

ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук

Тульчинського Вадима Григоровича

на дисертацію **Легостаєвої Ольги Вадимівни**

“Математичне і програмне забезпечення автоматизованої системи 3D

інтерпретації даних потенціальних полів (GMT–Auto)”

представлену на здобуття наукового ступеня

доктора фізико-математичних наук

за спеціальністю 04.00.22 – геофізика, 103 – Науки про Землю

Актуальність теми дисертації. Прискорене вичерпання традиційних, відносно простих за будовою родовищ корисних копалин призводить до швидкого зростання уваги до геологічних об’єктів складної будови, структур на великих глибинах, ділянок погано доступних для вивчення через розташовані над ними гори чи водойми. Але і наші знання про геологію теж накопичуються кількісно й якісно завдяки новим технологіям і вимірювальним приладам. Ця сукупність факторів робить надзвичайно актуальними питання тривимірного моделювання підземного середовища з використанням всього об’єму накопиченої різномірної інформації, у т.ч. ефективні засоби розв’язування прямої задачі моделювання геофізичних полів для відомої геологічної моделі, щоб запобігати суттєвим помилкам у побудові геологічної моделі як розв’язку зворотної задачі моделювання. Застосування комп’ютерних засобів тут є необхідним інструментом. Зокрема, тривимірне моделювання геологічних структур є одним з найпотужніших способів кількісної інтерпретації даних гравіметрії, магнітометрії і теплового поля. Таким чином, дисертаційна робота Легостаєвої О.В. охоплює широко коло актуальних проблем теорії і практики геофізичних досліджень, від рішення яких безпосередньо залежить успіх інтерпретації геолого-геофізичних даних, а опосередковано – успіх пошуку нових родовищ і підвищення ефективності експлуатації відомих родовищ корисних копалин.

Дисертаційна робота викладена на понад 300 сторінках, і містить понад 300 посилань на публікації, тобто є досить значною і за обсягом матеріалу, і за глибиною проробки тематики. Структура дисертації відображає послідовність роботи геофізика з автоматизованою системою GMT–Auto, розробка і впровадження якої є найвагомішим загальним результатом роботи. Текст складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 4 додатків.

Вступна частина за змістом і оформленням відповідає вимогам до докторських дисертацій. Актуальність роботи, основні результати, їх наукова новизна і практична цінність сформульовані переконливо.

Перший розділ роботи присвячено опису запропонованих автором алгоритмів та розроблених програмних продуктів для побудови тривимірних геологічних моделей за комплексом введених у комп'ютер різноманітних зображень карт і розрізів.

Наступні три розділи роботи присвячені характеристичі математичних методів та розробці алгоритмів вирішення прямих задач гравіметрії, магнітометрії і стаціонарної задачі геотермії.

П'ятий розділ присвячено питанням візуалізації в інтерактивному режимі багатокомпонентних тривимірних геофізичних моделей та опису її програмної реалізації.

У невеликому шостому розділі попередній матеріал об'єднується і узагальнюється в описі інтегрованого комплексу програм автоматизованої 3D інтерпретації даних потенційних полів GMT–Auto.

Останній розділ дисертації присвячено впровадженню GMT–Auto для дослідження реальних геологічних об'єктів та прикладам успішного застосування системи для розв'язування важливих задач вивчення геологічної будови трьох великих регіонів України.

У висновках узагальнені основні результати роботи.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, є обґрунтованими і достовірними. Треба відзначити, що

численні розділи роботи не пов'язані штучно, а дійсно відповідають сформульованій меті та відображають окремі задачі, розв'язок яких необхідний для її досягнення. Методичну цілісність дисертації також забезпечує комплексний науковий підхід до вказаних задач: від математичної моделі через розроблені алгоритми і програмну реалізацію до впровадження та випробування у реальних масштабних застосуваннях.

Дисертаційна робота демонструє вміле володіння різноманітними методами наукових досліджень на межі між традиційною геофізикою і пов'язаного з нею математичного апарату, з одного боку, та інформаційними технологіями і обчислювальною математикою з іншого. Міждисциплінарні дослідження взагалі вимагають від авторів більшої ерудиції та ширшого погляду на проблематику, що як раз є сильними сторонами пані Легостаєвої, досвідченого і успішного вченого.

Наукова новизна отриманих результатів сформульована в дисертації досить переконливо. Я бажав би відзначити наступні результати:

1) досліджено зв'язок між задачею гравіметрії у постановках В.М. Новоселицького та Б.В. Нумерова, отримано розв'язок задачі узагальненої для шару, що апроксимується системою зрізаних неоднорідних вертикальних прямокутних призм, – тобто у найбільш природній постановці на практиці;

2) розв'язано пряму задачу магнітометрії для двох типових елементів: довільно зрізаної вертикальної прямокутної призми і чотирикутної зрізаної піраміди в ізотропному і анізотропному випадках;

3) розв'язано пряму задачу геотермії (визначення розподілу тепла і теплового потоку в однорідному півпросторі) для неоднорідної довільно зрізаної вертикальної прямокутної призми;

4) сформульовано і розв'язано узагальнену стаціонарну задачу геотермії Релея–Тихонова в одномірному наближенні для сукупності горизонтальних нескінченних пласко-паралельних шарів.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає, насамперед, у їх ролі при створенні програмної системи GMT-Auto для

автоматизованої інтерпретації гравітаційного, магнітного і теплового полів. GMT-Auto забезпечує як побудову тривимірних геолого-геофізичних моделей за заданими полями, так і розрахунок розподілу фізичних параметрів у заданих моделях. Наближення синтетичного поля до вимірюваного є ознакою відсутності суттєвих помилок в інтерпретації та мірою якості моделі, тобто точності апроксимації нею природного середовища.

Таким чином, розроблена програмна система є новим і корисним інструментом для промислових геофізиків та науковців. Її ефективність підтверджена прикладами успішного застосування при вирішенні кількох складних задач визначення будови геологічних структур за геофізичними даними. Отримані з допомогою GMT-Auto геологічні моделі мають самостійну практичну цінність, адже можуть бути використані при вирішенні різноманітних задач прикладної геології, тектоніки, при пошуку корисних копалин тощо.

Публікації та апробація. Основні наукові результати та висновки викладені в дисертаційній роботі одержані авторкою особисто і опубліковані в журналах, які входять до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з фізико-математичних наук за спеціальністю геофізика, у престижних наукових журналах за кордоном. Загалом за темою дисертації О.В. Легостаєвою опубліковано 105 наукових праць, у т.ч. 43 статті (з яких 27 входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), 3 колективних монографії, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір та 58 тез у збірниках доповідей міжнародних наукових конференцій. *Цитування вказаних публікацій є високим:* за даними Web of Science їх сукупний h-index = 10, загальна кількість посилань – 405.

Мова дисертації та автореферату. Дисертація написана грамотно, ясною мовою з використанням сучасної наукової термінології.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Не зважаючи на цілком позитивну оцінку дисертаційної роботи, маю відмітити наступні **недоліки**.

1. В реалізації цифрування зображень (розділ 1) не досить детально описаний алгоритм перетворення оцифрованих ізоліній і розломів на поверхню. Складається враження, що використано лінійну інтерполяцію. Варто було б розглянути застосування методів інтерлінації/інтерфлетації функцій, зокрема, відомі у світі роботи харків'янина О.М. Литвина. Такий підхід дозволяє знизити вимоги до щільності ізоліній на вхідних зображеннях.
2. Обсяг ручної роботи при цифруванні зображень (розділ 1) у багатьох випадках можна скоротити, якщо не намагатися зберігати зв'язність ізоліній, а натомість використати методи картобудування, відновити форму поверхні за неповними даними і повторно розрахувати ізолінії. Найчастіше для цієї задачі використовують алгоритм мінімальної кривизни, іноді у комбінації з двовимірними B-сплайнами, чи триангуляцією Делане.
3. Можливо внаслідок великого обсягу іншого матеріалу, у розділі 1 нічого конкретно не написано про алгоритми автоматичного виділення ліній, хоча така можливість у програмі передбачена. Тут я б очікував на методи морфологічного аналізу, чи на перетворення Хафа. А що реалізовано?
4. Також у розділі 1 не розписаний використаний спосіб побудови тривимірної моделі за даними карт і вертикальних перетинів. Чи можна комбінувати перетини у різних напрямках, чи можна комбінувати перетини з картами? Побудова тривимірної моделі за двовимірними даними – досить цікавий напрям досліджень.
5. Моделювання фізичних полів у тривимірних моделях, зокрема, в контексті результатів розділів 2-4 є обчислювально-складною задачею. Нажаль, про обчислювальні схеми, продуктивність та можливості паралельних обчислень у цих розділах майже нічого не написано. Оскільки моделі були практично реалізовані, ці питання ймовірно розглядалися. Відповідна інформація прикрасила б таку міждисциплінарну роботу, а просування у цьому напрямку могло б покращити програмну реалізацію.

Зроблені зауваження мають переважно характер рекомендацій для подальшої роботи. Вони не ставлять під сумнів правильність, обґрунтованість, наукову новизну і практичну вагу результатів, що подаються на захист.

Вважаю, що дисертаційна робота “Математичне і програмне забезпечення автоматизованої системи 3D інтерпретації даних потенціальних полів (GMT–Auto)” присвячена розв’язанню актуальної геофізичної проблеми, виконана на високому науковому рівні, містить оригінальні та важливі наукові результати, відповідає вимогам пп. 9, 11, 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.) і 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, а **Легостаєва Ольга Вадимівна** заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика, 103 – Науки про Землю.

Офіційний опонент:

завідувач відділу автоматизації програмування

Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник

Тульчинський Вадим Григорович

31.08.2021

