

ВІДГУК

офіційного опонента доктора геологічних наук
Довбніча Михайла Михайловича
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 (103 – Науки про Землю)

Геофізичні дослідження є основним джерелом, яке дає максимальну інформацію про глибинну будову земних надр і їх зв'язок з родовищами корисних копалин. Саме регіональні геолого-геофізичні моделі є ключовим елементом при вирішенні як фундаментальних питань, пов'язаних з дослідженням формування, розвитку і будови геологічних структур, так і запорукою ефективного проведення геологорозвідувальних робіт.

Наявність цифрових моделей геофізичних полів і сучасних програмних пакетів обробки та інтерпретації геофізичних даних дозволяють виконувати побудову максимально кондиційних фізико-геологічних моделей, які в комплексі з апріорними даними про геологічну будову регіону дають можливість отримати геологічно і фізично змістовну картину генезису і будови території дослідження.

Дисертаційна робота Макаренко І.Б. присвячена вивченню густинної неоднорідності України і суміжних регіонів, яка значно доповнила сучасні уявлення про глибинну будову як окремих тектонічних структур, так і всього регіону загалом.

Актуальність обраної теми дослідження.

Дотепер побудовано багато локальних і регіональних 2D і 3D гравітаційних моделей земної кори території України за різною методикою, індивідуальним вибором параметрів геологічного середовища, масштабу і способів розрахунків. Така неузгодженість у підходах до моделювання унеможливорює кількісно оцінювати відмінності отриманих значень густини окремих регіонів і геологічних структур, а самі моделі в зв'язку з цим не можуть слугувати надійною основою для виявлення особливостей будови земної кори і прогнозування родовищ корисних копалин. Актуальність вибору теми і її пріоритетність обумовлені

нагальною потребою побудови цілісної об'ємної гравітаційної моделі структур земної кори України і прилеглих територій із застосуванням нового програмного забезпечення, уніфікованою параметризацією геологічного середовища і єдиним рівнем прив'язки розрахункових полів. Саме такий підхід дозволяє обґрунтовано провести аналіз глибинної будови і з'ясувати провідні закономірності для вирішення наукових і практичних завдань.

Дисертаційна робота Макаренко Ірини Борисівни «Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання» виконувалась відповідно до планів науково-дослідних робіт Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України з розвитку комплексного геофізичного дослідження літосфери України, її геодинаміки і формування та розміщення родовищ корисних копалин.

Таким чином, дисертаційна робота Макаренко І.Б. є актуальним дослідженням та має важливе науково-прикладне значення.

Метою дисертаційної роботи є вивчення густинної неоднорідності земної кори України і суміжних регіонів, виявлення загальних закономірностей і специфічних особливостей глибинної будови та аналізу їх зв'язку з нафтогазоносністю та рудними корисними копалинами.

Для досягнення мети в дисертації автором поставлені наступні **задачі**:

- аналіз гравітаційного поля (аномалії Буге на суші і аномалії у вільному повітрі на акваторії) для вибору технології різномасштабного 3D гравітаційного моделювання окремих тектонічних структур і регіонів;
- виконання розрахунків 3D гравітаційних моделей осадового чохла і консолідованої земної кори окремих тектонічних структур і регіонів;
- отримання схеми розподілу густини земної кори України і суміжних регіонів на певних глибинах (поверхня фундаменту, 10, 20, 30 км, розділ Мохо);
- побудова схеми потужностей умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів консолідованої кори, коромантійної суміші, а також схеми типів земної кори.

В рамках вирішення основного завдання розглядалися такі питання, як:

- побудова детальних схем розломної тектоніки фундаменту північно-західного та північно-східного шельфів Чорного моря та аналіз систем розломів консолідованої кори;
- типізація родовищ вуглеводнів і структур північно-західного шельфу Чорного моря за ознаками їх проявів в потенціальних полях і зіставленням з виділеними системами розломів;
- аналіз густинної неоднорідності земної кори Українського щита та зіставлення областей поширення рудних родовищ гідротермального та гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори.

Стислий аналіз змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Макаренко І.Б. складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків і списку використаних джерел 276 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 380 сторінок, з яких основного тексту 278 сторінок. Робота ілюстрована 148 рисунками, 8 таблицями і 6 додатками.

У **першому розділі** представлено короткий геотектонічний нарис регіону досліджень, виконано стислий аналіз існуючих 2D і 3D гравітаційних моделей, розглянуто особливості гравітаційного поля, зроблено огляд сейсмічних даних, виконано аналіз схеми потужності та глибинної будови земної кори.

У **другому розділі** зроблено стислий огляд еволюції методу підбору – найпоширенішого способу кількісної інтерпретації спостереженого гравітаційного поля, модифікації якого застосовуються для розвідувальних робіт, регіональних досліджень або використання їх в комплексі. Викладено основні етапи технології 3D гравітаційного моделювання, яка включає: (1) програмний комплекс; (2) структуру і параметризацію моделі; (3) завершальний етап, котрий залежить від поставлених завдань.

Наведено, що автоматизований комплекс інтерпретації потенціальних полів *GMT-Auto* дозволяє будувати тривимірні моделі з безперервним розподілом в них фізичних параметрів, оскільки наближення розрахункового поля до модельного значною мірою залежить від апроксимації середовища в моделі. Показано, що автоматизоване введення в комп'ютер зображень геолого-геофізичних карт і схем

та побудова їхніх цифрових моделей здійснюється за допомогою спеціально розроблених програм і програмних комплексів: *Geophys0, SpaceMap, Isohypse*.

Проаналізовано структуру моделі, яка залежить від наявності всієї геолого-геофізичної інформації і поставлених завдань при моделюванні, та її параметризацію. Розглянуто завершальний етап створення 3D гравітаційної моделі, який залежить від поставлених завдань.

У **третьому розділі** приведені різномасштабні 3D гравітаційні моделі Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) і Донбасу, деяких характерних структур Українського щита (УЩ) (Інгульського мегаблока та Голованівської шовної зони), Чорноморської мегазападини і прилеглих територій. Важлива особливість побудованих моделей полягає в тому, що вони дозволили отримати суттєво нову інформацію про розподіл густини в кожній точці об'єму земної кори в залежності від масштабу моделювання.

У **четвертому розділі** наведено схеми розломної тектоніки консолідованої кори північно-західного і північно-східного шельфів Чорного моря.

Для першого встановлено дві головні системи розломів (діагональну і ортогональну) та додатково до них в західній частині шельфу виділено серію дугоподібних розламів північно-західного простягання і ортогональних до них порушень. Визначено сучасне положення південної границі Східноєвропейської платформи (СЄП), встановлено її складну будову і з'ясовано, що окремі ділянки зміщені на південний схід.

Для другого показано, що більшість локальних структур, виявлених сейсморозвідкою, розташовано в зонах градієнтів детального гравітаційного поля, обумовленого осадовим чохлам і тяжіють до вузлів перетинів розломів північно-східного і субширотного простягання різних рангів. Зроблено висновок про те, що глибинні розломи, успадковані більш молодими розломами, в тому числі і осадового чохла, створюють сприятливі умови для транспортування глибинних вуглеводневих потоків крізь різні поверхні кори.

У **п'ятому розділі** розглянуто найважливіший результат виконаного 3D гравітаційного моделювання: уніфіковані схеми розподілу густини земної кори

території України і суміжних регіонів на різних глибинах (на поверхні фундаменту, 10, 20, 30 км, розділі Мохо). Наведено характеристику типів земної кори, що відображають її склад: гранітного, гранітно-діоритового, діоритового і базальтоїдного з вмістом в ньому базальту: підтип 1 – 40–70 %, підтип 2 – 70–90 %, підтип 3 – 100 %. Встановлено особливості зміни основності земної кори УЩ,ДДЗ та Чорноморської мегазападини. Вперше виділено тип кори, який характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шарів (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»).

В шостому розділі 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. Вперше виконано типізацію родовищ вуглеводнів і структур за ознаками їх проявів в потенціальних полях, 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 висновок про те, всі без винятку родовища і структури тією чи іншою мірою пов'язані з границею Східноєвропейської платформи, з розломами, субпаралельними до неї, і з вузлами їх перетину з розломами північно-західного простягання.

Зі схемою типів кори УЩ виконано зіставлення областей поширення родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису. Показано, що більша їх частина розташована в блоках 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 дисертації подано чіткі висновки до кожного розділу та лаконічно і зрозуміло сформульовано загальні висновки, які розкривають основні результати дослідження та відповідають поставленій меті роботи.

Оформлення дисертаційної роботи Макаренко І.Б. та автореферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Ступінь достовірності і обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і отриманих результатів.

Достовірність та обґрунтованість одержаних результатів наукових досліджень забезпечується чіткою постановкою задач, застосуванням 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 та обґрунтованість одержаних наукових результатів підтверджується також високою кореляцією з результатами інших методів та їх обговоренням на наукових конференціях. Отже, наукові положення, висновки і отримані результати, представлені в дисертаційній роботі Макаренко І.Б. є достатньо обґрунтованими і достовірними.

Новизна наукових положень, їх значущість для науки і практики. У дисертаційній роботі представлено ряд результатів досліджень, що визначаються науковою новизною. Найбільшої уваги заслуговують наступні досягнення автора:

- продемонстровано нові можливості 3D гравітаційного моделювання різного масштабу при застосуванні сучасного спеціалізованого програмного забезпечення комплексу *GMT-Auto*;
- 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;
- з'ясовано, що більша частина родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису приурочена до блоків гранітно-діоритового і діоритового, 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.

Значущість дослідження для науки і практики.

Надзвичайно технологічне та ефективне програмне забезпечення автоматизації вводу в комп'ютер геолого-геофізичних карт та представлення їх у цифровій формі, візуалізація та інтерактивна корекція 3D гравітаційних моделей на екрані монітора суттєво збільшують роздільну здатність та інтерпретаційні можливості об'ємного геофізичного моделювання геологічного середовища.

Результати 3D гравітаційного моделювання разом з магнітними, швидкісними, температурними і іншими моделями підвищують надійність визначення особливостей будови земної кори.

Завдяки використанню принципово нового комплексу потенціальних полів (залишкового гравітаційного, звільненого від впливу товщі води і осадового шару та аномального магнітного) для північно-західного і північно-східного шельфів Чорного моря побудовано детальні і регіональні схеми розломної тектоніки консолідованої кори, до вузлів перетину розломів якої приурочені родовища вуглеводнів.

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

Основні результати та висновки дисертаційної роботи висвітлені в трьох колективних монографіях, в 41 статті та 24 тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях та симпозіумах. При цьому в роботі детально зазначено особистий внесок дисертанта у підготовці спільних публікацій. Низка статей опублікована в міжнародних наукових журналах, що підтверджує високий рівень досліджень.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Автореферат дисертації в цілому відповідає змісту і основним положенням дисертаційної роботи.

Дискусійні положення, зауваження та побажання.

Всі зауваження та побажання до рецензованої роботи можна розділити на дві групи. Перші стосуються методологічних аспектів роботи, другі – новизни і змістовності геологічних висновків.

I.1. З роботи неясно, на якій підставі при моделюванні змінювалася вертикальна потужність умовних шарів консолідованої кори, а не їх густина. Вкрай бажаним було б обговорення в роботі можливостей використовуваної методики інтерпретації гравіметричних даних на модельних прикладах. Це б дозволило краще оцінити змістовність глибинних моделей, які спираються виключно на геофізичні дані.

I.2. При гравітаційному моделюванні великих територій завжди так чи інакше виникає питання про вплив сферичності Землі на його результати. У дисертаційній роботі це питання не було розглянуто.

I.3. Для оцінки точності і детальності результатів моделювання полів зазвичай використовують величину розбіжності обчисленого і вихідного полів і щільність мережі обчислення поля. Таких даних в роботі не наводиться.

II.1 Здобувач в роботі стверджує, що в ході виконання роботи вперше показано складну будову південної границі Східноєвропейської платформи (СЄП) і провідну роль розломної тектоніки консолідованої кори північно-західного

шельфу Чорного моря при утворенні структур мезокайнозойського чохла, до яких приурочені родовища вуглеводнів. На сьогоднішній день існує значна кількість опублікованих результатів досліджень, присвячених цій проблематиці. Зокрема, в роботах дослідницького колективу під керівництвом проф. О.П. Петровського отримана просторова інтегральна геолого-геофізична модель північно-західної частини шельфу Чорного моря для уточнення геологічної будови та перспектив нафтогазоносності. На основі аналізу створеної моделі уточнено поведінку границі Мохо, досліджено відображення у геогустинних параметрах елементів тектоніки, що дозволило уточнити просторове положення північної границі Передскіфійського крайового прогину, північної границі Качинського блоку та Південнокримської сутури. Визначено просторове розміщення порід з покращеними колекторськими властивостями у межах осадового чохла. Уточнено рейтингову оцінку виявлених та підготовлених структур, виділено нові, ще неопитувані, нафтогазоперспективні ділянки, визначено і обґрунтовано першочергові напрямки нафтогазопитувальних робіт. При цьому, зазначені моделі побудовані на підставі більш великомасштабних геолого-геофізичних даних і, як наслідок, є більш детальними.

II.2 Рецензент не може погодитися і з твердженням здобувача про те, що здобувачем вперше виконано аналіз розміщення нафтогазових структур і різних систем розломів та типізацію родовищ вуглеводнів і структур за ознаками їх проявів в гравітаційному та магнітному полях. Так, в роботах дослідницького колективу під керівництвом член.-кор. К.Ф. Тяпкіна, для північно-західної частини шельфу Чорного моря показано, що нафтогазові структури контролюються системами розломів кристалічного фундаменту і вузлами їх перетинів.

Зазначені зауваження не знижують високої оцінки результатів, що їх отримано в дисертаційній роботі Макаренко І.Б. Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора геологічних наук. Під час виконання роботи автор виявила здатність до самостійних наукових досліджень на високому фаховому рівні.

Загальний висновок.

Аналіз дисертації, автореферату та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дисертація Макаренко І.Б. «Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, що має вагомим теоретичне і практичне значення, заслуговує позитивної оцінки, в повній мірі відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567), 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 наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент,
 доктор геологічних наук,
 завідувач кафедри геофізичних методів розвідки
 Національного технічного університету
 «Дніпровська політехніка»



М.М. Довбніч

