

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Савченко Олександри Сергіївни «Автоматизована система кількісної інтерпретації даних потенціальних полів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика

Дисертація Савченко О.С. направлена на вирішення важливої для України наукової проблеми – геолого-геофізичного забезпечення пошуків родовищ нафтогазових та рудних корисних копалин. Важливу роль у розв'язку цієї проблеми відіграють процеси створення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих систем кількісної інтерпретації даних потенціальних полів. Саме в цьому напрямку дисертантка виконала ряд досліджень і отримала закінчені результати, які поліпшують якість інтерпретації геофізичних полів автоматизованою системою, яка створена та функціонує по місцю роботи дисертантки. Автоматизовані програмні системи не можуть бути створені один раз і назавжди. Вони потребують постійного вдосконалення чи, навіть, переробки окремих частин чи фрагментів системи. Дисертантка виконала суттєві теоретичні розробки для першої частини системи – вводу геофізичних полів та геологічних даних для побудови інтерпретаційних моделей. Для другої, найбільш основної частини системи вона виконала теоретичну розробку методів і алгоритмів розв'язку обернених задач магнітометрії для многогранника з постійною та лінійною намагніченістю. У такому вигляді формули розв'язків прямої задачі магнітометрії найбільш вигідні для використання інтерпретаційних моделей, заданих за геологічними даними дискретними, значно віддаленими точками, що належать контактним поверхням многогранників. Автором дисертації також виконані теоретичні розробки по адаптації до автоматизованої системи інших трансформацій магнітного поля. Автором також розроблені необхідні для реалізації названих вище розробок доповнення до третьої частини системи – збереження та виводу даних. І, нарешті, автором виконані розв'язки обернених задач магнітометрії та гравіметрії з використанням в автоматизованій системі виконаних нею теоретичних та методичних розробок. Таким чином, тема дисертації є актуальною.

Виходячи із цього, були поставлені задачі досліджень:

- 1) побудова алгоритмів і програм автоматизованого введення в комп'ютер геофізичної й геологічної інформації, представленої у вигляді існуючих карт (без їх попередньої ручної обробки) і побудова на їх основі початкового наближення тривимірної геолого-геофізичної моделі досліджуваної структури;
- 2) розв'язання прямої задачі магнітометрії для всіх компонент магнітного поля для анізотропних монокліналей і складчастих структур;
- 3) вивчення можливості відновлення гармонічних функцій по магнітному полю ΔT і встановлення зв'язку цієї функції з функцією В. М. Страхова ΔS ;

4) привести приклади практичного використання автоматизованої системи при вивченні геологічних структур геофізичними методами.

У результаті вирішення поставлених задач були отримані нові результати, а саме, створена автоматизована система інтерпретації даних потенціальних полів. З її допомогою:

1) автоматизовано вводяться в комп'ютер зображення реальних геологічних і геофізичних карт без попередньої ручної обробки з метою отримання їх у чисельному вигляді;

2) по чисельним моделям вхідних карт в інтерактивному режимі будуються початкові наближення тривимірних геолого-геофізичних моделей досліджуваних геологічних структур;

3) реалізується методика побудови магнітних моделей геологічних структур з урахуванням закономірностей, установлених В. М. Завойським про зв'язок магнітної анізотропії зі структурою порід;

4) відновлено гармонічну функцію по магнітному полю ΔT , а також встановлено зв'язок цієї функції з функцією В. М. Страхова ΔS ;

5) побудована тривимірна густинна модель земної кори Інгульського мегаблока Українського щита, тривимірна густинна й магнітна моделі центральної частини Карельського кратона, а також густинна модель осадової товщі Турчанської западини (західні Карпати);

6) розглянуто застосування функції В. М. Страхова ΔS при інтерпретації магнітного поля Криворізької структури.

Достовірність отриманих результатів забезпечується застосуванням математичних рішень; підтвердженням теоретичних положень результатами експериментальних розрахунків на тестових прикладах; чисельним гравітаційним та магнітним моделюванням геологічних структур при інтерпретації результатів геофізичних спостережень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що створена система орієнтована на практичне використання як у наукових, так і у виробничих геофізичних організаціях, а побудовані моделі реальних геологічних структур можуть бути використані при вирішенні практичних задач геології, тектоніки, а також пошуків корисних копалин.

Особистий внесок здобувача. Автор є співавтором алгоритмів і програм введення в комп'ютер зображень карт у створеній в інституті Геофізики НАН України автоматизованій системі, а також побудованих геолого-геофізичних моделей реальних геологічних структур. Результати досліджень автора повністю опубліковані в 15 наукових статтях у фахових журналах, у трьох монографіях у співавторстві, та апробовані у виступах з 12 доповідями на 11 Міжнародних наукових конференціях, чого достатньо для дисертації відповідно до вимог ДАК МОН України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку літератури із 147 публікацій. Робота має 58 рисунків в тексті, викладеному на 147 сторінках (із них залікових – 122 стор.), чого достатньо для виконання вимог ДАК МОН України.

У розділі 1 проведено аналіз відомих та опис розроблених автором дисертації програм автоматизованого введення в комп'ютер зображень геолого-геофізичних карт. Програма *SpaceMap* створена автором для використання при виконанні модельних розрахунків для консолідованої кори, на кристалічних щитах, оскільки в цьому випадку в комп'ютер необхідно вводити зображення карт, основним змістом яких є не ізолінії, а тіла (області). Процес обробки зображення полягає в знаходженні цих областей, присвоєнні кожній із них деякого числового значення (індексу), накладання сітки на побудоване зображення (за відомими розмірами й масштабом вхідного зображення) і визначення індексів у вузлах сітки. Області при цьому визначаються як зв'язкові множини білих пікселів, розділені чорними лініями. Для виділення зв'язкових множин білих пікселів використовується представлення зображення у вигляді списку особливих місць. Значна кількість функцій автоматизованої інтерактивної обробки зображень геофізичних об'єктів виконуються програмою автоматично: пошук рамки, що визначає межі зображення; виключення інформації, яка знаходиться за межами рамки; пошук областей; автоматичний пошук розривів ліній, що розділяють області; автоматичне ведення архіву імен модифікованих вхідних файлів; виведення на екран монітора чергової індексованої області; контроль правильності формату індексів, які вводяться; запис на жорсткий диск проміжних і остаточних даних індексації; побудова сітки; визначення значень індексів у вузлах сітки; запис на жорсткий диск вихідних даних. Сукупність цих ознак та процедур є новим і необхідним досягненням у створенні автоматизованих систем кількісної інтерпретації геофізичних даних, оскільки розширює їхні інтерпретаційні можливості при розв'язку обернених задач геофізики.

Вхідними даними є графічні зображення геофізичних або геологічних об'єктів, які створені від руки або за допомогою будь-якого графічного програмного пакету, представлені у вигляді чорно-білого растрового зображення. у результаті роботи програми формується вихідний файл, який містить вихідні дані, необхідні для розв'язування задач геофізики, а також при роботі з найсучаснішими комп'ютерними системами, які активно застосовуються при інтерпретації геолого-геофізичних даних.

Аналогічно вдосконалено *програмний комплекс Isohypse*, призначений для введення в комп'ютер як монохромних (чорно-білих), так і кольорових зображень геолого-геофізичних об'єктів, представлених ізолініями й розломами (функції з розривами першого роду) у прямокутній або географічній системах координат.

Введення об'єктів (розломів або ізоліній) виконується однаково при роботі в різних системах координат за допомогою кривих Безье, використання яких дозволяє простіше імітувати поверхні геофізичних об'єктів. Криві Безье записуються в пам'яті комп'ютера у вигляді математичних формул, тому малюнки, отримані з їх допомогою, забезпечують можливість масштабування без втрати якості зображення.

Визначення значення геолого-геофізичного параметра в кожному вузлі заданої сітки виконується різними методами в залежності від розташування вузла: 1) якщо вузол знаходиться на ізолінії, йому присвоюється її значення; 2) якщо вузол потрапляє на розлом – обчислюється сторона розлому, до якої він належить, і визначається відрізок, який містить його; значення параметра в цьому вузлі буде розраховано методом лінійної інтерполяції між значеннями поля $Z(x, y)$ на кінцях цього відрізка; 3) якщо вузол лежить на рамці, значення $Z(x, y)$ в ньому визначається лінійною інтерполяцією між значеннями $Z(x, y)$ у сусідніх точках або за допомогою кривих Безьє при рівних значеннях функції в них; 4) в інших випадках для визначення значення $Z(x, y)$ у вузлі N з нього проводяться вісім променів (перший – вертикально вгору, а наступні - через рівні кути в напрямку руху годинникової стрілки), утворюючи при цьому попарно чотири прямі. Послідовно вздовж кожної прямої аналізується величина $Z(x, y)$. Остаточним значенням функції $Z(x, y)$ у вузлі приймається середнє арифметичне значення, розраховане вздовж чотирьох досліджуваних прямих.

У програмному комплексі Isohypse реалізовано ряд можливостей, які обумовлені специфічними вимогами, що пред'являються до обробки деяких зображень геофізичних об'єктів. Уперше введено поняття ізолінії спеціального типу. Такою може бути будь-яка, за якою немає інших ізоліній та її кінці лежать на рамці. Це є новим, дуже важливим і необхідним доробком для автоматизованих систем інтерпретації геофізичних даних. Передбачена можливість із уже створеного цифрового опису зображення вирізати й зберегти дані в будь-якій прямокутній області, а також отримати інформацію вздовж обраної лінії або послідовності прямих ліній для подальшого використання при побудові двовимірних розрізів.

Програмний комплекс Isohypse широко апробований і добре себе зарекомендував. Отримані нові геологічні дані при побудові сумісної тривимірної густинної моделі Українського щита і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), а також при побудові двовимірних густинних розрізів уздовж і в хрест широтних зон УЩ та ДДЗ. При використанні програмного комплексу Isohypse, були вперше побудовані тривимірні густинні моделі осадових басейнів Карпатсько-Паннонського регіону, Чорноморської западини, Інгульського мегаблока Українського щита, центральної частини Карельського кратону та ін.

У розділі 2 виконано нові теоретичні та методичні розробки для обчислення магнітного поля від монокліналей і складчастих структур.

Для кількісної інтерпретації спостереженого поля, а також його складових, необхідно було мати формули, які б давали рішення прямої задачі магнітометрії по осях координат x, y, z для компонент аномального магнітного поля T_a , тобто величин X_a, Y_a, Z_a . В якості тіла, набором яких зручно апроксимувати магнітну модель певної геологічної структури,

вибрано довільний, однорідно анізотропний багатогранник, для якого виконано в загальному вигляді розв'язок прямої задачі магнітометрії через поверхневі та об'ємні інтеграли, які зводяться до квадратур, виражених через координати точок, що лежать на гранях многогранника та його вузлах. Отримано важливий для практики розрахунків висновок: якщо всередині тіла вектор інтенсивності намагніченості є сталою величиною, що властиво для ізотропних і однорідних анізотропних тіл, то магнітний потенціал визначається тільки поверхневими масами. Цей важливий теоретичний і практичний висновок розповсюджено на інші об'єкти: густина об'ємних магнітних мас монокліналі, шаруватих і складчастих порід перетворюється в нуль. Тому їхнє магнітне поле створюється тільки поверхневими масами. Саме для цього окремого, але дуже важливого випадку розподілу анізотропних магнітних мас у таких породах, розглянуті всі рішення прямих задач магнітометрії. Вони збігаються із загальним випадком для однорідних анізотропних тіл. Усі окремі випадки в розділі 2 розглянуті й для них приведено формули. Автором доведено, що в ізотропних тілах, а також в анізотропних неоднорідних тілах, дивергенція намагніченості відмінна від нуля тільки на поверхні тіл, причому щільність цих магнітних мас описується простими співвідношеннями.

У розділі 3 отримано аналітичні вирази для обчислення компонент магнітного поля від тіл, обмежених довільно розташованими плоскими трикутниками, оскільки поверхню багатогранника зручно представити набором плоских трикутників, а інтегрування виконувати по контурам усіх трикутників. У розділі 2 детально описана теорія методів для окремих компонент поля та методика отримання кожного параметру, особливо для нормалей до поверхонь.

У розділі 4 виконано відновлення гармонічних функцій по магнітному полю ΔT і зв'язок цієї функції з функцією В. М. Страхова ΔS при співвідношенні $\Delta T/T > 0.3$ для аномальних тіл із високою намагніченістю. І дійсно таке припущення можливе, бо феромагнітні тіла гірських порід мають дуже велику дисперсію розподілу намагніченості в будь-якому великому чи малому об'ємі. Але із дисертації та автореферату слідує, що це питання знаходиться тільки в початковій стадії дослідження.

У розділі 5 Приведені приклади вирішення практичних задач. Відмічено деталі, які раніше були невідомі. Особливо це стосується результатів гравітаційного поля над Турчанською западиною.

Основною метою цієї роботи було отримання залишкового гравітаційного поля (stripped gravity map), яке відображає густинні неоднорідності консолідованої частини кори й може бути використане для геологічної та геофізичної інтерпретації будови і складу дотретинного

фундаменту Турчанської западини.

Вивчення й аналіз густини порід отриманої за узагальненими геолого-геофізичними, а також по свердловинам показали, що густина порід змінюється в широких межах як по вертикалі, так і по горизонталі. Тому визначити середнє значення густини досить складно. У зв'язку із цим для осадових відкладень Турчанської западини були побудовані два варіанти тривимірної густинної моделі з лінійним градієнтом зміни густини в них із глибиною й розраховані їх гравітаційні ефекти.

При відніманні цих ефектів із регіональної складової гравітаційного поля зі спостереженого поля отримані карти результуючого залишкового поля, які були використані для геологічної та геофізичної інтерпретації будови й складу дотретинного фундаменту Турчанської западини. Без програм вводу даних, розроблених автором дисертації, таку роботу виконати неможливо. У цьому й полягає значущість її теоретичних та методичних розробок.

У результаті виконаної роботи вперше побудована попередня схема будови дотретинного фундаменту, який по градієнту сили тяжіння північно-західного – південно-східного напрямку, розділений на дві частини: північну й південну. Перша характеризується герцинським кристалічним фундаментом і мезозойськими комплексами Фатричного покрову. Друга частина представлена, в основному, мезозойськими комплексами Хронічного покрову. В аналогічному стилі виконані дослідження і в інших регіонах.

Таким чином, дана робота присвячена розробці нової автоматизованої системи кількісної інтерпретації даних потенційних полів і її практичному випробуванню на прикладі вивчення основних геологічних структур території України, а також деяких структур ближнього й дальнього зарубіжжя.

1. Уперше для роботи в інтерактивному режимі створені програмні комплекси SpaceMap і Isohypse, що дозволяють проводити автоматизоване введення в комп'ютер зображень геолого-геофізичних карт й отримати їх у чисельному вигляді. Застосування цих програмних продуктів дозволяє істотно скоротити час та фізичні затрати при введенні геолого-геофізичної інформації в комп'ютер, а результати їхньої роботи є вхідною інформацією для розв'язання прямих задач геофізики. Програма SpaceMap призначена для введення інформації, представленої графічно у вигляді тіл (областей), і застосовується при виконанні досліджень консолідованої кори, а саме, на щитах. Комплекс Isohypse призначений для оцифрування карт, представлених ізолініями й розломами (функціями з розривами першого роду) і добре себе зарекомендував при вивченні осадових басейнів. Введення об'єктів (розломів або ізоліній) проводиться за допомогою кривих Безьє, що дозволяє простіше імітувати поверхні

геофізичних об'єктів. Визначення значення $Z(x, y)$ геолого-геофізичного параметра в кожному вузлі заданої сітки виконується різними методами: лінійної інтерполяції, екстраполяції по поліному Лагранжа, інтерполяції по кривій Безьє.

2. Удосконалено алгоритм обчислення магнітних полів для монокліналей і складчастих структур. Основу алгоритму складають експериментально встановлені В. М. Завойським закономірності зв'язку між анізотропією магнітної сприйнятливості, тектонічною структурою й аномальним магнітним полем. Зазначені закономірності не тільки спрощують вирішення задачі, але й суттєво полегшують підготовку необхідних для цього вхідних даних польових спостережень. Отримано повне рішення прямої задачі магнітометрії для тіл, обмежених довільно розташованими в тривимірному просторі плоскими трикутниками, набором яких апроксимуються поверхні розглянутих геологічних тіл.

3. Уточнена формула Ю. П. Тафєєва до члена другого порядку. Показано, що із цієї уточненої формули випливає співвідношення В. М. Гордіна й співавторів із метою виділити гармонічний компонент функції ΔT . Отримано лінеаризоване співвідношення функції В. М. Страхова для функції ΔT безпосередньо з основної наближеної для ΔT формули Ю. П. Тафєєва.

4. Отримала подальший розвиток методика вивчення земної кори за даними тривимірного густинного моделювання в масштабі 1:200 000, встановлено нові особливості будови земної кори основних структур Інгульського мегаблоку Українського щита: Корсунь-Новомиргородського плутону, Новоукраїнського масиву, шовних зон і площі розвитку біотитових гнейсів. На основі аналізу й узагальнення всієї сукупності наявної геолого-геофізичної інформації для центральної частини Карельського кратону побудовані тривимірні густинна й магнітна моделі, які дозволили оцінити особливості шарувато-блокової будови регіону й структурних співвідношень густинної й магнітної неоднорідності кори.

5. Уперше для осадових відкладів Турчанської западини (Західні Карпати) побудовані два варіанти тривимірної густинної моделі. При відніманні зі спостереженого поля гравітаційного ефекту густинних моделей і регіональної складової гравітаційного поля отримані карти результуючого залишкового поля, які були використані для геологічної та геофізичної інтерпретації будови й складу дотретинного фундаменту Турчанської западини.

6. Уперше використана функція В. М. Страхова ΔS при інтерпретації детальних магнітних аномалій у рудних районах на прикладі поля Криворізької структури.

Висновки автора по дисертації повністю відображають наукові досягнення автора та відповідають меті та задачам досліджень, а також сформульованим науковим положенням.

Список використаних джерел свідчить про ретельну проробку

літературних та фондових джерел, а також про відображення їх результатів у працях автора.

Таким чином, можна стверджувати, що дисертантом проведений значний та замкнутий цикл у логічній послідовності побудованих досліджень, починаючи від аналізу проблеми, розробки методологічних принципів і теоретичних засад, до фізико-математичного моделювання, створення методів розв'язку прямих задач та практичного втілення результатів.

Разом з тим дисертація викликає ряд зауважень, основні з яких зводяться до наступного:

1. Розділ 4 виконано поверхнево й незавершено. Не вказано, по яким функціям виконувався метод підбору, або як знаходилися аномальні компоненти поля чи параметра В.М.Страхова.
2. При описі в розділі 5 розв'язку оберненої задачі для Криворізької структури немає прив'язки аномалії до конкретної місцевості в Кривому Розі, оскільки приведена аномалія поля не належить по інтенсивності ні до середніх, ні до найбільших.
3. У дисертації не відмічено перспективи розповсюдження розробок автора на автоматизовані системи інтерпретації гравіметрії та магнітометрії інших розробників, оскільки їхні системи без програм *SpaceMap* та *Isohypse* мають суттєві недоліки, незважаючи на переваги в методах розв'язку обернених задач, у порівнянні з методом підбору, який використовується в роботі, що захищається.
4. У дисертації надмірно розширено опис окремих пунктів загальних висновків.

Наведені зауваження не можуть змінити високу, в цілому, оцінку дисертаційної роботи, яка визначається в наступних висновках офіційного опонента.

1. Дисертація Савченко О.С. поглиблює та розкриває уявлення про інструменти та закономірності розв'язку прямих та обернених задач гравіметрії, магнітометрії та інших споріднених галузей. Дисертація, що розглядається, є значною й закінченою науковою працею, у якій отримані нові теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є значним досягненням для розвитку напрямку наукових методів геолого-геофізичного забезпечення України. Наведені автором дослідження дозволяють істотно підвищити ефективність геофізичних та геологічних робіт. Таким чином, дисертація Савченко О.С. має безсумнівне теоретичне та практичне значення й повністю відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

2. Усі наукові положення, що виносяться на захист, є новими та

достовірними, обґрунтованими результатами науково-методичних розробок автора з використанням фізичних уявлень про процеси взаємодії геологічних, геофізичних явищ та сучасного математичного апарату, чисельних експериментів із використанням значного фактичного матеріалу.

3. Основні результати дисертації повністю викладені в наукових фахових виданнях, кількість таких публікацій перевищує нормативні показники ДАК МОН України. При виконанні розробок, виконаних у співавторстві, чітко визначений особистий внесок автора дисертації. Робота в достатній мірі апробована. Автореферат у повній мірі відображає основні положення дисертації. Робота оформлена у відповідності до діючих вимог, написана грамотною літературною мовою, логічно побудована. Практичне втілення результатів підтверджено документами, досягнуті результати мають перспективу подальшого використання на всій території України.

Таким чином, рецензована робота є актуальною науково змістовною завершеною працею, яка за постановкою проблеми та отриманими результатами, безумовно, відповідає вимогам ДАК МОН України, що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор Савченко Олександра Сергіївна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент
професор кафедри інформатики
та прикладної математики
Криворізького державного педагогічного
університету,
д.ф.-м.н., професор

 П.О. Міненко

Підпис Л.О. Мінченка
офіційний секретар



В.Т. Терещенко