

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

КУШНІР Антон Миколайович

УДК 550.372/373+551.24.055

**ГЕОЕЛЕКТРИЧНІ НЕОДНОРІДНОСТІ ЗЕМНОЇ КОРИ ТА ВЕРХНЬОЇ
МАНТІЇ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

04.00.22 – геофізика
103 – Науки про Землю

АВТОРЕФЕРАТ

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 геологічних наук, професор,
Бурахович Тетяна Костянтинівна
головний науковий співробітник
Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук,
Красножон Михайло Дмитрович
заступник директора з наукових питань
Український державний геологорозвідувальний
інститут

доктор геологічних наук,
старший науковий співробітник,
Тяпкін Олег Костянтинович
професор кафедри геофізичних методів розвідки
Національний технічний університет «Дніпровська
політехніка»

доктор геологічних наук,
Меньшов Олександр Ігоревич
старший науковий співробітник НДЛ «Теоретична і
прикладна геофізика» ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса
Шевченка

Захист відбудеться «15» жовтня 2019 року о 14.00 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 «12» вересня 2019 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради Д 26.200.01
доктор геологічних наук


М. І. Орлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вивчення земних надр геолого-геофізичними методами дає основу для з'ясування фундаментальних питань флюїдного режиму та дегазації Землі. Насамперед вони стосуються розуміння формування та проникнення у земну кору глибинних високотемпературних флюїдів – важливого джерела для всіх наступних процесів формування вуглець-, сульфід- і залізовмісних метасоматитів, а також утворення рудних і нафтогазових родовищ. Флюїди проникають крізь літосферу по дренуючим глибинним зонам високої проникності, які часто відповідають глибинним розломам.

Дослідження показують, що області зчленування різного типу тектонічних плит (океанських і континентальних, або внутрішньоконтинентальних) характеризуються електропровідними структурами. Природа таких глибинних регіональних аномалій не обов'язково пояснюється частковим плавленням, вони можуть бути результатом транспортування флюїдів і, відповідно, рудних компонентів з кори і мантії при тектономагматичній активізації. Водень і вуглець в земній корі та верхній мантії можуть переміщатися в зонах контакту різновікових геологічних утворень, спричиняючи у такий спосіб збільшення електропровідності, що дозволяє прогнозувати перспективні площі на виявлення корисних копалин.

На сьогодні цією проблемою займаються чисельні наукові колективи різних країн. Области зчленування тектонічних плит різного віку вивчаються експериментально в рамках площадних магнітотелуричних та магнітоваріаційних методів. Вже виявлено мантіїні аномалії електропровідності у Тибеті, між Індійською та Євразійською плитами, в Північній та Південній Америці, Австралії. У Східній Європі такою структурою є Кіровоградська аномалія електропровідності, що простягається від Чорного моря до Ладозького озера (від Скіфської плити (СП) через Східноєвропейську платформу (СЄП) до Балтійського щита).

Геоелектрика – один з основних методів геофізики, широко застосований по всьому світу для вирішення різноманітних геологічних задач, цьому в чималому ступені сприяє задовільна розробленість його теорії. Електромагнітні поля, індуковані в Землі джерелами іоносферно-магнітосферного походження, дають змогу оцінити глибинну геологічну будову земних надр, а також перебіг геодинамічних процесів.

Ще у 80-х роках ХХ ст. в дослідженнях В.В. Гордієнка, С.М. Куліка, І.М. Логвінова та інших дослідників використовувались дані глибинних магнітотелуричних зондувань (МТЗ), зареєстровані на території Волино-Подільської плити (ВПП), для побудови нормальної кривої Українського щита (УЩ), оскільки передбачалася відсутність істотних глибинних горизонтальних неоднорідностей електропровідності. А вже на початку ХХІ ст. був накопичений великий обсяг експериментальних робіт (роботи А.І. Інгерова, І.І. Рокитянського, В.І. Трегубенка) та з'явилися нові методи розв'язання прямих і обернених задач для складних середовищ. Сьогодні для побудови глибинних геоелектричних моделей та виявлення геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії

використовуються переважно методи тривимірної інтерпретації за допомогою вирішення прямої (моделювання) і оберненої (інверсія) задач геофізики.

Наявність геоелектричних неоднорідностей свідчить про певні види мінералів, графітизацію, дегідратацію, часткове плавлення гірських порід, інтенсивне тектонічне переміщення блоків та термобаричні умови, що супроводжують цей процес, розвиток тріщинуватих зон, які нерідко сприяють виділенню сейсмічної енергії тощо. Зрозуміло, що вивчення розподілу глибинної електропровідності, геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії території України є актуальною задачею на сьогоднішній день і відкриває нові можливості тектонічних і мінералогічних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано під час навчання у докторантурі Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України у відділі глибинних процесів Землі і гравіметрії. Результати отримано при виконанні держбюджетних тем Інституту: «Глибинна будова та геодинамічний розвиток Інгільського мегаблоку Українського щита у зв'язку з пошуками стратегічних видів корисних копалин» (2013–2015 рр., 0113U002502); «Сейсмічні та геофізичні спостереження на платформній частині території України» (2014–2018 рр., 0114U000231); «Розвиток методів вивчення сейсмічності території України та оцінки параметрів сейсмічної небезпеки майданчиків важливих і екологічно небезпечних об'єктів» (2016–2020 рр., 0116U000130); «Комплексне геофізичне дослідження літосфери України (від моделей до процесів формування родовищ корисних копалин)» (2016–2020 рр., 0116U000131); «Роль мантієвих процесів у формуванні структури земної кори і родовищ корисних копалин в Україні» (2017–2021 рр., 0117U000373); «Розробка методики тривимірного геолого-геофізичного моделювання перспективних локальних геологічних структур Побузького гірськорудного району з метою побудови їх детальних геологічних карт» (2018–2019 рр., 0118U001917); «Геологічна будова Побузького гірськорудного району за сучасними геодезичними і геологічними даними та оцінка його перспектив на корисні копалини» (2016–2020 рр., 0116U006203); грант молодих вчених ФФД України «Розробка перспективних технологій для пошуку рудопроявів корисних копалин» (2018 р., 0118U001915); списку використаних джерел та 1 доробку.

Мета і завдання дослідження полягають у виявленні геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії різних геологічних структур України на основі побудови тривимірних моделей розподілу електричного опору за експериментальними даними МТЗ і магнітоваріаційного профілювання (МВП); пояснення природи аномалій високої електропровідності на основі комплексного аналізу геолого-геоелектричних даних та їх вивчення як одного з факторів прояву геодинамічних процесів для пошуку перспективних на корисні копалини структур.

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

- збір та узагальнення геолого-геоелектричних даних, проведення експериментальних досліджень за допомогою сучасного обладнання та з використанням передових технологій спостережень;

- вивчення основних особливостей та інтерпретація магнітотелуричних і магнітоваріаційних функцій відгуку, які отримано за допомогою різних підходів до обробки експериментальних даних;
- побудова тривимірних моделей розподілу електричного опору земної кори і верхньої мантії та виявлення геоелектричних неоднорідностей різних геологічних регіонів території України;
- аналіз геолого-геофізичних чинників, що впливають на високу електропровідність гірських порід, та вибір найімовірніших причин утворення геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії України;
- встановлення зв'язку аномалій високої електропровідності України зі структурними особливостями регіонів, різними геодинамічними обстановками і можливими проявами корисних копалин.

Об'єкт дослідження – земна кора та верхня мантія різновікових геологічних структур України і прилеглих до неї територій.

Предмет дослідження – геоелектричні неоднорідності структур, їх зв'язок з геодинамічним розвитком та нафто-, газо-, рудопроявами корисних копалин.

Методи дослідження включають загальні підходи до збору, аналізу, систематизації та обробки даних; аналіз та узагальнення наявної геолого-геофізичної інформації про будову різновікових структур України; геофізичний експеримент у вигляді досліджень природного низькочастотного електромагнітного поля Землі за допомогою сучасної цифрової апаратури з використанням передових методик реєстрації; методи обробки на основі аналізу Фур'є і робастні способи лінійного оцінювання у частотній області як одноточково, так і багатоточково (для синхронних записів) за допомогою сучасних програмних комплексів; тривимірне геоелектричне моделювання геологічного середовища шляхом кінцево-різницевого вирішення системи рівнянь Максвелла в інтегральній формі за допомогою програми Mtd3fwd R. Mackie.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримано нові експериментальні дані методами МТЗ і МВП за допомогою сучасного обладнання з використанням передових технологій спостережень у межах різних геологічних регіонів України. Проведено обробку експериментальних даних та аналіз передавальних операторів МТ- і МВ-поля.

2. Вперше побудовано, розраховано та проаналізовано тривимірні моделі розподілу електричного опору земної кори і верхньої мантії: локальні – базит-метабазитових утворень (Тарасівський та Троянківський масиви) Ятранського блока Голованівської шовної зони (ГШЗ); регіональні – центральної частини УЩ (Інгульський мегаблок, ГШЗ та Інгулецько-Криворізька шовна зона (ІКШЗ)), Північної Добруджі та Переддобрудзького прогину, Кримсько-Чорноморського регіону.

3. Вперше на основі експериментальних досліджень виявлено геоелектричні неоднорідності в земній корі та верхній мантії України, які характеризуються аномально низькими та аномально високими значеннями електричного опору. Зони високої електропровідності, що виходять на поверхню, вирізняються субвертикальною неоднорідністю та утворюють гальванічно пов'язану систему.

Вона просторово корелює з глибинними розломами різного рангу, виділеними за геологічними даними. Земна кора незалежно від геолого-тектонічного регіону характеризується аномально провідними шарами, верхня кромка яких спостерігається на різних глибинах від 2 до 20 км з питомим електричним опором до 100 Ом·м. Геоелектричну неоднорідність верхньої мантії зафіксовано у Переддобрудзькому та Кримсько-Чорноморському регіонах і фрагментарно під УЩ, Прип'ятським прогином та Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ).

4. Нові експериментальні дані підтвердили і дали змогу деталізувати раніше виділені перспективні нафтогазоносні площі – Глидинцівську, Підгородську, Талалаївську та Никонівську, що знаходяться у фундаменті ДДЗ та супроводжуються аномаліями електропровідності на різних глибинних рівнях. Їх надра характеризуються перетином активізованих розломів різної орієнтації, а також аномальною потужністю коромантійної суміші і розуцільнених областей на поверхні фундаменту (3–8 км), в земній корі (20–30 км) та у верхах верхньої мантії.

5. Дістали подальшого розвитку уявлення про комплексну природу аномалій електропровідності, яка може бути зумовлена в межах УЩ графітизацією та сульфідизацією порід в зонах метасоматозу вздовж протяжних зон розломів (ЗР) в межах УЩ та приурочена до областей поширення графітизованих гнейсів і сланців. Природа аномалії електропровідності, з одного боку, може бути пов'язана з підвищеною проникністю порід, в області яких розвиваються флюїдні системи та виникає міграція флюїдів, що спричинює утворення родовищ вуглеводнів, з іншого, пояснюється як наслідок «вуглеводневого дихання Землі». В межах проєкцій на земну поверхню геоелектричних неоднорідностей розташовується більшість залізородних родовищ переважно карбонатно-залізисто-кремнисто-метабазитової і залізисто-кремнистої формацій, що містять прояви рудної мінералізації та вуглеводнів.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дані щодо розподілу геоелектричних неоднорідностей земної кори та мантії по вертикалі і латералі практично можуть бути використані для побудови моделей глибинних геологічних і геотектонічних процесів, які відбувались або відбуваються, з метою прогнозування рудо- та вуглеводнених проявів родовищ корисних копалин.

Геоелектричні моделі земної кори та верхньої мантії, а також отримані висновки щодо природи провідників у корі та верхній мантії мають бути безпосередньо використані для побудови прогнозних металогенічних карт і схем сейсмічної безпеки території України.

Окремі розділи дисертаційної роботи використовуються в учбовому процесі ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Науково-практичні розробки дисертанта застосовуються в дослідженнях Інституту геофізики імені С.І. Субботіна та інших установах НАН України.

Особистий внесок здобувача в основні роботи, виконані в співавторстві, визначається наступним чином. Стаття [Ширков та ін., 2013; Кушнір и др., 2017; Бурахович и др., 2018] – збір, систематизація та інтерпретація польових геоелектричних даних, побудова та аналіз профільних графіків позірнього питомого опору, індукційних та інших геоелектричних параметрів для різних періодів

геомагнітних варіацій, обговорення висновків. Статті [Старостенко и др., 2013; Кушнір, Ширков, 2013а, б; Burakhovich et al., 2015] – участь у постановці задачі, проведення та обробка нових експериментальних досліджень, побудова, розрахунок та аналіз тривимірної геоелектричної моделі, аналіз сейсмічності регіону, пояснення природи аномалій високої електропровідності на основі комплексної геолого-геофізичної інформації, обговорення висновків. Стаття [Бурахович та ін., 2015] – постановка задачі, побудова та аналіз на різних глибинних рівнях моделі району Інгульського мегаблока, визначення приуроченості аномалій електропровідності до певних тектонічних одиниць та підготовка висновків. Статті [Бурахович и др., 2013а, 2016а, 2016б, 2016г] – участь у постановці задачі, проведення спеціальних електромагнітних досліджень та їх обробка, інтерпретація псевдорозрізів геоелектричних параметрів по профілях та аналіз просторового розподілу функцій відгуку, комплексна інтерпретація геофізичних моделей та пояснення геодинамічних проявів регіону, обговорення висновків. Статті [Ширков та ін., 2015; Кушнір, Бурахович, 2016] – постановка задачі, експериментальні дослідження та їх обробка, геолого-геоелектричний огляд результатів попередніх досліджень, виявлення аномалій високої електропровідності на основі якісної інтерпретації, висновки. Монографія [Бурахович, Кушнір, 2018] та статті [Кушнір, Ширков, 2013а, б; Бурахович та ін., 2018; Ширков и др., 2016, 2017] – постановка задачі, проведення експериментальних досліджень, їх обробка та інтерпретація, аналіз тривимірної геоелектричної моделі, пояснення природи аномалій електропровідності та прогнозування проявів корисних копалин із застосування геолого-геофізичної інформації, обговорення висновків. Статті [Николаєв та ін., 2019] – участь у постановці задачі, проведенні польових геоелектричних досліджень, їх обробці та якісній інтерпретації. Монографія [Кушнір, Бурахович, 2019] та статті [Kushnir et al., 2013; Burakhovich et al., 2013а] – постановка задачі, збір та систематизація сейсмічних подій, аналіз глибинних неоднорідностей за даними тривимірних геоелектричних моделей, проведення комплексної геолого-геофізичної інтерпретації, пояснення природи аномальної електропровідності як одного з проявів геодинамічного розвитку регіонів, обговорення висновків. Монографія [Шеремет и др., 2016] розділи 2.4, 2.5, С. 97–118; 4, С. 128–191; 5.3, 5.4, С. 199–257 – участь у постановці задачі, проведенні польових геоелектричних досліджень, їх обробці та якісній інтерпретації, побудові, розрахунку та аналізі тривимірних геоелектричних моделей, визначенні генезису глибинної електропровідності та перспективних для подальшого вивчення проявів вуглеводів. Монографія [Старостенко, Гинтов, 2013] – розділ 3.7, С. 159–169.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дослідження доповідались на таких наукових конференціях: «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» (Київ, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019); 10th, 12th International Conference “PROBLEMS OF GEOCOSMOS” (St. Petersburg, Petrodvorets, 2014, 2018); Міжнародній науковій конференції «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» (Львів, 2013, 2016); 42-й сесії Міжнародного семінару імені Д.Г. Успенського, (Перм, 2015); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Гірнична геологія, геомеханіка і маркшейдерія» (Донецьк, 2013); VI,

VII Всеросійській школі-семінарі з електромагнітних зондувань Землі імені М.М. Бердичевського і Л.Л. Ваньяна (2013, 2015); Третій міжнародній конференції «Актуальні проблеми геосредовища і зондуючих систем» (Київ, 2017); VIII Всеукраїнській молодіжній науковій конференції «Ідеї та новації в системі наук про Землю» (Київ, 2019). У повному обсязі робота доповідалась на розширених засіданнях та семінарах Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України.

Публікації. Основні наукові результати та висновки, викладені у дисертаційній роботі, одержані автором особисто або у співавторстві та опубліковані у журналах, які входять до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з наук про Землю, або іноземних виданнях. За темою дисертації опубліковано 36 наукових праць: статей – 20 (10 входять до міжнародних наукометричних баз: Scopus – 1, Web of Science – 8, Index Copernicus – 5, РИНЦ – 1), з них 4 – монографії (2 – друковані видання накладом 300 примірників, 2 – в електронному вигляді в мережі Інтернет у форматі, не призначеному для редагування, з платним доступом) та 12 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях і симпозіумах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 409 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 1 додатку. Обсяг основного тексту дисертації складає 285 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 118 рисунками та 1 таблицею. Список використаних джерел містить 333 найменувань.

Подяки. Автор висловлює глибоку подяку науковому консультанту, співавтору і наставнику д-ру геол. наук Т.К. Бурахович за постійну всебічну підтримку, цінні поради та багаторазові корисні обговорення. Автор щиро вдячний Б.І. Ширкову, В.А. Іл'єнку та І.Ю. Ніколаєву за спільну роботу при проведенні експериментальних досліджень, цінні поради, обговорення та дружню підтримку.

Автор висловлює подяку академіку НАН України В.І. Старостенку за надану можливість проведення наукових досліджень на базі Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України та підтримку в їх організації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** викладено загальну характеристику роботи, обґрунтовано доцільність обраного напрямку та актуальність дисертації, сформульовано мету, основні методи і задачі досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів, сформульовано основні наукові та практичні досягнення здобувача, а також подано інформацію щодо апробації одержаних результатів, публікацій, структури й обсягу роботи.

У **першому розділі «Геоелектричні неоднорідності земної кори і верхньої мантії»** представлено огляд окремих регіональних геоелектричних неоднорідностей кори і верхньої мантії Землі [Burakovich et al., 2013a] на всіх континентах та окремо для території України. Проаналізовано загальноприйняті одновимірні моделі земної кори та верхньої мантії для більш повного розуміння природи аномальних зон при тлумаченні даних електромагнітних спостережень та наведено коротку характеристику різних механізмів електропровідності.

У разі низькочастотних МТ/МВ досліджень земної кори найбільший внесок у зміни параметрів електропровідності середовища вносять іонні і електронні провідники. Питомий електричний опір (ρ) мінералів, що складають гірські породи, перевищує десятки тисяч омметрів. Лабораторні вимірювання ρ сухих зразків гірських порід показують схожий розподіл. Проте виміряний ρ гірських порід у їх природному заляганні на кілька порядків менше. Про це свідчать узагальнені дані світової мережі польових електророзвідувальних вимірювань, де показано, що тільки у 10 % зразків ρ перевищує 10^4 Ом·м. Така відмінність експериментальних значень від лабораторних пояснюється присутністю вологи, температурою, тиском або певним мінеральним складом порід.

Існують різні уявлення про розподіл нормальної (не аномальної) електропровідності в нижній корі і мантії. Породоутворюючі мінерали, в основному силікати, при температурах нижче солідусу в земній корі мають дуже високий опір, в той час як природні електричні струми концентруються в областях низького опору. Ці провідні області можуть бути представлені твердими, як, наприклад, графіт і сульфіди або оксиди металів, і рідкими фазами, особливо розсолами і розплавами. Опір порід кори зі збільшенням температури зменшується набагато слабкіше, ніж при появі твердої або рідкої фази провідників. Але при цьому необхідно, щоб провідні включення були пов'язані, а у випадку, коли висока провідність визначається наявністю флюїдів, це може бути непрямим свідченням шляхів міграції рідкої фази.

У мантії простіший мінеральний склад обмежує коло потенційних причин пояснення появи областей високої електропровідності. Таким природним фактором можуть бути флюїди, які, можливо, складаються з розплавленої фази, що включає воду і діоксид вуглецю.

Вивчення кімберлітових і карбонатних магматичних формацій показує, що на глибинах 150–200 км, ймовірно, не існує достатньої кількості флюїдів, але невелика їх частка може привести до зменшення температури плавлення, тобто енергетичного порогу плавлення порід. Відомо, що починаючи з глибин 300–400 км електропровідність помітно зростає. На цих глибинах мінерали мантії Землі при високому тиску зазнають перебудови. Тут при α - γ -переході відбувається стрибок електропровідності, який становить один порядок і не залежить від вмісту заліза.

Таким чином, опір речовини мантії залежить від фазового стану і визначається тільки наявністю флюїду і розплаву. Згідно з останніми дослідженнями, сейсмічні границі на глибинах 410 і 660 км також проявляються в електричній провідності.

Методи МТЗ і МВП, засновані на вивченні природного електромагнітного поля Землі іоносферно-магнітосферного походження, надають пряму інформацію про зони високої електропровідності в земній корі і верхній мантії.

Аномалії електропровідності є одним з провідних факторів, що вказують на можливі зони проявів геодинамічних процесів, які відбуваються чи проходили в земній корі і мантії та сформували геоелектричні неоднорідності у літосфері. Насамперед, це стосується побудови моделей формування та проникнення у земну кору глибинних високотемпературних флюїдів – важливого джерела для всіх наступних процесів генезису у верхній мантії та земній корі. За сучасними

уявленнями глибинні термодинамічні умови та геодинамічні процеси мають домінуючий вплив на утворення корисних копалин, зокрема горючих, а також накопичення і реалізацію сейсмічної енергії тощо. Це свідчить про значну роль глибинних геоелектричних досліджень у сучасних тенденціях прогнозування родовищ корисних копалин.

На території України було виявлено різні за конфігурацією і геоелектричними параметрами ділянки високої електропровідності на фоні загального високого опору, який характерний для консолідованої кори. Деякі відомі аномалії високої електропровідності добре описані в літературі. Наприклад, унікальні Карпатська і Кіровоградська аномалії електропровідності, протяжність яких сягає кількох сотень кілометрів.

Існуючі на даний час результати побудови глибинних квазітривимірних плівкових геоелектричних моделей сумарної поздовжньої провідності земної кори і верхньої мантії території України дали основну інформацію про просторовий розподіл аномальних зон, однак, залишилися не вирішеними багато питань, а саме:

- не визначені значення питомого електричного опору гірських порід, потужності електропровідних об'єктів;
- не оцінено рівень впливу на отримані результати електричних властивостей поверхневих структур;
- не пояснена можлива природа високої електропровідності і зв'язок геоелектричних властивостей з геологічними і тектонічними об'єктами.

Відповіді на ці питання можуть бути отримані завдяки побудові об'ємних моделей розподілу питомого опору в земній корі та верхній мантії.

У другому розділі «Геоелектричні дослідження в Україні» розглянуто результати глибинних електромагнітних досліджень різних геологічних регіонів України, отримані автором особисто і наведені у роботах С.М. Куліка, І.І. Рокитянського, І.М. Логвінова, Т.К. Бурахович, А.І. Інгерова, В.І. Трегубенка, Є.М. Шеремета, І.Ю. Ніколаєва, В.Ю. Семенова та ін. Наводяться загальні теоретичні основи та методика експериментальних досліджень методами МТЗ та МВП, підходи до обробки магнітотелуричних даних. Окремо обговорюються результати 1D інверсії даних глибинних МТЗ (ГМТЗ) та методика побудови 3D геоелектричних моделей.

Методи дослідження геоелектричної будови земних надр базуються на вивченні індукції зовнішнього іоносферно-магнітосферного електромагнітного поля в середовищі, що характеризується високою електропровідністю в порівнянні з провідністю атмосфери. Метод МТЗ використовується у випадку горизонтально-шаруватого середовища, яке не містить локальних неоднорідностей електропровідності. З іншого боку, метод МВП ґрунтується на аналізі індукції первинного поля в локальних неоднорідностях середовища. В основі МТ/МВ методів лежить індукційний принцип, що базується на явищі скін-ефекту – пропорційній залежності глибини проникнення ЕМ поля від періоду коливальності.

Експериментальні МТ/МВ роботи проведено за допомогою довгоперіодних цифрових станцій серії LEMI-417 з ферозондовими магнітометрами. Головні переваги станцій – низький часовий дрейф (± 5 нТл/рік) і висока точність

вимірювань (0,02 % продовж 2 років), що є надзвичайно ефективним при глибинних зондуваннях земної кори і верхньої мантії. Синхронізація станцій здійснювалася за допомогою GPS приймача.

Дослідження проводились як у профільному так і площинному варіантах. Відстань між пунктами спостережень (від 1 до 5–10 км, іноді до 30 км) та час спостереження (від 10 год. до 40 діб) на кожній окремій точці визначались поставленими завданнями та реальними польовими умовами проведення експерименту.

Більшість сучасних методів оцінювання передавальних операторів засновані на загальних принципах гармонічного аналізу і робастних способах лінійного оцінювання у частотній області. Після відбракування некондиційних записів та придушення завад (препроцесінг) проводиться послідовний Фур'є-аналіз відрізків послідовностей варіацій і накопичення лінійних рівнянь, що пов'язують спектральні компоненти МТ полів, для кожного інтервалу періодів оцінювання. Отримані надлишкові системи рівнянь вирішуються частинами з подальшим осередненням чи цілком. Такий підхід реалізовано за допомогою двох програмних комплексів: PRC_MTMV, розробленого І.М. Варенцовим, та PTS – продуктом авторської групи М. Петрищева, О. Ткачова і В. Семенова. Завдяки сучасному підходу до обробки експериментальних синхронних МТ/МВ зондувань були отримані криві ГМТЗ (амплітудні та фазові позірного питомого опору ρ_n) для широкого діапазону періодів 10–10000 с, типери для періодів 50–4000 с та горизонтальний магнітний тензор [М] на періодах від 10 до 10000 с у різних геологічних структурах України. Хоча обробка дозволяє отримувати діаграми передавальних операторів МТ-поля, візуалізація у вигляді наборів псевдорозрізів найінформативніших компонент функцій відгуку дає можливість наочного відображення результатів, особливо при виявленні в просторі локальних неоднорідних зон високої електропровідності по профілю досліджень [Кушнір, Ширков, 2014; Бурахович, Кушнір, 2015; Ширков та інші., 2015а, б; Бурахович и др., 2016а; Burahovich, Kushnir, 2016].

Одним з основних питань моделювання електромагнітних полів є вибір "нормального" розподілу провідності з глибиною, яка характерна для типових тектонічних одиниць України. Прийнято використовувати три розподіли, що отримані в результаті комбінації даних ГМТЗ і глобальних магнітоваріаційних зондувань (МВЗ). В межах УЩ експериментальні дані дозволили зробити висновок про більш низькі значення "нормального" питомого електричного опору ρ_n (1000–2000 Ом·м) верхньої товщі потужністю близько 160 км. Збільшеною провідністю на мантійних глибинах характеризуються "нормальні" розподіли для регіонів України з кіммерійською (інтервал глибин (h) 110–140 км, $\rho = 40$ Ом·м) або альпійською ($h = 70$ –170 км, $\rho = 25$ Ом·м) геологічною історією.

Одним з найдоступніших способів первинної оцінки геоелектричних параметрів середовища є 1D інверсія. До більшості даних ГМТЗ застосовано програмні продукти інверсій – Паркера та ОССАМ, а також трансформацію Ніблетта, з використанням параметрів МВЗ. Завдяки такому підходу було отримано первинні уявлення про електропровідність земної кори та верхньої мантії окремих геологічних структур України [Бурахович та ін., 2016г]. Під північно-західною

частиною УЩ глибинний розріз мантії відповідає "нормальному" розподілу ρ , в той час як північний-схід Придніпровського і східна частина Інгульського мегаблоків характеризуються значеннями в 2–5 разів більшими. На північному борту Белгород-Сумського мегаблока ДДЗ, північному схилі Росинського, південно-західній частині Інгульського мегаблоків УЩ, північно-західній частині Причорноморського шельфу глибинний розріз характеризуються серією електропровідних шарів як в земній корі, так і в мантії. Нові спостереження електромагнітного поля Землі у широкому діапазоні періодів у центральній частині Карпат дозволили підтвердити присутність Карпатської аномалії і уточнити параметри геоелектричного розрізу: в корі $h \approx 10$ км, $\rho \approx 50$ Ом·м; та мантії – $h \approx 100$ км, $\rho \approx 30$ Ом·м.

У разі, коли об'єктом електромагнітних досліджень є складні геологічні структури, які відрізняється суттєво неоднорідним розподілом осадових відкладів, близьким розташуванням регіональних приповерхневих структур високої провідності, існуванням електропровідних приповерхневих розломів та іншими факторами, необхідно використовувати відповідний інструмент тривимірного моделювання низькочастотних електромагнітних полів.

Апарат 3D моделювання Mtd3wd R.L. Mackie, що застосовано у даній роботі, використовується для обчислень електричної і магнітної компонент магнітотелуричного поля для тривимірних аномальних тіл, що збурені плоскою електромагнітною хвилею. Алгоритм 3D моделювання базується на інтегральній формі рівняння Максвелла для кінцево-різницевої апроксимації магнітного поля другого порядку.

3D моделювання глибинних аномалій високої електропровідності полягало в реалізації двох етапів: на першому виконувався підбір такої моделі розподілу електропровідності, для якої розраховані магнітоваріаційні параметри відповідали б експериментальним даним; другий етап передбачав уточнення підбраної моделі за даними МТЗ.

При моделюванні точність розрахунку компонент електромагнітного поля становила 0,00 1%. Відповідність експериментальних і розрахованих значень ρ_n для більшості точок спостереження знаходиться в довірчому інтервалі 10 %, тобто був досягнутий високий рівень наближення експериментальних та теоретичних параметрів.

Проблема електромагнітної індукції в Землі полягає в тому, що локальні аномалії створюють суттєві ефекти далеко за межами аномальних областей. Така ситуація ускладнює інтерпретацію даних і побудову моделей, оскільки помилки в одному пункті можуть бути компенсовані даними, отриманими в іншому. Крім того, більшість об'єктів пошуку в рудній і структурній електророзвідці зазвичай є складними тривимірними структурами, тому основним способом аналізу та інтерпретації експериментальних даних залишається тривимірне моделювання. Чисельне моделювання (або рішення прямих задач електродинаміки) є найпотужнішим і доступним апаратом для аналізу реальних задач глибинної і розвідувальної геоелектрики.

На сьогодні з використанням сучасного польового матеріалу побудовано різні тривимірні моделі як регіональні (східної частини УЩ і Донбасу; західної частини

УЩ; центральної частини УЩ, яка в основному пов'язана з Кіровоградською аномалією електропровідності), так і локальні (Кіровоградського рудного поля (КРР), ГШЗ, унікальних metabазитових утворень (Тарасівської та Троянківської структур ГШЗ), північної Добруджі та Переддобрудзького прогину, о. Зміїний, Кримсько-Чорноморського регіону).

У третьому розділі «**Геоелектричні неоднорідності УЩ та його схилів**» розглянуто результати експериментальних геоелектричних досліджень та побудови 3D моделей, основні етапи моделювання, проведено порівняння розрахунків з експериментальними даними, проаналізовано виявлені аномалії електропровідності УЩ в цілому та його окремих структурних елементів, що представлені як у об'ємному вигляді, так і у вигляді горизонтальних зрізів на різних глибинах та вертикальних перерізів різної орієнтації у просторі. Розглянуто ймовірну природу геоелектричних неоднорідностей, зв'язок низькоомних зон із структурними елементами тектоніки регіону, їх геодинамічними обстановками та родовищами і рудопроявами корисних копалин.

У геоелектричному відношенні УЩ поділяється на західну, центральну і східну частини [Бурахович, Кушнір, 2018; Бурахович и др., 2016в].

Західна частина. Волинський, Подільський, Росинський, Бузький мегаблоки характеризуються низьким електричним опором порід земної кори в її нижній частині, так звана Чернівецько-Коростенська аномалія ($h = 15\text{--}30$ км, $\rho = 5$ Ом·м на території УЩ і 20 Ом·м на півдні ВПП). Крім того, регіону притаманна висока провідність на астеносферних глибинах від 70 до 125 км з $\rho \approx 25$ Ом·м [Ніколаєв та ін., 2019].

Центральна частина охоплює Інгульський мегаблок з ГШЗ та ІКШЗ та відрізняється високою електропровідністю по всьому розрізу земної кори [Ширков и др., 2015б, 2016] Це свідчить як про аномально високу проникність порід палеопротерозойського блока, так і про сучасні прояви активізації.

Розрахунки 3D геоелектричної моделі [Бурахович та інші., 2015а] дозволили виявити різну просторову орієнтацію аномалій електропровідності в центральній частині УЩ – субширотну і субмеридіональну, яка відповідає поверхневим і глибинним аномаліям електропровідності.

На фоні «нормального» розподілу поверхневих відкладів в ГШЗ виявлено дві аномалії з субширотною орієнтацією в просторі в самій верхній (до 100 м) частині розрізу, одна з яких може бути південно-західним продовженням Субботсько-Мошоринської ЗР. Південніше ($48^{\circ}00'$ сх.ш.) розташована система провідників субмеридіонального простягання, яка збігається з частинами Первомайської й Звенигородсько-Братської, Західноінгулецької і Криворізько-Кременчуцької ЗР [Shytkov, Kushnir, 2014; Ширков и др., 2017; Бурахович, Кушнір, 2018].

В межах КРР [Старостенко, Гинтов, 2013] і ГШЗ [Ширков и др., 2017; Бурахович, Кушнір, 2018] виділяється розгалужена мережа провідників з низьким ($\rho = 50$ Ом·м) від 100 м до 2,5 км, які приурочені до окремих частин Звенигородсько-Братської, Субботсько-Мошоринської, Смілянської, Лелеківської, Конкської, Смилівської, Тальнівської, Первомайської та Кіровоградської ЗР. На цих глибинах

простежуються і провідники ($\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) Західноінгулецької (між Чигиринським і Долинським масивами гранітоїдів) і Криворізько-Кременчуцької ЗР.

На глибинах 5–10 км і більше аномалії електропровідності (навіть якщо вони просторово і збігаються з розташуванням глибинних ЗР) перетворюються з субвертикальних в субгоризонтальні провідні структури (шари). Винятком на глибині від 5 до 20 км є провідник з розмірами $5\times 45 \text{ км}$, розташований в структурі центральної частини Новоукраїнського масиву; частина Первомайської ЗР в районі перетину з Тальнівською ЗР в інтервалі глибин 10–20 км; східне продовження Субботсько-Мошоринської ЗР в межах ІКШЗ і північній частині Криворізько-Кременчуцької ЗР на території УЩ на глибинах від 10 до 30 км. Глибинна аномалія (10 км) у вигляді складної субширотної зони в надрах південного схилу УЩ виділяється в районі основних ЗР – Первомайської, Кіровоградської, Західноінгулецької і Криворізько-Кременчуцької. Окремою провідною субмеридіональною структурою проявляється на південь від $48^{\circ}00'$ пн.ш. Тальнівська ЗР.

Західна границя Кіровоградської аномалії на глибинах від 20 до 25 км з ($\rho = 10\text{--}50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) розташована в зоні давнього тектонічного шва Херсон–Смоленськ, а в інтервалі 25–30 км з ($\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) відповідає Кіровоградській глибинній ЗР. Сама ж аномалія охоплює територію, що включає ІКШЗ, і являє собою витягнуту з півдня на північ–північний схід структуру з просторовими розмірами від 50 до кількох сотень кілометрів і тільки на півдні УЩ змінює своє простягання на субширотне уздовж Конкської ЗР (рис. 1).

Крім цього, з великою впевненістю можна припускати існування мантійного провідника в інтервалі глибин 50–120 км в південній частині Інгульського мегаблока. Його північна межа повинна проходити південніше $47^{\circ}20'$ пн.ш. Максимальне поширення на північ спостерігається уздовж Кіровоградської аномалії в глибинних ЗР – Західноінгулецькій і Кіровоградській [Старостенко, Гинтов, 2013; Бурахович и др., 2015а]. Відзначено також існування декількох локальних верхньомантійних неоднорідностей в КРР.

Просторово абсолютна більшість родовищ рудних корисних копалин на території центральної частини УЩ потрапляє в області аномалій підвищеної електропровідності [Ширков и др., 2016; Бурахович и др., 2016в].

Геологічна будова ГШЗ та її електропровідність підтверджують колізійну модель формування кори центральної частини УЩ [Ширков и др., 2017]. У період AR3–PR1-II у регіоні переважав режим транспресії, який змінювався режимом транстенсії (розтягу) на відрізках 2,6–2,4, 2,1–1,95, 1,8–1,7 млрд років тому. На ці проміжки часу припадає утворення більшості високоелектропровідних ЗР: Смилівської, Гвоздавської, Врадіївської, Первомайської і Звенигородсько-Братської.

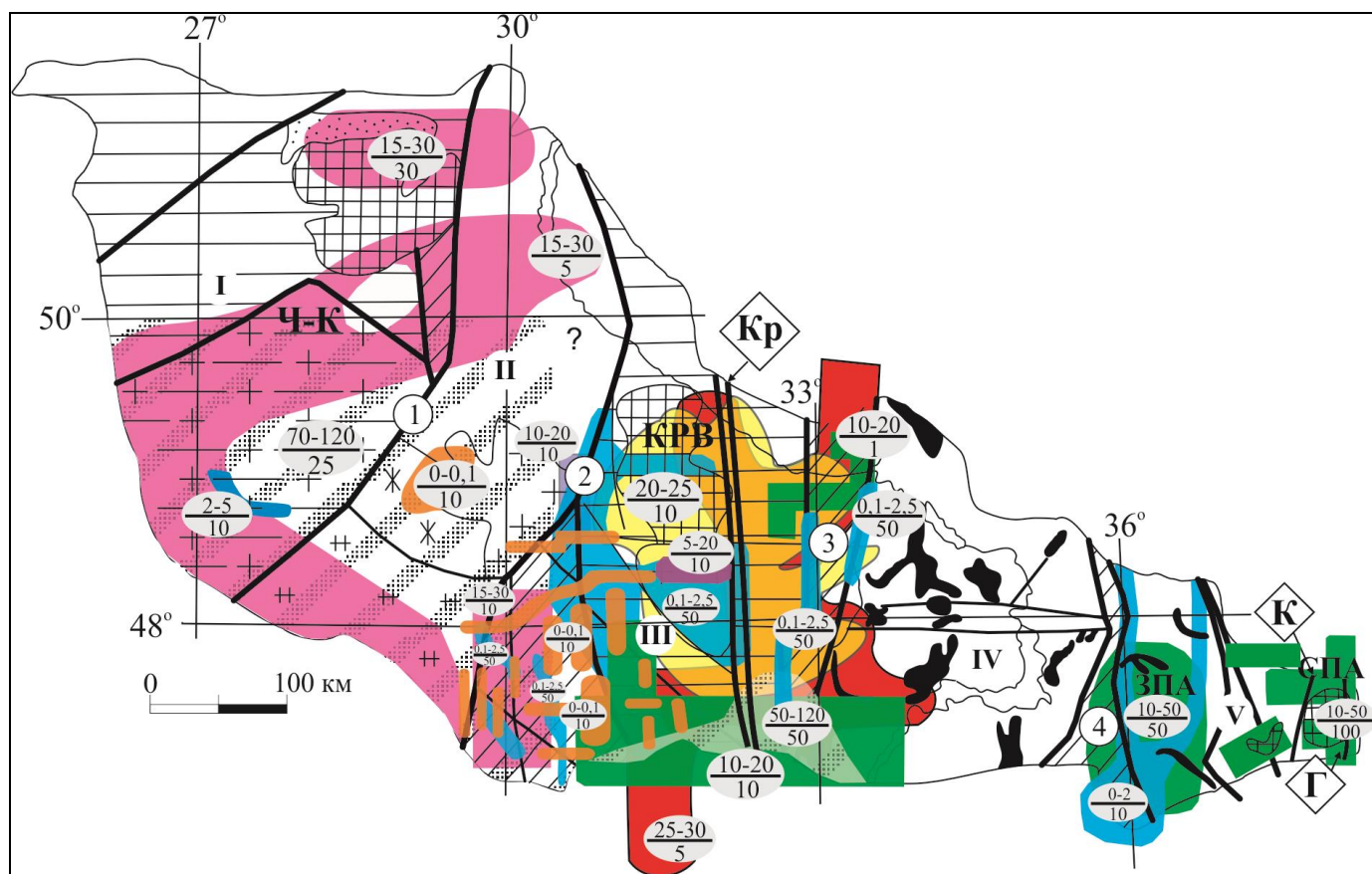


Рис. 1. Геоелектричні неоднорідності УЩ та його схилів в земній корі і верхній мантії за результатами 3D моделювання [Ширков и др., 2015, 2016; Бурахович, Кушнір, 2018] на схемі узагальненого речовинного складу мегаблоків УЩ.

Мегаблоки: I – Волино-Подільський; II – Бузько-Росинський; III – Інгульський; IV – Середньопридніпровський; V – Приазовський.

Шовні зони (цифри у кружках): 1 – Немирівсько-Кочерівська; 2 – Голованівська; 3 – Інгулецько-Криворізька; 4 – Оріхів-Павлоградська.

Зони розломів у межах мегаблоків: Кр – Кіровоградська; К – Кальміуська; Г – Грузько-Єланчицька.

Аномалії підвищеної електропровідності за даними 3D моделювання: Ч-К – Чернівецько-Коростенська, КРВ – Кіровоградська, ЗПА – західного Приазов'я, СПА – східного Приазов'я та інші. Кольором позначено параметри аномалій високої електропровідності за результатами 3D моделювання (чисельник – глибина залягання покрівлі та підосви в км; знаменник – питомий опір у Ом·м).

Аномально підвищеною електропровідністю характеризується земна кора ГШЗ [Бурахович, Кушнір, 2018] у зонах глибинних розломів, а також більша частина Лисянського блока на глибинах 10–20 км ($\rho = 10$ Ом·м), Голованівського на 3–10 км ($\rho = 10$ –250 Ом·м), Тилігульського на 15–30 км ($\rho = 100$ –250 Ом·м). Підвищена електропровідність астеносфери на захід від Тальнівської ЗР пов'язана з більш молодю і сучасною активізацією. Така ситуація підтверджується присутністю теплових аномалій, геохімічними особливостями регіону, його неотектонічною активністю.

Результати геоелектричних досліджень [Кушнір и др., 2017] показали, що вузька Ядлів-Трахтемирівська зона (ЯТЗ) не проявляється у підвищеній провідності на глибинах кори і мантії, оскільки вона формувалась в умовах стиснення та являє собою пластину, яка висунута в обмежений міжблоковий простір в умовах стиснення, як передбачає геодинамічна гіпотеза І.Б. Щербакова.

Механізм високої електропровідності на глибинах до 2,5 км може бути обумовлений наявністю асоціації електропровідних мінералів (сульфідів, графіту) в зонах метасоматичного перетворення порід, що сприяє виникненню рудної мінералізації – урану, благородних та рідкісних металів. Електропровідні структури земної кори в інтервалі глибин 5–30 км та верхах верхньої мантії 50–120 км, відображають сліди впровадження сучасних мантієвих флюїдів.

Східна частина. З погляду геоелектрики – це Середньопридніпровський мегаблок, Оріхів-Павлоградська шовна зона (ОПШЗ) і Приазовський мегаблок. Архейський Середньопридніпровський мегаблок, не порушений процесами протерозойської тектономагматичної активізації, характеризується як зона аномально високого опору. 3D модель, побудована на основі використання експериментальних геоелектричних досліджень, характеризується як зонами аномально високого опору (північна частина Західноприазовського мегаблока – Вовчанський блок), так і аномально низького. У напрямку із заходу на схід це найбільш інтенсивна аномалія в районі ОПШЗ, Гуляйпільського і Андріївського блоків Західного Приазов'я, Центрального Приазов'я (глибина залягання від поверхні до 2 км, $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в районі Азово-Павлоградської та Центрально-Приазовської ЗР і південній частині Андріївського блоку; від 2 до 10 км, $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в районі Гуляйпільського і Андріївського блоків і ОПШЗ). Третя глибинна (10–50 км) низькоомна (ρ до $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) ділянка розташована на границі Східного Приазов'я з СП в районі Грузько-Єланчицької ЗР [Ширков и др., 2013]. За даними сейсмотомографії в досліджуваному регіоні виділяються зони розшарування і, відповідно, області підвищеної проникності.

Результати тривимірного моделювання базит-метабазитових утворень Ятранського блока ГШЗ. На основі побудови різномасштабних тривимірних геоелектричних моделей за результатами експериментальних спостережень виявлено аномалії високої електропровідності у земній корі ГШЗ та її локальних елементів базит-метабазитових структур Побузького горнорудного району, оцінено їх зв'язок з рудопроявами корисних копалин та основними етапами геодинамічного розвитку регіону.

Результати тривимірного моделювання базит-метабазитових структур Ятранського блоку ГШЗ – Тарасівської та Троянківської, показали [Бурахович та ін., 2018; Burakhovych et al., 2018; Kushnir et al., 2019], що такі структури у геологічних границях в аномальній електропровідності не проявилися (рис. 2). Але розломні зони, що оконтурюють та перетинають їх, виявилися складними аномальними об'єктами як у плані, так і за глибиною. У геоелектричному відношенні токові структури двох масивів суттєво відрізняються. Так, Тарасівську структуру субширотно перетинають електропровідні зони з різним ρ , що виділені на трьох глибинних рівнях: 0–100 м з ($\rho = 10\text{--}250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 2–7 та 7–10 км з ($\rho = 10\text{--}250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Водночас аномальні об'єкти

Троянківська структура простягаються з північного-заходу на південний-схід зі зміною напрямку на субширотний у східній частині планшету. Електропровідні структури Троянківського масиву проявилися на чотирьох глибинних рівнях: 0–100 та 150–200 м з ($\rho = 5\text{--}100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 2–4 та 4–10 км з ($\rho = 50\text{--}250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Об'єднуючою рисою двох структур є прояв низьких значень ρ від 5 до 100 Ом·м саме у їх геологічних границях. Високу електропровідність можна пояснити особливим складом порід земної кори (графітизацією, сульфідизацією тощо) або флюїдизацією різного походження. Все частіше за останніми даними природу аномалій розглядають як результат спільної діяльності електронного та іонного типів електропровідності.

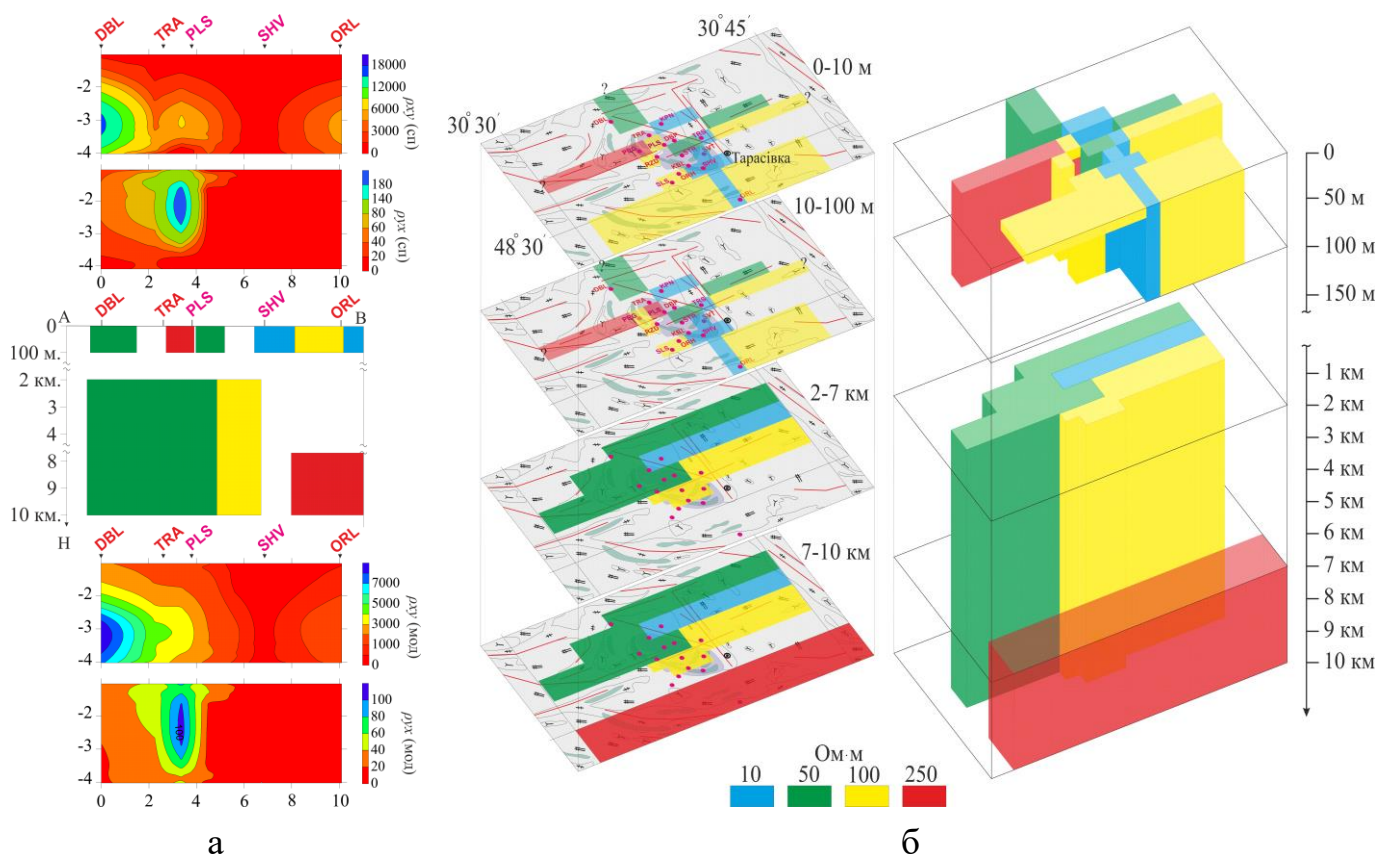


Рис. 2. Розподіл позірного електричного опору за результатами 3D моделювання Тарасівської базит-метабазитової структури Ятранського блока на фрагменті геолого-структурної карти поверхні кристалічного фундаменту ГШЗ: а – псевдорозрізи по профілю А–Б (вертикальна шкала T – у логарифмічному масштабі) субмеридіональної (ρ_{xy}) та субширотної (ρ_{yx}) кривих МТЗ: $\rho(\text{сп})$ – спостережений, $\rho(\text{мод})$ – модельний; б – пошаровий та об'ємний розподіл аномалій електропровідності в земній корі на глибинах 10–100 м та від 2–3 до 10 км.

Тарасівську та Троянківську структури, які можуть потенційно нести специфічне рудне навантаження (алмазонасність, рідкісні і кольорові метали) (за роботами О.Б. Гінтова, В.А. Єнтіна та ін.), вважають найважливішими в межах Ятранського блока ГШЗ, який обмежений на заході Тальнівською, на півдні – Ємилівською, на сході – Первомайською зонами розломів. Ятранський блок

підстелений неоднорідним і порушеним розрізом кори. Відбувається ступінчасте занурення поверхні базальтового шару на північ по широтних розломах, а діоритовий і гранітний шари лускоподібно зміщені з півночі на південь з взаємним перекриттям. Загалом Ятранський блок являє собою алохтон, насунутий в південному напрямку і порушений широтними скидами, що відображається на тривимірній моделі електропровідності (глибини 2–10 км) у вигляді чергування вузьких блоків різного електроопору з підпиранням глибинними мафітами та ультрамафітами на глибинах 3–12 км.

Як відомо, загальною та характерною особливістю розміщення рудопроявів на щитах є сукупність літологічних і структурних факторів та, насамперед, розривних порушень глибинного закладення. На території, що досліджується, виділяється астеносферний лінеамент як зона перепаду у потужності літосфери та східної границі геоелектричної астеносфери [Ширков и др., 2017]. Ця зона відіграє провідну роль у контролі розміщення рудних об'єктів, незважаючи на їх приуроченість до різних металогенічних таксонів (структурно-формаційних підзон). На ділянках перетину розломів північно-східного простягання з глибинними зонами розломів північно-західного та субмеридіонального напрямку – Тальнівською, Капітанівською, Врадівською та іншими спостерігається скупченість родовищ і рудопроявів, а також прямих пошукових ознак, які об'єднуються у відомі рудні поля та площі, перспективні для подальшого вивчення. Наявність уступу розділу М під Тарасівською та Троянківською структурами та зони насувів на півдні планшету моделювання, які є чудовою екрануючою поверхнею для рудоносних розчинів, вказують на перспективність зазначеної території. Найперспективнішими є вузли перетину субмеридіональних і широтних зон.

Встановлено, що низькоомні аномалії переважно приурочені до зон метасоматозу уздовж протяжних зон розломів на сході ГШЗ і до областей поширення графітізованих гнейсів і сланців в західній частині шовної зони; в їх межах (або в межах їх проєкцій на земну поверхню) розташовуються більшість родовищ і рудопроявів корисних копалин [Ширков и др., 2017]. Залучення результатів експериментальних досліджень методами МТЗ і МВП, даних структурного аналізу, геохімії, мінералогії дає можливість виконувати регіональне і локальне прогнозування рудопроявів корисних копалин у межах як ГШЗ, так і в цілому по УЩ.

Таким чином, найважливішим результатом польових електромагнітних досліджень території УЩ є створення на їх основі геоелектричних моделей за допомогою математичного моделювання, що дозволило означити контури глибинних аномалій високої електропровідності, які визначають зони глибинних розломів і контури границь колізійних умов. Наявність таких глибинних регіональних аномалій, на думку багатьох авторів, є результатом транспортування рудних компонентів і флюїдів з кори і мантії при тектономагматичній активізації, що пояснює можливу природу їх існування та дозволяє прогнозувати перспективні площі на виявлення ендегенного рудоутворення шляхом проєкцій глибинних високопровідних аномалій на земну поверхню.

Геоелектричні дослідження УЩ виявили численні локальні і регіональні аномалії електропровідності, присутність низькоомних глибинних аномалій уздовж протяжних зон розломів, в шовних зонах, приурочених до зон метасоматозу, зв'язаність низькоомних аномалій з металогенічними рудними вузлами і геохімічними аномаліями.

У четвертому розділі «Електропровідність Прип'ятського прогину, ДДЗ та Донбасу» розглянуто результати експериментальних геоелектричних досліджень, проаналізовано виявлені аномалії електропровідності та їх зв'язок із структурними елементами тектоніки регіону, оцінено ймовірну природу аномалій електропровідності регіону, зв'язок низькоомних зон із структурними особливостями території досліджень, її геодинамічними обстановками та родовищами і вуглеводневими проявами корисних копалин.

Герцинські структури у межах території України представлені Донбасом, ДДЗ та Прип'ятським прогином. Всі ці регіони відрізняються між собою в геоелектричному відношенні, хоча і мають спільні риси. Насамперед, це структури з поверхневими горизонтами, що характеризуються високою електропровідністю і суттєвою латеральною неоднорідністю.

Результати геоелектричних досліджень Брагінсько-Лоевського виступу і Чернігівського блока [Кушнір, 2015; Кушнір, Бурахович, 2016; Шеремет и др., 2016]. Роботи методами МТЗ і МВП виконані для вивчення глибинної будови літосфери в північній частині ДДЗ уздовж профілю ГСЗ «Георифт-2013», показали розподіл індукційних параметрів у широкому діапазоні періодів, їх орієнтацію на бортах і мінімальні значення в центрі западини, а також максимальні значення амплітуди горизонтального відгуку і параметри якісної інтерпретації кривих МТЗ. Результати свідчать про наявність декількох аномалій електропровідності, що відповідають як глибинним об'єктам (наприклад, східному закінченню Прип'ятської аномалії електропровідності), так і неглибоким об'єктам у верхній частині фундаменту (3–5 км), витягнутим уздовж осі Чернігівського блока, і близько 8 км на його південному борту.

Поклади нафти і газу тут пов'язують з палеозойським осадовим чохлам і докембрійським фундаментом. Чернігівський блок ДДЗ не розглядається як перспективний на нафтогазоносність район, але в його межах виділено дві площі – Талалаївську і Никонівську. Їх надра характеризуються перетином активізованих розломів різної орієнтації, а також аномальною потужністю коромантійної суміші і розущільнених областей на поверхні фундаменту і на глибині 20–30 км.

Північний борт Белгородсько-Сумського мегаблока. Частотні залежності передавальних операторів МТ/МВ-методів, а саме мінімум на низхідній гілці кривих ρ_n в діапазоні періодів 600–3000 с, аномальність (вище 1,5) по компоненті M_{yy} горизонтального магнітного тензора, північно-східна орієнтація комплексного індукційного типера з величиною менше 0,2 практично у всьому частотному діапазоні відповідають провіднику на глибині близько 50–150 км [Ширков та ін., 2015а; Шеремет и др., 2016].

Аналіз теоретичних і експериментальних даних індукційних параметрів, отриманих при побудові тривимірної моделі Кіровоградської аномалії

електропровідності на $T = 2000$ с, показав, що на глибині 50–160 км в верхах мантії спостерігається зниження питомого опору порід. Також район характеризується неоднорідним розподілом швидкості поширення поздовжніх сейсмічних хвиль, причому в межах Кіровоградської аномалії електропровідності.

Південний борт центральної частини ДДЗ. Профіль Несено-Іржавець–Абрамівка (рис. 3) перетинає південно-східну частину прогнозованої Глидинцівської площі (прогнозовані нафтогазові площі кристалічного фундаменту ДДЗ виділені за комплексом геолого-геофізичних методів), яка характеризується наявністю коромантійної суміші потужністю 2–5 км, що властиво нафтовим і нафтоконденсатним родовищам, а також роздробленістю і розущільненням в кристалічному фундаменті і консолідованій корі на глибинах 20–30 км, що зумовлено великим вузлом перетину зон розломів різних систем [Бурахович и др., 2018].

У монографії [Шеремет и др., 2016] наведено результати геоелектричних досліджень в центральній частині ДДЗ за профілем «Георифт» Полтава–Чернігів. Тут на глибині 10–35 км описано низькоомну аномалію під нафтовими родовищами і ланцюжком соляних куполів, де на глибині до 6 км відзначені три перспективні площі, які ототожнюються з нафтогазовими покладами.

За результатами експериментальних МТЗ і МВП досліджень виділено аномальну область на глибині 20–30 км, де Кіровоградська аномалія електропровідності перетинає південний борт (Лохвицький блок) і осьову (Полтавський блок) частину ДДЗ, і підтверджено перспективні прогнозовані нафтогазоносні площі [Бурахович и др., 2018]. Глибинні аномалії електропровідності, які можуть бути пояснені проникненням з кори і мантії флюїдів, які є важливим джерелом для всіх наступних процесів формування нафтогазових родовищ.

Природа аномалії електропровідності, з одного боку, може бути пов'язана з підвищеною проникністю порід, в області яких розвиваються флюїдні системи та виникає міграція флюїдів, що спричинює утворення родовищ вуглеводнів, з іншого, пояснюється як результат «вуглеводневого дихання Землі» [Шеремет и др., 2016]. У цій роботі передбачається, що рідкі та газоподібні вуглеводні в осадовій товщі, постачаються з кореневого провідника графітової природи, що залягає в кристалічному фундаменті. Його просторове положення збігається зі скупченнями нафти у осадовому чохлах, що їх перекриває.

Такою структурою в межах УЩ є глибинна Криворізько-Кременчуцька РЗ, з якою пов'язано просторове розташування графітоносних областей в породах фундаменту. Вона проявляється в геомагнітних варіаціях як Кіровоградська аномалія, механізм електропровідності якої передбачається як флюїдно-графітовий.

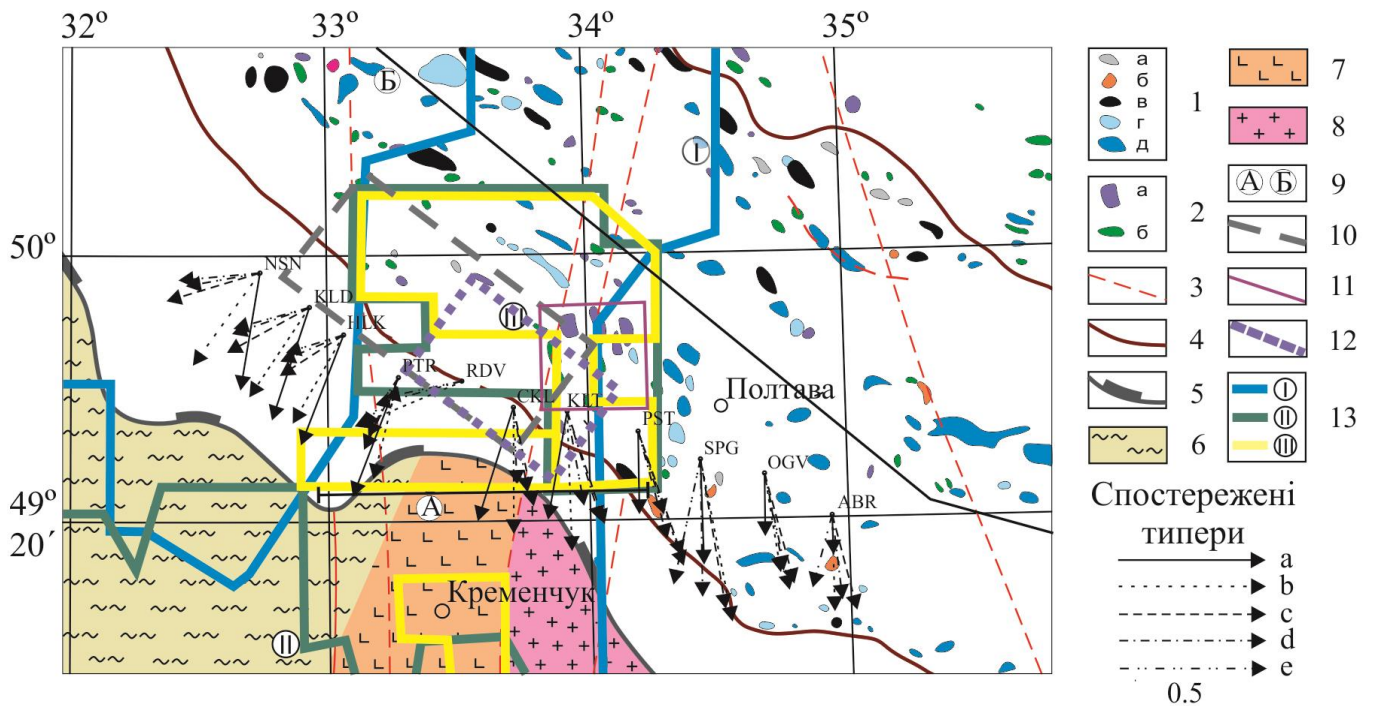


Рис. 3. Оглядова тектонічна карта з розташуванням на ній пунктів МТ/МВ досліджень: 1 – родовища (а – нафтові, б – нафтогазові, в – нафтогазоконденсатні, г – газові, д – газоконденсатні); 2 – нафтогазові об'єкти (а – підготовлені, б – розвідані); 3 – розривні порушення; 4 – скиди, що оконтурюють центральну частину ДДЗ; 5 – контур ДДЗ; 6 – Інгульський мегаблок (раннього протерозойського віку); 7 – Інгулецько-Криворізька шовна зона (архей-протерозойського віку); 8 – Середньопридніпровський мегаблок (середньо-архейського віку); 9 – профілі (А – АМТЗ-2; Б – уздовж центральної частини ДДЗ); 10 – прогнозна нафтогазоперспективна Глидинцівська площа у фундаменті ДДЗ; 11 – Підгородська площа, перспективна на вуглеводні [Шеремет и др., 2016]; 12 – прогнозна нафтогазоперспективна площа, виділена за профілем Несено Іржавець–Абрамівка; 13 – Кіровоградська аномалія електропровідності з виділеними глибинними аномаліями питомого електричного опору (менше 30 Ом·м): І – глибина 25–30 км; ІІ – 20–25 км; ІІІ – 10–20 км. Спостережені типери (ReW) для періодів геомагнітних варіацій: а – 150 с; б – 450 с; в – 1000 с; д – 2000 с; е – 3500 с.

Згідно з результатами 3D геоелектричного моделювання саме на цих глибинах знайдено аномальні структури, які підтверджуються новими експериментальними МТ/МВ спостереженнями. Крім того, нові експериментальні дані дозволили підтвердити і деталізувати раніше виділені нафтогазоносні ділянки, а саме прогнозну нафтогазоперспективну Глидинцівську площу в фундаменті ДДЗ. Аномалія пов'язана з його південно-східною частиною і продовжується на південний схід на 20 км. Профіль дослідження проходить за межами південної границі північно-західної частини Глидинцівської прогнозної площі. Інформацію про існування провідника, виділеного за результатами МТЗ [Бурахович и др., 2018] на глибині 10–35 км, та провідника, що передбачається за новими даними як границі занурення верхньої кромки до глибин 20–30 км у південно-західному напрямку.

Виділена в даній роботі аномальна область (рис. 3) частково збігається з перспективною Підгородською площею [Шеремет и др., 2016].

Таким чином, вивчення електромагнітних параметрів і природи аномалій електропровідності в надрах Землі дозволяє, по-перше, визначити сліди проходження глибинних процесів, по-друге, намітити взаємодію різних глибинних горизонтів і виявити перспективні на нафтогазоносність ділянки земної кори.

У п'ятому розділі «Глибинна геоелектрична будова північної Добруджі та Переддобрудзького прогину за результатами 3D моделювання» розглянуто результати експериментальних геоелектричних досліджень та етапи побудови 3D моделі, проведено порівняння розрахунків з експериментальними даними, проаналізовано виявлені аномалії електропровідності, їх ймовірну природу та зв'язок низькоомних зон із структурними особливостями території досліджень, її геодинамічними обстановками та родовищами і вуглеводневими проявами корисних копалин [Шеремет и др., 2016].

Було розраховано велику кількість моделей з різними варіантами як просторових параметрів аномальних структур, так і значень питомого електричного опору в земній корі і мантії. Деякі з них були опубліковані у роботі [Старостенко и др., 2013; Kushnir et al., 2013]. Остаточний варіант розподілу питомого електричного опору в надрах Переддобрудзького прогину і Добруджі представлений на (рис. 4).

Тривимірна геоелектрична модель. Вертикальні провідники з поверхні до глибини 10 км утворюють мережу гальванічно пов'язаних між собою витягнутих структур різної орієнтації завширшки 5–15 км, що відповідають розломним зонам [Burakhovych et al., 2015]. Розворот в просторі індукційних стрілок і їх значення свідчать про те, що найпотужніші приповерхневі аномалії електропровідності можуть бути приурочені до Чадир-Лунгського розлому, особливо в місцях його перетину з Фрунзенським і Саратським та на ділянках різкої зміни його напрямку. Також до таких зон можна віднести і частину Болградського розлому між Фрунзенським і Саратським. Крім того, електропровідна зона загальною довжиною понад 100 км і шириною 10 км, яка змінює свій напрямок з субширотного на субмеридіональне, приурочена до району зчленування крайового шва, що розділяє Прутський виступ і Переддобрудзький прогин (Кагульсько-Ізмаїлівського) з Фрунзенським розломом. На глибині до 1 км виділено серію провідників субширотного простягання шириною 5–10 км, довжиною 20–65 км. найбільш витягнуті провідники зосереджені в центральній частині Переддобрудзького прогину.

На глибинах 10–60 км основний провідник складної конфігурації (див. рис. 4) приурочений до блоку між Фрунзенським та Кагульсько-Ізмаїлівським (захід), Саратський (схід) і Болградським (північ) розломами на південному схилі Переддобрудзького прогину. Південна границя не визначена. Можна припустити, що вона складається з двох з'єднаних частин: верхньої – вертикальної, майже ізометричної, діаметром до 20 км на глибині 10–40 км, і нижньої – шару розміром 15–65 км в субширотному і понад 90 км в сумеридіональному напрямках на глибинах від 40 до 60 км. Ще одна майже ізометричну область (15×25 км) високої

електропровідності, приурочену до зламу Чадир-Лунгського розлому, на глибині від 10 до 40 км виділено на північному борту.

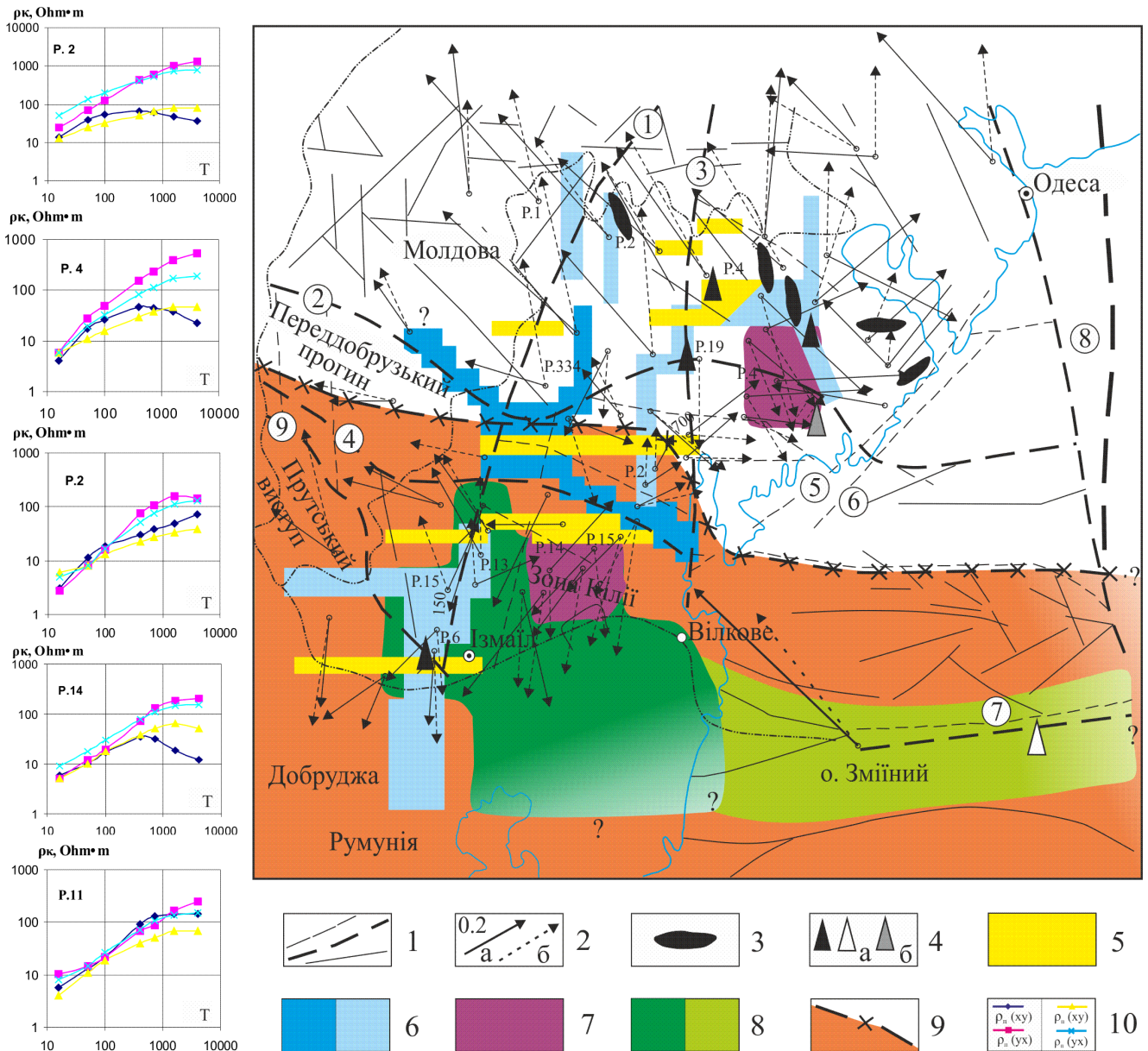


Рис. 4. Просторове розташування аномалії високої електропровідності Переддобрудзького прогину і Добруджі: 1 – глибинні розломи різного рангу (цифри у кружках: 1 – Фрунзенський, 2 – Чадир-Лунгський, 3 – Саратський, 4 – Болградський, 5 – Алібейський, 6 – Чорноморський, 7 – Сулинський, 8 – Одеський, 9 – Кагульсько-Ізмаїлівський); 2 – типери для періодів геомагнітних варіацій 400 с (а – спостережені, (б – розраховані); 3 – нафтоперспективні ділянки; 4 – нафтогазові родовища (а), Східносаратське родовище (б); 5–9 – аномалії електропровідності (5 – $h = 0-1$ км, $\rho = 2$ Ом·м; 6 – $h = 1-10$ км, $\rho = 2, 10$ Ом·м; 7 – $h = 10-40$ км, $\rho = 10$ Ом·м; 8 – $h = 40-60$ км, $\rho = 10$ Ом·м; $h = 20-100$ км, $\rho = 25$ Ом·м); 9 – північна границя шару, ($h = 110-160$ км, $\rho = 70$ Ом·м); 10 – приклади спостережених та розрахованих параметрів ρ_{II} .

Північна границя провідного шару у верхній мантії на глибині від 110 до 160 км простягається субширотно і розташована між Чадир-Лунгським і Болградським розломами. По Саратському розлому відбувається зміщення на 30 км цієї границі на південь, де вона, можливо, простягається у субширотному напрямку в акваторії Чорного моря.

Таким чином, територія Північної Добруджі і Переддобрудзького прогину, як і вся південно-західна країна СЄП, проявляється аномальними об'єктами високої електропровідності в надрах земної кори, а розподіл електропровідності у верхній мантії відображає стан зони зчленування СЄП і СП. Просторове розташування аномалій електропровідності відповідає субвертикальним мантійним колонкам в інтервалі (29–30 сх. д.) × (45–46 пн. ш.) [Старостенко и др., 2013].

Тривимірна геоелектрична модель північно-західної частини Чорноморського шельфу та о. Зміїний. Верхня частина моделі до глибини 4 км повністю включає в себе товщу морської води з $\rho = 0,05\text{--}0,10$ Ом·м. Електричний опір осадових відкладів, потужність яких в грабеноподібних западинах сягає 4 км, становить 30–15 Ом·м. Сам о. Зміїний, а також Зміїноострівне і Вилківське підняття складені напівметаморфізованими породами нижнього палеозою з високим опором (в моделі закладено $\rho = 1000$ Ом·м) [Кушнір, Ширков, 2013а].

На глибині 20–100 км виявлено провідну структуру, відображену в моделі як субширотний провідник з $\rho = 25$ Ом·м. Його сумарна поздовжня провідність становить 3200 См. Аномалія електропровідності займає положення між розломами (див. рис. 4): регіональним Печеніга-Камена, який, можливо, є продовженням в Чорному морі лінеамента Тейсейра–Торнквіста, на півдні і Кілійським на півночі.

Дані тривимірного моделювання узгоджуються з уявленнями про аномалії електропровідності в північно-західній частині Чорного моря [Кушнір, Ширков, 2013б]. Можливо гальванічне з'єднання виявленого провідника з подібними зонами зниженого опору Переддобрудзького прогину на заході, а також з Тарханкутською аномалією електропровідності на сході.

Переддобрудзький прогин і його обстановки відносяться до граничної області мантії під СЄП [Кушнір, Бурахович, 2019], визначеної змінами нульової ізолінії з глибиною в межах верхньої мантії і її перехідною зоною за даними тривимірної Р-швидкісної моделі Т.О. Цветкової [Старостенко и др., 2013]. Мантійній граничній зоні відповідає система похилих шарів. Особливості швидкісної будови дозволили виділити передумови, пов'язані з проявом мантійного плюму в нижній і середній мантії.

Підвищений тепловий потік аномалій електропровідності у верхній мантії і на різних глибинах в земній корі, описаний у роботах Р.І. Кутаса та В.В. Гордієнка, позитивна мантійна аномалія гравітаційного поля, підняття покрівлі нижньої мантії, присутність низькошвидкісної області, що поширюється вгору від нижньої мантії, через зону розділу-II і середню мантію до перехідної зони верхньої мантії, прояви у верхній мантії субвертикальної мантійної колонки як наслідків глибинного флюїду можна пояснити проявом мантійного плюму і пов'язаних з ним флюїдів [Старостенко и др., 2013].

Значний інтерес представляє корова низькоомна аномалія на глибині 20 км у Кілійській зоні, де спостерігається знижена потужність кори гранітного типу (30–40 км), і розташований поруч астеноліт, де фіксуються регіональний мінімум сили тяжіння і локальні підвищення теплового потоку. Тут упродовж венда та мезозою періодично виникає активізація. Глибинна корова аномалія може бути викликана флюїдизацією зони підвищеної тріщинуватості, зумовленої великими тектонічними процесами, які могли сприятливо впливати на формування вуглеводневих покладів.

Прояви сейсмічності, як і аномалії високої електропровідності переважно корелюють з активними глибинними тектонічними розломами і зонами зчленування геологічних структур, якими і є різновікові докембрійська СЄП і кіммерійська СП на території Переддобрудзького прогину і Північної Добруджі [Кушнір, Бурахович, 2019].

У шостому розділі «Глибинна геоелектрична будова Кримсько-Чорноморського регіону» розглянуто результати експериментальних геоелектричних досліджень [Бурахович и др., 2013а] основні етапи побудови 3D моделей, проведено порівняння розрахунків з експериментальними даними, проаналізовано виявлені аномалії електропровідності Кримського регіону, представлені у вигляді як горизонтальних зрізів на різних глибинах, так і вертикальних перерізів, та їх зв'язок зі структурними елементами тектоніки регіону [Бурахович и др., 2015б, 2016а]. Розглянуто ймовірну природу аномалій електропровідності регіону, зв'язок низькоомних зон зі структурними особливостями території досліджень, її геодинамічними обстановками [Бурахович и др., 2016б] та проявами рудних і вуглеводневих корисних копалин [Шеремет и др., 2016; Кушнір, Бурахович, 2019].

Геоелектричну модель Криму, що включає різноманітні тектонічні елементи, можна в першому наближенні представити наступним чином. Електропровідні утворення на поверхні Землі – осадові відклади, морська вода – розташовуються на фоні загального високого опору, характерного для консолідованої кори і верхньої мантії, які включають неоднорідні корові і добре електропровідні мантіїні зони. Основним результатом якісної інтерпретації геоелектричних досліджень є виявлення областей високої електропровідності як в земній корі, так і у верхній мантії Криму, які характеризуються різною провідністю і глибиною залягання, конфігурацією і по-різному відображають геологічні структури. Субвертикальні електропровідні зони часто збігаються з розломними структурами різного порядку, більшість таких об'єктів приурочено до шовних зон між різними тектонічними елементами, такими як СЄП і СП і Гірський Крим, Північно- і Південнокерченська зони і верхня мантія, що містять неоднорідні корові та мантіїні високопровідні шари. Це може свідчити про високу проникність для глибинних флюїдів зон контактів у процесі їх формування.

Інтерпретація експериментальних даних дозволила припустити існування декількох типів орієнтації електропровідних аномалій протяжних субмеридіональних та субширотних структур в центральній частині СП [Бурахович и др., 2016а]. Три аномальні зони з верхньою кромкою на глибині (h) до 10 км спостерігаються: 1) на заході Криму (обмежена із заходу Євпаторійсько-

Скадовським, зі сходу Салгирсько-Октябрським, з півдня Донузлавським розломами, на півночі – регіональним швом між ССП і СП); 2) на сході (пр. Джанкойський) в районі Чонгарського розлому – західного відгалуження Мелітопольсько-Новоцарицинської зони розломів; 3) поблизу Керченського перешийка в районі Кримсько-Керченського підняття вздовж пр. Феодосійський. У надрах земної кори виділяються три аномальні зони: 1) $h = 10\text{--}30$ км, S до 5000 См; 2) $h = 10$ км, S до 5000 См; 3) $h = 10$ км, $S = 2000\text{--}10000$ См.

Тривимірна геоелектрична модель Кримсько-Чорноморського регіону. Згідно з результатами 3D моделювання Кримсько-Чорноморського регіону (рис. 5) у земній корі та верхній мантії було виділено ряд електропровідних структур на різних глибинах від 2,5 до 100 км. У надрах Кримського півострова виявлено аномалію електропровідності на глибинах 5–10 км ($\rho = 5$ Ом·м), яка простягається від північної частини Тарханкутського півострова через центральний Крим до північно-західної частини Керченського півострова і з північнозаходу обмежується границею ССП, а з півдня – глибинним розломом, що розмежовує Гірський Крим та СП. На заході провідник відповідає східній частині Новоселівського підняття та Альмінській западині. З півночі його обмежують Сиваський грабен та Балашовський виступ, з заходу – Корсарсько-Феодосійський розлом. Далі на схід простежується зменшення питомого опору до $\rho = 1$ Ом·м вздовж південної частини Індоло-Кубанського прогину, де проявився провідник на глибинах 2,5–12 км (рис. 6), що, можливо, продовжується на Таманському півострові.

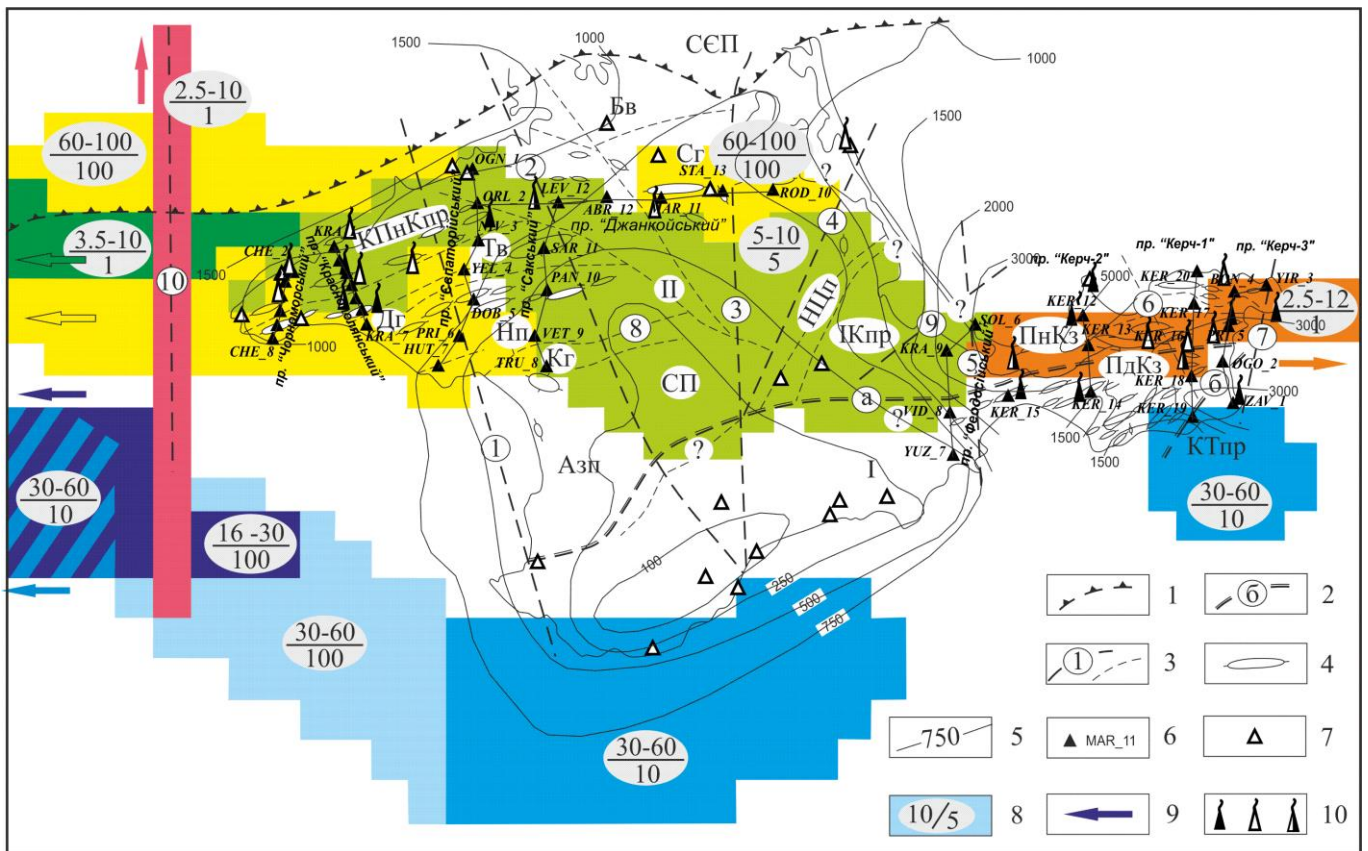


Рис. 5. Просторове розташування аномалії високої електропровідності Кримсько-Чорноморського регіону на схемі тектонічної будови України за

Ю.А. Арсірієм (1988): 1 – границя різновікових Східноєвропейської та Скіфської плит; 2 – розломі структури I порядку (букви у кружкаж: а – розлом, що розділяє Гірський Крим і Скіфську плиту; б – Правдинська); 3 – розломні структури II порядку (цифри у кружкаж: 1 – Євпаторійсько-Скадовський; 2 – Салгирсько-Октябрський; 3 – Чонгарський; 4 – Мелітопольсько-Новоцарицинський; 5 – Корсарсько-Феодосійський; 6 – Горностаєвський; 7 – Керченсько-Чкаловський; 8 – Донузлавський; 9 – Новотитарівський 10 – Миколаївський); 4 – локальні підняття; 5 – ізолінії сумарної повздовжньої провідності осадових відкладів (S_{oc}); 6 – пункти МТЗ і МВП по лінії профілів: Чорноморський, Краснополянський, Керч-1, 2, 3, Євпаторійський, Сакський, Джанкойський, Феодосійський, 7 – пункти МТЗ і МВП за літературними даними; 8 – параметри аномалій високої електропровідності за результатами 3D моделювання (чисельник – глибина залягання покрівлі та підшови в км; знаменник – питомий опір у Ом·м); 9 – напрямок можливого продовження аномалій електропровідності; 10 – родовища нафти, газу, газоконденсату.

Тектонічні структури 1-го порядку: I – складчасті споруди Гірського Криму, II – Скіфська плита;

Регіональні тектонічні структури: Азп – Альмінська западина; Тв – Тарханкутський вал; Бв – Балашовський виступ; ПнКз – Північнокерченська зона; ПдКз – Південнокерченська зона.

Прогини: КТпр – Керченсько-Таманський; ІКпр – Індоло-кубанський; КПнКпр – Каркінітсько-Північнокримський.

Підняття: Нп – Новоселівське; Сп – Сімферопольське; НЦп – Новоцарицинське;
Грабени: Дг – Донузлавський; Кг – Калинівський; Сг – Сиваський.

Північно-східна частина району Степового Криму характеризується присутністю аномалії електропровідності в Сиваському грабені і між Чонгарським та Мелітопольсько-Новоцарицинським розломами на глибинах 60–100 км ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Під акваторією Чорного моря на глибинах 2,5–10 км ($\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), виявлено два субмеридіональних провідника, що приурочені до глибинних Миколаївського та Одеського розломів. Субширотний провідник на глибинах 3,5–10 км ($\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), простягається від сходу Переддобрудзького прогину (продовження Болградського розлому) вздовж Каркінітсько-Північнокримського прогину до північної частини Тарханкутського півострова, де з'єднується з Тарханкутською аномалією на глибинах 5–10 км.

Південніше (продовження аномалії Добрудзького регіону та північно-західного шельфу Чорного моря між двома глибинними розломами: Кілійським та Печенга-Камена, її осьова частина відповідає Сулінській ЗР) виявлено потужну субширотну аномалію на межі кора–верхня мантія з диференційованим розподілом питомого опору як по латералі, так і по вертикалі. Її глибинна частина знаходиться між 30 та 60 км (ρ від 10 до 100 Ом·м). Після перетину з заходу на схід Миколаївського

субмеридіонального глибинного розлому вона змінює напрямок на південно-східний, оконтурюючи Кримський півострів. В західній частині цієї аномалії в акваторії Чорного моря можливий локальний (150×50 км) підйом на глибинах від 16 до 30 км ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), який зі сходу обмежується Миколаївським глибинним розломом.

На південномусході Керченського півострова у північно-східній частині Керченсько-Таманського прогину виявлено аномалію ізометричної форми на глибинах 30–60 км з ($\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) (див. рис. 6).

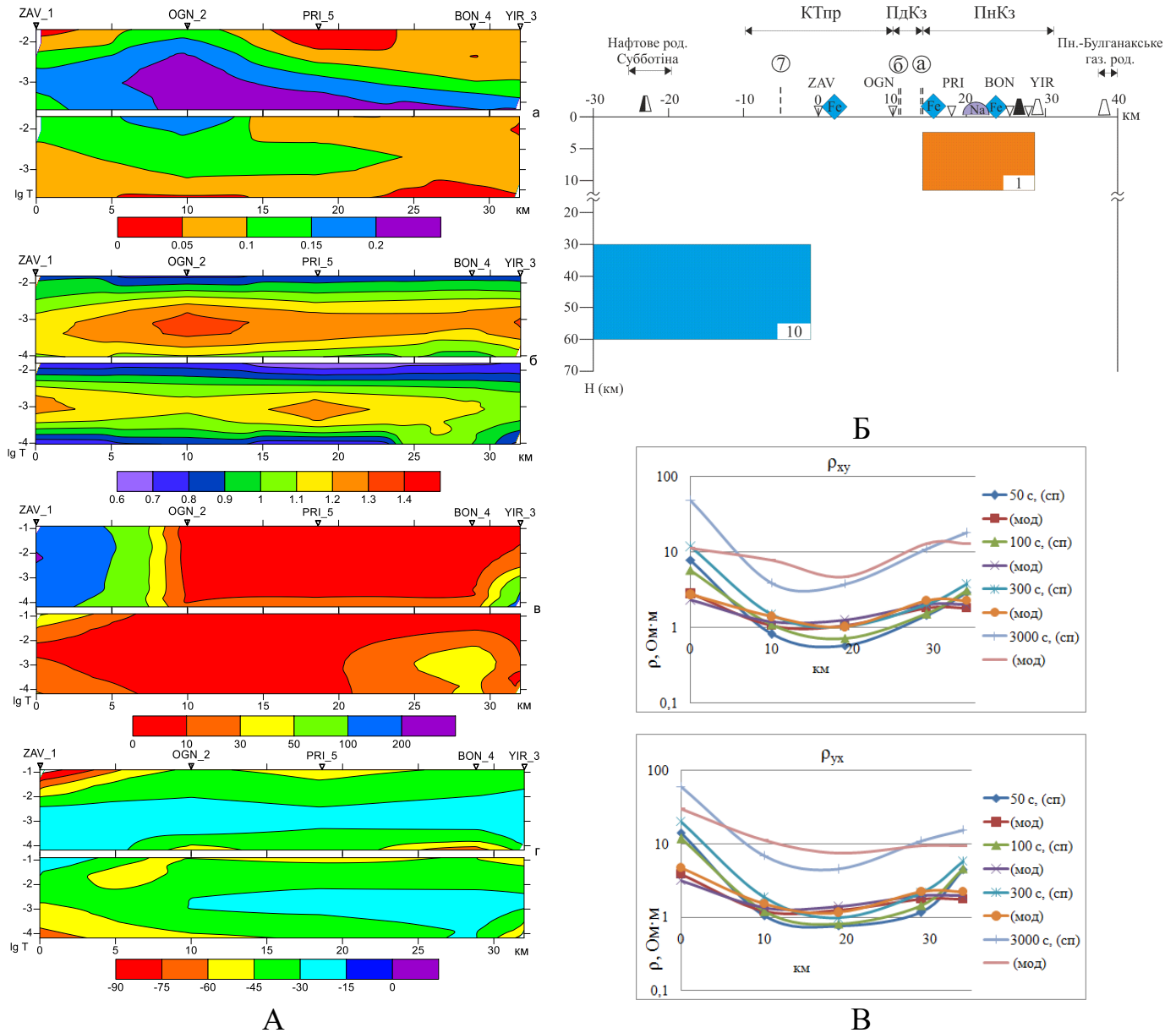


Рис. 6. Геоелектричні дослідження Кримського регіону на прикладі пр. Керч-3: А – псевдорозрізи спостережених параметрів (а – значення компонент типерів VEC_Re і VEC_Im ; б – значення головних компонент M_{yy} і M_{xx} тензора горизонтального аномального поля; в – значення позірного опору амплітудних кривих ρ_{xy} і ρ_{yx} ; г – фазові ϕ_{xy} і ϕ_{yx} криві імпедансу. Вертикальна шкала у $-\lg T$); Б – вертикальний розріз 3D геоелектричної моделі і проєкції на земну поверхню вуглеводневих та залізорудних родовищ; В – профільні графіки спостережених та модельних параметрів ρ_p . Умовні позначення див. на рис. 5.

Нижня частина Тарханкутської аномалії (західна частина Каркінітсько-Північнокримського прогину і Тарханкутського валу) проявляється на глибинах 60–100 км ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Поза всяким сумнівом, існує взаємозв'язок між проявами сейсмічності нафтогазоносністю і геоелектричними неоднорідностями (див. рис. 5, 6), які відображають сучасний стан земної кори і верхньої мантії та ймовірно, сліди впливу сучасних мантійних флюїдів. Це підтверджують результати вимірів теплового потоку Кримської геосинклінали (понад 70 мВт/м). Основні геометричні границі теплових аномалій схожі з результатами, отриманими при моделюванні. Параметри співвідношень ізотопів $^3\text{He}/^4\text{He}$ свідчать про аномальність цього регіону. Передбачається, що шляхи проникнення мантійного гелію утворились в результаті молоді активізації. Уздовж V профілю ГСЗ, що перетинає Тарханкутський півострів, на глибині 80 км зареєстровано аномальне зниження швидкості поширення поздовжніх хвиль.

Зони проявів надглибоких флюїдів, отримані за даними сейсмотомографії, аномалій високої електропровідності в земній корі і верхній мантії, підвищеного теплового потоку і поширення гіпоцентрів землетрусів, підтверджують зв'язок сейсмічності Криму з колізійними процесами [Бурахович и др., 2016б; Кушнір, Бурахович, 2019].

На думку В.Б. Порфірьєва (1981), утворення нафти і газу у Причорноморсько-Кримській нафтогазоносній області пов'язано з процесами, що відбуваються у верхній мантії Землі, звідки вони мігрували в осадову товщу і її фундамент по зонам великих розломів в третинно-четвертинний час.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено практичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що полягає у побудові тривимірних моделей за експериментальними електромагнітними даними різних геологічних структур України. Виявлено геоелектричні неоднорідності у земній корі та верхній мантії (УЩ, ДДЗ, північної Добруджі та Переддобрудзького прогину, Чорноморського шельфу, Кримського регіону), розглянуто ймовірну природу аномалій високої електропровідності, їх зв'язок з геодинамічними проявами та родовищами і рудопроявами корисних копалин, зокрема і горючих. Вирішення цієї задачі має значення при побудові глибинних геологічних і геотектонічних моделей, прогнозних металогенічних карт і схем, розробці критеріїв виділення перспективних площ на виявлення нових рудних та вуглеводневих проявів корисних копалин, а також для пояснення геодинамічних процесів.

Основним результатом геоелектричних досліджень можна вважати не тільки виявлення численних локальних та регіональних аномалій електропровідності, але і наявність низькоомних глибинних аномалій уздовж протяжних зон розломів, приурочених до зон метасоматозу, спряженість низькоомних аномалій з металогенічними рудними вузлами і геохімічними аномаліями. Так, Кіровоградська аномалія електропровідності в консолідованій корі в районі її перетину з ДДЗ

просторово збігається з нафтогазовими родовищами. Донбаська аномалія електропровідності трасує площу газових родовищ. Тарханкутська і Керченська аномалії високої електропровідності також просторово пов'язані з проявами вуглеводнів. У Прип'ятьському прогині, який характеризується глибинними аномаліями, виявлено значну нафтогазоносність.

Таким чином, найбільш значущими результатами роботи є наступні.

1. Отримано нові експериментальні дані методами МТЗ і МВП за допомогою сучасного обладнання з використанням передових технологій спостережень у межах окремих ділянок УЩ, ДДЗ, Донбасу, Північної Добруджі та Переддобрудзького прогину і Криму. Обробку виконано різними програмними комплексами. Здійснювалося оцінювання двох локальних передаточних операторів – МТ імпедансу, МВ типера, які побудовано у вигляді амплітудних та фазових кривих позірною питомого опору для широкого діапазону періодів, комплексних індукційних параметрів, профільних графіків та псевдорозрізів найінформативніших компонент функцій відгуку.

2. Вперше виявлено геоелектричні неоднорідності у різних геологічних структурах земної кори і верхньої мантії території України, які характеризуються аномально низькими та аномально високими значеннями електричного опору.

Геоелектричні неоднорідності УЩ:

- східна частина Приазовського мегаблока, Грузько-Єланчикцька і південно-східна частина Кальміуської зон розломів на глибинах біля 10–50 км, $\rho < 100$ Ом·м.
- центральна частина УЩ (ГШЗ, Інгульський мегаблок, ІКШЗ) – з поверхні до глибин 2–10 км і більше з $\rho = 10–100$ Ом·м, на глибинах 20–25 км з $\rho = 50–250$ Ом·м, на глибині 25–30 км і більше 50 км з $\rho = 100–250$ Ом·м;
- базит-метабазитові утворення Ятранського блока ГШЗ: Тарасівське – з поверхні до 100 м та 2–10 км з $\rho = 10–250$ Ом·м; Троянківське – від поверхні до 200 м та 2–10 км з $\rho = 5–250$ Ом·м.

Геоелектричні неоднорідності ДДЗ:

- Брагінсько-Лоевський виступ і Чернігівський блок – значна мінливість верхньої кромки провідників від 18–40 км у північно-західному напрямку до 3–5 км у осьовій частині;
- північний борт Белгородсько-Сумського мегаблока – у інтервалі глибин 50–160 км;
- південний борт центральної частини ДДЗ на глибинах 10–25 км, $\rho < 30$ Ом·м, 25–30 км, $\rho < 10$ Ом·м;

Геоелектричні неоднорідності Північної Добруджі та Переддобрудзького прогину: від поверхні до 10 км, $\rho = 2–10$ Ом·м; 10–60 км, $\rho = 10$ Ом·м; 20–100 км, $\rho = 25$ Ом·м; 110–160 км, $\rho = 70$ Ом·м.

Геоелектричні неоднорідності Кримського регіону: на глибинах 2,5–12 км, $\rho = 1$ Ом·м; 5–10 км, $\rho = 5$ Ом·м; 30–60 км, $\rho = 10–100$ Ом·м; 60–100 км, $\rho = 10–100$ Ом·м.

3. Підтверджено за результатами 3D моделювання, що центральна частина УЩ відрізняється високою електропровідністю по всьому розрізу земної кори і це свідчить як про аномально високу проникність порід палеопротерозойського

Інгульського мегаблока, так і про сучасні прояви активізації. Вперше виявлено розгалужену мережу субвертикальних низькоомних провідників з поверхні до 2,5 км, які приурочені до окремих витягнутих частин зон розломів та їх перетинів: Тальнівської, Первомайської, Кіровоградської, Західноінгулецької, Криворізько-Кременчуцької, Звенигородсько-Братської, Субботсько-Мошоринської, Смілянської, Лелеківської, Ємилівської та Конкської. Глибше в земній корі та верхній мантії геоелектричні неоднорідності, навіть якщо вони просторово і збігаються з розташуванням глибинних зон розломів, перетворюються в субгоризонтальні структури (шари) та проявляються в регіональних аномаліях електропровідності. Кіровоградська глибинна зона розломів є перспективною на виявлення нових родовищ урану і золота по всій її довжині як рудопідвідний канал осьової частини докембрійської рифтогенної структури, особливо між Бобринецькою і Субботсько-Мошоринською зонами розломів.

За результатами регіонального прогнозування у східному Приазов'ї перспективними зонами розломів є Грузько-Сланчиківська, де зафіксовано протяжні структури з флюорит-апатитовим зруденінням, що пов'язані з граносієнітовою формацією, та південно-східна частина Кальміуської, де виявлено кілька десятків рідкоземельних проявів.

4. Вперше на основі детальних експериментальних електромагнітних спостережень побудовано локальні тривимірні моделі базит-метабазитових утворень (Тарасівського та Троянківського масивів) Ятранського блока ГШЗ. Показано, що такі структури у геологічних границях в аномальній електропровідності не проявилися. Але розломі зони, які оконтурюють та перетинають їх, виявилися складними аномальними об'єктами як у плані, так і за глибиною. Вертикальний розріз представлено у вигляді кількох шарів: перший – електропровідний, ймовірніше, пов'язаний не тільки з високою електропровідністю поверхневих осадових відкладів, але і з зоною дезінтеграції порід кристалічного фундаменту; другий – високого опору, можливо, представлений однорідною недиференційованою товщею; третій – електропровідний, ймовірно може пояснюватись особливим складом порід земної кори (графітизацією, сульфідизацією та ін.) або флюїдизацією різного походження, природу аномалій можна розглядати як результат спільної діяльності електронного та іонного типів електропровідності.

5. Вперше за результатами геоелектричних досліджень підтверджено, що вузька північна частина ГШЗ – Ядлів-Трахтемирівська зона являє собою пластину, що висунута у обмежений міжблоковий простір в умовах стиснення, і що таких геодинамічних обстановках утворення аномалій електропровідності мало ймовірно.

6. Нові експериментальні електромагнітні дані дозволили підтвердити і деталізувати раніше виділені за іншими геофізичними методами перспективні нафтогазоносні площі, що знаходяться у фундаменті ДДЗ та супроводжуються аномаліями електропровідності на різних глибинних рівнях: на поверхні фундаменту 3–8 км, в земній корі 20–30 км та у верхах верхньої мантії.

7. Вперше для північної Добруджі і Переддобрудзького прогину та прилеглих територій побудовано детальну тривимірну геоелектричну модель земної кори та верхньої мантії. Виділено аномалії високої електропровідності від поверхні земної

кори і до верхньої мантії. Витягнуті на сотні кілометрів провідники приурочені до глибинних розломів різного рангу і їх перетинів: в центральній частині Переддобрудзького прогину, крайового шва Кагульсько-Ізмаїлівського з Фрунзенським, Болградського, Чадир-Лунгського, частини Саратського та ін. Основний глибинний провідник складної конфігурації у земній корі та в верхній частині верхньої мантії приуроченій до Кілійської зони південного борта Переддобрудзького прогину. Північний борт характеризується локальною провідною структурою в земній корі на зламі Чадир-Лунгського розлому. Північна границя провідного шару у верхній мантії розташована між Чадир-Лунгським і Болградським розломами та простягається у субширотному напрямку в акваторії Чорного моря.

Комплексна інтерпретація геолого-геофізичних даних високу електропровідність регіону пов'язує з глибинними флюїдними системами та активними геодинамічними процесами. Ділянки над аномаліями у земній корі повинні становити інтерес з погляду перспективності пошуків вуглеводневих покладів.

8. Уперше для Кримського регіону та прилеглих територій побудовано тривимірну геоелектричну модель земної кори та верхньої мантії, що представлена субвертикальними та субгоризонтальними неоднорідними структурами з різною глибиною залягання верхньої кромки провідника. Впевнено простежується глибинна субширотна структура, яка на заході підтверджує та деталізує відому Тарханкутську аномалію, та продовжується через центральний Крим до північно-західної частини Керченського півострову. Припускається наявність в надрах північно-західного шельфу Чорного моря та у північно-східній частині Керченсько-Таманського прогину потужної субширотної аномалії на межі кора–верхня мантія, що оконтурює Кримський півострів. На південному-сході виразно проявилася ізометрична аномалія електропровідності в зоні нафтового родовища Субботіна.

Комплексна інтерпретація геолого-геофізичної інформації з врахуванням розподілу геоелектричних неоднорідностей підтверджують зв'язок геодинамічної активності регіону з колізійними процесами. Показано взаємозв'язок між проявами сейсмічності, нафтогазоносністю і геоелектричними неоднорідностями, що відображають сучасний стан земної кори і верхньої мантії та, ймовірно, сліди впливу сучасних мантійних флюїдів.

9. Набули подальшого розвитку уявлення про комплексну природу аномалій електропровідності, що може бути обумовлена графітизацією та сульфідизацією зон метасоматозу вздовж протяжних зон розломів в межах УЩ та до областей поширення графітизованих гнейсів і сланців. Природа аномалії електропровідності, з одного боку, може бути пов'язана з підвищеною проникністю порід, в області яких розвиваються флюїдні системи та виникає міграція флюїдів, що спричиняє утворення родовищ вуглеводнів, з іншого, пояснюється як результат «вуглеводневого дихання Землі». В межах проєкцій на земну поверхню геоелектричних неоднорідностей розташовуються більшість залізородних родовищ переважно карбонатно-залізисто-кремнисто-метабазитової і залізисто-кремнистої формацій, що містять прояви рудної мінералізації.

Достовірність одержаних результатів забезпечується застосуванням сертифікованого обладнання, методикою проведення досліджень, використанням сучасних методів обробки експериментального матеріалу. Незаперечним підтвердженням достовірності запропонованого розподілу електропровідності земної кори та верхньої мантії слугують всебічне тестування моделей, систематичне порівняння з даними спостережень та несуперечність основним геолого-геофізичним висновкам про глибинну будову, а також відповідність структурам за геолого-тектонічними картами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Старостенко, В. И., & Гинтов, О. Б. (Ред.) (2013). *Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых*. Киев: РПЦ «Галактика». (Наклад 300 прим.).
2. Шеремет, Е. М., Бурахович, Т. К., Николаев, И. Ю., Дудик, А. М., Дудик, К. А., **Кушнир, А. Н.**, ... Агаркова, Н. Г. (2016). *Геоэлектрические и геохимические исследования при прогнозировании углеводородов в Украине*. Киев: ЦП «Компринт». (Наклад 300 прим.).
3. Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. Н.** (2018). *Голованевская шовная зона (глубинная геоэлектрическая модель и полезные ископаемые)*. LAP LAMBERT Academic Publishing. (електронне видання).
4. **Кушнир, А. Н.**, & Бурахович, Т. К. (2019). *Электропроводность сейсмоактивных регионов Украины*. LAP LAMBERT Academic Publishing. (електронне видання).

Статті у наукових виданнях

5. Ширков, Б. И., Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. Н.**, & Зайцев, Г. М. (2013). Аномальна електропровідність земної кори східної частини Приазовського мегаблоку. *Вісник Київського університету. Серія Геологія*, 60, 12–16.
6. Старостенко, В. И., Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. Н.**, Легостаева, О. В., Цветкова, Т. А., Шеремет, Е. М., & Шумлянская, Л. А. (2013). Возможная природа сейсмической активности недр Добруджского прогиба и Северной Добруджи. *Геофизический журнал*, (1), 61–74. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i1.2013.116331>
7. **Kushnir, A. N.**, **Kulik, S. N.**, & Burakhovich, T. K. (2013). Seismicity in the Platform Regions of Ukraine in the Zones of Anomalous Electrical Conductivity. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 49(3), 392–401. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351313030087> (Web of Science, Scopus).
8. Burakhovich, T. K., **Kushnir, A. N.**, & Tsvetkova, T. A. (2013 a). Recent research of geophysical parameters of the lithosphere of East-European platform. *Геодинаміка*, 2(15), 112–114.

9. Кушнир А.Н., & Ширков Б.И. (2013а). 3D геоэлектрическая модель о. Змеиный. *Геодинаміка*, 2(15), 198–200.
10. Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. Н.**, Цветкова, Т. А., & Шумлянская, Л. А. (2013а). Комплексна інтерпретація сейсмотомографічних та геоелектричних моделей для оцінки геодинамічних процесів у літосфері Криму. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 13(2), 12–26.
11. **Кушнир, А. Н.**, & Ширков, Б. И. (2013б). Глубинное строение северо-западной части Черноморского шельфа по геоэлектрическим данным. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 13(2), 178–190.
12. Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. Н.**, & Ширков, Б. И. (2015а). Глибинна будова Інгульського мегаблоку за даними геоелектричних досліджень. *Доповіді НАН України*, (3), 81–86. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.03.081>
13. **Кушнир, А. Н.** (2015). Синхронні магнітотеллуричні та магнітоваріаційні зондування північної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Доповіді НАН України*, (5), 96–102. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.05.096>
14. Ширков, Б. И., Гішук, О. В., & **Кушнир, А. Н.** (2015а). Геоелектричні дослідження Белгородсько-Сумського мегаблоку північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Геофизический журнал*, 37(5), 176–182. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111163> (Web of Science).
15. Burakhovych, T. K., **Kushnir, A. N.**, Nikolaev, I. Yu., & Shirkov, B. I. (2015). The 3D geoelectrical model of Earth crust and the upper mantle of the Dobrudzha region. *Геодинаміка*, 18(1), 55–62. (Copernicus).
16. Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. М.**, Николаев, И. Ю., Шеремет, Е. М., & Ширков, Б. И. (2016а). Результаты экспериментальных электромагнитных исследований Крымского региона. *Геофизический журнал*, 38(2), 57–78. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i2.2016.107765> (Web of Science).
17. **Кушнир, А. Н.**, & Бурахович, Т. К. (2016). Результаты электромагнитных исследований Брагинско-Лоевского выступа и Черниговского блока ДДВ. *Геофизический журнал*, 38(3), 128–137. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107785> (Web of Science).
18. Ширков, Б. И., Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. М.**, Николаев, И. Ю., & Шеремет, Е. М. (2016). Прогнозирование проявлений полезных ископаемых на основе МТ/МВ методов в центральной части Украинского щита. *Вопросы естествознания*, 3(11), 146–151.
19. Бурахович, Т. К., **Кушнир, А. М.**, Николаев, И. Ю., Цветкова, Т. А., & Ширков, Б. И. (2016б). Комплексная интерпретация сейсмотомографических и геоэлектрических моделей для оценки геодинамических процессов в литосфере Крыма. *Вопросы естествознания*, 3(11), 40–44.
20. Ширков, Б. И., Бурахович, Т. К., & **Кушнир, А. Н.** (2017). Трёхмерная геоэлектрическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита. *Геофизический журнал*, 39(1), 41–60. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i1.2017.94010> (Web of Science, Copernicus).
21. **Кушнир, А. Н.**, Бурахович, Т. К., Ширков, Б. И., & Джаошвили, В. Б. (2017). Электромагнитные исследования северного склона центральной части

- Українського щита. *Доповіді НАН України*, (10), 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.10.060>
22. Бурахович, Т. К., Іл'єнко, В. А., **Кушнір, А. М.**, & Ширков, Б. І. (2018). Тривимірна глибинна геоелектрична модель Тарасівської структури Голованівської шовної зони. *Геофизический журнал*, 40(2), 108–122. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128934> (Web of Science, Copernicus).
23. Бурахович, Т. К., **Кушнір, А. Н.**, & Ільєнко, В. А. (2018). Геоелектрические исследования нефтегазоносного района южного борта центральной части Днепровско-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*, 40(5), 172–190. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147479> (Web of Science, Copernicus).
24. Николаєв, І. Ю., **Кушнір, А. М.**, Ільєнко, В. А., & Ніколаєв, Ю. І. (2019). Електромагнітні дослідження західної частини Українського щита. *Геофизический журнал*, 41(3), 120–133. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172433> (Web of Science, Copernicus).

Тези доповідей і матеріали конференцій

25. Shyrkov, V. I. & **Kushnir, A. M.** (2014). Processing of results of MT and MB of research on pr. "Pervomaysk": *13th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. Kiev. DOI: 10.3997/2214-4609.20140430 (Scopus).
26. Бурахович, Т. К., **Кушнір, А. М.**, Николаєв, І. Ю., Цветкова, Т. А., & Ширков, Б. І. (2015б). Комплексная интерпретация сейсмотомографических и геоелектрических моделей для оценки геодинамических процессов в литосфере Крыма: *VII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (ЭМЗ-2015)* [Електронне видання]. Иркутск: ІРНІТУ. Режим доступа: http://conf.nsc.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady.
27. Ширков, Б. І., Бурахович, Т. К., **Кушнір, А. М.**, & Николаєв, І. Ю. (2015б). Глубинное строение Ингульского мегаблока по данным геоелектрических исследований: *VII Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли имени М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна (ЭМЗ-2015)* [Електронне видання]. Иркутск: ІРНІТУ. Режим доступа: http://conf.nsc.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady.
28. Бурахович, Т. К., **Кушнір, А. Н.**, Николаєв, І. Ю., Шеремет, Е. М., & Ширков, Б. І. (2016в). Геоелектрические исследования при прогнозировании рудопроявлений полезных ископаемых на Украинском щите: *Международная научно-практическая конференция «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы», посвященной 100-летию Пермского университета, 85-летию геологического факультета, 65-летию спец. «Геофизика», 90-летию со дня рождения проф. Б. К. Матвеева*. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. С. 74–78.

29. Бурахович, Т., Гіщук, О., **Кушнір, А.**, Ніколаєв, І., & Ширков, Б. (2016г). Електричні властивості порід мантиї за даними глибинного магнітотелуричного зондування: *VI Міжнародна наукова конференція «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища», присвячена 25-річчю Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України та 85-річчю професора Ярослава Сапужака, першого керівника КВ ІГФ НАН України*. Львів: СПОЛОМ. С. 41–43.
30. Ширков, Б. И., Бурахович, Т. К., & **Кушнір, А. Н.** (2017). Электропроводность как проявление геодинамических процессов в Голованевской шовной зоне: *Конференции с международным участием «Глубинное строение и геодинамика Приладожья»*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 267–275. <http://igkrc.ru/geoladoga2017/tmp/Geoladoga2017.pdf>
31. **Кушнір, А. М.** & Ширков, Б.І. (2014). Обробка даних МТЗ і МВП по профілю «Первомайський»: *XIII Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти»*. Київ. (Scopus).
32. Бурахович, Т. К., & **Кушнір, А. М.** (2015). Розподіл електропровідності в надрах Кримського регіону: *XIV Міжнародна конференція з геоінформатики – Теоретичні та прикладні аспекти*. Київ. DOI: 10.3997/2214-4609.201412352 (Scopus).
33. Ширков, Б. І., **Кушнір, А. М.**, & Усенко, А. П. (2015б). Обробка МТ/МВ даних по профілю Довжанка-Бузьке: *XIV-а Міжнародна конференція з геоінформатики – Теоретичні та прикладні аспекти*. Київ. DOI: 10.3997/2214-4609.201412360 (Scopus).
34. Burahovich T., & **Kushnir A.** (2016). Results of experimental electromagnetic studies of the Crimean region: *XVth International Conference on Geoinformatics. Theoretical and Applied Aspects*. Kiev. DOI: 10.3997/2214-4609.201600475 (Scopus).
35. Burakhovych, T. K., **Kushnir, A. M.**, Ilyenko, V. A., & Shyrkov, B. I. (2018). Geoelectric researches of the Tarasivka structure of the Golovanivsk suture zone: *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. Kiev. DOI: 10.3997/2214-4609.201801779 (Scopus).
36. **Kushnir, A. M.**, Burakhovych, T. K., Shyrkov, B. I., & Ilyenko, V. A. (2019). Deep Geoelectrical Researches of the Tarasivskiy and Troyankivskiy Metabasite Massives of Golovanivsk Suture Zone: *18th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. Kiev. DOI: 10.3997/2214-4609.201902089 (Scopus).

АНОТАЦІЯ

Кушнір А.М. Геоелектричні неоднорідності земної кори та верхньої мантії території України. – 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.

Дисертація присвячена вивченню геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії різних геологічних структур України на основі побудови тривимірних моделей розподілу електричного опору за експериментальними МТ/МВ даними. Мова йде про тлумачення природи аномалій високої електропровідності за результатами комплексного аналізу геолого-геоелектричних даних та їх дослідження як одного з факторів прояву геодинамічних процесів для пошуку ознак рудної мінералізації та вуглеводневих корисних копалин.

Побудовано та проаналізовано тривимірні моделі розподілу електричного опору земної кори і верхньої мантії як локального так і регіонального характеру. Локальні – базит-метабазитових утворень (Тарасівського та Троянківського масивів) Ятранського блока ГШЗ. Регіональні – центральної частини УЩ (Інгульського мегаблока, Голованівської та Інгулецько-Криворізької шовних зон), Північної Добруджі та Переддобрудзького прогину, Кримсько-Чорноморського регіону.

За результатами спеціалізованих досліджень виявлено геоелектричні неоднорідності у земній корі та верхній мантії України, які характеризуються аномально низькими та аномально високими значеннями електричного опору. Зони високої електропровідності, що виходять на поверхню, визначаються субвертикальною неоднорідністю та утворюють гальванічно пов'язану систему. Вона просторово корелює з глибинними розломами різного рангу, що виділені за геологічними даними. Земна кора незалежно від геолого-тектонічного регіону характеризується аномально провідними шарами, верхня кромка яких спостерігається на різних глибинах від 2 до 20 км з питомим електричним опором до 100 Ом·м. Геоелектричну неоднорідність верхньої мантії зафіксовано у Переддобрудзькому та Кримсько-Чорноморському регіонах і тільки фрагментарно під Українським щитом, Прип'ятським прогином та Дніпровсько-Донецькою западиною.

Ключові слова: земна кора, мантія, Український щит, Голованівсько – Ядліво-Трахтемирівська шовна зона, Дніпровсько-Донецька западина, Добрудзько – Кримсько-Чорноморський регіон, Східноєвропейська платформа, Скіфська плита, 3D геоелектрична модель, магнітотелуричне зондування, магнітоваріаційне профілювання, глибинна будова, аномалії електропровідності, рудні корисні копалини, вуглеводні.

АННОТАЦИЯ

Кушнир А.Н. Геоэлектрические неоднородности земной коры и верхней мантии территории Украины. – 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.

Диссертация посвящена изучению геоэлектрических неоднородностей земной коры и верхней мантии различных геологических структур Украины на основе построения трехмерных моделей распределения электрического сопротивления по экспериментальным МТ/МВ данным. Речь идет о природе аномалий высокой электропроводности по результатам комплексного анализа геолого-геоэлектрических данных и их исследованиях как одного из факторов проявления геодинамических процессов для поиска признаков рудной минерализации и углеводородных полезных ископаемых.

Проведены современные экспериментальные МТ/МВ исследования в различных геологических структурах территории Украины, на их основе построены 3D геоэлектрические модели земной коры и верхней мантии с привлечением данных предыдущих глубинных электромагнитных исследований.

При расчетах электромагнитного поля применен широко известный в мировой практике построения геоэлектрических моделей пакет программного обеспечения Mtd3fwd, который дает возможность получать пять компонент магнитотеллурического поля для двух поляризаций.

3D моделирование глубинных аномалий высокой электропроводности заключалось в реализации двух этапов: на первом этапе выполнялся подбор такой модели распределения электропроводности, для которой рассчитанные магнитовариационные параметры соответствовали бы экспериментальным данным; второй этап предусматривал уточнение подобранной модели по данным МТЗ.

Построены и проанализированы трехмерные модели распределения электрического сопротивления земной коры и верхней мантии как локального, так и регионального характера. Региональные – центральной части УЩ (Ингульского мегаблока, Голованевской и Ингулецко-Криворожской шовных зон), Северной Добруджи и Переддобруджского прогиба, Крымско-Черноморского региона. Локальные – базит-метабазитовых образований (Тарасовского и Троянковского массивов) Ятранского блока ГШЗ.

Результаты специальных исследований обнаружили геоэлектрические неоднородности в земной коре и верхней мантии Украины, характеризующиеся аномально низкими и аномально высокими значениями сопротивления. Зоны высокой электропроводности, выходящие на поверхность, характеризуются субвертикальными неоднородностями, образующими гальванически связанную систему. Она пространственно коррелирует с глубинными разломами разного ранга, выделенными по геофизическим и геологическим данным. Земная кора независимо от геолого-тектонического региона характеризуется аномально проводящими слоями, верхняя кромка которых наблюдается на разных глубинах от 2 до 20 км с

удельным электрическим сопротивлением до 100 Ом·м. Геоэлектрические неоднородности верхней мантии зафиксированы в Переддобруджском и Крымско-Черноморском регионах и только фрагментарно под Украинским щитом, Припятским прогибом и Днепровско-Донецкой впадиной.

Результаты новых экспериментальных данных позволили подтвердить и детализировать ранее выделенные перспективные нефтегазоносные площади – Глидинцовскую, Подгородскую, Талалаевскую и Ниновскую, расположенные в фундаменте Днепровско-Донецкой впадины и сопровождающиеся аномалиями электропроводности на разных глубинных уровнях. Их недра характеризуются пересечением активизированных разломов различной ориентации, а также аномальной мощностью коромантийной смеси и разуплотненными областями на поверхности фундамента (3–8 км), в земной коре (20–30 км) и в верхах верхней мантии.

Получили дальнейшее развитие представления о комплексной природе аномалий электропроводности, которая, возможно, обусловлена графитизацией и сульфидизацией зон метасоматоза вдоль протяженных зон разломов в пределах Украинского щита и в области распространения графитизированных гнейсов и сланцев. Природа аномалий электропроводности, с одной стороны, может быть связана с повышенной проницаемостью пород, в области которых развиваются флюидные системы и возникает миграция флюидов, что вызывает образование месторождений углеводородов, с другой стороны, объясняется как результат «углеводородного дыхания Земли». В границах проекций на земную поверхность геоэлектрических неоднородностей располагается большинство железорудных месторождений преимущественно карбонатно-железисто-кремнисто-метабазитовой и железисто-кремнистой формаций, содержащие проявления рудной минерализации.

Ключевые слова: земная кора, мантия, Украинский щит, Голованевско – Ядливо-Трахтемировская шовная зона, Днепровско-Донецкая впадина, Добруджско – Крымско-Черноморский регион, Восточноевропейская платформа, Скифская плита, 3D геоэлектрическая модель, магнитотеллурическое зондирование, магнитовариационное профилирование, глубинное строение, аномалии электропроводности, рудные полезные ископаемые, углеводороды.

ABSTRACT

Kushnir A.M. Geoelectrical heterogeneities of the crust and upper mantle of the territory of Ukraine. – Manuscript.

Thesis for a doctor's degree in geological sciences, specialty 04.00.22 – geophysics (103 – Earth Sciences). – Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the study of the earth's crust and upper mantle geoelectric heterogeneities of the various geological structures of Ukraine on the basis of the construction of the three-dimensional models of the electrical resistivity distribution according to the experimental MT/MV data. It deals with the explaining of the high-

electrical conductivity anomaly nature based on the results of the geological and geoelectrical data complex analysis and their study as one of the factors of the geodynamic processes for the ore mineralization and hydrocarbon search.

The three-dimensional models of the electrical resistivity distribution of the earth's crust and upper mantle, both local and regional, were constructed and analyzed. The local models are basic-metabasic structures (Tarasivka and Troyanka massives) of the Yatran block of the GSZ. The regional ones are the central part of the USh (Ingul megablock, Golovanivsk and Ingulets-Kryvyi Rih suture zones), the Northern Dobrudja and the Pre-Dobrudja depression, the Crimean-Black Sea region.

According to the research, the geoelectric heterogeneities in the earth's crust and upper mantle of Ukraine were revealed, they are characterized by the anomalously low and anomalously high electrical resistivity values. The conductivity zones that reach the surface are characterized by the subvertical heterogeneity and assemble the galvanically linked system. It spatially coincides with the deep faults of the different rank that are distinguished according to the geological data. The earth's crust independently of the geological and tectonic region is characterized by anomalous conductivity layers, the upper edge of which is observed at the different depths from 2 to 20 km with an apparent resistivity up to 100 Ohm·m. The geoelectrical heterogeneity of the upper mantle was revealed in the Pre-Dobrudja and Crimean-Black Sea regions, and only fragmentarily under the Ukrainian shield, the Pripjat depression, and the Dnipro-Donets basin.

Key words: crust, mantle, Ukrainian shield, Golovanivsk – Yadrivo-Trakhtemyrovsk suture zone, Dnieper-Donetsk basin, Dobrudja – Crimean-Black Sea region, Eastern European Platform, Scythian plate, 3D geoelectrical model, magnetotelluric sounding, magnetovariation profiling, deep structure, conductivity anomalies, ore minerals, hydrocarbons.