# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ ІНСТИТУТ ГЕОФІЗИКИ ІМЕНІ С.І. СУББОТІНА

**МАКАРЕНКО Ірина Борисівна** *И. Шаша фенко* УДК: 550.14(477)+550.312

# НЕОДНОРІДНІСТЬ ЗЕМНОЇ КОРИ УКРАЇНИ І СУМІЖНИХ РЕГІОНІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЗД ГРАВІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

04.00.22 - геофізика 103 – Науки про Землю

# ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

дисертації на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук

КИЇВ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України.

Науковий консультант	доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України <b>Старостенко Віталій Іванович</b> , директор Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України						
Офіційні опоненти:	доктор геологічних наук, професор, академік НАН України						
Ununen in .	Пономаренко Олександр Миколайович, директор Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення імені						
	М.П.Семененка НАН України						
	доктор геологічних наук,						
	Красножон Михайло Дмитрович						
	заступник директора з наукових питань						
	Український державний геологорозвідувальний інститут						
	доктор геологічних наук,						
	Довбніч Михайло Михайлович,						
	завідувач кафедри геофізичних методів розвідки						
	Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»						

Захист відбудеться 16 жовтня 2019 року о 10.00 годині на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д 26.200.01 при Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, просп. Академіка Палладіна, 32.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, просп. Академіка Палладіна, 32 та на електронному ресурсі: http://www.igph.kiev.ua

Автореферат розіслано вересня 2019 р.

Вчений секретар Спеціалізованої вченої ради Д 26.200.01 доктор геологічних наук

Т.К. Бурахович

#### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обтрунтування вибору теми дослідження. На сьогодні гравітаційне моделювання в різних модифікаціях широко застосовується як один з найінформативніших методів для вирішення різноманітних теоретичних завдань в галузі наук про Землю та прогнозуванні корисних копалин.

Дотепер на території України за різною методикою, індивідуальним вибором параметрів геологічного середовища, масштабу і способів розрахунків побудовано низку локальних і регіональних 2D і 3D гравітаційних моделей земної кори. Така неузгодженість у підходах до моделювання унеможливлює кількісно оцінювати відмінності отриманих значень густини окремих регіонів і геологічних структур. Тому ці моделі не можуть слугувати надійною основою для виявлення особливостей будови земної кори і прогнозування родовищ корисних копалин. Звідси випливає нагальна потреба побудови цілісної об'ємної гравітаційної моделі структур земної кори України і прилеглих територій із застосуванням сучасного програмного комплексу GMT-Auto [Старостенко и др. 2015а; Starostenko et al. 2015], уніфікованою параметризацією геологічного середовища і єдиним рівнем прив'язки розрахункових полів. Такий підхід дозволяє обґрунтовано провести аналіз глибинної будови і з'ясувати провідні закономірності для вирішення наукових і практичних завдань. Саме це визначило актуальність вибору теми і її пріоритетність.

В Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, який спеціалізується на побудові тривимірних гравітаційних моделей різних за будовою регіонів, закладено методологічні основи вивчення глибинної будови геологічних структур і розроблено технологію 3D гравітаційного моделювання для осадових басейнів і докембрійських потребує подальшого щитів. Однак вона удосконалення, враховуючи накопичення нового фактичного геолого-геофізичного матеріалу, покращання відомих і створення технологічних і зручних нових програмних продуктів інтерпретації даних потенціальних полів і розширення завдань прогнозування і пошуків корисних копалин. Представлена дисертаційна робота і є таким удосконаленням технології поєднаного детального і регіонального 3D гравітаційного моделювання.

Достовірність і якість геологічної інтерпретації результатів моделювання при вирішенні поставлених завдань суттєво підвищується обґрунтуванням параметризації геологічного середовища, кількісним способом прив'язки в єдиній системі розрахункових полів і вибором програмного забезпечення. При такому підході можливе якісне прогнозування складу консолідованої кори і визначення її основності, яка є одним з важливих чинників для оцінки перспективності на рудні корисні копалини. Лише отримані таким шляхом результати 3D гравітаційного моделювання можуть ефективно використовуватися для побудови детальних і регіональних схем розломної тектоніки консолідованої кори, до вузлів перетину розломів якої приурочені родовища вуглеводнів. В цьому сенсі дана робота має важливе науково-прикладне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на базі відділу глибинних процесів Землі і гравіметрії Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України за такими науковими темами: «Комплексне геолого-геофізичне вивчення будови глибинної південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи з метою розширення мінерально-сировинної бази 0106U000911; «Глибинна будова і України» (2007–2010), № держ. реєстрації 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.

Мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження. Метою роботи було 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 цієї мети були поставлені такі завдання:

1) проаналізувати гравітаційне поле (аномалії Буге на суші і аномалії у вільному повітрі на акваторії) для вибору технології різномасштабного 3D гравітаційного моделювання окремих тектонічних структур і регіонів із застосуванням сучасного автоматизованого комплексу інтерпретації потенціальних полів *GMT-Auto*;

2) виконати розрахунки 3D гравітаційних моделей осадового чохла і консолідованої земної кори окремих тектонічних структур і регіонів шляхом ітераційного наближення до спостереженого поля з урахуванням зміни густини в допустимих межах із заздалегідь заданою точністю;

3) отримати схеми розподілу густини земної кори України і суміжних регіонів на певних глибинах (поверхня фундаменту, 10, 20, 30 км, розділ Мохо);

4) побудувати схеми потужностей умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів консолідованої кори, коромантійної суміші, а також схему типів земної кори;

5) скласти детальні схеми розломної тектоніки фундаменту північнозахідного та північно-східного шельфів Чорного моря та проаналізувати системи розломів консолідованої кори, їхні співвідношення між собою і вплив на формування структур осадового чохла; 6) провести типізацію родовищ вуглеводнів і структур північно-західного шельфу Чорного моря за ознаками їх проявів в потенціальних полях і зіставленням з виділеними системами розломів;

7) проаналізувати густинну неоднорідность земної кори Українського щита (УЩ) та провести зіставлення областей поширення рудних родовищ гідротермального та гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори.

Об'єкт дослідження – земна кора території України і суміжних регіонів.

Предмет дослідження – розподіл густини в об'ємі земної кори окремих тектонічних структур і регіонів на підставі 3D гравітаційного моделювання.

Методи дослідження та достовірність і обґрунтованість отриманих результатів і висновків. Кількісна інтерпретація гравітаційного поля виконана 3D гравітаційним моделюванням з використанням технології, яка має концептуальну перевагу над стандартними підходами. Вона базується на уніфікованому формуванні відносної густини, прив'язці розрахункових полів до єдиного рівня і застосуванні сучасного спеціалізованого автоматизованого комплексу інтерпретації потенціальних полів *GMT-Auto*, що дало змогу з максимальною достовірністю отримати параметри реальних геологічних структур.

Картування розломів консолідованої кори при використанні принципово нового комплексу потенціальних полів – залишкового гравітаційного (звільненого від впливу осадового шару, а на акваторії додатково товщі води) і аномального магнітного.

обгрунтованість наукових Достовірність та результатів i висновків забезпечується 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 геологогеофізичних даних. Достовірність отриманих даних визначається високою кореляцією з результатами інших методів.

Наукова новизна отриманих результатів.

- 1. Продемонстровано нові можливості 3D гравітаційного моделювання різного застосуванні сучасного спеціалізованого масштабу програмного при забезпечення комплексу GMT-Auto розв'язання для важливих склалних прикладних завдань сучасної геології: від регіональних моделей (Чорноморської мегазападини і прилеглих територій (масштаб 1: 1 000 000), Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) та північно-західного шельфу Чорного моря (1: 500 000)) до більш детальних (Інгульського мегаблока УЩ і північно-східного шельфу Чорного моря (1: 200 000) та центральної частини Голованівської шовної зони (ГШЗ) УЩ (1: 50 000)).
- 2. На основі побудованих моделей 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.

- 3. Вперше за результатами 3D гравітаційного моделювання 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, гранітнодіоритовий, діоритовий і базальтоїдний типи кори, які характеризують неоднорідність сучасної консолідованої кори регіону в цілому. Вперше виділено тип кори, що характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шару (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»).
- 4. 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. Останнє стосується і північно-східного шельфу. Глибинні розломи, успадковані більш молодими розломами, зокрема осадового чохла, створюють сприятливі умови для транспортування глибинних вуглеводневих потоків крізь різні поверхи кори.
- 5. Вперше виконано 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. 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.
- 6. Для УЩ виконано зіставлення областей поширення родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори. Більша частина родовищ і рудопроявів 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.

# Практичне значення отриманих результатів.

Суттєве збільшення роздільної здатності та інтерпретаційних можливостей об'ємного геофізичного моделювання геологічного середовища з метою практичного використання в наукових і виробничих геофізичних організаціях досягнуто застосуванням надзвичайно технологічного та ефективного програмного забезпечення автоматизації вводу в комп'ютер геолого-геофізичних карт та представлення їх у цифровій формі, візуалізацією та інтерактивною корекцією 3D гравітаційних моделей на екрані монітора.

Результати 3D гравітаційного моделювання значно доповнюють сучасні уявлення про будову земної кори України і суміжних регіонів. Деталізований об'ємний розподіл густини блоків земної кори, шарів, що їх складають, і зон

розломів дали 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.

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.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати та висновки, викладені в дисертаційній роботі, одержані автором особисто та опубліковані в журналах, які входять до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з геологічних наук та в престижних загальновизнаних геофізичних журналах за кордоном, а також в трьох колективних монографіях. За темою дисертації автором опубліковано 65 наукових праць: статей – 41 (10 входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science) та 24 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях та симпозіумах.

Особистий внесок у наукові праці, написані в співавторстві, є наступний. В роботах [Бурьянов и др. 1998, 1999а; Оровецкий и др. 1998; Старостенко и др. 2000; 20046], які присвячені вивченню гравітаційних аномалій периферії Чорного моря, автором виконано параметризацію та розрахунки 3D гравітаційних моделей, більша частина інтерпретації отриманих результатів і представлення їх в графічному вигляді. В розділі монографії [Старостенко и др. 2013] та роботах [Бурьянов и др. 1999б; Куприенко и др. 2007а, б, 2010; Старостенко и др. 2012, 2015б, 2018], в яких представлено 3D гравітаційні моделі різного масштабу для тектонічних структур різного рівня, автору належить огляд існуючих гравітаційних моделей, постановка завдань, збір та інтерпретація геолого-геофізичних даних, розрахунок моделей та підготовка висновків. При побудові 3D гравітаційних моделей осадового заповнення Карпатсько-Паннонського регіону і його окремих структур (Ліптовської та Тульчанської западин) з метою отримання залишкового гравітаційного поля, яке відображає густинні неоднорідності консолідованої частини кори [Makarenko et al. 2002; Bielik et al. 2004, 2005, 2013; Szalaiová et al. 2008; Krajnak et al. 2012], автором проведено обґрунтування технології побудови 3D гравітаційних моделей, виконано параметризацію та розрахунки гравітаційних ефектів, проінтерпретовано отримані результати. В роботі [Bielik et al. 2018] безпосередньо автором побудовано нову цифрову карту глибин залягання розділу Мохо при використанні нових даних сейсмометрії та автоматизованого комплексу *GMT-Auto*. В роботі [Старостенко и др. 2003] автором особисто виконано аналіз густинних властивостей осадового заповнення Чорного моря та побудовано нову залежність р(Н) для відкладів майкопської серії, за допомогою якої складено карту розподілу густини для цих порід в Чорноморському басейні. В роботах [Макаренко и др. 2003; Bogdanova et al.

2004, 2006], присвячених вивченню будови земної кори Коростенського плутону, автору належать параметризація та розрахунки 3D гравітаційної моделі, побудова схем розподілу густини на різних глибинах та блок-діаграми, а також підготовка висновків. В роботі [Старостенко и др. 2008] автором виконано параметризацію осадової товщі і кристалічної частини земної кори, проведено аналіз існуючих моделей вздовж профілю DOBRE'99 та інтерпретацію отриманих результатів. В роботі [Куприенко и др. 2013а] автором побудовано графіки співвідношення середньої густини Кіровоградського рудного району і середньої густини в масивах рапаківівидних гранітів; блок-діаграму, що показує розподіл густини на поверхні фундаменту глибинні неоднорідності густинні в корі Корсуньi Новомиргородського плутону і Новоукраїнського масиву в перетині профіля ГСЗ XXIV і геотраверса IV; виконано аналіз отриманих результатів і сформульовано висновки. В роботі [Куприенко и др. 2013б] автором побудовано густинні розрізи земної кори уздовж розрахункових профілів, розташованих в межах Інгульського мегаблока УЩ; схему розташування лістричних розломів, виділених за даними 3D гравітаційного моделювання, проаналізовано взаємозв'язок лістричних розломів з кільцевими структурами. В роботах, присвячених автоматизованому комплексу GMT-Auto [Старостенко и др. 2004а, 2011, 2015а, 2016], автор приймала участь в постановці задачі та опробуванні програм на тестових та реальних прикладах. Ідея створення програми SpaceMap [Старостенко и др. 2011], яка розроблена спеціально для модельних розрахунків консолідованої кори, а саме кристалічних щитів, належить безпосередньо автору. В роботах, присвячених побудові схем розломної тектоніки північно-західного та північно-східного шельфів Чорного моря і Чорноморської мегазападини [Старостенко и др. 2005, 2010; Старостенко та ін. 2011; Starostenko et al. 2011, 2015], автором виконано параметризацію, розрахунки гравітаційних ефектів, побудову карт максимальних градієнтів потенціальних полів, а також аналіз існуючих даних щодо положення границі СЄП. В розділах монографій [Старостенко и др. 2015; Пашкевич и др. 2018] і роботах [Старостенко и др. 2017б, в, г] автором виконано розрахунки гравітаційного ефекту осадового чохла та кристалічної частини земної кори ДДЗ; побудовано схеми потужності кристалічної частини земної кори; виділено зони розущільнення на різних поверхах консолідованої кори, котрі є одним з головних ознак нафтогазоносності в кристалічному фундаменті; побудовано розрізи літосфери, які перетинають ДДЗ, а також схеми умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів, області поширення коромантійної суміші і її потужності, типів кори та вмісту коромантійної суміші в «базальтовому» шарі; проаналізовано зв'язок сегментів консолідованої кори ДДЗ з структурними неоднорідностями різних поверхів літосфери. В роботі [Старостенко и др. 2007] автор є співавтором схеми прогнозного складу земної кори УЩ. В роботах, присвячених вивченню густинної неоднорідності широтних зон розломів [Makarenko et al. 2006; Старостенко и др. 2012], автором за даними 3D гравітаційного моделювання побудовано розрізи земної кори уздовж розрахункових профілів Волино-Подільської плити (ВПП), УЩ і ДДЗ, які січуть широтні зони розломів під прямим кутом та виконано аналіз розподілу густини; побудовано схему типів кори та проведено зіставлення

розташування родовищ і рудопроявів гідротермального і гідротермальнометасоматичного генезису з нею. В роботі [Старостенко и др. 2017а] автором для Інгульського мегаблока УЩ за даними 3D гравітаційного моделювання визначено потужності умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів, кори. розташування типи проведено зіставлення родовищ і рудопроявів гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори, сформульовано висновки. В роботі [Старостенко и др. 2018] автором розраховано 3D гравітаційну модель центральної частини ГШЗ УЩ, побудовано густинні розрізи земної кори уздовж ілюстраційних профілів, проаналізовано розподіл густини в окремих структурах з аномально високою густиною на поверхні фундаменту (побудовано графіки зміни густини з глибиною в цих структурах та блок-діаграму, що показує розподіл густини на поверхні фундаменту і глибинні густинні неоднорідності в корі Секретарської структури). Безпосередньо автором побудовано схему розподілу густини на поверхні кристалічного фундаменту та складено легенду до неї.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені на міжнародних і регіональних конференціях та семінарах у формі усних та стендових доповідей: Міжнародній конференції-семінарі ім. Д. Г. Успенського «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» 1998 (Ухта), 2001 (Москва), 2006 (Єкатеринбург), 2008 (Ухта), 2013 (Москва), 2019 (Перм); II Balkan Geophysical Congress and Exhibition 1999 (Istanbul, Turkey); Joint Meeting EUROPROBE TESZ, PANCARDI and GEORIFT PROJECTS Dobrogea - the interface between the Carpathians and the Trans-European Zone 1999 (Tulcea, Romania); International Geophysical Conference & Exposition, Romanian Geophysics 2000; Joint meeting of the EUROBRIDGE and SVEKALAPKO projects on «Archean and Proterozoic Plate Tectonics: Geological and Geophysical Records» 2001 (St.- Petersburg); IV Міжнародній нефтегазоносные структуры конференції «Геодинамика И Черноморско-Каспийского региона» 2002 (Гурзуф); 2-nd Workshop on International Gravity Field Research 2006 (Smolenice, Slovk Republic); VII Міжнародній конференції «Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины», 2007 (Сімферополь); XIV Міжнародній конференції «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными», 2008 (Петрозаводськ); EGU General Assembly 2008 (Vienna, Austria); VIII, X Міжнародних конференціях «Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа» 2009, 2012 (Ялта); XVI Міжнародній конференції «Свойства, минералогения литосферы Восточно-Европейской структура, динамика И платформы», 2010 (Вороніж); International Conference «Geodynamical Phenomena: From Observations and Experiments to Theory and Modelling», 2010 (Kiev); AAPG European Region Annual Conference and Exhibition, 2010 (Kiev); GEOSCIENCES 2014 (Sofia, Bulgaria); 7<sup>th</sup>BgGS National Conference With International Participation «GEOPHYSICS 2015», (Sofia, Bulgaria); 11<sup>th</sup> Slovak Geophysical Conference 2015 (Bratislava, Slovakia); Конференції «Геологія і корисні копалини України», 2018 (Київ).

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 380 сторінках машинописного тексту, складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 278 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 8 таблицями та 148 рисунками. Список використаних джерел містить 276 найменувань.

Подяки. Автор дисертаційної роботи висловлює щиру подяку науковому консультанту академіку НАН України, д-ру фіз.-мат. наук, професору Віталію Івановичу Старостенку за наукові консультації, поради, за можливість використання розроблених ним програм, спільні дослідження та всебічну підтримку при виконанні роботи. Здобувач висловлює сердечну подяку провідному науковому співробітнику, канд. геол.-мін. наук І. К. Пашкевич, яка має великий вплив на наукову діяльність автора, за плідну співпрацю, постійну увагу, допомогу та поради. Дисертант щиро вдячна старшому науковому співробітнику, канд. фіз.-мат. наук О. В. Легостаєвій за плідну співпрацю і розробку програм, завдяки яким отримано основні результати дисертації. Здобувач висловлює величезну подяку науковому співробітнику, канд. фіз.-мат. наук О.С. Савченко за плідну співпрацю, підтримку, цінні поради і допомогу при оформленні дисертації. Протягом усього дослідного періоду автор співпрацювала, користувалася порадами і підтримкою старшого наукового співробітника, канд. геол.-мін. наук П. Я. Купрієнко, якій автор вдячна за спільні дослідження та можливість осягати таємниці 3D гравітаційного моделювання. Автор вважає своїм обов'язком висловити глибоку вдячність за отримані знання, досвід роботи та всебічну підтримку головному науковому співробітнику, д-ру геол.-мін. наук О. М. Русакову та членам-кореспондентам НАН України Р. І. Кутасу і О. Б. Гінтову. Для автора було дуже корисно співпрацювати з ними. Автор вдячна співробітникам Інституту геофізики, зокрема відділу Глибинних процесів Землі і гравіметрії, за поради та підтримку при написанні даної роботи. Нарешті, автор глибоко вдячна дітям за їх терпіння і підтримку протягом тривалого часу підготовки даної роботи, коли вона не могла приділити родині належної уваги.

Робота присвячується світлій пам'яті академіка НАН України М.П. Щербака, завдяки якому здобувач прийшла в улюблену професію і залишилась в ній на довгі роки, і батькам, любов і підтримка яких була, є і буде завжди в серці.

# ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи, обґрунтовано доцільність обраного напряму 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 «Геотектонічний нарис та геолого-геофізична вивченість» 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 «Методика і технологія побудови 3D гравітаційних моделей» 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 (Сорокин 1953; Worzel and Shurbet, 1955; Talwani et al. 1959; Hammer 1963; Старостенко и др. 1975; Бурьянов и др. 1983; Красовский 1989; Егорова 1991; Starostenko et al. 1988, 2004). Суть методу полягає в тому, що за геолого-геофізичними даними будується нульове наближення досліджуваної геологічної структури або регіону і шляхом розв'язання прямої задачі отримується розрахункове гравітаційне поле. Воно порівнюється з спостереженим полем і аналізується їх різниця. В подальшому вносяться зміни в модель досліджуваної структури і проводяться нові розрахунки поки різниця між модельним і спостереженим полями досягне величин, при яких параметри збуджувальних об'єктів не суперечать сукупності наявних геологічних, петрофізичних і геофізичних даних.

Обов'язковим вбудованим елементом методу підбору є послідовний розрахунок гравітаційного ефекту шарів моделі з достатньо відомими параметрами і його вилучення для виділення залишкового ефекту глибших поверхів, для яких фізичні характеристики менш визначені (Hammer 1963). Як випливає з методики визначення референтної величини для прив'язки розрахункових аномалій до єдиного рівня, вона фактично є предметом домовленості, тому що залежить від повноти інформації про параметри, які закладені при її обчисленні. Водночає вона зводить в єдину систему всі гравітаційні моделі, аби у разі потреби їх корегувати. В зв'язку з тим, що найстабільнішою структурою досліджуваного регіону є УЩ, референтна величина була визначена саме для нього. Такий підхід дозволяє розглядати всі геологічні структури іншого типу, що вивчалися, як похідні від еволюції земної кори щита і в процесі дослідження застосовувати його реперне значення, яке дорівнює -980 мГал і обчислено таким чином, що аномальна густина формується відносно густини мантії 3,40 г/см<sup>3</sup> (Красовский 1981). Нині метод підбору в об'ємному варіанті в результаті застосування сучасного спеціалізованого програмного забезпечення технічно трансформувався 3D гравітаційне В моделювання, яке уможливлює розв'язання складніших геологічних завдань. Його принципова перевага – велика точність обчислення модельного поля неоднорідних реальних геологічних структур.

Технологія побудови 3D гравітаційних моделей включає: програмний комплекс, структуру моделі, загальні положення її параметризації, завершальний етап моделювання (рис. 1).

1. Програмний комплекс. Дотепер в Інституті геофізики НАН України розроблено новий автоматизований комплекс інтерпретації потенціальних полів *GMT-Auto*, який дозволяє за заданими полями будувати тривимірні моделі з

безперервним розподілом в них фізичних параметрів [Старостенко и др. 2015а]. Перевагою комплексу є можливість в автоматизованому режимі будувати за гравітаційним полем тривимірні моделі з об'ємним розподілом в них густини відповідно до масштабу дослідження, а також тривимірні моделі горизонтальних шарів з довільними нижньою та верхньою границями і зі складною зміною густини по вертикалі. Це дає змогу одночасно вирішувати задачі як локального, так і регіонального характеру, дозволяє аналізувати гравітаційне поле більш детально і повно, а також підвищувати точність розрахунків, яка значною мірою залежать від апроксимації середовища в моделі.



Рис. 1. Послідовність побудови гравітаційної моделі.

Комплекс *GMT-Auto* складається з <u>трьох основних блоків</u>.

1. Автоматизоване введення в комп'ютер зображень геолого-геофізичних карт і схем та побудова їхніх цифрових моделей, які є вхідними даними для цьому використано При розв'язання прямої задачі. наступне програмне забезпечення. Комплекс Geophys0 призначений для автоматизованої інтерактивної обробки чорно-білих зображень геолого-геофізичних даних у вигляді ізоліній і їхніх розривів першого роду (розломів, обривів тощо) [Старостенко и др. 2004а]. Спеціальна програма *SpaceMap*, яка розроблена для використання на кристалічних щитах, оскільки в цьому випадку в комп'ютер необхідно вводити зображення карт, основним змістом яких є не ізолінії, а тіла (області) [Старостенко и др. 2011]. Програмний комплекс Isohypse [Старостенко и др. 2016], який призначений для

оцифровування геолого-геофізичних об'єктів, представлених ізолініями і розломами, тобто функціями з розривами першого роду. В ньому реалізована низка можливостей, які обумовлені специфічними вимогами, що висуваються до обробки деяких зображень геофізичних об'єктів.

2. Рішення прямої задачі гравіметрії для тривимірних пластів, які апроксимуються сукупністю неоднорідних довільно усічених вертикальних прямокутних призм з довільно розташованими верхньою і нижньою основами (Старостенко и Легостаева, 1998). Для цього розроблено програмний комплекс *Profile*, який дозволяє вирішувати задачу для багатошарових моделей (від 1 до 9 шарів). Вхідна інформація вводиться для кожного шару окремо, залежить від поставленої задачі і являє собою опис рел'єфу покрівлі і підошви кожного шару, а також містить дані про розподіл фізичного параметра на них у вигляді карт або значень.

3. Представлення результатів рішення прямої задачі в графічному вигляді виконується за допомогою Golden Surfer (побудова графічних зображень функцій двох змінних), CorelDraw (художнє оформлення отриманих результатів), а також ArcGis (трансформація отриманих даних в необхідну проекцію, побудова ізоповерхонь середовища, вибірка даних по заданому критерію або всередині певної області тощо).

2. Структура моделі залежить від наявності геолого-геофізичної інформації і поставлених завдань при моделюванні. Зазвичай 3D гравітаційна модель включає шар води (в акваторії), осадову товщу, шари консолідованої земної кори, а також шар верхньої мантії. Осадова товща представлена шарами різної потужності в залежності від глибинної будови тектонічних структур.

Консолідована кора здебільше складається з п'яти шарів.

Перший шар (поверхня фундаменту – 5 км) включає в себе неоднорідності від поверхні кристалічного фундаменту до глибини 5 км і характеризується найбільшим відхиленням густини і швидкості від нормального розподілу  $\rho = f(V_p)$ . За нормальний прийнято розподіл, який відповідає загальній кореляційній залежності  $\rho = f(V_p)$  для кристалічних порід і при цьому для узгодження з спостереженим гравітаційним полем не потребує введення додаткових поправок.

Другий шар (5–10 км) виділяється на підставі сейсмічних даних, згідно з якими на глибинах від 5 до 10 км в багатьох структурах спостерігаються зони інверсії швидкості. Природа зон інверсії (хвилеводів, зон зниженої швидкості/густини) відносно верхніх і підстилаючих гірських порід обґрунтовано трактується як області розущільнення і підвищеної тріщинуватості порід з можливим заповненням її флюїдами тощо. Існування зон інверсії на щитах підтверджують як сейсмічні дані, так і результати експериментальних визначень пружних/густинних параметрів гірських порід (Трипольский и Шаров, 2004; Корчин и др. 2013).

*Третій шар (10–20 км)* зумовлений в окремих структурах стрибком швидкості на глибинах 10–18 км (наприклад, Корсунь-Новомиргородський та Коростенський плутони УЩ) і нульовим градієнтом з глибиною. При створенні густинної моделі використовуються сейсмічні дані.

У четвертому шарі (20–30 км) гравітаційний ефект від багатьох

приповерхневих структур слабшає і посилюється вплив глибинних неоднорідностей.

У п'ятому шарі (30 км – розділ Мохо) глибинна частина кори поділена на два поверхи: перший – до значення густини 3,04 г/см<sup>3</sup>, а другий – від цієї величини до розділу Мохо. У районах, де коромантійна суміш відсутня, розріз земної кори представлено одним глибинним шаром.

Потужність і глибина залягання шарів залежить від характеристики середовища і технології розрахунків моделі. Обсяг останніх обумовлено обраним масштабом.

**3.** Загальні положення параметризації моделі. Дані про густину гірських порід є одним з основних питань фізичного обгрунтування 3D гравітаційного моделювання і підвищення точності геологічної інтерпретації гравітаційного поля.

Густина осадових порід визначається ступенем їх ущільнення, яка зі свого боку регулюється різними факторами (літологічний склад, фаціальні зміни, діагенез, тектонічна історія, глибина тощо). Оскільки ці процеси на одних і тих же глибинах характеризуються регіональними особливостями, в кожному конкретному випадку необхідно визначати як мінімум зміну густини з глибиною для окремих стратиграфічних горизонтів, а не загальні значення для всієї осадової товщі. Завдяки автоматизованому комплексу *GMT-Auto* з'явилася можливість вивчення тривимірного розподілу густини осадового чохла. Це дозволяє будувати гравітаційні моделі різного масштабу, більш достовірні, ніж раніше.

Дотепер накопичилася досить велика кількість робіт з висвітлення густини осадових гірських порід різних регіонів. Частина цих робіт опублікована, інші знайшли своє відображення в наукових і виробничих звітах. В роботі використані значення густини осадового чохла, отримані наступними методами:

1) за лабораторними дослідженнями зразків порід з керну картувальних і глибоких розвідувальних свердловин, а також зразків порід, відібраних з численних відслонень в регіоні досліджень;

2) за визначенням аналітичного виразу для лінійної і експоненціальної зміни густини з глибиною. Розрахунок гравітаційних ефектів при 3D моделюванні гравітаційного поля з використанням експоненціальної залежності застосовується тоді, коли дані про глибинну будову району робіт обмежені і потужність осадової товщі досить велика. Лінійну зміну густини з глибиною використовують в разі детального розчленування осадової товщі;

3) за формулами залежності швидкість/густина для кожної конкретної структури чи регіону.

Контури розрахункових тіл приповерхневих об'єктів на щитах визначаються границями геологічних тіл на геологічних картах. При параметризації моделі використовуються петрофізичні характеристики порід за всіма наявними даними. Додатково – відомості про густину, отриману в результаті двовимірного гравітаційного моделювання, а також за літературними джерелами і виробничими звітами.

Для глибинної частини параметризація проводиться з використанням швидкісних моделей вздовж профілів ГСЗ. Значення густини визначається за залежністю  $\rho = f(V_p)$  для всіх типів порід різних регіонів, яка зазвичай базується на

вивченні зв'язків між густиною і швидкістю поширення поздовжніх хвиль в кристалічній частині кори, а також за загальними кореляційними залежностями  $\rho$  від  $V_p$  при різному тиску. Уточнення значень густини всередині розрахункових шарів проводиться відповідно до можливих змін значень густини для заданих значень швидкості.

Гравітаційний ефект розраховується для всього досліджуваного середовища, яке завжди неоднорідне і включає сукупність тривимірних об'єктів, розташованих на різних структурних поверхах земної кори.

Точність розрахунків гравітаційних ефектів визначається: 1) масштабом використаного гравітаційного поля, оскільки похибка гравітаційної зйомки змінюється в залежності від масштабу і при детальних дослідженнях (наприклад, масштабу 1: 10000) з добре розвиненою опорною мережею досягає сотих часток мГал, а при використанні карт масштабу 1 : 200 000 – 1: 1 000 000 – 10–25 мГал; 2) точністю визначення сейсмічних швидкостей і границь в осадовому чохлі (перші сотні метрів); 3) визначенням густини за швидкістю; 4) використанням відповідного програмного забезпечення для введення інформації в комп'ютер з наступним перетворенням її в цифровий вигляд.

4. Завершальний етап моделювання залежить від поставлених цілей і завдань. Головним є отримання нових даних про розподіл густини в кожній точці об'єму земної кори, причому для кожного конкретного регіону чи тектонічної структури існують свої завдання. Так, наприклад, це може бути виділення гравітаційного ефекту консолідованої кори, котрий в подальшому використовується для побудови схем розломної тектоніки різних регіонів; оконтурення зон розущільнення на різних поверхах консолідованої кори, які є одним з головних ознак нафтогазоносності в кристалічному фундаменті; встановлення форми та глибини розповсюдження локальних тіл з аномальною густиною на поверхні фундаменту тощо. Але в більшості тривимірних 3D гравітаційних моделях завершальний етап моделювання регіонального масштабу полягає в побудові схем потужності умовно виділених «гранітного», «діоритового» і «базальтового» шарів, а також схеми прогнозного складу консолідованої земної кори.

Важливою частиною глибинної характеристики земної кори є її склад і, насамперед, основність, яка відіграє істотну роль при оцінці перспективності регіону на корисні копалини. Оцінка основності кори по переважанню одного з її шарів і співвідношенню їх потужностей вперше була виконана при вивченні глибинних неоднорідностей земної кори за сейсмічними даними і даними залежності  $\rho(V_p)$  південно-західної частини СЄП (Чекунов и др. 1990; Схема 1992; Красовский 1981). Однак рідка мережа профілів ГСЗ, різна детальність сейсмічних робіт і загальна оцінка співвідношення потужності шарів в блоках з однорідною швидкісною характеристикою призвели до значного спрощення схеми типів кори (Схема 1992) в тривимірному варіанті. Оскільки найтісніше з речовим складом пов'язана густина гірських порід, а показником більшої чи меншої основності їх складу і ступеня метаморфізму є показник відповідності співвідношення густини і швидкості в блоках з нормальним для регіону значенням (Красовский 1981, 1989), був запропонований варіант прогнозного складу земної кори УЩ на базі 3D гравітаційної моделі [Куприенко и др. 2007б; Старостенко и др. 2007].

Грунтуючись на даних швидкісних моделей вздовж геотраверсів і профілів ГСЗ і залежності густини ( $\rho$ ) від швидкості ( $V_p$ ) для різних типів кристалічних порід УЩ було запропоновано умовний розподіл всієї земної кори на три шари: 1)  $V_p < 6,30$  км/с,  $\rho < 2,75$  г/см<sup>3</sup>; 2)  $V_p = 6,30-6,80$  км/с;  $\rho = 2,75-2,90$  г/см<sup>3</sup>; 3)  $V_p > 6,80$  км/с,  $\rho > 2,90$  г/см<sup>3</sup> (Схема 1992). Такий поділ цілком узгоджується з даними про швидкісну і густинну характеристики порід різного складу (Соллогуб 1986; Чекунов 1988, 1989, 1993; Красовский 1989; Трипольский и Шаров, 2004; Корчин и др. 2013). Петрологічно першому шару відповідає суміш порід кислого і середнього складу. Для другого шару характерна суміш порід середнього та основного складу. Третьому шару відповідають інтрузивні породи від основного до ультраосновного, а також метаморфічні утворення. У його складі виділено коромантійну суміш, яка має  $\rho > 3,04$  г/см<sup>3</sup>,  $V_p > 7,20$  км/с, що відповідає збільшенню вмісту порід ультраосновного складу в шарі (Чекунов 1993; Свешников и др. 1998; Красовский и др. 2001).

Слід зазначити, що в консолідованій корі молодших накладених структур, наприклад в ДДЗ, можна очікувати зменшення значень швидкості поширення поздовжніх хвиль для однойменних порід на 0,1–0,2 км/с, оскільки вони залягають тут при меншому тиску і більш високій температурі (Чекунов и др. 1990).

Отже, з урахуванням обраних інтервалів значень швидкості і густини земна консолідована кора була розділена на три шари без різких границь між ними, які «гранітним», «діоритовим» і «базальтовим». умовно названі досить За співвідношенням потужності кожного шару до загальної потужності консолідованої кори, яке виражається у відсотках, зроблено типізацію консолідованої кори, виділено гранітний, гранітно-діоритовий, діоритовий і базальтоїдний типи кори, які характеризують неоднорідність сучасної консолідованої кори регіону в цілому. Щоб чітко зафіксувати розчленування нижнього шару земної кори, який за класифікацією методом ГСЗ вважається нероздільним, в базальтоїдному типі кори виділено три підтипи: підтип 1 з вмістом в ньому базальту 40-70 %, підтип 2, у якому його кількість збільшується до 70-90 %, і підтип 3, котрий стовідсотково складається з базальту.

У третьому розділі «3D гравітаційні моделі окремих тектонічних регіонів» приведені різномасштабні 3D гравітаційні моделі ДДЗ і Донбасу, УЩ (Інгульського мегаблока та ГШЗ), Чорноморської мегазападини і прилеглих територій (рис. 2). Деталізований об'ємний розподіл густини в блоках земної кори, шарах, що їх складають і зонах розломів дали нову інформацію про глибинну будову як окремих тектонічних структур, так і всього регіона загалом. 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.

3D гравітаційна модель *Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу*, побудована в масштабі 1:500 000, включає п'ять шарів осадової товщі, сім шарів консолідованої земної кори, а також шар верхньої мантії до глибини 90 км.



Рис. 2. Оглядова схема розміщення регіонів, для яких виконано 3D гравітаційне моделювання.

За результатами моделювання отримано схеми розповсюдження густини в шарі від поверхні до підошви дронівської свити нижнього відділу тріасової системи, на підошві дронівської свити та башкирського ярусу, у відкладах нижнього карбону, девону та 0,4–1,0 км, на покрівлі і підошві шарів 1,0–5,0 км та 5,0–10,0 км, на 20 км, 22 км, 30 км та на розділі Мохо. За даними 3D гравітаційного моделювання складено схему розподілу густини на поверхні фундаменту. З'ясовано, що зона ущільнення районі Головної аномального кори антикліналі Донбасу В простежується з глибини 10 км до розділу Мохо. У прибортових зонах ДДЗ по всьому розрізу консолідованої кори простежено області аномально низької густини, які є показниками її підвищеної пористості (необхідна умова концентрації глибинних вуглеводнів) [Куприенко и др. 2010]. Результати 3D гравітаційного моделювання підтвердили наявність осьового ущільнення в центральній частині ДДЗ. Густина консолідованої кори западини різна на всіх її поверхах, з глибиною вона зростає з індивідуальним градієнтом в кожному блоці. На глибинах 30 км і на розділі Мохо густина закономірно збільшується з північного заходу на південний схід. Вперше в консолідованій корі ДДЗ за особливостями: редукованого за вплив осадків гравітаційного поля, розподілу намагнічених утворень в ній, глибинної будови, розподілу густини порід на поверхні фундаменту, його рельєфа і сумарного гравітаційного ефекту осадової товщі виділено Чернігівський, Лохвицький, Ізюмський і Донбаський сегменти. Вперше виділено гравітаційний ефект консолідованої кори, який в подальшому був використаний для побудови схеми розломної тектоніки ДДЗ [Старостенко и др. 2015]. Для консолідованої кори характерними є змінні співвідношення потужностей її шарів і, таким чином, змінна основність кори. В межах ДДЗ «гранітний» шар в центральній частині западини фрагментарно з повним зникненням центральних присутній В частинах Лохвицького, Ізюмського, Донбаського і в північній частині Чернігівського «Діоритовий» і «базальтовий» шари мають великі коливання сегментів. потужностей: від перших кілометрів до 20-35 км. Коромантійна суміш (КМ), що відображає ступінь перетворення порід на границі кора – мантія і вплив мантійних флюїдів, поширена в межах ДДЗ і Донбасу повсюдно з різною потужністю. Шар відсутній на більшій частині південного схилу Воронезького кристалічного масиву (ВКМ), південному заході Ізюмського сегмента, а також потоншений до перших кілометрів в південно-східній частині Лохвицького. У Чернігівському сегменті потужність КМ становить 5-10 км зі зменшенням до околиць. У Лохвицькому сегменті КМ охоплює північно-західну частину сегмента і обмежена на півдні продовженням Андрушівського розлому УЩ. Ізюмський сегмент характеризується малою потужністю КМ в західній частині (до 5 км) з поступовим збільшенням до 10-15 км в сторону Донбасу, де зафіксована потужність більше 25 км. Область розвитку КМ виходить за межі ДДЗ на схили УЩ і ВКМ. Таким чином, в регіональному плані в структурі земної кори ДДЗ в цілому відзначається закономірне зменшення її потужності з північного заходу на південний схід, зменшення в тому ж напрямку потужності «гранітного» і «діоритового» шарів. «Базальтовий» шар такої чіткої закономірної зміни потужності по простяганню структури не виявляє. Не простежується кореляція потужності цього шару і потужності КМ, яка входить до його складу, з глибиною залягання розділу Мохо.

Для Інгульського мегаблока УЩ виконано 3D гравітаційне моделювання в масштабі 1:200 000, що дало можливість деталізувати розподіл густини в земній корі, встановлений в попередніх дослідженнях [Куприенко и др. 2007а], а також отримати додаткову інформацію про будову основних геологічних структур мегаблока: Шполянського та Корсунь-Шевченківського масивів рапаківівидних (Корсунь-Новомиргородський плутон) Новоукраїнського гранітів масиву i трахітоїдних гранітів [Старостенко и др. 2015б]. Результати представлені у вигляді схем розподілу густини в осадовій товщі, на поверхні фундаменту та на глибинах 5, 10, 20, 30 км і розділі Мохо, що дозволило виявити і простежити зміну «структурних планів» розподілу густини на різних глибинах земної кори. Встановлено, що земна кора Корсунь-Шевченківського, Шполянського масивів рапаківівидних гранітів і Новоукраїнського масиву трахітоїдних гранітів розділена на два шари зі стрибком густини на глибинах 12 і 17 км відповідно. У верхньому шарі залягають розущільнені породи, а в нижньому – ущільнені. Земна кора Корсунь-Новомиргородського плутону розділена трансрегіональним тектонічним швом Херсон-Смоленськ на дві частини: західну і східну. Зміна густини порід в обох

частинах до глибини 12 км має різний характер: в східній частині присутні три стрибки густини на глибинах 2, 5 і 12 км, а в західній – тільки на глибині 12 км, що підтверджується сейсмічними даними (Ильченко 2003). Деталізовано розподіл густини за глибиною і по площі в масивах гранітоїдів і габро-анортозитів. Зміна густини з глибиною в масивах гранітоїдів (Богуславському, Уманському, Вознесенському, Шевченківському, Липняжському, Чигиринському, Кіровоградсько-Бобринецькому і Долинському) має індивідуальний характер. Проте до глибини 20 км можна об'єднати за характером зміни густини з глибиною такі структури: Богуславський і Шевченківський; Кіровоградсько-Бобринецький і східну частину Долинського; південну частину Уманського і західну Воскресенського масивів. Межирічанський масив габро-анортозитів простежується до глибини 10 км підвищеною густиною відносно оточуючих структур, а густина решти масивів габро-анортозитів вже на глибині 5 км зрівнюється з густиною вміщуючих порід. ГШЗ в порівнянні з Інгулецько-Криворізькою більш однорідна і характеризується підвищеною густиною по всьому розрізу земної кори. В межах Інгулецько-Криворізької шовної зони густина також підвищена по всьому розрізу, хоча дещо нижче густини ГШЗ. Бобринецькою, Субботсько-Мошоринською і Смілянською широтними зонами розломів ця шовна зона розділена на декілька частин, в яких густина змінюється як по площі, так і з глибиною. Площа розвитку біотитових гнейсів за густиною поділяється на три ділянки: південну, центральну і північну, які різні за розподілом густини з глибиною. Межами поділу є Бобринецька і Субботсько-Мошоринська широтні зони розломів. Що ж до складу консолідованої кори, найбільша потужність «гранітного» шару спостерігається в Новоукраїнському масиві трахітоїдних гранітів та в Звенигородсько-Братській, Кіровоградській і Західноінгулецькій зонах розломів (більше 16 км). Відсутній «гранітний» шар в межах центральної частини ГШЗ. Потужність «діоритового» шару найбільша на сході Шполянського масиву (приблизно 17 км), заході Уманського масиву та в північній частині площі розвитку біотитових гнейсів (до 20 км). «Базальтовий» шар максимальною потужністю представлений в центральній частині ГШЗ (до 50 км), Тальнівській зоні роломів (36–38 км) та в Інгулецько-Криворізькій шовній зоні (біля 28 км). Аналіз даних 3D гравітаційного моделювання дозволив простежити розломні зони Інгульського мегаблока на глибину і визначити характер їх залягання. Трансрегіональний тектонічний шов Херсон-Смоленськ при наближенні ЛО Субботсько-Мошоринської та Бобринецької широтних зон розломів втрачає чіткість проявлення і слідкується фрагментарно. Це стосується також Кіровоградської та Первомайської зон розломів.

Для центральної частини Голованівської шовної зони УЩ побудовано 3D гравітаційну модель земної кори масштабу 1:50 000, в якій враховано зміну густини як на поверхні фундаменту відповідно до петрофізичних даних, так і з глибиною відповідно до даних сейсмометрії [Старостенко и др. 2018]. Було взято до уваги стрибкоподібну зміну густини, наявність зон інверсії і зон з постійною густиною. Підтверджено блокову будову верхньої частини земної кори, яку раніше було виявлено сейсмометрією в деяких районах зони. Досліджувана територія в 3D гравітаційній моделі з поверхні до глибини 20 км поділяється за своєю будовою на

центральну, східну і західну частини. Центральна, яка відповідає більшій частині ГШЗ, представлена гірськими породами, густина яких значно вище, ніж в західній і особливо в східній. З глибини 30 км і до розділу Мохо в шовній зоні виділяються дві частини – західна і східна, які розділені різким субмеридіональним перепадом в розділі Мохо від 46 до 55-65 км уздовж осьової лінії ГШЗ. Гранітизовані породи у північній частині Ятранського блока за даними 3D гравітаційного моделювання простежено до глибини 5 км, особливо в області, що примикає до Субботськогравітаційній Мошоринської широтної розломів. моделі зони В чітко відображаються зони порушень розущільненням порід по всьому розрізу земної кори. Локальні тіла з аномально високою густиною на поверхні фундаменту, кварцитами, габро-амфіболітами, складені залізистими переважно кристалосланцями та гнейсами гранат-біотитовими, характеризуються незначними розмірами і глибиною залягання. В результаті розрахунків з'ясовано, що глибина їх занурення з аномально високою густиною складає 1,5 км, а нижче (до глибини 5 км) їх густина хоч і знижується, але є вище відносно вміщуючих неоднорідностей. Густинне моделювання цих структур необхідно продовжити в більшому масштабі із застосуванням різних варіантів співвідношення їх форми і густини в розрізі.

Для Чорноморської мегазападини і прилеглих територій виконано 3D гравітаційне моделювання в масштабі 1:1 000 000. Вперше оцінено розподіл густини відкладів майкопської серії, палеоцен-еоцену і крейди по площі, що вказує на неоднорідність основних горизонтів осадового чохла. Диференціація густини кристалічної частини земної кори свідчить про аномально розущільнені і ущільнені області шельфової зони. Побудовано схему поширення і глибин залягання підошви дислокованих відкладів, а також розраховано густину порід на цій поверхні. В консолідованій корі, за аналогією з УЩ і ДДЗ, виділено гранітний, гранітно-діорітовий, діорітовий і базальтоїдний типи кори, що вперше дало можливість виділити для всього досліджуваного регіону області розвитку кори різного складу. Встановлено зменшення її основності від глибоководних западин до північно-західної, західної і південної шельфових зон. На північно-східному шельфі присутні локальні блоки базальтоїдного типу, які є областями проникнення в осадовий шар і земну кору утворень основного і ультраосновного складу.

У четвертому розділі «Розломна тектоніка консолідованої кори північнозахідного і північно-східного шельфів Чорного моря за даними аналізу потенціальних полів» 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.

В спостережених потенціальних полях градієнтні зони, які пов'язані з розломами, замасковані впливом потужного осадового чохла. Тому в таких регіонах, щоб підвищити роздільну здатність геологічної інтерпретації потенціальних полів з метою вивчення консолідованої кори, з одного боку, було застосовано залишкове гравітаційне поле [Старостенко и др. 2005], а з іншого – використоно метод

горизонтальних градієнтів (Grant and West 1966). За допомогою комп'ютерної програми (Старостенко и Легостаева 1998) з урахуванням візуальної інформації отримано карти максимальних градієнтів потенціальних полів. Такий підхід, на відміну від попередніх робіт, дозволив віднести закартовані розломи до всієї консолідованої кори.

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.

При картуванні розломів були прийняті такі критерії. В отриманому залишковому гравітаційному полі лінійні зони градієнтів і їхні осі, що відповідають максимальним градієнтам, обумовлюються або розломами, які розділяють блоки з різним складом порід, або розломами, які відмічаються перепадами в рельєфі фундаменту, але розмежовують блоки одного складу. В магнітному полі лінійні і напівлінійні градієнтні зони або регулярні зміщення їх осей реєструють тектонічні порушення. Лінійні гравітаційні і магнітні максимуми відзначають дайки основних і ультраосновних порід, а мінімуми – зони дроблення у зонах розломів. Зазвичай розломи і їхні зони визначаються фрагментарно, утворюючи смуги різної ширини. При картуванні розломів за переліченими ознаками головним критерієм розлому, а не петрологічного контакту, є лінійність, закономірне зміщення вздовж них і прояв в обох потенціальних полях, що використовуються. Комплексний аналіз знаку аномалій і їхніх закономірностей просторового положення дав змогу розрізняти ранг і системи розломів, включаючи зміщення вздовж них.

Більша частина виділених великих розломів підтверджується сейсмічними даними різних модифікацій, що є показником ефективності застосованого підходу (див. наприклад, [Starostenko et al. 2015], (Rusakov and Pashkevich 2017).

Північно-західний шельф Чорного моря. Складність геологічної будови зони зчленування СЄП і Скіфської плити (СП) в процесі еволюції кори зумовлена неодноразовою перебудовою тектонічного плану (Шнюков 1987; Радзивилл и Радзивилл 2000; Самсонов и др. 2002). Це значною мірою впливає на те, що тектоніка і історія формування регіону залишається предметом незатухаючих дискусій прихильників різних точок зору. До цього часу границі тектонічних елементів і положення розломів проводять по-різному. Досить згадати хоча б той факт, що зараз існує більше 10 варіантів положення сучасної південної межі СЄП в смузі субширотного простягання завширшки понад 150 км [Старостенко и др. 2005].

*3D гравітаційна модель*. Сумарний гравітаційний ефект осадової товщі залежить від її потужності і значення густини. Карти глибин залягання окремих шарів осадового чохла північно-західного шельфу побудовані з точністю ± 100 м (Туголесов и др. 1985; Безверхов 1988), що дає похибку в оцінці гравітаційного ефекту в перші мілігали. Тому достовірність гравітаційної моделі залежить переважно від вибору густини осадових горизонтів. Щоб визначити локальні відмінності розподілу густини осадових горизонтів в межах шельфу, для аналізу було залучено дані з 13 свердловин (Десантна-1, Кримська-1, Флангова-2, Голіцина-

2, 10, Архангельського-1, 2, Гамбурцева-2, Іллічівська-2, Сельського-43, Штормова-2, Штильова-2, Одеса-2) [Старостенко и др. 2003]. Додатково використано інформацію, яка отримана лабораторними дослідженнями зразків порід з відслонень та свердловин прилеглого суходолу і за допомогою формул залежності швидкість-густина (Земная 1975; Безверхов 1988; Пивоваров и Логвин 2001).

3D гравітаційна модель представлена шаром води і чотирма шарами осадків (рис. 3).

ШАРИ МОДЕЛІ		ГУСТИНА	Рис.	3.	Стру	ктура	i
1	вода	1,03 г/см <sup>3</sup>	параме	етриз	зація		3D
2	пліоцен-антропогенні відклади поверхня відкладів майкопської серії ——	1,87 г/см <sup>3</sup> 2,17 г/см <sup>3</sup>	гравіта	юї	моделі		
3	майкопські відклади	2,34 г/см³	осалов	чох па	πιουίυυς-		
4	палеоцен-еоценові відклади	2,57 г/см <sup>3</sup>	осадов		10/15/14	TT	11
5	відклади крейди	2,645 г/см <sup>3</sup>	західно	ого	шельфу	Чорно	юго
' <i>рельєф консолюованого фунбаменту</i> ∟ земна кора		2,68 г/см <sup>3</sup>	моря.				

Розрахункова густина в кожному з шарів є різницею між прийнятою для даного шару густиною і густиною приведення, величина якої обґрунтована в роботі [Старостенко и др. 2003] і становить 2,68 г/см<sup>3</sup>. Це значення відповідає тому, яке встановлено на підошві осадового чохла, де зафіксована його максимальна потужність. Воно обране в результаті аналізу густини порід за даними з свердловин північно-західного шельфу Чорного моря. При цьому було взято до уваги таку інформацію: 1) свердловини розкрили відклади нижньої й верхньої крейди, а в деяких навіть юри (наприклад, Десантна-1); 2) геологічний розріз усіх свердловин відносно однорідно-теригенний; 3) у всіх свердловинах криві зміни густини з глибиною прямують до асимптоти.

Залишкове гравітаційне поле, яке отримано як різниця між спостереженим полем і сумарним гравітаційним ефектом води і осадового чохла, відображає неоднорідності розподілу густини консолідованої кори і верхньої мантії. Однак інтенсивність мантійної складової на шельфі змінюється в межах 10 мГал (Starostenko et al. 2004) і істотно не впливає на морфологію цього поля.

Схема розломної тектоніки консолідованої кори. Встановлено дві головні системи розломів – діагональна і ортогональна (рис. 4). Перша відіграє головну роль у розвитку окраїни СЄП і формуванні сучасного південного обмеження структурного плану власне докембрійської платформи, границя якої здебільшого представлена зонами субпаралельних розломів, які супроводжуються позитивними або негативними магнітними аномаліями, широкими зонами високих градієнтів гравітаційного поля і зміною інтенсивності його регіонального фону [Старостенко и др. 2005].

Зони розломів, пов'язані з границею платформи, послідовно зміщені на південний схід правими зсувами вздовж розломів північно-західного простягання.



Рис. 4. Схема розломної тектоніки консолідованого фундаменту за даними аналізу потенціальних полів і головні тектонічні елементи північно-західного шельфу Чорного моря: 1 – границя СЄП як зміна структурного плану консолідованої кори; 2 – розломи діагональної системи (а – головні, б – інші); 3 – розломи ортогональної системи (а – головні, б – інші); 4 – дугоподібні та ортогональні до них розломи; 5 – інші розломи; 6 – фронт неоальпійських насувів за (Finetti et al. 1988); 7 – Північнокримська сутура (а) і насуви та їх уклін (б) за В.В. Юдіним (2002); 8 – ізометричні магнітні аномалії; 9 – напрямок падіння розломів за даними ГСЗ. ГДЗ – Губкінсько-Донузлавська зона розломів.

Розломи, субпаралельні границі платформи, утворюють зону шириною близько 100 км. На заході і південному заході вона простежується тільки до Одеського і Губкінського валів, а на сході – на території Криму і далі за межі району досліджень. Розломи південно-східного простягання, серед яких виділено так званий Одеський розлом, також простежені фрагментарно зі зміною загального простягання при просуванні з північного заходу на південний схід.

Відмінною рисою цієї діагональної системи розломів є підгортання розломів при наближенні їх до розломів субширотного простягання, що не суперечить припустимим правим зсувами уздовж північно-західних розломів. Одеський розлом насправді являє собою серію розломів, що створюють зону шириною не менше 30 км, і супроводжується субпаралельними порушеннями. Він не простежується в західній частині Каркінітського прогину. На південному сході зона розломів

звужується. Слідом за Є.Ф. Шнюковим (1987) можна припустити, що в діагональній системі північно-західні розломи є молодшими і неодноразово активізованими, хоча вік закладання розломів цієї системи, найімовірніше, докембрійський.

Ортогональна система розломів являє собою зони субпаралельних розломів меридіонального і широтного простягань. При цьому відомі субмеридіональні розломи, зокрема Миколаївський та Херсонський, продовжуються з давньої платформи в межі шельфу і виділяються багатьма дослідниками (Безверхов 1988; Самсонов и др. 2002 та ін.). Субмеридіональні розломи, як і північно-західні, не простежуються в геофізичних полях в західній частині Каркінітського прогину.

Субширотні розломи спостерігаються в двох великих зонах в центрі і на півдні району дослідження. Перша на заході має дещо північно-східне простягання і співпадає з відомими Кримсько-Георгіївським і Михайлівським розломами, а на сході – це серія суто широтних порушень. Ця серія розломів створює Губкінсько-Донузлавську зону розломів (Карпенко 2005). Зміна простягань і деякий розрив цієї, загалом «наскрізної», зони відбувається на північно-західних розломах. На півдні серія широтних розломів більш чітко слідкується в східній половині площі досліджень.

В південно-західній і західній частинах території виділено специфічні розломи, які створюють зону, що складається з *серії дугоподібних розломів* з мінливим північно-західним простяганням, та серії ортогональних до них порушень.

На схемі (див. рис. 4) крім основних систем розломів спеціальним знаком показано низку порушень різного простягання, які не вписуються в жодну із систем. Вузли перетину описаних розломів переважно діагональної і рідше ортогональної систем на південний схід від фронту неоальпійського насуву супроводжуються ізометричними магнітними аномаліями, пов'язаними з юрськими інтрузіями основного складу. Така просторова приуроченість останніх свідчить про мезозойську і більш молоду активізацію розломів в цій частині шельфу.

розломів консолідованої системи кори просторово Описані добре корелюються з основними геологічними структурами осадового чохла. Так, вісь Каркінітського прогину субпаралельна розломам північно-східного простягання, які інтерпретуються як фрагменти границі СЄП і відомого Голіцинського розлому. Поділ прогину на західну та східну частини фіксується розломами північнозахідного простягання зі зміщенням однієї частини відносно іншої по цих розломах. мабуть, успадковує ортогональну систему Чорноморсько-Каламітський вал, розломів. В його межах тільки Новоселівське підняття має морфологічну подібність блока, який утворений діагональною системою розломів. Формування Альмінської западини пов'язане, ймовірно, з північно-східними та широтними розломами. Одеський і Губкінський вали на захід від Каркінітського прогину і Чорноморсько-Каламітського валу відокремлюються від останніх системою дугоподібних розломів і розділені між собою субширотними і широтними розломами.

Наймолодший неоальпійський фронт насувів (Finetti et al. 1988) також може розглядатися як складова північно-східної системи розломів, причому він є безпосереднім продовженням фрагменту границі СЄП, що проходить вздовж північного узбережжя Тарханкутського півострова. В роботі (Finetti et al. 1988)

задокументовано два неоальпійські насуви. Південний тяжіє до субширотних розломів, які обмежують Губкінський вал і південну границю Чорноморсько-Каламітського валу. Північний фронт морфологічно успадковує субширотне простягання давніх розломів на заході і північно-східне в східній його частині. Зміна простягання відбувається по розломах, які згадувались вище як дугоподібні, підкреслюючи ще раз їхню розділяючу роль в обмеженні структур західної частини площі.

Північно-східний шельф Чорного моря є одним з перспективних регіонів України на нафту і газ. В його межах сейсмічними дослідженнями виявлено більше двох десятків антиклінальних локальних піднять у нафтогазоносних відкладах майкопської серії і надмайкопських утвореннях регіону, 11 із яких занесено до фонду структур Південного нафтогазоносного регіону України (Карта 2004). Оцінка потенціалу цього регіону базується переважно вуглеводневого на даних результати сейсморозвідки, якої дозволяють встановлювати геометричну конфігурацію структур. Підвищення ефективності прогнозування нафтогазоносності і, відповідно, більш повна оцінка вуглеводневого потенціалу, може бути виконана з залученням даних інтерпретації потенціальних полів, урахуванням глибинної будови земної кори, отриманої в результаті комплексної інтерпретації геологогеофізичної інформації та аналізу зв'язку нафтогазоносності з розломною тектонікою регіону (Прогнозування 2006, 2007).

*3D гравітаційна модель*. Оскільки густина осадових порід північно-східного шельфу не вивчалася, величини густини окремих осадових шарів та густина приведення (2,68 г/см<sup>3</sup>), відносно якої проводились розрахунки модельного поля кожного шару, були прийняті такими ж, як для північно-західного шельфу Чорного моря [Старостенко и др. 2005]. 3D гравітаційна модель осадового чохла представлена водою і чотирма осадовими шарами (див. рис. 3).

Для побудови схеми *розломної тектоніки консолідованої кори* в масштабі 1:200 000 (рис. 5) використано залишкове поле, яке являє собою різницю між спостереженим полем і сумарним гравітаційним ефектом води, осадового чохла і мантійної компоненти гравітаційного поля (Starostenko et al. 2004). Щодо прояву перспективних структур в цьому полі, то більшість з них асоціюється із зонами градієнтів (Дрейфова, Глибока, Безіменна, Личагіна, Благодарна, Якірна, Північнокавказька, Лучицького, Паласа) [Старостенко та ін. 2011].

Додатково було розраховано 3D гравітаційну модель осадової товщі масштабу 1: 1 000 000, аби виявити регіональні особливості розломної тектоніки з урахуванням зон високих градієнтів і їх осей. В залишковому регіональному полі в зоні градієнтів знаходяться тільки структури Дрейфова, Паласа і північно-західна частина Південнокерченської. Усі інші належать до блока земної кори, який обмежено зонами високих градієнтів залишкового гравітаційного поля.

Простягання і протяжність зон градєнтів потенціальних полів, які можуть бути ототожнені з фрагментами розломів, були узгоджені з даними обох полів на акваторії, що охоплює дані масштабу 1:200 000, а згодом з характерними рисами гравітаційного і магнітного полів в регіональному плані за картами масштабу 1: 1000 000 і 1:500 000 відповідно. Оскільки переважна більшість фрагментів розломів

за магнітними ознаками співпадає з зафіксованими в залишковому гравітаційному полі, з якого вилучено вплив шару води і осадового чохла, отримана схема відображає розміщення розломів консолідованої кори.

1

в

пілошві

назви.

б



Скупченість окремих розломів одного простягання в поєднанні з регіональними особливостями полів, як-от регіональні зони високих градієнтів гравітаційного поля або наявність зони лінійних аномалій, стали підставою для виділення зон розломів.

Встановлено дві головні системи розломів - діагональну і ортогональну, що визначають положення нафтогазоносних структур. В них переважають розломи північно-східного і широтного простягання відповідно. Обидві системи € довгоживучими, оскільки розломи всіх простягань зміщують один одного і знаходять прояв у розривних структурах осадового чохла. Перспективні нафтогазові структури мають переважно північно-східне і субширотне простягання, ускладнене січними розломами.

Виділені тектонічні порушення чітко співвідносяться з відомими головними зонами розломів на площі робіт. Узурларсько-Горностаївська зона відома як розлом (Шнюков 1987; Пустовитенко и др. 1999) північно-східного простягання практично однакової ширини близько 7 км. Саме до цієї зони розломів відносяться вулканічні утворення, імовірно юрського віку, з прямою та оберненою намагніченістю

(Самсонов и др. 2003), які чітко фіксуються в магнітному полі смугою локальних аномалій різного знаку. Смуга підвищених градієнтів залишкового гравітаційного поля, що є характерною ознакою цієї зони, відокремлює північно-західний блок найменшої інтенсивності гравітаційного поля на акваторії досліджень.

На схід від неї серіями розривів північно-східного простягання чітко картується зона, яка відповідає відомому *Правдинському* розлому. Її ширина змінюється від 10 до 20 км, а напрям підкреслюється простяганням лінійних аномалій залишкового гравітаційного поля в межах зйомки масштабу 1:100 000 і зоною градієнтів регіонального гравітаційного поля в її північно-західній крайовій частині. Розломи північно-західного простягання складають зону завширшки 10–15 км, яка може ідентифікуватися як *Молбайська зона* розломів (Пустовитенко и др. 1999). В залишковому гравітаційному полі – це одна з найвиразніших зон високих градієнтів.

Описані зони розломів, безумовно, є глибинними, можливо, мантійними, оскільки вони характеризуються зонами високих градієнтів залишкового гравітаційного поля, а за даними регіональних тектонічних побудов простягаються на велику відстань. Окрім зон цих розломів на схемі зображено розломи більш високого рангу, які субпаралельні їм і розглядаються як супутні.

На підставі аналізу отриманих матеріалів можна обґрунтовано стверджувати, що перспективні локальні антиклінальні структури розташовані в автономному блоці земної кори, названому Мітрідатським [Starostenko et al. 2011], а структури Якірна, Благодарна і Дрейфова тяжіють до його крайових зон розломів і до вузлів перетинів розломів різних рангів північно-східного і субширотного простягання. Глибинні розломи, успадковані більш молодими розломами, зокрема і осадового чохла, створюють сприятливі умови для транспортування глибинних вуглеводневих потоків крізь різні поверхи кори. Отже, досліджувана акваторія може розглядатися як сприятлива для накопичення вуглеводнів.

У п'ятому розділі «Густинна неоднорідність земної кори України і суміжних територій» розглянуто уніфіковані схеми розподілу густини земної кори на різних глибинах (на поверхні фундаменту, 10, 20, 30 км, розділі Мохо) території України і суміжних регіонів, а також схеми потужностей умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів, коромантійної суміші і типів земної кори. Вони побудовані за результатами 3D гравітаційного моделювання окремих регіонів (УЩ, ДДЗ і Донбасу, Чорноморської мегазападини і прилеглих територій, ВПП) [Куприенко и др. (2005), 2007б, 2010; Старостенко и др. 2007, 2015б, 2017а–г; Орлюк и др. 2018; Пашкевич и др. 2018; Макаренко и др. 2019; Розділ 3].

Неоднорідність сучасної консолідованої кори регіону в цілому охарактеризована її типами: гранітним, гранітно-діоритовим, діоритовим і базальтоїдним з трьома підтипами (рис. 6).

Гранітний тип кори характерний для Коростенського плутону; окремих частин південного схилу УЩ, що примикають до Інгульського і центральної частини Середньопридніпровського мегаблока, деяких блоків Південноукраїнської



Рис. 6. Типізація земної кори України і прилеглих регіонів за співвідношенням ії головних шарів: 1- границя ДДЗ; 2 – контур УЩ; 3 – плутони габро-анортозитрапаківі: Коростенський (Кр), Корсунь-Новомиргородський (К-Н); Новоукраїнський масив (Ну); 4 – головні розломи: міжмегаблокові (а), інші (б); 5 – проекції на земну поверхню зон різкого зміщення розділу Мохо; 6 – основні структури Чорноморської мегазападини та прилеглих територій; 7 – осі хребтів Андрусова (Ан) та Архангельського (Ар), за (Rangin et al. 2002); 8 – границя Синопської (Син) западини; 9 – південна границя СП; 10 – південна границя СЄП. Мегаблоки УЩ: В – Волинський; Пд – Подільський; Р – Росинський; Бз – Бузький; Ін – Інгульський; СПд – Середньопридніпровський; Пр – Приазовський. Шовні зони: Гшз – Голованівська; І-Кшз – Інгулецько-Криворізька; О-Пшз – Оріхіво-Павлоградська. Головні сегменти в межах ДДЗ: Чн – Чернігівський, Лх – Лохвицький, Із – Ізюмський, Дб – Донбаський. ВПП – Волино-Подільська плита, ВКМ – Воронезький кристалічний масив, МП – Мізійська плита, Д – Добруджа. Прогини: ПП – Переддобруджинський, КП – Каркінітський, ПКП – Північнокримський, І-К – Індоло-Кубанський, К-Т Керченсько-Таманський. Западини: 343 \_ СЧЗ – Східночорноморська, Західночорноморська, Cop \_ Сорокіна, Туапсинська, ПУм – Південноукраїнська монокліналь. Підняття: Ш – Шацького, Ц-Ч – Центральночорноморське. Підтипи базальтоїдного типу кори з вмістом базальту: підтип 1 – 40–70 % (а), підтип 2 – 70–90 % (б), підтип 3 – 100 % (в).

монокліналі, які розташовані між областями перепаду в розділі Мохо; області, розташованої на північ від Індоло-Кубанського прогину, що примикає до Приазовського мегаблока УЩ; окремих блоків Скіфської і Мізійської плит; хребта Архангельського і окремих областей на півдні Чорноморської мегазападини.

Гранітно-діоритовий тип кори зафіксовано у Волинському, Інгульському і Середньопридніпровському мегаблоках УЩ. У Волинському мегаблоці він окреслює із заходу, півдня і сходу область кори гранітного типу. У Інгульському мегаблоці гранітно-діоритовий тип кори поширений на півночі, в центральній і східній частинах Новоукраїнського масиву, в південно-західній частині мегаблока, яка зі сходу обмежена Західноінгулецьким розломом, а також в області, розташованій на північний схід від Корсунь-Новомиргородського плутону (в районі м. Черкаси). У західній і східній частинах Середньопридніпровського мегаблока гранітно-діоритовий тип кори поширений вузькими смугами, які продовжуються на північний схил УЩ. Цей тип кори також присутній в Добруджі, в шельфовій частині Мізійської плити, в північно-східній частині ВКМ. Його окремі невеликі фрагменти спостерігаються в Чорноморській мегазападині, в східній частині СП, а також в південно-західній частині Приазовського мегаблока УЩ.

Діоритовий тип кори поширений на більшій частині платформної частини України. Він присутній в південно- та північно-західній частинах Волинського, на Росинського, Інгульського, Середньопридніпровського частині значній i Приазовського мегаблоків УЩ; в бортових частинах ДДЗ і на більшій частині ВКМ і ВПП. Цей тип кори спостерігається в східній частині Південноукраїнської монокліналі і в окремих блоках СП (в районі північно-західного шельфу Чорного моря, в центральній частині Індоло-Кубанського прогину і на схід від нього), а фрагментарно присутній на західному шельфі також і на півлень віл Західночорноморської западини (ЗЧЗ), а також на північний схід від хребта Архангельського.

Підтип 1 базальтоїдного типу найпоширеніший в північній частині ВПП, Подільському, східній частині Бузького, і на значній частині Росинського мегаблока УЩ, в ГШЗ, центральній частині ДДЗ (в Лохвицькому, Ізюмському та Донбаському сегментах), східній частині Південноукраїнської монокліналі, в Криму, західній частині СП, на північно-східному шельфі Чорного моря, в східній частині ЗЧЗ і в Синопській западині. Окремими фрагментами цей тип кори зафіксовано в Росинському, Середньопридніпровському і східній частині Приазовського мегаблока УЩ, Чернігівському сегменті ДДЗ, на піднятті Шатського, в східній частині ЗЧЗ та Східночорноморській западині (СЧЗ), а також в східній частині СП.

Підтип 2 базальтоїдного типу найпоширеніший в Ізюмському та Донбаському сегментах ДДЗ, ЗЧЗ та СЧЗ. Фрагментарно він фіксується на піднятті Шатського, а також в западинах Сорокіна і Туапсинській.

Підтип 3 базальтоїдного типу розповсюджений в Ізюмському та Донбаському сегментах ДДЗ, а також в СЧЗ і ЗЧЗ. В СЧЗ він охоплює практично всю акваторію, а в ЗЧЗ присутній в двох областях: на сході (великій за розмірами) і південному заході (незначних розмірів). У вигляді окремих локальних ділянок він спостерігається на північній периферії Чорного моря в області інтенсивних позитивних гравітаційних аномалій.

На заході УЩ переважає базальтоїдний (підтип 1) тип кори, на сході – діоритовий і гранітно-діоритовий. Таким чином, підтверджена регіональна закономірність зменшення основності кори щита із заходу на схід (Старостенко и др. 2002). Зменшення основності спостерігається і в шовних зонах: від базальтоїдного (підтип 1) і діоритового типів кори в ГШЗ та Інгулецько-Криворізькій шовних зонах до діоритового типу кори в Оріхіво-Павлоградській.

В ДДЗ на тлі діоритового типу переважає підтип 1 базальтоїдного типу, який в Ізюмському та Донбаському сегментах переходить в підтипи 2 і 3. Основність кори збільшується з північного заходу на південний схід, підпорядковуючись сегментації структури.

В Чорноморській мегазападині і прилеглих територіях переважає базальтоїдний тип кори усіх підтипів. Виняток становлять західна і південна її частини, а також східна частина СП, де зафіксовано гранітний, гранітно-діоритовий і діоритовий типи кори.

Вперше виділено особливий тип кори (заштриховані області, див. рис. 6), який характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шарів (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»). Подібний тип кори є на південному заході Новоукраїнського масиву трахітоїдних гранітів і в західній частині Корсунь-Шевченківського масиву рапаківівидних гранітів в Інгульському мегаблоці УЩ, в північній прибортовій зоні ДДЗ, в межах СЄП на північ від Криму, в західній частині СП, в центральній частині ЗЧЗ та на північний захід від Синопської западини.

У шостому розділі «Нафтогазоносність і рудні корисні копалини» представлено: 1) аналіз розміщення структур-аналогів відомих родовищ північнозахідного 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 і густинної неоднорідності 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 (Кабанов и Беланов 2001; Кабанов и др. 2004), які зіставлено з системами розломів, що детально описані в розділі 4 (див. рис. 4).

Родовища Штормове і Архангельське та їхні структури-аналоги розташовані в субширотних розломах відомої Губкінсько-Донузлавської зони розломів (рис. 7). Виняток складає Одеське родовище, яке, імовірніше, 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, імовірніше, знаходиться в Губкінсько-Донузлавській широтній зоні. Водночас такі родовища, як

Голіцинське, Гордієвича, і структури Бортова, Міжводненьська локалізуються в зоні зчленування СЄП із СП, а структура Бортова розташована в крайовій частині Каркінітського прогину.



Рис. 7. Співвідношення родовищ вуглеводнів і структур, типізованих за ознаками їх проявів в потенціальних полях, і розломної тектоніки північнозахідного шельфу Чорного моря. Умовні позначення див. на рис. 4.

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.

Було 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 (Карта 2004). Для кожного родовища і структури було описано характерні риси полів: мінімуми, максимуми, градієнти, інтенсивність регіонального гравітаційного поля і простягання розломів, до яких вони тяжіють. Поєднання різних ознак прояву родовищ і структур в потенціальних полях створили дев'ять «типів», які так само були розглянуті на регіональному гравітаційному фоні (див. рис. 7).

Найрозповсюдженішим «типом» є поєднання мінімуму магнітного поля з максимумом гравітаційного (17 структур); градієнт магнітного і максимум гравітаційного (14 структур); мінімум обох полів (11 структур); максимум обох полів (11 структур); градієнт магнітного і мінімум гравітаційного (6 структур); мінімум магнітного і градієнт гравітаційного (6 структур); максимум магнітного і

мінімум гравітаційного (7 структур); градієнт обох полів (3 структури); максимум магнітного і градієнт гравітаційного (3 структури). Подвійним кольором показано структури, які мають різні співвідношення ознак регіонального магнітного поля і гравітаційного та локального магнітного і гравітаційного полів. Набір ознак, коли зустрічаються градієнти обох полів чи будь якого з них, свідчить про розташування структури чи родовища безпосередньо в зонах розломів. Таких структур виявилося 29. Мінімуми гравітаційного поля, якщо вони локальні і лінійні, як відомо, можуть вказувати на роздробленість порід в зонах розломів. В такій ситуації зафіксовано 24 структури. Дійсно, такі родовища тяжіють до розломів діагональної системи, або вузлів їх перетинання, а також до широтних розломів і зон розломів. В цих випадках таке положення підтверджується навіть морфологією структур і родовищ та їх простяганням.

Всі без винятку родовища і структури розташовані на сході від західної гілки Одеської зони розломів і різною мірою пов'язані з границею СЄП, з розломами, субпаралельними границі, та з вузлами їх перетину з північно-західними розломами.

Західна група структур і родовищ практично не корелює з північно-східними розломами системи границі СЄП. Ця група більш тісно пов'язана з широтними розломами Губкінсько-Донузлавської зони, до яких належать Безіменне родовище та структури: Губкіна Східна, Губкіна Центральна, Катран, Олімпійська і Крайова. Більшість з них фіксується градієнтами магнітного поля і максимумами гравітаційного.

Губкінсько-Донузлавська зона розломів як наскрізна на акваторії і в Криму концентрує різні типи родовищ і структур субширотного простягання. До неї належать Архангельське і Штормове родовища, Штильова структура (всі три фіксуються поєднанням магнітних максимумів і гравітаційних мінімумів), Кримське родовище (максимум, максимум), Прибойна (максимум, мінімум і регіональний магнітний градієнт) та Західна Крейдяна (градієнт, мінімум) структури і в межах Кримського півострова Краснополянське, Глібовське (все в магнітних гравітаційних мінімумах), Октябрьське родовище і Південнооктябрьська структура (магнітний мінімум і гравітаційний максимум). Наявність різних типів родовищ і структур в різних частинах цієї зони може бути зумовлена декількома причинами. По-перше, зона, ймовірно, була неодноразово активізована різною мірою і в різних структурах, які вона перетинає. По-друге, закладена на структурах різного складу кори, про що свідчить диференційованість інтенсивності магнітного поля, в тому числі і його регіональної компоненти. І, нарешті, низка родовищ і структур належить до вузлів перетину широтних розломів цієї зони з північно-східними розломами.

Найвиразнішим і найбільшим з таких вузлів є перетин Губкінсько-Донузлавської і Одеської зон розломів, який в магнітному полі фіксується позитивною регіональною аномалією інтенсивністю близько 200 нТл (сіра пунктирна лінія на рис. 7), ускладненою локальними ізометричними максимумами в південній частині [Старостенко и др. 2005]. Вона міститься в центрі так званої Одеської зони корової проникності, тобто «труби» дегазації глибоких горизонтів земної кори, в якій виділено канал вертикальної міграції глибинних метановміщувальних флюїдів (Лукін 2000; Кабанов и др. 2004; Старостенко и др. 2015). Магнітна неоднорідність земної кори може бути пов'язана з надходженням цих флюїдів крізь зону підвищеної проникності земної кори у вузлі перетину розломів, де відновлення мінералів заліза флюїдами призводить до утворення вторинного магнетиту (Кравченко и др. 2003). Якщо взяти до уваги слабку інтенсивність залишкового регіонального гравітаційного поля і те, що більшість газових родовищ України розташовані в областях магнітних максимумів (Орлюк 2005), то, дійсно, цей вузол можна розглядати як один з перспективних на пошуки вуглеводневих родовищ. На користь перспективності вузла перетину Губкінсько-Донузлавської і Одеської зон розломів вказують результати роботи (Корчин и Русаков, 2019), в якій автори вперше встановили просторовий зв'язок між зонами низьких швидкостей (ЗНШ), що виявлені сейсмічними дослідженнями на глибинах 6-16 км у кристалічній корі північно-західного шельфу Чорного моря (Баранова и др. 2011) і «трубою» дегазації, до якої тяжіють родовища вуглеводнів. Для порід ЗНШ характерні підвищені значення тріщинуватості й пористості та знижені густини, пружних параметрів і теплопровідності. Оскільки породи проникні й гігроскопічні, вони можуть більш вільно транспортувати, поглинати і локалізувати мантійні вуглеводневі флюїди, які так само додатково руйнують гірське середовище. Отже, ЗНШ слід розглядати як новий критерій пошуку термобаричних пасток вуглеводнів.

В підсумку, аналізуючи тектонічне розташування родовищ і структур, слід зазначити, що виділені раніше перспективні структури (Кабанов и Беланов 2001; Кабанов и др. 2004) пов'язані, насамперед, з північно-східною системою розломів границі СЄП та з вузлами їх перетину з північно-західними розломами, за винятком структури Іванівська II, що тяжіє до широтних розломів (див. рис. 7).

Таким чином, 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 прогнозного складу кори і густинної неоднорідності УЩ з поширенням родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису.

Система широтних зон розломів, яка яскраво проявляється в межах УЩ і ВПП, відіграє важливу роль в становленні сучасної структури всієї СЄП (Bogdanova et al. 2001). 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 (Гинтов 2004; Ентін 2005).

За даними 3D гравітаційного моделювання [Makarenko et al. 2006; Куприенко и др. 2007б, 2010] побудовано густинні розрізи земної кори в межах ВПП, УЩ і ДДЗ

(рис. 8), аналіз розподілу густини вздовж яких дав можливість прослідкувати поведінку широтних зон розломів в глибинній частині земної кори і виявити їх загальні закономірності.



Рис. 8. Схема зіставлення розташування родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису зі схемою типів кори УЩ. Рудні корисні копалини, за (Гошовський, 2003; Старостенко, Гинтов, 2013): 1-5 - гідротермальні (1 - ніобій; 2 - мідь; 3 - молібден, свинець, цинк; 4 уран; 5 – золото, срібло); 6, 7 – гідротермально-метасоматичні (6 – ніобій, тантал, рідкісні землі, цирконій; 7 – рідкісні землі, уран, апатит, скандій, ванадій); 8 – уранові родовища і рудопрояви; 9 – ураново-рудні поля; 10 – рудопрояви пегматитового типу; 11 – родовища літію; 12 – широтні зони разломів: Пн-Р – Північноратнівська, Пд-Р – Південноратнівська, П – Поліська, К-С – Ковельсько-Сарненська, Вл-В – Володимир-Волинська, Ан – Андрушівська, Хм – Хмельницька, См – Смілянська, С-М – Субботсько-Мошоринська, Д – Девладівська, Пд-Д – Південнодонбаська, В-К – Верхньокамишевахська, К – Конкська; 13 – розрахункові профілі поперек широтних зон розломів; 14 – напрямок падіння розломів за даними густинного моделювання; 15 - трансрегіональні тектонічні шви: Х-С - Херсон-Смоленськ, Д-Бр – Донецьк–Брянськ. Інші умовні позначення і скорочення див. на рис. 6.

Згідно з отриманими даними Південноратнівська, Поліська, Ковельсько-Сарненська, Андрушівська, Смілянська та Субботсько-Мошоринська широтні зони розломів мають північне падіння, а Південнодонбаська і Конкська – південне. Девладівська широтна зона розломів проявляється особливо: спостерігається нахил ії на північ і на південь на окремих ділянках, а також одночасне падіння її гілок в обидва напрямки [Старостенко и др. 2012].

Зв'язок родовищ і рудопроявів УЩ з розломною тектонікою фіксується багатьма дослідниками (Алехин и Гинтов, 2004; Гинтов 2005 та ін.). 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 (Алехин и Гинтов 2004; Старостенко и др. 2011). 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 [Старостенко и др. 2007]. 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 (Гошовський 2003; Старостенко и Гинтов 2013) зі схемою типів кори УЩ [Старостенко и др. 2012] (див. рис. 8).

Родовища ніобію, танталу, рідкісних земель, цирконію, золота і срібла (гідротермально-метасоматичного генезису) в межах Поліської широтної зони розломів сконцентровані в північній частині Волинського мегаблока УЩ та приурочені до гранітного, гранітно-діоритового та діоритового типів кори.

В районі Андрушівської широтної зони розломів родовища молібдену, свинцю, цинку, золота і срібла (гідротермального генезису) належать до базальтоїдного типу кори. Уздовж Девладівської широтної зони розломів більше всього родовищ гідротермального генезису сконцентровано в центральній і західній частинах Середньопридніпровського мегаблока УЩ. В першій родовища золота, срібла, міді, молібдену, свинцю, цинку пов'язані з гранітно-діоритовим і діоритовим типами кори. В другій родовища золота і срібла притаманні підтипу 1 базальтоїдного типу кори. В крайній західній частині Девладівської широтної зони, яка примикає до ГШЗ, родовища урану, апатиту, скандію, ванадію и рідкісних земель (гідротермально-метасоматичного генезису) належать до діоритового типу кори. У східній частині зони, в районі Приазовського мегаблока УЩ, родовища ніобію, танталу, цирконію, урану, апатитів, скандію, ванадію (гідротермальнометасоматичного генезису) та міді, золота, срібла (гідротермального генезису) також відносяться до діоритового типу кори.

Рідкоземельні метали, уран, апатит, скандій, ванадій спостерігаються практично по всьому Інгульському мегаблоку і відносяться до гранітно-діоритового і діоритового типів кори. Найбільше скупчення цих родовищ присутнє в трьох областях: у вузлі перетину Смілянської широтної зони розломів з Первомайською зоною розломів, Субботсько-Мошоринської з трансрегіональним тектонічним швом

Херсон–Смоленськ і в районі Кіровоградської зони розломів, на південь від Смілянської широтної зони (див. рис. 8).

Уранові родовища, урановорудні поля і рудопрояви приурочені до гранітнодіоритового і діоритового типів кори. Їх велика кількість зосереджена в двох областях. Перша розташована в північній частині Новоукраїнського масиву в районі Херсон–Смоленськ трансрегіонального тектонічного шва безпосередній В близькості від Субботсько-Мошоринської зони розломів. Друга спостерігається в межах Кіровоградської зони розломів і розташована між Бобринецькою і Субботсько-Мошоринською широтними зонами розломів. Менша кількість уранових рудопроявів зосереджена поблизу Смілянської широтної зони розломів в районі Звенигородсько-Братської та Кіровоградської зон розломів, а також в Первомайській [Старостенко и др. 2015б].

Родовища і рудопрояви концентруються навколо Субботсько-Мошоринської, Девладівської, Конкської, Південнодонбаської і Верхньокамишевахської широтних зон розломів і тяжіють до розломів земної кори, оскільки саме вони є головними провідниками магматичних розплавів, гідротерм, еманацій і рудних розчинів, а отже, найбільш проникними структурами, що зв'язують земну кору і мантію [Старостенко и др. 2007]. В Інгульському мегаблоці УЩ найбільше родовищ і рудопроявів знаходиться між Девладівською і Субботсько-Мошоринською широтними зонами розломів.

Більша частина родовищ і рудопроявів гідротермального і гідротермальнометасоматичного генезису УЩ приурочена до блоків гранітно-діоритового і діоритового типів кори, а менша тяжіє до блоків гранітного та базальтоїдного типів. Родовища і рудопрояви золота і срібла, а також рудопрояви пегматитів пов'язані з усіма типами кори.

#### ВИСНОВКИ

Представлена дисертаційна робота, основна частина якої присвячена вивченню густинної неоднорідності земної кори України і суміжних регіонів, є наступним кроком в гравіметричному вивченні великих територій, що враховує сучасний стан геофізичної науки – автоматизований комплекс інтерпретації потенціальних полів *GMT-Auto*, який 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.

Нове вирішення наукової проблеми, що полягає у виявленні густинної неоднорідності різноманітних структур земної кори України і суміжних регіонів досягнуто застосуванням сучасного програмного комплексу *GMT-Auto*, уніфікованою параметризацією геологічного середовища і єдиним рівнем прив'язки розрахункових полів. Деталізований об'ємний розподіл густини блоків земної кори, шарів, що їх складають, і зон розломів дали нову інформацію, а також значно доповнили сучасні уявлення про глибинну будову як окремих тектонічних структур, так і всього регіону загалом.

Основними результатами, отриманими автором у процесі роботи над дисертацією, є:

1. Реалізовано подальший розвиток методики і технології кількісної інтерпретації спостережного гравітаційного поля методом підбору в модифікаціях, застосованих для розвідувальних робіт, регіональних досліджень, або використання їх в комплексі.

2. Вперше отримано розподіл густини земної кори України і суміжних регіонів 3D гравітаційним моделюванням з використанням комплексу *GMT-Auto*, який істотно полегшує і прискорює процес інтерпретації гравітаційного поля і суттєво збільшує роздільну здатність і інтерпретаційні можливості об'ємного геологічного середовища.

3. Найважливішим результатом виконаного 3D гравітаційного моделювання є схеми розподілу густини земної кори України і суміжних регіонів на певних глибинах (поверхня фундаменту, 10, 20, 30 км, розділ Мохо). 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, гранітнодіоритовий, 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 УЩ змінюється з заходу на схід, відповідно, від підтипу 1 базальтоїдного типу до діоритового. В ДДЗ основність кори збільшується з північного заходу на південний схід відповідно до сегментації структури. Основність кори СЧЗ більша за ЗЧЗ. 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.

4. Побудовано 3D гравітаційні моделі земної кори різного масштабу з подальшою геологічною інтерпретацією як тектонічних регіонів, так і окремих структур. Використання результатів моделювання у вигляді розподілу густини в земній корі разом з магнітними, швидкісними, температурними та іншими моделями підвищує надійність визначення особливостей будови земної кори.

- Для ДДЗ і Донбасу підтверджено наявність осьового ущільнення в їх центральних частинах. Вперше в консолідованій корі ДДЗ за характером редукованого за вплив осадових порід гравітаційного поля, морфологією магнітного поля і особливостями глибинної будови виділено Чернігівський, Лохвицький, Ізюмський і Донбаський сегменти. У прибортових зонах ДДЗ оконтурено зони розущільнення на різних поверхах консолідованої кори, які є одним з головних ознак нафтогазоносності в кристалічному фундаменті. Побудовано схему поширення і потужності коромантійної суміші, яка відображає ступінь перетворення порід на границі кора-мантія і вплив мантійних флюїдів.
- В Інгульському мегаблоці УЩ земна кора Корсунь-Шевченківського, Шполянського масивів рапаківівидних гранітів і Новоукраїнського масиву

трахітоїдних гранітів розділена на два шари зі стрибком густини на глибинах 12 і 17 км відповідно. У верхньому шарі залягають розущільнені породи, а в нижньому – ущільнені. Земна кора Корсунь-Новомиргородського плутону розділена трансрегіональним тектонічним швом Херсон–Смоленськ на західну і східну частини. В першій присутні три стрибки густини на глибинах 2, 5 і 12 км, а в другій – тільки на глибині 12 км. Деталізовано розподіл густини за глибиною і по площі в масивах гранітоїдів і габроанортозитів.

- Для центральної частини Голованівської шовної зони УЩ підтверджено блокову будову верхнього шару земної кори. З'ясовано, що з поверхні до глибини 20 км ГШЗ за своєю будовою ділиться на центральну, східну і західну частини: центральна, що відповідає більшій частині зони, представлена породами, густина яких значно вище, ніж в західній і особливо в східній. Наявність значно розущільнених порід у східній і північній частинах зони до глибини 10 км засвідчує перебіг тут у минулому процесів гранітизації. Отримано розподіл густини в земній корі локальних структур з аномально високою густиною на поверхні фундаменту (габро, амфіболіти, залізисті кварцити, кристалосланці та гнейси гранат-біотитові). За попередніми даними ці структури простежуються до глибини 3–5 км.
- Для Чорноморської мегазападини і прилеглих територій за даними 3D гравітаційного моделювання вперше побудовано схеми розподілу густини на покрівлі палеоцен-еоценових і крейдяних відкладів та з'ясовано, що густина зазнає змін як по площі, так і з глибиною. Побудовано схему поширення і глибин залягання підошви дислокованих відкладів, а також розраховано густину на цій поверхні. Проаналізовано густинну неоднорідність у верхньому шарі кристалічної кори, а також на покрівлі і підошві нижнього шару. Уточнено області відсутності «гранітного» шару в 3ЧЗ і СЧЗ.

5. Завдяки використанню принципово нового комплексу потенціальних полів (залишкового гравітаційного, звільненого від впливу товщі води і осадового шару, та аномального магнітного) виділено розломи консолідованої кори північнозахідного і північно-східного шельфів Чорного моря. Отримано 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. На північно-західному шельфі Чорного моря визначено сучасне положення південної границі СЄП, окремі ділянки якої ешелоновано зміщені на південний схід.

6. Вперше для північно-західного шельфу Чорного моря виконано аналіз розміщення структур-аналогів відомих родовищ (Голіцинського, Архангельського, Одеського, Штормового) відносно різних систем розломів та типізацію родовищ вуглеводнів і структур за ознаками їх проявів в потенціальних полях. Більшість родовищ і структур контролюється системами розломів, які пов'язані з границею СЄП і Губкінсько-Донузлавською зоною розломів, і вузлами їх перетинів.

7. Простежено зміну густинної неоднорідності земної кори в напрямку західсхід і північ-південь за широтними зонами розломів УЩ. Згідно з одержаними даними, Південноратнівська, Поліська, Ковельсько-Сарненська, Андрушівська, Смілянська і Суботсько-Мошоринська широтні зони розломів мають північне падіння, а Південнодонбаська і Конкська – південне.

райони родовищ і рудопроявів 8. З'ясовано, що гідротермального i гідротермально-метасоматичного генезису концентрується поблизу широтних зон Субботсько-Мошоринська, розломів Девладівська, УЩ, як-от Конкська. Південнодонбаська і Верхньокамишевахська. В Інгульському мегаблоці найбільше родовищ і рудопроявів сконцентровані між Бобринецькою і Субботсько-Мошоринською широтними зонами розломів, тяжіють Первомайської, ДО Звенигородсько-Братської, Кіровоградської, Криворізько-Кременчуцької 30H розломів і розташовані на захід від трансрегіонального тектонічного шва Херсон-Смоленськ.

9. Зіставлення схеми типів кори і її густинної неоднорідності з областями поширення родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермального і гідротермально-метасоматичного генезису УЩ продемонструвало, 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.

# СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

# Монографії

- 1. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, **Макаренко ИБ**, Легостаева ОВ, Савченко АС (2013) Плотностная модель. В: Старостенко ВИ, Гинтов ОБ (ред) Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Прастыи луды, Киев, с 109–133
- 2. Старостенко ВИ, Русаков ОМ, Пашкевич ИК, Кутас РИ, Орлюк МИ, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Максимчук ПЯ, Козленко ЮВ, Козленко МВ, Легостаева ОВ, Лебедь ТВ, Савченко АС (2015) Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Галактика, Киев
- 3. Пашкевич ИК, Куприенко ПЯ, **Макаренко ИБ**, Савченко АС (2018) Геодинамика Днепровско-Донецкой впадины. В: Старостенко ВИ, Гинтов ОБ (ред) Очерки геодинамики Украины. ВІ ЕН ЕЙ, Киев, с 310–323

# Статті в наукових виданнях

1. Бурьянов ВБ, Макаренко ИБ, Оровецкий ЮП, Старостенко ВИ (1998) Геологическая природа Крымско-Кавказской аномальной зоны. Геофизический журнал 20(6): 45–53

- 2. Оровецкий ЮП, Бурьянов ВБ, **Макаренко ИБ**, Старостенко ВИ (1998) Геологическая природа «пунктирных» гравитационных аномалий и тектоническая модель Черноморья. Доповіді НАН України 11:130–135
- 3. Бурьянов ВБ, Легостаева ОВ, Макаренко ИБ, Оровецкий ЮП, Старостенко ВИ (1999а) Геологическая природа Радиальной и Губкинской гравитационных аномалий Западного Черноморья. Геофизический журнал 21(1):95–106
- 4. Бурьянов ВБ, Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (1999б) Восточная часть Днепровско-Донецкой впадины и Донбасс: новая плотностная модель земной коры. Геофизический журнал 21(4):20–39
- 5. Старостенко ВИ, Коболев ВП, Оровецкий ЮП, Бурьянов ВБ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ (2000) Глубинное строение и геологическая природа Черноморской впадины. В: Шнюков ЕФ (ред) Геология Черного и Азовского морей. ГНОЗІС, Киев, с 175–184
- Makarenko I, Legostaeva O, Bielik M, Starostenko V, Dererova J, Sefara J (2002) 3D gravity effect of the sedimentary complexes in the Carpathian-Pannonian region. Geologia Carpathica, Special issue, September 53 (CD)
- 7. Старостенко ВИ, **Макаренко ИБ**, Русаков ОМ, Легостаева ОВ (2003) Плотность осадочных комплексов Черного моря. Геофизический журнал 25(2):54–69
- 8. Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (2003) Строение земной коры Коростенского плутона (северная часть Украинского щита) по результатам трехмерного плотностного моделирования. Доповіді НАН України 11:113–120
- Старостенко ВИ Легостаева ОВ, Макаренко ИБ, Павлюк ЕВ, Шарыпанов ВМ (2004а) Об автоматизированном вводе в компьютер изображений геологогеофизических карт с разрывами первого рода и визуализации в интерактивном режиме трехмерных геофизических моделей и их полей. Геофизический журнал 26(1):3–13
- 10. Старостенко ВИ, Легостаева ОВ, **Макаренко ИБ** (2004б) ВМ Новоселицкий и задача для пласта. Горное эхо (Вестник Горного Института) 4(18):51–56
- 11. Bogdanova SV, Pashkevich IK, Buryanov VB, **Makarenko IB**, Orlyuk MI, Skobelev VM, Starostenko VI, Legostaeva OV (2004) The 1.8-1.74 Ga anorthosite-rapakivi granite Korosten Pluton in the NW Ukrainian Shield: a 3-D geophysical reconstruction of the deep crustal structure. Tectonophysics 381:5–27
- 12. Bielik M, **Makarenko I**, Legostaeva O, Starostenko V, Dérerova J, Šefara J (2004) Stripped gravity map of the Carpathian–Pannonian Basin region. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik 31:107–114
- 13. Старостенко ВИ, Пашкевич ИК, **Макаренко ИБ**, Русаков ОМ, Кутас РИ, Легостаева ОВ (2005) Разломная тектоника консолидированной коры северозападного шельфа Черного моря. Геофизический журнал 27(2):195–207
- Bielik M, Makarenko I, Starostenko V, Legostaeva O, Dererova J, Shefara J, Pasteka R (2005) New 3D gravity modeling In the Carpathian-Pannonian basin region. Contributions of Geophysics and Geodesy 35(1):65–78
- 15. Bogdanova Svetlana, Gorbatschev R, Grad M, Guterch A, Janik T, Kozlovskaya E, Motuza G, Skridlaite G, Starostenko V, Taran L, Astapenko VN, Belinsky AA, Garetsky RG, Karatayev GI, Terletsky VV, Zlotski G, Jensen SL, Knudsen ME,

Thybo H, Sand R, Komminaho Luosto U, Tiira T, Yliniemi J, Giese R, Makris J, Cecys A, Jacyna J, Korabliova L, Nasedkin V, Rimsa A, Seckus R, Czuba W, Gaczynski E, Sroda P, Wilde-Piorko M, Bibikova E, Claesson S, Elming S-A, Lund C-E, Mansfeld J, Page L, Sundblad K, Doody JJ, Downes H, Buryanov VB, Egorova TP, Il'chenko TV, Kharitonov OM, Lysynchuk DV, Legostayeva OV, **Makarenko IB**, Omel'chenko VD, Orlyuk MI, Pashkevich IK, Skobelev VM, Stepanyuk L M, Keller GR, Miller KC (2006) EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In: Gee DG, Stephenson RA (eds) European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London, Memoirs 32, p 599–625. doi: 0435-4052/06/\$15.00

- 16. **Makarenko IB**, Kuprienko PYa, Starostenko VI, Legostaeva OV (2006) Density heterogeneities of the consolidated crust and main latitudinal zones of the north part of Volhyno-Podolian plate. Геофизический журнал 28(6):141–143
- 17. Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (2007а) Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Ингульского мегаблока Украинского щита. Геофизический журнал 29(2):17–41
- 18. Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (2007б) Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита. Геофизический журнал 29(5):28–39
- 19. Старостенко ВИ, Гинтов ОБ, Пашкевич ИК, Бурахович ТК, Кулик СН, Куприенко ПЯ, Кутас РИ, Макаренко ИБ, Орлюк МИ, Цветкова ТА (2007) Металлогения Украинского щита: закономерности размещения месторождений рудных полезных ископаемых, связь с глубинным строением и динамикой литосферы. Геофизический журнал 29(6):3–31
- 20. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ (2008) Плотностная модель земной коры вдоль профиля DOBRE. Геофизический журнал 30(1):28–41
- 21. Szalaiová E, Bielik M, Makarenko I, Legostaeva O, Hók J, Starostenko V, Šujan M, Šefara J (2008) Calculation of a stripped gravity map with a high degree of accuracy: a case study of Liptovská Kotlina Basin (Northern Slovakia). Geological Quarterly 52(2:103–114
- 22. Старостенко ВИ, **Макаренко ИБ**, Русаков ОМ, Пашкевич ИК, Кутас РИ, Легостаева ОВ (2010) Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря. Геофизический журнал 32(5):3–20. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i5.2010.117496
- 23. Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ, Савченко АС (2010) Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. Геофизический журнал 32(6):175–214. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i6.2010.117461
- 24. Старостенко ВИ, Шарыпанов ВМ, Савченко АС, Легостаева ОВ, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ (2011) Об автоматизированной интерактивной обработке геофизических изображений геологических и геофизических объектов. Геофизический журнал 33(1):54–61. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i1.2011.117325

- 25. Старостенко ВІ, Крупський БЛ, Пашкевич ІК, Русаков ОМ, Макаренко ІБ, Кутас РІ, Гладун ВВ, Легостаєва ОВ, Лебідь ТВ (2011) Розломна тектоніка і перспективи нафтогазоносності українського сектора північно-східної частини Чорного моря. Нафтова і газова промисловість 1:7–10
- 26. Starostenko VI, Krupskyi BL, Pashkevich IK, Rusakov OM, **Makarenko IB**, Kutas RI, Gladun VV, Legostaeva OV, Lebed TV, Maksymchuk PYa (2011) Fault Tectonics of the NE Black Sea Shelf and Its Relevance to Hydrocarbon Potential. Search and Discovert Article 30155 (2011), Posted March 25
- 27. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Савченко АС (2012) Плотностная неоднородность земной коры вдоль широтных зон разломов Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. Геофизический журнал 34(6):113–132. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v34i6.2012.116718
- 28. Krajnak Martin, Bielik Miroslav, **Makarenko Irina**, Legostaeva Olga, Starostenko Vitaly I, Bosansky Marian (2012) The first stripped gravity map of the Turcianska Kotlina Basin. Contributions to Geophysics and Geodesy 42(2):181–199
- 29. Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Савченко АС (2013а) Средняя плотность земной коры Кировоградского рудного района и слагающих его структур (центральная часть Украинского щита). Доповіді НАН України 11:103–108
- 30. Куприенко ПЯ, **Макаренко ИБ**, Савченко АС (2013б) Листрические разломы и их взаимосвязь с кольцевыми структурами на Украинском щите. Геодинаміка 2(15):45–47
- 31. Bielik Miroslav, Krajňák Martin, Makarenko Irina, Legostaeva Olga, Starostenko Vitaly, Bošanský Marian, Grinč Michal, Hok Jozef (2013) 3D gravity interpretation of the pre-Tertiary basement in the intramontane depressions of the Western Carpathians: a case study from the Turies Basin. Geologica Carpathica 64(5):399–408. doi: 10.2478/geoca-2013-0027
- 32. Старостенко ВИ, Легостаева ОВ, Макаренко ИБ, Савченко АС (2015а) Комплекс программ автоматизированной интерпретации данных потенциальных полей (GMT-auto). Геофизический журнал 37(1):42–52 doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111322
- 33. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Савченко АС, Легостаева ОВ (2015б) Плотностная неоднородность земной коры Ингульского мегаблока Украинского щита по данным трехмерного гравитационного моделирования. Геофизический журнал 37(3):3–21. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111089
- 34. Starostenko VI, Rusakov OM, Pashkevich IK, Kutas RI, **Makarenko IB**, Legostaeva OV, Lebed TV, Savchenko AS (2015) Heterogeneous structure of the lithosphere in the Black Sea from a multidisciplinary analysis of geophysical fields. Геофизический журнал 37(2):3–28. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111298
- 35. Старостенко ВИ, Шарыпанов ВМ, Шарыпанов АВ, Савченко АС, Легостаева ОВ, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ (2016) Интерактивный программный комплекс Isohypse для построения трехмерных геолого-геофизических моделей

и его практическое использование. Геофизический журнал 38(1):30-42. doi: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107720

- 36. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Савченко АС, Легостаева ОВ (2017а) Состав земной коры Ингульского мегаблока Украинского щита (типы коры) и закономерности размещения месторождений рудных полезных ископаемых. Геофизический журнал 39(5):27–46. doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i5.2017.112338
- 37. Старостенко ВИ, Пашкевич ИК, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Савченко АС (2017б) Геодинамическая интерпретация геолого-геофизической неоднородности литосферы Днепровско-Донецкой впадины. Доповіді НАН України 9:84–94. doi: https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084
- 38. Старостенко ВИ, Пашкевич ИК, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Савченко АС (2017в) Неоднородность литосферы Днепровско-Донецкой впадины и ее геодинамические следствия. І. Глубинное строение. Геодинаміка 1(22):125–138. https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.125
- 39. Старостенко ВИ, Пашкевич ИК, Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Савченко АС (2017г) Неоднородность литосферы Днепровско-Донецкой впадины и ее геодинамические следствия. П. Геодинамическая нтерпретация. Геодинаміка 2(23):83–103. https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.083
- 40. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Савченко АС, Легостаева ОВ (2018) Трехмерная плотностная модель земной коры центральной части Голованевской шовной зоны Украинского щита. Геофизический журнал 40(3):27–53. doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137172
- 41. Bielik Miroslav, **Makarenko Irina**, Csicsay Kristian, Legostaeva Olga, Starostenko Vitaly, Savchenko Aleksandra, Simonova Barbora, Dererova Jana, Fojtikova Lucia, Pasteka Roman, Vozar Jozef (2018) The refined Moho depth map in the Carpathian-Pannonian region. Contributions to Geophysics and Geodesy 48(2):179–190. doi: 10.2478/congeo-2018-0007

#### Тези доповідей і матеріали конференцій

- 1. Бурьянов ВБ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Оровецкий ЮП, Старостенко ВИ (1998) Интерпретация гравитационного поля Черноморской впадины и некоторых ее локальных структур. В: Тезисы докладов 25-й сессии международной конференции-семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», Ухта, Россия, 29 января–3 февраля 1998
- 2. **Makarenko IB**, Buryanov VB, Orovetsky YuP, Starostenko VI, Legostaeva OV (1999) Black Sea Basin: gravity field and crustal structure. In: Book of Abstracts, II Balkan Geophysical Congress and Exhibition, Istanbul, Turkey, 5–9 July 1999
- Buryanov VB, Makarenko IB, Orovetsky YP, Starostenko VI, Legostaeva OV (1999)
  3-D analysis of the gravity field of the NW Black Sea and the adjacent land (Dobrogea). In: Dobrogea – the interface between the Carpathians and the Trans-

European Zone. Proceedings of Joint Meeting EUROPROBE TESZ, PANCARDI and GEORIFT PROJECTS, Tulcea, Romania, 25 September–6 October 1999.

- Makarenko IB, Buryanov VB, Orovetsky YP, Starostenko VI, Legostaeva OV (2000) An analysis of positive gravity anomalies of the Black Sea periphery. In: Book of Abstracts, International Geophysical Conference & Exposition, Bucharest, Romania, 10–14 April 2000
- 5. Бурьянов ВБ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Старостенко ВИ, Русаков ОМ (2001) Методика изучения земной коры акваторий с большой мощностью осадочной толщи 3-Д гравитационным моделированием (на примере северозападного шельфа Черного моря). В: Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей, Тезисы докладов 28-й сессии международной конференции-семинара им. Д. Г. Успенского, ОИФЗ, Москва, 2001
- 6. Buryanov VB, **Makarenko IB**, Starostenko VI, Legostaeva OV (2001) Structure of the Earth's crust of the Korosten Pluton (the northern part of the Ukrainian Shield) based on 3-D gravity modelling. In: Abstracts of a joint meeting of the EUROBRIDGE and SVEKALAPKO projects on «Archean and Proterozoic Plate Tectonics: Geological and Geophysical Records», VSEGEI, St.-Petersburg, 1–3 November 2001
- Старостенко ВИ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Русаков ОМ, Пиповаров ВЛ (2002) Плотностные свойства осадочной толщи Черноморской впадины. В: Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона. Тезисы докладов IV Международной конференции «Крым-2002», Симферополь, 2002
- Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ, Красовский АС (2006) Глубинное строение центральной части Украинского щита по данным трехмерного гравитационного моделирования. В: Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 33-й сессии Международного семинара им. Д.Г.Успенского, Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, 30 января–3 февраля 2006
- 9. **Makarenko I**, Pashkevich I, Starostenko V, Legostaeva O, Rusakov O, Kutas R, Stovba S (2006) Crust fault systems on the NW shelf of the Black Sea from potential fields and other geophysical data: tectonic implications. In: WIGFR 2006, Proceedings of 2-nd Workshop on International Gravity Field Research, Smolenice, Slovk Republic, 8–9 May, 2006
- 10. Старостенко ВИ, Русаков ОМ, Макаренко ИБ, Пашкевич ИК, Кутас РИ, Легостаева ОВ (2007) Строение литосферы Черного моря по геофизическим данным. В: Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины. Тезисы докладов VII международной конференции Украины «Крым–2007», Симферополь, 2007
- 11. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ (2008) Распределение плотности в земной коре в сечении профиля ГСЗ DOBRE. В: Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 35-й сессии

Международного семинара им. Д.Г.Успенского, УГТУ, Ухта, 28 января–2 февраля 2008

- 12. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Савченко АС (2008) Основные типы земной коры Украинского щита по результатам оценки вклада каждого вещественного слоя в полную мощность коры. В: Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Материалы XIV Международной конференции, ч.П, Петрозаводск, 27–31 октября 2008
- Bogdanova SV, Starostenko VI, Gintov OB, Pashkevich IK, Kuprienko PYo, Kutas RI, Makarenko IB, Tsvetkova TA (2008) Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of western Sarmatia. In: Geophysical Research Abstracts, vol.10, EGU General Assembly, CD-ROM, Vienna, Austria, 13–18 April, 2008
- 14. Пашкевич ИК, Макаренко ИБ, Русаков ОМ, Старостенко ВИ, Кутас РИ, консолидированной Разломная тектоника Легостаева OB (2009)коры Керченско-Таманского прогиба Черного моря данным по анализа потенциальных полей. В: Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Тезисы докладов VIII международной конференции «Крым-2009», Ялта, 14–18 сентября 2009
- 15. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, Макаренко ИБ, Легостаева ОВ, Савченко АС (2010) Основные типы земной коры Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса по данным трехмерного гравитационного моделирования. В: Свойства, структура, динамика и минералогения литосферы Восточно-Европейской платформы, Материалы XVI международной конференции, Том.2, Воронеж, 2–24 сентября 2010
- 16. Starostenko V, Kuprienko P, Makarenko I, Legostaeva O, Savchenko A (2010) Variations in the crustal types of the Dnieper-Donets Basin and surrounding areas from 3D gravity modeling. In: Geodynamical Phenomena: From Observations and Experiments to Theory and Modelling. Proceedings of International Conference, Kiev, Ukraine, September 20–24, 2010
- 17. Starostenko VI, Krupskyi BL, Pashkevich IK, Rusakov OM, **Makarenko IB**, Kutas RI, Gladun VV, Legostaeva OV, Lebed TV, Maksymchuk PYa (2010) Fault tectonics of the NE Black Sea shelf and its relevance to hydrocarbon potential. In: AAPG European Region Annual Conference and Exhibition, CD-ROM. Kiev, Ukraine, 17–19 October 2010
- 18. Макаренко ИБ, Пашкевич ИК, Русаков ОМ, Старостенко ВИ, Кутас РИ, Легостаева ОВ, Лебедь ТВ (2012) Газоносность северо-западного шельфа Черного моря, системы разломов и особенности потенциальных полей. В: Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Тезисы докладов Х Международной конференции «Крым-2012», Ялта, 9–14 сентября 2012
- 19. Старостенко ВИ, Куприенко ПЯ, **Макаренко ИБ**, Легостаева ОВ, Савченко АС, Надежка ЛИ, Золототрубова ЭИ, Ипполитов ОМ (2013) Основные типы земной коры Украинского щита и Воронежского кристаллического массива по результатам трехмерного гравитационного моделирования. В: Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и

электрических полей. Материалы 40-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г.Успенского, ИФЗ РАН, Москва, 28 января–1 февраля 2013

- 20. Srebrov B, Pashova L, Orlyuk M, **Makarenko I**, Marchenko A, Savchenko A (2014) Gravity and geomagnetic data for studying geological structures and geodynamical processes in the Black Sea region. In: GEOSCIENCES 2014, Sofia, 11–12 December 2014
- 21. Starostenko V, Legostaeva O, Makarenko I, Savchenko A, Kuprienko P (2015) Automated software system for interpretation of the potential fields (GMT-Auto). In: 7<sup>th</sup> BgGS National Conference With International Participation "GEOPHYSICS 2015", CD-ROM, Sofia, May 20–23 2015
- 22. Bielik Miroslav, Grinc Michal, Zeyen Ytrmann, Starostenko Vitalij, **Makarenko Irina**, Legostaeva Olga, Bosansky Marian, Krajnak Martin, Pasteka Roman, Dererova Jana, Hlavnova Petra (2015) Intergrated interpretation of gravity field: case studies from Western Carpathians and Central Europe. In: 11<sup>th</sup> Slovak Geophysical Conference, Bratislava, Slovak Republic, 8–9 September 2015
- 23. Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Савченко АС, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (2018) Плотностная неоднородность земной коры вдоль широтных зон разломов Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. В: Геологія і корисні копалини України. Тези доповідей конференції, Київ, 2–4 жовтня 2018
- 24. Макаренко ИБ, Куприенко ПЯ, Савченко АС, Старостенко ВИ, Легостаева ОВ (2019)Плотностная неоднородность осадочной толщи Черноморской трехмерного мегавпадины прилегающих территорий И ПО данным гравитационного моделирования. В: Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Сборник научных трудов, ГИ УрО РАН, ПГНИУ, Пермь, 20–26 января. 2019

# АНОТАЦІЯ

*Макаренко І.Б.* Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за даними 3D гравітаційного моделювання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103 – Науки про Землю). – Інститут геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота виконана з метою вивчення неоднорідності земної кори України і суміжних регіонів на основі детальних 3D гравітаційних моделей окремих тектонічних областей розраховані структур. Вони при використанні i автоматизованого комплексу інтерпретації потенціальних полів GMT-Auto, за допомогою якого можливо одночасно вирішувати завдання як локального, так і регіонального характеру. Принципова особливість побудованих моделей полягає в тому, що вони дозволили отримати суттєво нову інформацію про деталізований розподіл уніфікованої густини за глибиною і по площі в блоках земної кори, шарах, що їх складають, і зонах розломів. Зокрема, вперше складено схеми потужності «гранітного», «діоритового» і «базальтового» шарів.

Неоднорідність сучасної консолідованої кори регіону в цілому характеризують гранітний, гранітно-діоритовий, діоритовий і базальтоїдний типи кори. Вперше виділений тип кори, який характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шарів при відсутності або дуже малій потужності «діоритового».

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 отримано 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.

Ключові слова: 3D гравітаційне моделювання, земна кора Україна та суміжних регіонів, густина, «гранітний», «діоритовий» та «базальтовий» шари, типи консолідованої земної кори, розломна тектоніка

#### SUMMARY

Makarenko I.B. Heterogeneity of the Earth's crust of Ukraine and adjacent regions inferred from 3-D gravity modelling. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript. Thesis for a doctoral degree in geological sciences, specialty 04.00.22 – geophysics (103 – Earth Sciences). – S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of

Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is designed to study the heterogeneity of the Earth's crust of Ukraine and adjacent regions based on detailed 3D gravity models of separate tectonic regions. They were calculated using the automated program complex GMT-Auto for the interpretation of potential fields. Essentially new information has been obtained on the detailed 3D distribution of unified density in the crustal blocks, the layers that compose them, and fault zones.

The heterogeneity of the present-day consolidated crust of the whole study area is characterized by granitic, granitic-dioritic, dioritic and basaltoid types. For the first time, the type of the crust has been distinguished that is characterized by the presence of a "basaltic" and "granite" layers in it (with absence or very low thickness of the "diorite" layer).

In using a fundamentally new set of potential fields (residual gravity, obtained by removing the gravity effect of water and sedimentary layers, and anomalous magnetic field) new information has been obtained on the fault systems of the consolidated crust for the north-western and north-eastern shelves of the Black Sea. It demonstrates the relationship between the faults, their influence on the formation of the main structures of the sedimentary cover, to which, especially in the areas of intersection of faults, hydrocarbon deposits are confined.

**Key words**: 3D gravity modelling, Earth's crust of Ukraine and adjacent regions, density, "granite", "diorite" and "basalt" layers, types of consolidated crust, fault tectonics

# АННОТАЦИЯ

*Макаренко И.Б.* Неоднородность земной коры Украины и смежных регионов по данным 3D гравитационного моделирования. – Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени доктора геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика (103 – Науки о Земле). – Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, 2019.

Диссертационная работа выполнена целью изучения С плотностной неоднородности земной коры Украины и смежных территорий на основе детальных 3D гравитационных моделей отдельных тектонических регионов, рассчитанных при использовании комплекса автоматизированной интерпретации потенциальных полей GMT-Auto, который позволяет по заданным полям строить трехмерные модели с непрерывным распределением в них физических параметров. Это дает проанализировать поля более детально полно, возможность И поскольку приближение расчетного поля к модельному в большой мере зависит от аппроксимации среды в модели.

В методологическом плане диссертационная работа представляет собой дальнейшее развитие распространенного способа количественной интерпретации гравитационного поля, который выполняется с помощью метода подбора в разведывательных модификациях, применяемых для работ. региональных исследований или их в комплексе. В настоящее время метод подбора в объемном современного специализированного варианте применением программного с обеспечения GMT-Auto трансформировался комплекса технически В 3D гравитационное моделирование, которое делает возможным решение сложных геологических задач.

Фундамент диссертационной работы составили 3D гравитационные модели земной коры разного масштаба следующих тектонических регионов и отдельных структур: Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) и Донбасса, Украинского щита (УЩ) (Ингульский мегаблок, Голованевская шовная зона, широтные зоны разломов), Черноморской мегавпадины (глубоководная часть, северо-западный и северо-восточный шельфы) и прилегающих территорий.

Построены схемы распределения плотности в объеме земной коры Украины и сопредельных регионов на определенных глубинах (поверхность фундамента, 10, 20, 30 км, раздел Мохо). Вычислены мощности условно выделенных «гранитного», «диоритового», «базальтового» слоев земной коры и коромантийной смеси для всего региона исследования, которые в графическом виде представлены изолиниями на соответствующих схемах.

Полученная плотностная неоднородность стала основой для построения схемы прогнозного состава земной коры с типизацией по соотношению мощностей составляющих ее слоев. Неоднородность современной консолидированной коры региона в целом характеризуют гранитный, гранитно-диоритовый, диоритовый и базальтоидный типы коры. Чтобы четко зафиксировать расчленение нижнего слоя коры, который по классификации методом ГСЗ считается нераздельным, базальтоидний тип разделен на три подтипа. Подтип 1 с содержанием в нем базальта 40-70 %, подтип 2, в котором его количество увеличивается до 70-90 % и подтип 3, который полностью состоит из базальта.

Установлено, что основность земной коры УЩ изменяется с запада на восток, соответственно, от базальтоидного к диоритовому типу. В ДДВ основность коры увеличивается с северо-запада на юго-восток, подчиняясь сегментации структуры. В Черноморской мегавпадине и прилегающих территориях преобладает базальтоидный тип коры. Впервые выделен тип коры, который характеризуется присутствием в разрезе «базальтового» и «гранитного» слоев (при нулевой или очень малой мощности «диоритового»). Подобный тип коры присутствует в Ингульском мегаблоке УЩ, в северной бортовой зоне ДДВ, а также в Черноморской мегавпадине.

Согласно полученным данным, Южно-Ратновская, Полесская, Ковельско-Сарненская, Андрушевская, Смелянская и Субботско-Мошоринская широтные зоны разломов имеют северное падение, а Южно-Донбасская и Конкская – южное.

Путем общего анализа остаточного гравитационного, освобожденного от влияния толщи воды и осадочного слоя, и аномального магнитного полей для северо-западного и северо-восточного шельфов Черного моря получена новая информация о системах разломов консолидированной коры, их соотношении между собой и влиянии на формирование основных структур осадочного чехла, к которым, узлам пересечения разломов, приурочены месторождения И особенно к углеводородов. На северо-западном шельфе определено современное положение южной границы Восточно-Европейской платформы (ВЕП), отдельные участки которой эшелонированно смещены на юго-восток. Сделан вывод о том, что разрывные нарушения осадочного чехла имеют тесную связь с разломами кристаллического фундамента, которые играют решающую роль при вертикальной транспортировке глубинных флюидов с углеводородами.

Для северо-западного шельфа Черного моря впервые выполнен анализ размещения структур-аналогов известных месторождений (Голицынского, Архангельского, Одесского, Штормового) и разных систем разломов, а также типизация месторождений углеводородов и структур по признакам их проявления в потенциальных полях. Выяснено, что большинство месторождений и структур контролируется системами разломов, связанными с границей ВЕП и Губкинско-Донузлавской зоной разломов, и узлами их пересечения.

Для УЩ выполнено сопоставления областей распространения месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых гидротермального и гидротермальнометасоматического генезиса со схемой типов коры. Выяснено, что большая часть месторождений и рудопроявлений приурочена к блокам гранитно-диоритового и диоритового типов коры, а меньшая тяготеет к блокам гранитного и базальтоидного типов. Месторождения и рудопроявления золота и серебра, а также рудопроявлення пегматитов связанны со всеми типами коры.

Ключевые слова: 3D гравитационное моделирование, земная кора Украины и смежных регионов, плотность, «гранитный», «диоритовый» и «базальтовый» слои, типы консолидированной земной коры, разломная тектоника