

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію **Макаренко Ірини Борисівни**

«Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів

за результатами 3D гравітаційного моделювання»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук

за спеціальністю 04.00.22. – геофізика

1. Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження та її зв'язок із планами і напрямками науково-дослідних робіт наукових установ і організацій, державними і галузевими науковими програмами.

Результати 3D гравітаційного моделювання значно доповнюють сучасні уявлення про будову земної кори України і суміжних регіонів. Деталізований об'ємний розподіл густини земної кори дав можливість отримати нову інформацію про глибинну будову як окремих тектонічних структур, так і всього регіону загалом. Закономірності розподілу густини в різних типах структур і блоках можуть бути використані при побудові комплексних геолого-геофізичних моделей і різних тектонічних і геодинамічних схем, а також при вирішенні практичних завдань геології і пошуків корисних копалин.

Актуальність обраної здобувачем теми зумовлено й тим, що дисертацію поєднано з планами науково-дослідних робіт Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України за такими науковими темами:

- «Комплексне геолого-геофізичне вивчення глибинної будови південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи з метою розширення мінерально-сировинної бази України» (2007–2010), № держ. реєстрації 0106U000911;
- «Глибинна будова і геодинаміка наскрізних широтних зон розломів для оцінки перспектив пошуку корисних копалин» (2007–2011), № держ. реєстрації 0107U002193;
- «Побудова тривимірної геолого-геофізичної моделі південній околиці Східноєвропейської платформи і її обрамлення з метою розширення

мінерально-сировинної бази України» (2011–2015), № держ. реєстрації 0111U000236;

- «Глибинна будова і геодинамічний розвиток Інгульського мегаблока Українського щита у зв'язку з пошуками стратегічних видів корисних копалин» (2013–2015), № держ. реєстрації 0113U002502;
- «Комплексне геофізичне вивчення глибинної будови, складу і еволюції земної кори з метою визначення вуглеводного ресурсного потенціалу Азово-Чорноморського регіону» (2013–2015), № держ. реєстрації 0113U004152;
- «Геодинамічний розвиток літосфери України і формування та розміщення родовищ корисних копалин» (2012–2016), № держ. реєстрації 0112U003044;
- «Комплексне геофізичне дослідження літосфери України: від моделей до процесів формування родовищ корисних копалин» (2016–2020), № держ. реєстрації 0116U000131.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і наукова новизна.

Обґрунтованість та достовірність сформульованих у дисертації наукових результатів і висновків забезпечується застосуванням нових математичних методів розв'язання прямої задачі гравіметрії і сучасних технологій чисельного моделювання; достатньою точністю карт гравітаційного поля, схем глибин залягання та потужності геологічних горизонтів та розділу Мохо; повнотою використання комплексу апріорних геолого-геофізичних даних. Достовірність отриманих даних визначається високою кореляцією з результатами інших методів.

Наукова новизна дисертаційної роботи Макаренко І.Б. полягає у отриманні нею нових наукових та практичних результатів, що в сукупності вирішують поставлені завдання.

При цьому автором вперше:

- продемонстровано нові можливості 3D гравітаційного моделювання різного масштабу при застосуванні сучасного спеціалізованого програмного

забезпечення комплексу *GMT-Auto* для розв'язання важливих складних прикладних завдань сучасної геології: від регіональних моделей (масштаб 1: 1 000 000, 1: 500 000) до більш детальних (1: 200 000, 1: 50 000);

- отримано суттєво нову інформацію про деталізований розподіл густини в земній корі, що разом з магнітними, швидкісними, температурними і іншими моделями підвищує надійність визначення особливостей будови земної кори;
- для території України і суміжних регіонів:
 - отримано розподіл густини в об'ємі земної кори, представлений у вигляді схем розподілу густини на певних глибинах (поверхня фундаменту, 10, 20, 30 км, розділ Мохо);
 - оцінено потужності умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів консолідованої кори та коромантійної суміші;
 - зроблено типізацію консолідованої кори, виділено гранітний, гранітно-діоритовий, діоритовий і базальтоїдний типи кори, які характеризують неоднорідність сучасної кристалічної кори регіону в цілому.
 - виділено тип кори, що характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шару (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»);
- показано провідну роль розломної тектоніки консолідованої кори північно-західного і північно-східного шельфів Чорного моря при утворенні структур мезокайнозойського чохла, до яких приурочені родовища вуглеводнів.
- виконано типізацію родовищ вуглеводнів і структур за ознаками їх проявів в потенціальних полях. З'ясовано, що всі без винятку родовища і структури різною мірою контролюються системами розломів, які пов'язані з границею СЄП, Губкінсько-Донузлавською зоною розломів і вузлами їх перетинів.

3. Значущість дослідження для науки і практики та шляхи його використання.

Результати 3D гравітаційного моделювання значно доповнюють сучасні уявлення про будову земної кори України і суміжних регіонів, а також дають нову

інформацію про глибинну будову як окремих тектонічних структур, так і всього регіону загалом.

Використання принципово нового комплексу потенціальних полів – залишкового гравітаційного, звільненого від впливу осадового шару і товщі води на морі, та аномального магнітного дало можливість отримати нову інформацію про системи розломів консолідованої кори, їх співвідношення між собою і вплив на формування основних структур осадового чохла, до яких, і особливо до вузлів перетину розломів, приурочені родовища вуглеводнів. Все це має велике значення як для науки, так і практики.

4. Оцінка змісту, стилю та мови дисертаційної роботи, її завершеності та оформлення.

Дисертаційна робота Макаренко І.Б. в цілому є завершеною науковою працею і складається з анотації, переліку умовних скорочень і символів, вступу, шести розділів, висновків і списку використаних джерел, що включає 276 найменувань, містить 380 сторінок машинописного тексту, з яких основний текст дисертації складає 278 сторінок, 148 рисунків, 8 таблиць і 6 додатків.

У вступі викладено загальну характеристику роботи, обґрунтовано доцільність обраного напрямку та актуальність дисертації, сформульовано мету роботи, завдання, які треба було вирішити, та методи досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, сформульовано основні наукові та практичні досягнення здобувача, а також подано інформацію щодо зв'язку роботи з науковими темами Інституту, апробації одержаних результатів, публікацій, структури та обсягу роботи.

У першому розділі представлено короткий геотектонічний нарис регіону досліджень, виконано стислий аналіз існуючих 2D і 3D гравітаційних моделей, розглянуто особливості гравітаційного поля та сейсмічні дані, які були використані для побудови перших наближень 3D гравітаційних моделей окремих тектонічних регіонів, виконано аналіз схеми потужності та глибинної будови земної кори.

У **другому розділі** викладені основні положення методики і технологія 3Dгравітаційного моделювання, яка включає: (1) програмний комплекс; (2) структуру і параметризацію моделі; (3) завершальний етап, котрий залежить від поставлених завдань.

Наведено, що використання автоматизованого комплексу *GMT-Auto* істотно полегшує і прискорює процес інтерпретації гравітаційного поля методом тривимірного чисельного моделювання і істотно збільшує роздільну здатність і інтерпретаційні можливості об'ємного геологічного середовища. Для роботи з геолого-геофізичною інформацією, яка в більшості випадків існує у вигляді карт, схем, розрізів тощо, розроблені програмні комплекси (*Geophys0*, *Isohypse*) та програма *SpaceMap*, які здійснюють автоматизоване введення в комп'ютер цих даних з наступним поданням їх в цифровому вигляді.

Особливу увагу приділено параметризації моделі, оскільки густинні властивості гірських порід є одним з основних питань фізичного обґрунтування тривимірного густинного моделювання і підвищення точності геологічної інтерпретації гравітаційного поля. Показано, що густинні властивості осадового чохла отримують: 1) за лабораторними дослідженнями зразків порід з керну картувальних і глибоких розвідувальних свердловин, а також зразків порід, відібраних з численних відслонень; 2) за визначенням аналітичного виразу для лінійної і експоненціальної зміни густини з глибиною; 3) за формулами залежності швидкість/густина. Накопичені дані по співвідношенню $\rho=f(V_p)$ показують, що склад осадових порід, їх пористість, ступінь метаморфізму по різному впливають на це співвідношення. Тому при 3D гравітаційному моделюванні потрібно використовувати результати визначення густини чи співвідношення $\rho=f(V_p)$ для осадових порід в кожному конкретному регіоні.

У **третьому розділі** приведені різномасштабні 3D гравітаційні моделі окремих регіонів і структур: Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу, Українського щита (УЩ) (Інгульський мегаблок, Голованівська шовна зона, широтні зони розломів), Чорноморської мегазападини і прилеглих територій (глибоководна частина, північно-західний та північно-східний шельф).

Різноманіття різновікових структур дозволило виявити густинну неоднорідність та провести порівняльний аналіз глибинної будови земної кори в них, а також з'ясувати важливі спільні закономірності її структури.

У **четвертому розділі** наведено результати спільного аналізу залишкового гравітаційного, звільненого від впливу товщі води і осадового шару, і аномального магнітного полів, який дав нову інформацію про системи розломів консолідованої кори північно-західного та північно-східного шельфів Чорного моря, про їхні співвідношення між собою і вплив на формування основних структур осадового чохла.

Показано, що схеми розломної тектоніки консолідованої кори побудовані з використанням традиційних ознак проявів порушень земної кори в потенціальних полях: осей максимальних градієнтів, зміни характеру полів по обидва боки від передбачуваного розлому, вузьких лінійних позитивних і негативних аномалій, які проявляються у вигляді чітких смуг.

Зроблено висновок про те, що більша частина виділених великих розломів підтверджується сейсмічними даними різних модифікацій, що є показником ефективності застосованого підходу.

Для північно-західного шельфу Чорного моря встановлено дві головні системи розломів – діагональну і ортогональну. Для північно-східного шельфу Чорного моря складено детальну схему розломної тектоніки консолідованого фундаменту земної кори 1:200 000. Показано, що більшість локальних структур, а саме: Дрейфова, Глибока, Безіменна, Личагіна, Благодарна, Якірна, Південнокавказська, Лучицького, Паласа, виявлених сейсморозвідкою, розташовано в зонах градієнтів залишкового гравітаційного поля, обумовленого осадовим чохлом і тяжіють до вузлів перетинів розломів північно-східного і субширотного простягання різних рангів.

У **п'ятому розділі** розглянуто уніфіковані схеми розподілу густини земної кори на різних глибинах (на поверхні фундаменту, 10, 20, 30 км, розділі Мохо) території України і суміжних регіонів, що є найважливішим результатом виконаного 3D гравітаційного моделювання. Отримана густинна неоднорідність

стала основою для побудови схем потужностей умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів та схеми типів земної кори, що відображають її склад. Визначено наступні типи кори: гранітний, гранітно-діоритовий, діоритовий і базальтоїдний з вмістом в ньому базальту: підтип 1 – 40–70 %, підтип 2 – 70–90 %, підтип 3 – 100 %. Встановлено, що основність складу земної кори Українського щита змінюється з заходу на схід, відповідно, від підтипу 2 базальтоїдного до діоритового типу. В Дніпровсько-Донецькій западині основність кори збільшується з північного заходу на південний схід відповідно до сегментації структури. Основність кори Східно-Чорноморської западини більша, ніж Західно-Чорноморської.

Вперше виділено тип кори, який характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шарів (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»). Подібний тип кори притаманний Інгульському мегаблоку УЩ, північній бортовій зоні ДДЗ, а також Чорноморській мегазападині.

Шостий розділ присвячений нафтогазоносності і рудним корисним копалинам. Виконано: 1) аналіз розміщення структур-аналогів відомих родовищ північно-західного шельфу Чорного моря (Голіцинського, Архангельського, Одеського, Штормового) і різних систем розломів та типізацію родовищ вуглеводнів і структур за ознаками їх проявів в потенціальних полях; 2) зіставлення прогнозного складу кори УЩ з поширенням родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису.

1. Газоносність північно-західного шельфу Чорного моря, системи розломів і особливості потенціальних полів.

Для газоносних структур північно-західного шельфу, виділених сейсморозвідкою, з використанням удосконаленого методу аналогії було виділено аналоги Голіцинського, Архангельського, Одеського і Штормового родовищ, які зіставлені з системами розломів, що детально описані в розділі 4. Показано, що родовища Штормове і Архангельське та їхні структури-аналогії розташовані в субширотних розломах відомої Губкінсько-Донузлавської зони розломів. Виняток складає Одеське родовище, яке, імовірно, відноситься до вузла

перетину цієї зони з розломами північно-східного простягання. Аналоги Голіцинського родовища досить чітко тяжіють до північно-східних розломів, субпаралельних границі СЄП, за винятком структури Губкіна Південна, яка, імовірно, знаходиться в Губкінсько-Донузлавській широтній зоні. Водночас такі родовища, як Голіцинське, Гордієвича, і структури Бортова, Міжводненська локалізуються в зоні зчленування Східноєвропейської платформи (СЄП) із Скіфською плитою, а структура Бортова розташована в крайовій частині Каркінітського прогину. Структури-аналоги Голіцинського родовища (Нахімовська, Корніловська, Західна Крейдяна, Тарханкутська і, можливо, Південна Бортова) пов'язані з тією ж північно-східною системою розломів, але в межах Каламітського валу.

Вперше визначено, які риси магнітного (локального і регіонального) і гравітаційного (залишкового і регіонального) полів є характерними для всіх родовищ і структур району дослідження, віднесених до фонду структур південного нафтогазового регіону України.

Зроблено основний висновок про те, що головними розломами консолідованої кори, які можуть контролювати вуглеводневі родовища і структури, є розломи діагональної системи, особливо північно-східного простягання, субпаралельні границі СЄП, та широтні розломи і їх зони, які утворюють вузли перетину з розломами північно-західного напрямку і супроводжуються регіональними магнітними максимумами.

2. Зіставлення прогностичного складу кори і густинної неоднорідності УЩ з поширенням родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису.

Показано, що особливістю широтних зон розломів є їх виразна прямолінійність, яка чітко простежується на картах аномального магнітного та гравітаційного полів і пов'язана з відносною молодістю. Після субботськомошоринського етапу розломоутворення в межах щита не відбувалися потужні деформаційні процеси, які змогли б змінити орієнтацію цих зон. Спільними рисами широтних зон розломів є протяжність в сотні кілометрів,

глибинність до 100–200 км і їх накладений характер відносно мегаблоків і міжмегаблокових розломів.

Наведено, що до широтних зон розломів відносяться відомі металогенічні зони, рудні райони і поля, в межах яких концентрується 80 % родовищ і великих рудопроявів кольорових, рідкісних, рідкісноземельних і благородних металів). Вплив системи широтних зон розломів на активізацію рудоутворюючих процесів і локалізацію зруденіння знаходить пояснення в вікових і кінематичних особливостях широтних розривних структур. Широтна система розломів молодша ніж ортогональна, час її закладення відноситься до кінця палеопротерозою–початку мезопротерозою, а значна активність мала місце в неопротерозої і фанерозої. Молоді активізаційні процеси, які вплинули на динаміку широтних зон розломів УЩ, сприяли перерозподілу рудної речовини в рудних і рудоносних полях в межах широтних зон.

Оскільки одним з важливих чинників для оцінки перспективності на рудні корисні копалини є склад кори, передусім її основність, проведено зіставлення областей поширення родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори УЩ.

Продемонстровано, що більша частина родовищ і рудопроявів приурочена до блоків гранітно-діоритового і діоритового типів кори, а менша тяжіє до блоків гранітного і базальтоїдного типів. Родовища і рудопрояви золота і срібла, а також рудопрояви пегматитів пов'язані з усіма типами кори.

У прикінцевій частині дисертації стисло наведено основні результати досліджень у вигляді **висновків**.

Слід відмітити, що дисертаційна робота Макаренко І.Б. та її автореферат написані державною мовою з дотриманням стилю, притаманного науковим публікаціям, оформлені належним чином і проілюстровані табличними і графічними матеріалами.

5. Дискусійні положення і зауваження та пропозиції.

До зауважень можна віднести, що автором роботи не проведено співставлення геофізичних моделей будови земної кори східної частини УЩ з

геологічними та геодинамічними моделями формування Приазовського та Середньопридніпровського мегаблоків, які були запропоновані раніше Каляєвим Г.І., Глевасським Є.Б. (плейттектонічна) та плюмову моделлю формування архейської кори цього району, що запропонована у відділі Геології та хроностратиграфії докембрію Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененка НАН України. Згідно з останньою, найдавнішим фундаментом Приазовського мегаблока є породи долгоживучої нуклеарної структури, складеної тоналітами 3,8; 3,67; 3,5 і 3,3 млрд років. На початку мезоархею це ядро нарощувалось тоналітами віком 3,2 млрд років. Мезоархейські зеленокам'яні структури Середньопридніпровського і Приазовського мегаблоків сформувалися в результаті підйому мантийного плюму ~ 3,17 - 3,0 млрд років тому. Межі літосферних неоднорідності в складі фундаменту Приазовського та Середньопридніпровського мегаблоків проявляються відмінностями в складі асоціацій вулканічних порід у зеленокам'яних структурах і різним складом одновікових гранітоїдів. Так на Приазовському мегаблоці відсутні андезити у зеленокам'яних структурах, а серед гранітоїдів – відсутні архейські (2,9-2,8 млрд років) калієво-натрові граніти демуринаського, токівського та мокромосковського типів, що поширені на Середньопридніпровському мегаблоці. Ці дані отримано за результатами вивчення “профілю” довжиною біля 300 км от Західно-Інгулецької зони до Павлівської та Зеленогайської зеленокам'яних структур Східного Приазов'я.

Вірогідно у майбутньому треба робити спроби більш детального розчленування архейських порід фундаменту, історія формування якого в значній мірі визначає стиль тектоніки та рудної спеціалізації у палеопротерозойський час.

Дисертація І.Б. Макаренко – це результат активної творчої роботи автора на протязі багатьох років. Дисертація відноситься до робіт, які дуже великі за змістом та об'ємом і тому, безумовно, в ній, як і в інших роботах такого типу, є деякі недоліки. Наприклад, змістові повтори одних і тих же тверджень в різних її частинах та інше. Але такі зауваження формальні. Змістовні зауваження можуть бути пов'язані з тим, що нема зараз єдиної думки про геодинамічні та тектонічні

погляди, що існують нині про основні геологічні структури, розташовані на території України і розглядаються в дисертації. Але це не відноситься до головної теми роботи. Тому такі зауваження не можуть знижувати високу оцінку результатів, що їх отримано в дисертації Макаренко І.Б.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації Макаренко І.Б. в опублікованих працях достатня з огляду на встановлені вимоги. Основні результати досліджень, що ввійшли в дисертацію, опубліковані у 41 статті (10 входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), 24 тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях та симпозиумах і в трьох колективних монографіях. Всі наукові статті опубліковані в атестованих виданнях та відповідають вимогам ДАК України до наукових публікацій. Високий рівень досліджень та їх достовірність підтверджується публікаціями автора у провідних міжнародних наукових журналах (Tectonophysics, Geologica Carpathica, Search and Discover Article, Contributions to Geophysics and Geodesy, Geological Quarterly, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik).

6. Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації.

Зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

7. Висновок щодо відповідності вимогам ДАК України.

З представлених матеріалів можна констатувати, що дисертаційна робота Макаренко І.Б. «Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання» є закінченою науково-дослідною роботою, в якій досліджено густинну неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів, виявлено загальні закономірності і специфічні особливості глибинної будови та аналіз їх зв'язку з нафтогазоносністю та рудними корисними копалинами. В той же час робота є перспективною з точки зору подальших досліджень та прикладних застосувань. Так, її результати можуть бути корисними

при побудові комплексних геолого-геофізичних моделей та різних тектонічних і геодинамічних схем, а також при вирішенні практичних завдань геології і пошуків корисних копалин.

Дисертаційна робота Макаренко І.Б. за актуальністю, обсягом проведених досліджень, кількістю публікацій та новизною отриманих результатів відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567), а також вимогам наказу № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та іншим нормативним актам Міністерства освіти і науки щодо докторських дисертацій, а її автор Макаренко Ірина Борисівна, безумовно, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора геологічних наук зі спеціальності 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент,
Директор Інституту геохімії, мінералогії
та рудоутворення імені М.П.Семененка
НАН України, доктор геологічних наук,
професор, академік НАН України




О.М.Пономаренко