процесів, які контролюють зміни фігури планети протягом останніх 540 млн років. Підсумовано, що результати моделювання вказують на вирішальну роль обертання, гравітації та переміщення мас у формуванні фігури Землі, що в результаті призводить до виникнення додаткових сил і формування напружено-деформованого стану літосфери. Планетарно це проявляється у вигляді варіацій полярної сплюсненості, зміщення полюсів, а також у нерівномірності розподілу висот рельєфу планети у різні геологічні епохи. Методами кластерного та кореляційного аналізу виконано співставлення векторних полів тангенціальних масових сил з напрямками переміщень тектонічних плит (за даним ГНСС та моделлю руху GSRM), обґрунтовується можливість впливу цих сил на геодинамічні процеси. Слід

підкреслити, що у розділі детально описана методологія, матеріал добре сприймається і не викликає питань.

До розділу 2 є наступні зауваження. Підрозділ 2.1 – це екскурс в історію, доречно було це викласти у розділі 1. Якщо вже мова йде про циклічність геологічних процесів (наприклад про так звані «цикли Міланковча», стор.84), то доречно було б надати у тексті інформацію про цикли Бертрана і Штілле, які мають безпосереднє відношення до геотектоніки і геодинаміки. Стор.85 – знову таки посилань (при всій повазі до В.Є.Хаїна) на роботи російських авторів (зарубіжні відсутні) при розгляді такого важливого питання, як зміни ротаційного режиму Землі (ключового фактору планетарної геодинаміки), на мій погляд недостатньо. До того ж «...важливо додати, що останнім часом встановлено зв'язок між динамікою ядра Землі і особливостями її осьового обертання», навіть з посиланням на роботу 15-річної давнини, не можна віднести до сучасності. Стор. 88 – суцільне посилання на автора Scotese C.R. [174-186] (включаючи тези) – викликає здивування, достатньо вказати сайт PALEOMAP – там і є необхідна інформація. Або останню публікацію цього автора за 2018 рік [186]. Стор. 88-89, опис літофацій – до чого це, як це стосується тематики роботи? У розділі також є деякі моменти, які мені незрозумілі або потребують пояснення. Якщо ми виходимо за рамки фанерозою, то доречно було б згадати гіпотезу «Земля-Сніжок» (Snowball Earth) та пов'язані з нею уявлення про тотальні неопротерозойські заледеніння (або інші процеси, що приводять до перерозподілу мас, наприклад, занурення субдукційної океанічної плити, підняття плюму тощо), чим могли бути обумовлені зміщення TPW. Стор.108, перше речення – мені незрозуміло. Рис. 2.14 – стрілки різного кольору – що це означає? Стор.115, останній абзац – якимось не дуже зрозумілим...мабуть до цього ж рис.2.16 – шкала у мілігалах – якимось дивно.... Рис.2.18 - 2.19 – «...подібні вектори ГНСС та ТМС» – кольори вказувати на подібність? це коефіцієнти кореляції? У висновках фраза «Використання даних палеомагнетизму, магнітних аномалій та інших геологічних факторів дозволило точніше визначити минулі позиції континентів і відновити їхні рухи впродовж геологічного часу еволюції Землі» недоречна, так як про палеомагнітний метод у розділі не йшлося.

У третьому розділі «Дослідження напружено-деформованого стану літосферної оболонки та руху полюса в геологічному часі» розглянуто процеси, що обумовлюють напружений стан земної кори внаслідок трансформації фігури Землі за рахунок горизонтальних і обертових рухів. За розрахунками механіко-математичних моделей впливу гравітаційних і відцентрових сил виконані оцінки перерозподілу мас, що впливає на рівноважний стан планети і, відповідно, на деформаційні зрушення, у тому числі у контексті довготривалих геологічних змін. Окрему увагу приділено варіаціям обертового руху Землі, які спричиняють зміну топології поверхні літосфери, у тому числі протягом геологічної історії. Моделювання вказує на відхилення малої піввісі фігури фізичної поверхні планети від вісі обертання до $\sim 3^\circ$, що може впливати на напружено-деформований стан літосфери і бути тригером активізації тектонічних

процесів. Нові результати по варіаціям місцерозташування географічних полюсів обертання за моделями палеогеоїдів, що також може контролювати переміщення літосферних плит, надають нові уявлення про переміщення TWP в геологічній історії Землі. Цікавий матеріал представлений на рис. 3.28 – його можна співставити з відомими геотектонічними циклами.

По розділу 3 є наступні зауваження. Підрозділ 3.1 – сама назва «Загальні зауваження щодо проблеми дослідження» і текст краще було викласти у першому (або другому) розділі (і переробити). Бо знову-таки посилання на стор. 128 – [14] - 1985 року, «Нещодавно...» [132] – 2006 року, далі по тексті цього абзацу мова йде про TPW у неопротерозої – це вже було, повертаємося до мого коментаря у розділі 2 (Snowball Earth), але тут вже 800 млн років і про вулкани на Марсі? На майбутнє рекомендую детальніше ознайомитися з сучасними палеомагнітними роботами по інтерпретації дрейфу полюсів TPWP і APWP у докембрії (хоча у розділі 3.4.2 про це йдеться, але є вікові обмеження - серединно-океанічні хребти або гарячі точки не давніше середньої юри). Рис.3.4 з посиланням на [186] – у цій роботі такого малюнку немає, чи це ви самі розрахували (з бази даних PALEOMAP), чи це позичено (звідки) ? Стор.136 – чому у тексті значення в мілігалах приведено до десятих (на рис. 3.6 різниця навіть у сотих) , а в таблиці 3.2 – округлення до цілих величин (і у багатьох строках вони однакові). Таблиця 3.3 – площа Земної кулі близько $510 \times 10^6 \text{ км}^2$, чому «змінні площі» по широтних поясах на кілька порядків більші ? Рис.3.7 – невдале представлення результатів, графіки площ широтної смуги для 5 і 540 млн років зливаються. Рис. 3.15 – де шкала ? різним кольором – це ККК ? Стор. 169 – що таке «семипараметризований еліпсоїд» ? Це такий термін або невдалий переклад?

Висловлені зауваження не є критичними і не впливають на актуальність, наукову новизну, практичну ефективність роботи та на висновки, зроблені по отриманим результатам.

Висновки до роботи обґрунтовані, підтверджені розрахунками, Додатки доречно доповнюють представлені в тексті матеріали та більш повно розкривають тематику дослідження. Є зауваження до оформлення списку використаних джерел – оформлено недбало, в деяких посиланнях відсутній рік публікації [50], де опубліковано [12], відсутні сторінки. Анотація подана українською і англійською мовами, її зміст відповідає основним положенням дисертації. В ній узагальнений основний зміст та результати дослідження та виділені положення наукової новизни.

Основні наукові результати роботи, на мій погляд, полягають у наступному: а) обґрунтовано та оцінено інформативність методів моделювання фігури Землі та геоїда у геологічному часі, враховуючи вплив горизонтальних деформацій та перерозподілу масових сил у літосфері; б) удосконалено методи моделювання напружено-деформованого стану земної кори внаслідок трансформації фігури Землі; в) побудовано просторово-часові моделі трансформації літосфери у контексті палеогеодинаміки, включаючи розподіл тангенціальних масових сил (з врахуванням горизонтальних переміщень) і перерозподіл мас та переорієнтації фігури Землі; г)

виконано числове моделювання та просторово-часова інтерпретація деформацій літосфери, визначено їх зв'язок з геодинамічними процесам; д) удосконалено сучасні знання про TPW на протязі фанерозою.

В цілому робота справляє добре враження, в повній мірі розкриває фахові здібності та вміння здобувача щодо послідовного розв'язання комплексу складних наукових завдань, що свідчить про високу кваліфікацію автора. Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на 14 наукових конференціях і повністю викладені у 5 наукових періодичних виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз. Кількість і обсяг публікацій відповідають усім чинним вимогам до оприлюднення матеріалів дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Під час ознайомлення з дисертацією та науковими працями здобувача порушень академічної доброчесності не виявлено.

Загальний Висновок. Дисертаційна робота Шило Ольги Миколаївни є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке містить важливі теоретичні узагальнення та нові, науково обґрунтовані результати. Науковий рівень дисертаційного дослідження високий, тема роботи розкрита повністю, результати у повній мірі обґрунтовані і можуть бути використані у подальших наукових дослідженнях та практичній діяльності. Висновки та основні положення дисертації мають наукову новизну, теоретичну та практичну цінність, пройшли апробацію та опубліковані у провідних фахових виданнях України. Дисертаційна робота відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами). Автор дисертації, Шило Ольга Миколаївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 – Науки про Землю.

Офіційний опонент,
доктор геологічних наук, професор,
завідувач відділу петромагнетизму,
в.о. заступника директора з наукової роботи
Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України
член-кор. НАН України



В.Г.Бахмутов