

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу Шило Євгенія
Олександровича “Моделювання трансформації фігури Землі і її впливу на
геодинамічні процеси”, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та
картографія**

Дисертаційна робота Є.О. Шило складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 156 сторінок, із них 131 – основна частина, у тому числі 38 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел із 98 найменувань на 10 сторінках, а також 7 додатків на 13 сторінках.

Актуальність теми досліджень обґрунтована в дисертаційній роботі у повній мірі і не викликає жодних сумнівів. Дослідження трансформацій фігури Землі та геодинамічних процесів є одними з пріоритетних завдань і мають важливе теоретичне та практичне значення для сучасної геодезії. Обидва напрями досліджень взаємопов'язані між собою. Крім загальних пізнавальних аспектів у розрізі вивчення еволюції Землі, результати таких досліджень дають змогу уточнювати і деталізувати існуючі моделі Землі. Вирішення цієї проблеми завжди мало надзвичайно актуальне значення для геодезії. Нові перспективи дослідження фігури Землі розкрили активний розвиток і запровадження у геодезичну практику сучасних супутникових технологій моніторингу Землі методами інтерферометрії з наддовгою базою VLBI, супутникової лазерної локації SLR, доплерівської орбітографії та супутникової радіолокації DORIS і глобальних навігаційних супутникових систем GNSS. Дані моніторингу Землі цими методами є основою сучасних досліджень проблеми вже у контексті динамічної геодезії. Саме з такої точки зору розглядається досліджувана проблема у поданій дисертаційній роботі. Разом з тим, особливий інтерес представляють дослідження проблеми у розрізі історичної ретроспективи – з погляду на пізнання генезису та еволюції Землі в

геологічному масштабі часу. З цієї точки зору, в дисертаційних дослідженнях розглянуто можливості динамічного моделювання Землі на основі існуючих цифрових растрових карт геопалеорекострукцій розташування материків і водної поверхні, використовуючи засоби комп'ютерних і ГІС технологій.

Автором проаналізовано основні концепції вивчення еволюції фігури Землі, основні моделі фігури Землі (геоїд, двовісний і тривісний еліпсоїди) і методи їх створення, геотектонічні гіпотези і глобальні кінематичні моделі, фактори впливу на трансформацію фігури Землі і геодинамічні процеси, геодезичні методи вивчення геодинамічних процесів, а також подано результати вітчизняних та зарубіжних досліджень проблеми. Тим самим автор посвідчив свої знання **робіт попередників.**

Методичний рівень досліджень. В процесі розв'язання поставлених завдань автор використовує методи математичного моделювання і апроксимації рельєфу поверхні літосфери двовісним і тривісним еліпсоїдом, методи опрацювання і оцінювання точності емпіричних даних з використанням елементів теорії похибок і принципу найменших квадратів, метод ітерацій. На цій основі розроблено алгоритми і відповідне програмне забезпечення для оцінювання динаміки фігури літосфери Землі у формі двовісного та тривісного еліпсоїда і для побудови цифрової моделі рельєфу поверхні літосфери за даними геопалеорекострукцій. Методичний рівень досліджень можна оцінити як достатній.

Відповідність паспорту спеціальності та назві роботи.

Назва дисертації відповідає змісту виконаних досліджень. Дисертаційна робота Є.О. Шило відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

Аналіз основного змісту, наукової новизни, достовірності досліджень та обґрунтованості висновків і рекомендацій.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

Також перелічено використані засоби публічної апробації і оцінено особистий внесок здобувача при поданні результатів досліджень у фахових виданнях.

Перший розділ **“Огляд та аналіз інформації щодо вивчення фігури Землі і планетарних геодинамічних процесів”** присвячений опису основних концепцій та історичної ретроспективи вивчення фігури Землі і аналізу геодезичних методів дослідження планетарних геодинамічних процесів. Визначено зв'язок фігури Землі з її внутрішньою будовою. Схарактеризовано сучасні досягнення у вивченні гравітаційного поля, фізичної поверхні та основні поняття про рівноважний стан Землі – концепцію ізостазії і тектоніку літосферних плит. Виокремлено чотири типи фігури Землі: фігуру планети в гідростатичному стані, фігуру фізичної поверхні, динамічну і гравітаційну фігури. Основна увага приділена дослідженням змін фігури поверхні літосфери в сучасну епоху та в минулі геологічні періоди. Як фундаментальну геодинамічну задачу, визначено розвиток динамічної теорії еволюції Землі.

У другому розділі **“Дослідження фігури літосфери Землі і впливу космічних та ендегенних факторів на параметри обертання і орієнтацію полюса”** здійснено аналіз сучасного стану вивчення ротаційного режиму, геодинамічних ефектів внаслідок обертання Землі та можливих причин переміщення географічного і магнітного полюсів. Представлено алгоритми та результати побудови моделей фігури літосфери у вигляді двовісного і тривісного еліпсоїдів. Ідея апроксимації фізичної поверхні двовісним і тривісним еліпсоїдами реалізована з метою дослідження планетарних характеристик фігури літосфери і їх вікових змін. Результати досягнуто методом найменших квадратів і методом ітерацій; подано порівняння отриманих результатів та їх інтерпретація. Також представлено результати дослідження змін параметрів фігури літосфери Землі в сучасну епоху з їх геодинамічною інтерпретацією. Виявлено тенденцію збільшення середнього радіусу Землі протягом 2001-2016 рр.

У третьому розділі **“Моделювання переорієнтації фігури літосфери Землі в масштабі геологічного часу”** розглянуто можливості використання

комп'ютерного моделювання рельєфу поверхні літосфери за геопалеореко́нструкціями для описування трансформації її фігури від двовісного еліпсоїда до тривісного і навпаки, а також змін сплюсненості та переміщення полюса в геологічному масштабі часу. На основі обчислених параметрів змін фігури поверхні літосфери, викликаних переорієнтацією планети, зроблено спробу визначити діючі тангенціальні сили, які зумовлюють динаміку напруженого стану у верхній оболонці Землі. Поставлені завдання вирішуються шляхом перетворення растрових зображень материків і водної поверхні на цифрових картах геопалеореко́нструкцій у цифрову модель рельєфу поверхні літосфери станом на кілька геологічних епох і порівняння результатів з висотами моделі ETOPO1. Створення цифрової моделі рельєфу досягається апроксимацією растрових зображень кубічним поліномом з використанням методу найменших квадратів. Зроблено спробу інтерпретації отриманих результатів у розрізі еволюційного розвитку планети і ймовірних геодинамічних процесів, що відбувались у відношенні до геологічних епох, зафіксованих картами геопалеореко́нструкцій.

Редакційний аналіз дисертації показав, що вона є завершеною науковою працею з логічним та послідовним викладенням результатів досліджень.

Оцінка публікацій автора. Отримані результати повною мірою висвітлені в опублікованих працях у наукових та фахових виданнях і достатньо апробовані на восьми міжнародних наукових та науково-практичних конференціях. Публікації матеріалів дисертації відповідають вимогам МОН України.

Зміст автореферата відповідає структурі дисертаційної роботи та відображає її основні положення.

За результатами аналізу представленої роботи висловлюю такі **зауваження**:

1. Поданий рукопис слід було б ретельніше редагувати з точки зору виправлення граматичних помилок. У тексті трапляються випадки вживання некоректних чи незрозумілих термінів. Наприклад: моделювання цифрових моделей; параметри обертання і орієнтація полюса; параметричний спосіб

найменших квадратів; геологозйомочні роботи; Індо-Арктичний океан; далекосхідний вчений О. Мельников; радіус кривини у напрямі схід-захід (замість радіус кривини перерізу першого вертикалу – формула (2.52)) тощо.

2. У підрозділі 1.2 “Гравітаційні моделі Землі”, який автор присвятив аналізу моделей геоїда, як останню використовувану модель, описано EGM2008. Проте це не остання і, головне, не найбільш точна модель. Якщо вже не використовувати, то варто було хоча б згадати в аналізі новітні моделі, наприклад, типу EIGEN-6C4 чи GGM05. Їх дані знаходяться у загальнодоступному архіві на порталі Міжнародного центру глобальних моделей Землі ICGEM (<http://icgem.gfs-potsdam.de/>).

3. Для даних таблиці 1.1 у підрозділі 1.3 посилання на їх джерела датовані 1992р. і 1994р. Автор називає їх геодезичними і динамічними параметрами Землі. Ці параметри називаються фундаментальними геометричними і фізичними сталими. Їх новітні уточнені значення відрізняються від наведених у таблиці і є більш точними.

4. У підрозділі 1.4 автором подано власне бачення систематизації планетарних геодинамічних процесів і завдань геодезії у їх дослідженнях. Власна інтерпретація систематизації не повна, в окремих випадках не відповідає реаліям. Її слід було б доповнити, навіть якщо використати матеріали на порталі Міжнародного союзу геофізики і геодезії IUGG. Щодо завдань геодезії у цій галузі науки, то достатньо послатись на резолюції Міжнародної асоціації геодезії IAG. Завдання є чітко визначеними і віднесені до компетенції діяльності Комісії 3 IAG “Обертання Землі і геодинаміка”.

5. Рисунком 1.10 підрозділу 1.7 автор ілюструє кінематику літосферних плит на основі моделі REVEL версії 2002 року. Інші моделі навіть не згадуються. Але REVEL – це лише перша спроба створення глобальної тектонічної моделі виключно за геодезичними даними. У порівнянні з новітніми геодезичними кінематичними моделями, REVEL є застарілою, має надто низьку точність і зараз не використовується. Варто було б опиратись на версії сучасних

геодезичних моделей типів ITRF_{xx}-PMM, GSRM чи хоча б GEODVEL або на комбіновані геолого-геодезичні моделі типу MORVEL.

6. Результати тестування методики, які подано у таблицях 2.1 – 2.4 пункту 2.5.5, обтяжені не виправдано великими середніми квадратичними похибками і відрізняються від загально визнаних, наприклад, у порівнянні з параметрами двовісних моделей типів GRS і WGS. Такий результат може бути наслідком надмірного згладжування даних до роздільної здатності $5^\circ \times 5^\circ$. Крім того, обчислені тут параметри як двовісного, так і, особливо, тривісного еліпсоїдів суттєво відрізняються від аналогічних, які подано у пункті 2.6.2 і додатках А, Б.

7. На підставі даних таблиці 2.5 підрозділу 2.6 автор констатує, що “Земля розширюється зі швидкістю від 0.1 мм/рік до кількох міліметрів щороку” і опирається на джерела, які опубліковані протягом 1957–2011рр. Такий висновок не відповідає однозначно даним, які подано у таблиці. Якщо в геологічному масштабі часу отримані результати автором достатньо аргументовані, то сучасні тенденції проаналізовано не у повній мірі. Варто було б диференціювати у часі дані таблиці 2.5. Можливо, це дало б змогу уточнити остаточні висновки. Висновок щодо збільшення середнього радіусу Землі підтверджений автором також емпіричними розрахунками на основі даних спостережень протягом 2001-2016 рр. Але в дослідницькій практиці мають місце протилежні оцінки: протягом останнього десятиліття намітилась тенденція зменшення об’єму Землі. Це посвідчено результатами моніторингу Землі супутниковими методами, які, у тому числі, покладено в основу останнього розв’язку ITRF2014. За даними ITRS-центру Міжнародної служби обертання Землі IERS, вперше протягом 2008-2014 рр. значення планетарного масштабного фактору змінилось на від’ємне, чим посвідчено тенденцію зменшення об’єму Землі.

8. У пункті 2.6.1 автор посилається на джерело вибірки даних часових рядів координат – архів SOPAC, вказуючи, що “виміри на 2593 станціях проаналізовані в центрах опрацювання даних SIO і JPL”. Проте не уточнює, з якої бази даних використовувались координати. В архіві міститься три (а не

дві) бази даних: SIO, JPL і JPL Comb. Координати станцій у них зовсім різні внаслідок використання різних стратегій і програмного забезпечення опрацювання первинних даних спостережень. З цієї причини відповідні кінцеві продукти мають різне цільове призначення. Крім того, із загального числа, значна частина станцій у цих базах з різних причин непридатна для використання – їм умовно присвоюють нереально завищені похибки координат щонайменше метрового порядку. Зазначені обставини не знайшли відображення у пояснювальній записці. Встановлення емпіричної вибірки з точки зору приналежності до баз даних, їх точності і навіть кількості станцій має принципове значення для подальшого опрацювання. Можливо, це і стало причиною розбіжностей результатів опрацювання, які подано автором у пункті 2.6.2, з даними IERS, що він констатує у висновку на стор. 100. Дане зауваження прямо пов'язане із зауваженням 6.

9. Матеріал і результати підрозділу 3.2 у своїй більшості досить суперечливі; пояснення перенасичені різного роду гіпотезами. Автор сам стверджує, що “інтерпретація результатів є проблематичною”, а сама проблема потребує додаткових досліджень. Закономірно постає питання доцільності включення поданого тут матеріалу в дисертаційну роботу.

Дисертант вирішує надзвичайно складну і актуальну проблему, використовуючи різнобічні підходи і різні джерела даних. Напевно, варто було б звузити коло вирішуваних задач, сконцентруватись на більш детальному вирішенні окремих аспектів проблеми. В цьому випадку розкрилась би перспектива деталізувати отримані результати і уникнути таких, що деколи суперечать одне одному або тим чи іншим загальноновизнаним. Це дало б змогу формулювати не узагальнені чи гіпотетичні, а конкретні предметні висновки. Разом з тим, потрібно визнати наступне: автором проведено величезний обсяг дослідницьких робіт. Висловлені зауваження не знижують загальної цінності дисертаційної роботи, новизни та значущості отриманих результатів і загалом не є підставою піддавати сумнівам досягнення автора. Врахування зауважень могло б лише збільшити вагу представлених досліджень і результатів, які є

предметом захисту. Зауваження жодним чином не стосуються пропонованих автором методичних розробок і алгоритмів опрацювання даних. Саме вони є беззаперечною заслугою автора з точки зору **практичної значущості** роботи. Цілком погоджуюсь з автором щодо висновків на користь розроблення версій тривісного еліпсоїда і подальшого впровадження цієї моделі у геодезичну практику. Підтвердження цьому – сучасні тенденції у дослідженнях фігури і глобальних деформаційних полів Землі. Напрацювання автора дисертаційної роботи можуть знайти практичне застосування у цьому напрямі і в дослідженнях планетарних геодинамічних явищ.

Загальна оцінка дисертаційної роботи. В цілому дисертаційна робота Шила Є.О. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані експериментальні результати, що в сукупності є істотними для розвитку сучасної геодезії в частині дослідження фігури Землі, а також дослідження планетарних геодинамічних процесів.

Вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, достовірністю та обґрунтованістю висновків і рекомендацій відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних наукових праць, а Шило Євгеній Олександрович гідний присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

Офіційний опонент -

кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та картографії Національного університету водного господарства та природокористування



О.А. Тадеєв

“ 1 ” квітня 2019 року

