

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

**ІЛЬЄНКО Володимир Анатолійович**

УДК 550.372/373+551.24.055

**ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЗОН РОЗЛОМІВ ЗЕМНОЇ КОРИ  
КОЧЕРІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО  
ЩИТА**

04.00.22 – геофізика

103 – Науки про Землю

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата геологічних наук

**Київ–2020**

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор геологічних наук,  
Кушнір Антон Миколайович  
Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН  
України

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук,  
**Меньшов Олександр Ігоревич**  
старший науковий співробітник ННІ «Інститут  
геології» Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка

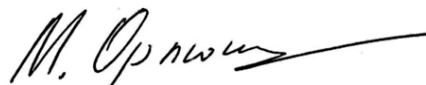
доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
**Шермет Євгеній Михайлович**  
завідувач відділу геологічних, геохімічних та  
дистанційних методів досліджень  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім.  
М.П. Семененка НАН України

Захист відбудеться «25» листопада 2020 року о 10:00 годині на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д 26.200.01 при Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, просп. Академіка Палладіна, 32.

Із 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 «22» жовтня 2020 р.

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради Д 26.200.01



доктор геологічних наук

М. І. Орлюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Родовища та рудопрояви корисних копалин – досить різноманітні та складні геолого-геоелектричні об'єкти. Вони характеризуються різним складом руд, суттєвою залежністю їх фізичних властивостей від походження та концентрації, різними формами та умовами залягання рудних тіл, наявністю аномалієутворювальних тіл іншої природи, неоднорідністю вмісних порід і цілою низкою інших чинників. У багатьох геологічних районах спостерігається різко змінна потужність осадових відкладів і пересічений рельєф.

За останні десятиліття методи геоелектрики зазнали значного розвитку, розширивши області їх застосування. Одним із нових напрямків можна вважати (в комплексі з іншими геофізичними методами) вивчення родовищ рудних корисних копалин. У багатьох випадках МТ-методи можуть виступати як засоби прямого пошуку масивів рудних об'єктів, що характеризуються зв'язаною підвищеною електропровідністю гірських порід. Просторове розташування рудопроявів переважно має стійкий зв'язок із певними тектонічними зонами. Так, для Українського щита (УЩ); Воронезького кристалічного масиву; Норильської рудної зони; магматичних інтрузій Рудного Алтаю; зони розломів Вест-Бей-Індін; південної частини кратону Голер; східної частини півострову Ейр (під розломом Роопена); розломних структур Кемел Хіл та багатьох інших над глибинними коровими аномаліями електропровідності виявлені численні рудопрояви і родовища. Це відзначено в роботах М.Н. Бердичевського, С.М. Кулика, В.І. Трегубенка, М.В. Чичерова, В.В. Белявського, І.М. Варенцова, Т.К. Бурахович, Є.М. Шеремета, І.М. Логвинова, І.І. Рокитянського, А.G. Jones, Т.D. Khoza, J.E. Spratt та інших. У цих умовах аналіз структури поширення корових провідників, за матеріалами глибинних МТ-зондувань в комплексі з іншими геолого-геофізичними та геохімічними даними дозволяє оцінити перспективи можливих рудопроявів корисних копалин. Проте використання методів магнітотелурики в геофізичних дослідженнях на стадії пошуку і розвідки корисних копалин не зводиться до безпосереднього виділення масивів мінералізованих структур. При вивченні родовищ зі складною геологічною будовою, з невитриманим вмістом корисних копалин, на перший план виходять завдання визначення та подальшого пошуку різних непрямих рудоконтролюючих ознак, таких як високоомні інтрузивні масиви певного складу або низькоомні розломні зони та ін.

Сучасні експериментальні МТ-зондування, засновані на вивченні природного низькочастотного змінного електромагнітного поля іоносферно-магнітосферного походження із застосуванням новітньої апаратури, та обробка їх результатів на основі універсальних пакетів програм та інтерпретації даних для складно побудованих тривимірних неоднорідних середовищ можуть забезпечити виявлення аномалій електропровідності та вивчення глибинної структури земної кори Кочерівської ділянки західної частини УЩ, його тектонічних особливостей, а

також зон прояву геодинамічних процесів, що мають бути досліджені з точки зору формування та розміщення родовищ і рудопроявів корисних копалин.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати досліджень отримано при виконанні державних бюджетних тем Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України: «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); «Геологічна будова Побузького гірськорудного району за сучасними геофізичними і геологічними даними та оцінка його перспектив на стратегічні мінеральні ресурси (2016–2020 рр., 0116U006203); грант молодих вчених ДФФД України «Розробка перспективних технологій для пошуку рудопроявів корисних копалин» (2018 р., 0118U001915).

**Мета і завдання дослідження** відповідно до предмета та об'єкта дослідження полягають у створенні тривимірної глибинної моделі Кочерівської ділянки західної частини УЩ за даними сучасних експериментальних електромагнітних досліджень і вивченні зв'язків між електропровідністю зон розломів (Звиздаль-Заліської, Брусилівської, Немирівської) та структурними, металоогенічними і геодинамічними особливостями району.

Для досягнення цієї мети були вирішені наступні завдання:

- збір та узагальнення геолого-геоелектричних даних;
- проведення експериментальних досліджень за допомогою сучасного обладнання та з використанням передових технологій спостережень, обробка результатів досліджень сучасними програмними комплексами;
- вивчення основних особливостей та інтерпретація магнітотелуричних і магнітоваріаційних функцій відгуку;
- побудова та аналіз тривимірної моделі розподілу електричного опору земної кори і верхньої мантії та виявлення аномалій електропровідності Кочерівської ділянки західної частини УЩ;
- встановлення зв'язку аномалій високої електропровідності Кочерівської ділянки західної частини УЩ із структурними особливостями району, існуючими та перспективними для пошуку рудопроявами та можливими родовищами корисних копалин. Аналіз аномальної електропровідності сейсмоактивних регіонів УЩ та прилеглих територій.

**Об'єкт дослідження** – земна кора та верхня мантія, зони розломів Кочерівської ділянки західної частини Українського щита.

**Предмет дослідження** – аномалії електропровідності Кочерівської ділянки західної частини Українського щита, їх зв'язок з рудопроявами корисних копалин та сейсмічністю.

**Методи дослідження** та достовірність і обґрунтованість отриманих результатів та висновків включають в себе загальні підходи до збору, аналізу, систематизації та обробки даних; аналіз та узагальнення наявної геолого-геофізичної інформації про будову Кочерівської ділянки західної частини УЩ;

геофізичний експеримент у вигляді досліджень природного низькочастотного електромагнітного поля Землі за допомогою сучасної цифрової апаратури; методи обробки на основі аналізу Фур'є і робастними способами лінійного оцінювання у частотній області як одноточково, так і багатоточково (для синхронних записів) за допомогою сучасних програм; тривимірне геоелектричне моделювання геологічного середовища в програмному комплексі Mtd3fwd R. Mackie.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Отримано нові експериментальні дані методами МТЗ і МВП у межах Кочерівської ділянки західної частини УЩ. Проведено їх обробку та розраховано інваріантні параметри передавальних операторів функцій відгуку електромагнітного поля Землі в кожній точці, які були інтерпольовані і побудовані у вигляді псевдорозрізів.

2. Уперше побудовано детальну тривимірну геоелектричну модель земної кори та верхньої мантії Кочерівської ділянки західної частини УЩ ( $50^{\circ} 40' - 49^{\circ} 15'$  пн. ш. і  $28^{\circ} 50' - 30^{\circ}$  сх. д).

3. Уперше за результатами 3D геоелектричного моделювання виділено аномалії електропровідності в земній корі, що просторово співпадають з глибинними зонами розломів, які до 2 км представлені субвертикальними структурами, а глибше (5 – 11 км) – субгоризонтальною у вузлі перетину різнонаправлених (Самгородського, Погребищенського, Кочерівського, Великоєрчиківського та ін.) розломів. Підтверджено, що поза межами Кочерівської ділянки та у її північній частині спостерігається як неоднорідна земна кора, так і верхня мантія у вигляді регіональної Чернівецько-Коростенської та Коростенської аномалій електропровідності. Вперше показано, що області аномально високого опору частково відповідають масивам кристалічних порід Волинського мегаблока в земній корі.

4. Набули подальшого розвитку уявлення про комплексну природу аномальної електропровідності, яка може бути зумовлена в межах Кочерівської ділянки УЩ графітизацією, сульфідизацією чи окварцюванням порід в зонах метасоматозу вздовж протяжних зон розломів та їх спряженість із зонами металогенічних рудних та нерудних проявів.

5. Показано, що узагальнюючою характеристикою осередків землетрусів УЩ є їх приуроченість до крайових границь низькоомних аномалій електропровідності. Вогнища землетрусів, як і аномалії високої електропровідності, в основному, корелюють з активними глибинними тектонічними розломами і зонами зчленування різновікових геологічних структур.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані дані щодо розподілу аномалій електропровідності в земній корі Кочерівської ділянки західної частини УЩ можуть бути використані для побудови глибинних геолого-геофізичних моделей, пояснення і прогнозування розташування рудопроявів і можливих родовищ корисних копалин.

Дані про аномалії підвищеної електропровідності, які були отримані під час тривимірного моделювання, до глибини 11 км можуть застосовуватись при

виділенні нових перспективних площ на рудопрояви корисних копалин. Геоелектрична модель земної кори має бути використана для побудови прогнозних металогенічних карт. Узагальнюючі характеристики осередків землетрусів і їх приуроченість до крайових границь корової частини низькоомних аномалій електропровідності мають бути враховані при побудові регіональних схем сейсмічної небезпеки території України.

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

Достовірність одержаних результатів забезпечується застосуванням сертифікованого обладнання, методикою проведення досліджень, використанням сучасних методів обробки експериментального матеріалу. Незаперечним підтвердженням достовірності запропонованого розподілу електропровідності земної кори Кочерівської ділянки західної частини УЩ слугує 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.

**Особистий внесок здобувача** в основні роботи, виконані в співавторстві, визначаються наступним чином. Стаття [Габсатарова и др., 2016; Пігулевський та ін., 2017] – систематизація і аналіз макросейсмічних проявів землетрусів. Стаття [Кушнір та ін., 2018] – збір і обробка польових геоелектричних даних. Стаття [Бурахович и др., 2018] – збір і обробка польових геоелектричних даних, аналіз індукційних геоелектричних параметрів для різних періодів геомагнітних варіацій. Стаття [Ніколаєв та ін., 2019] – інтерпретація польових геоелектричних даних, побудова та аналіз псевдорозрізів позірнього питомого опору і фаз імпедансу, аналіз індукційних геоелектричних параметрів для різних періодів геомагнітних варіацій, висновки. Стаття [Льєнко та ін., 2019, 2020] – участь у постановці задачі, збір, систематизація, обробка та інтерпретація польових геоелектричних даних, побудова та аналіз псевдорозрізів позірнього питомого опору і фаз імпедансу, аналіз індукційних геоелектричних параметрів для різних періодів геомагнітних варіацій, висновки.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення дисертації апробувались на багатьох наукових конференціях: Четверта міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК» (Кривий Ріг, 2017); Международная научно-практическая конференция «Теория и практика разведочной и промышленной геофизики» (Пермь, 2018); XVIIth, XVIIIth, XIXth International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects» (Kyiv, 2018, 2019, 2020); VIII молодіжна наукова конференція «Ідеї та новації в системі наук про Землю» (Київ, 2019); VII Міжнародна наукова конференція «Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища» (Львів, 2019). У повному обсязі робота доповідалась на розширених засіданнях та семінарах Інституту геофізики ім. 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 наук про Землю або іноземних виданнях. За темою дисертації опубліковано 15 наукових праць: 7 статей (6 входять до міжнародної наукометричної бази Web of Science) та 8 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 167 сторінках машинописного тексту, складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Обсяг основного тексту дисертації складає 133 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 52 рисунками. Список використаних джерел містить 128 найменувань.

**Подяки.** Автор висловлює глибоку подяку науковому керівнику, співавтору і наставнику д-ру геол. наук А.М. Кушніру за постійну всебічну підтримку, обговорення, спільну роботу при проведенні експериментальних досліджень, дружню підтримку і поради при написанні цієї роботи. Автор щиро вдячний співавтору і наставнику д-ру геол. наук Т.К. Бурахович за постійну всебічну підтримку, цінні поради, обговорення. Автор вдячний І.Ю. Ніколаєву за польові матеріали та роботу по проекту. Автор щиро вдячний канд. фіз.-мат. наук О.В. Кендзері за 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 дослідження при вивченні глибинних зон розломів»** представлено огляд геоелектричних досліджень кристалічних щитів як України, так і світу. Розглянуто сучасні підходи до використання методів геоелектрики при вивченні глибинних зон розломів і методичні розробки 3D моделей глибинних розломів.

Завдяки широкому частотному діапазону та високій енергетиці ЕМ поля, яке генерується струмовими системами магнітосфери та іоносфери Землі, є можливість вивчати геоелектричну будову різних структурних поверхів земної кори та верхньої мантії і вирішувати як окремі регіональні, так і пошуково-розвідувальні задачі. На сьогодні використання синхронних МТ/МВ зондувань важливе не лише для визначення синхронних передавальних операторів, але насамперед для надійного оцінювання імпедансу і типеру. Сучасні алгоритми

обробки МТ/МВ даних, засновані на принципах узагальненого гармонічного аналізу і робастних методів лінійного оцінювання в частотній області, дають змогу підвищити ефективність автоматизованого відбракування негативних сигналів та отримати глибинні геоелектричні параметри літосфери. Тобто методи геоелектрики з моменту їх створення набули суттєвого розвитку та виходять за межі простого картування аномалій електричного опору та побудови окремих геоелектричних розрізів. В наш час методи 3D інтерпретації стали ефективним, а подекуди єдиним засобом об'ємного вивчення середовища.

Дослідження МТ/МВ методами глибинних зон розломів вимагають застосування методичного підходу, який відрізняється від підходів до шаруватих середовищ. Він полягає в геометрії розломних структур (представлених як субвертикальні тіла) і відрізняється від вміщуючого простору високою електропровідністю (на рівні осадової товщі), що забезпечує вертикальний перерозподіл телуричних струмів.

Отже, глибинні флюїдонасичені та графітізовані розломи утворюють канали з підвищеною електропровідністю, які перетинають високоомну літосферу та забезпечують вертикальний перерозподіл надлишкових струмів. Цей механізм підвищує чутливість МТ і МВ функцій відгуку до корових та мантійних зон високої провідності. Ефект електропровідного каналу є концентрацією струму в низькоомних витягнутих розломних структурах.

При дослідженнях докембрійських кристалічних фундаментів цей ефект проявляється наступним чином: графітізовані глибинні розломи відображаються у вигляді інтенсивних локальних аномалій низького опору, які формують протяжні регіональні аномалії. Джерелом таких аномалій провідності і природного електричного поля розглядаються тонкі протяжні вуглецеві плівки на границях зерен порід, що сформувалися на глибині 3 – 5 км в період активної тектонічної діяльності за рахунок надходження флюїдів, які містили вуглець.

У результаті можна побачити, що корові шари, глибинні розломи і осадова товща утворюють замкнений провідний контур. Через це дослідження навіть елементарних тіл у 3D випадку істотно ускладнюються. Тому було побудовано серію теоретичних моделей для визначення особливостей, які потрібно враховувати при побудові локальних тривимірних моделей, де основну роль грають глибинні розломи: на криві МТЗ значний вплив мають тривимірні приповерхневі аномалії електропровідності, які ускладнюють інтерпретацію глибинного розрізу; провідні зони розломів можуть відображатися в даних МТЗ і МВП тільки в умовах суттєвої витягнутості; найбільше інформації про існування вертикальних розломів із високою провідністю зосереджено в індукційних параметрах.

**У другому розділі «Електропровідність Кочерівської ділянки західної частини УЩ»** розглянуто геолого-тектонічну характеристику західної частини УЩ, результати попередніх електромагнітних досліджень і виділену за ними глибинну геоелектричну будову району досліджень. Описано сучасні синхронні МТ/МВ зондування Кочерівської ділянки та проведено інтерпретацію даних цих досліджень.



У міру накопичення матеріалу уявлення про геоелектричний розріз регіону західної частини УЩ змінювались. Було отримано сотні кривих МТЗ та параметрів МВП. За даними МВП І.М. Логвиновим і І.І. Рокитянським впевнено виділено Ружинську аномалію. Т.К. Бурахович і С.М. Куликом побудовано тривимірну модель, на заході УЩ виявлено об'ємні параметри регіональної Чернівецько-Коростенської аномалії електропровідності, яка характеризується великою площею та складною будовою на глибинах від 15 до 30 км в земній корі.

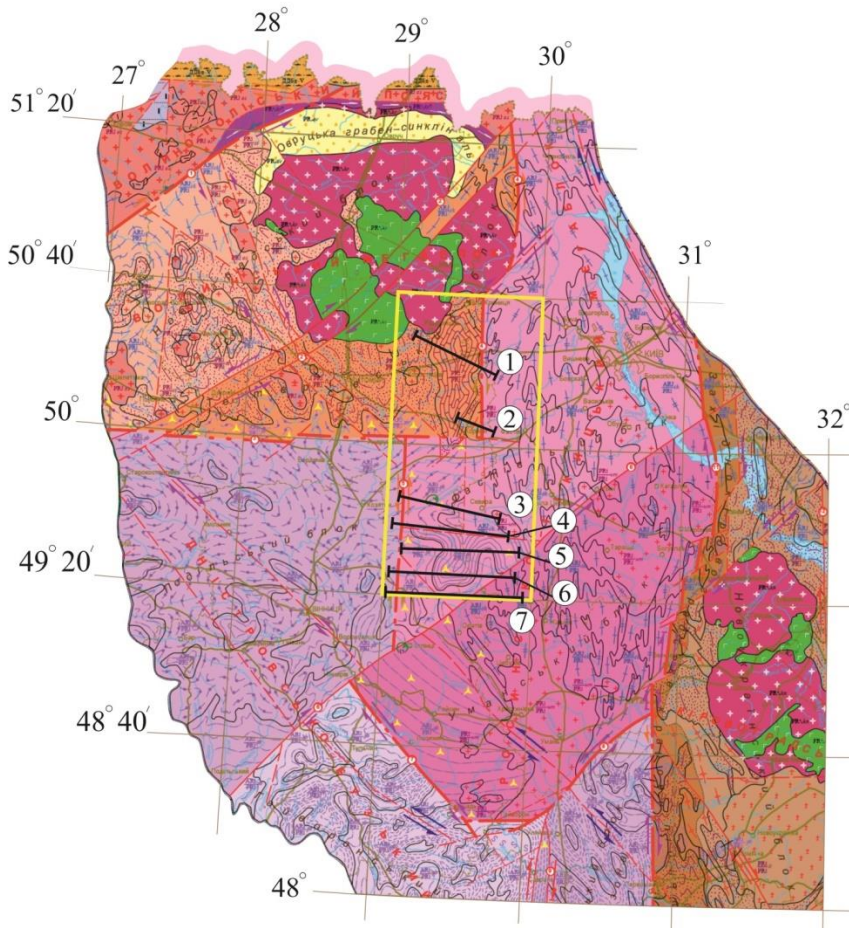


Рис. 1. Тектонічна карта західної частини УЩ (Тектонічна карта України, Гурський Д.С., 2007). Жовтим прямокутником виділена Кочерівська ділянка. Номерами в кругах позначені МТЗ профілі: 1 – Радомишль – Фастів, 2 – Корнинський, 3 – Ружин – Сквир, 4 – Белилівка – Антонів, 5 – Ширмівка – Логвин, 6 – Ординці – Лобачів, 7 – Зозів – Стрижавка.

Експериментальні роботи по профілям Радомишль – Фастів, Корнинський, Ружин – Сквир, Белилівка – Антонів, Ширмівка – Логвин, Ординці – Лобачів, Зозів – Стрижавка (рис. 1) [Шуєнко et al., 2019; Ільєнко та ін., 2019в] виконувались в 2015, 2018 та 2019 роках сучасними довгоперіодними цифровими станціями з ферозондовими магнітометрами LEMІ-417. Тривалість синхронних спостережень складала 1,5 – 2 доби, в базових пунктах – більше одного тижня. Відгуки геомагнітних варіацій було записано в 49 пунктах спостереження. Відстань між профілем Радомишль – Фастів, Корнинський і Ружин – Сквир складає 30 км, для решти – в середньому 10 км. Базовий МТ/МВ пункт спостереження для пр. Корнинський розташований в селі Рудка (пункт RDK), для решти профілів – в селі Рогізна (пункт RGZ). Обробка польових даних виконувалась за допомогою програмного комплексу PRC-MTMV.

При проведенні якісної інтерпретації нового польового матеріалу та створенні первинних 3D моделей використано результати геоелектричних

досліджень регіональних зон метасоматозу західної частини УЩ вздовж трьох профілів: Сквирівського, Фастівського, Макарівського.

За якісною інтерпретацією комплексних типерів та кривих МТЗ вздовж *пр. Радомишль – Фастів* [Ніколаєв та ін., 2019] можна виділити декілька аномалій електропровідності неглибокого залягання. Перша – поверхнева, може бути як субмеридіональною, що корелює з Віленським розломом, так і північно-східною, або субширотною, пов'язана з системою локальних розломів субширотного простягання, які перетинають Віленський та Кочерівський розломи та Кочерівську структуру; друга – приповерхнева субмеридіонального простягання, корелює з районом перетину вище згаданої субширотної системи локальних розломів і субмеридіональною структурою, яку оконтурюють із заходу Кочерівський, а зі сходу Брусилівський глибинні розломи.

Аналіз кривих МТЗ в усіх пунктах свідчить про неоднорідну тривимірну ситуацію на всій площі дослідження. У центрі Кочерівської синклінальної структури передбачається наявність високопровідної зони, покрівля якої залягає на рівні 20–50 км. Ці дані підтверджують існування регіональної Чернівецько-Коростенської аномалії електропровідності.

На *пр. Корнинський* [Ільєнко та ін., 2020] за магнітотелуричними дослідженнями чітко фіксується Центральний глибинний розлом у вигляді субвертикальної поверхневої низькоомної аномалії з позірним опором ( $\rho_p$ ) близько 100 – 200 Ом·м. Отже, за цими та за даними для *пр. Радомишль – Фастів* можна констатувати, що в межах Волинського мегаблоку УЩ Центральний глибинний розлом проявляється аномальною високопровідною (з поверхні) структурою.

На *пр. Ружин – Сквир* виділяється декілька аномалій: перша – локальна високопровідна поверхнева, яка знаходиться у Звіздаль-Заліській зоні розломів (пункт ТОР); друга – приповерхнева субширотною, що, напевно, заглиблюється на схід та може відповідати геологічній структурі, а саме Самгородському розлому другого порядку, до перетинання якого зі Звіздаль-Заліською та Брусилівською глибинними тектонічними зонами приурочені прояви рідкісноземельних металів та урану; також припускається наявність регіональної аномалії (або її вплив) для всіх пунктів профілю. Природа аномалій високої електропровідності може бути пояснена наявністю графітовмісних гнейсів та вмістом сульфідів.

На *пр. Белилівка – Антонів* [Ільєнко та ін., 2019 а, б] виділено декілька аномалій електропровідності: перша проявилася як поверхнева або приповерхнева субмеридіонального простягання, просторово співпадає з частиною Звіздаль-Заліської зони розломів, що розділяє Подільський та Росинський мегаблоки УЩ. За даними МТ досліджень її виявлено вздовж трьох профілів: Ружин – Сквир, Белилівка – Антонів і Ширмівка – Логвин. Можна припустити, що окремі локальні ділянки Звіздаль-Заліської зони розломів проявляються у поверхневій аномальній електропровідності. Друга – поверхнева локальна субмеридіональна аномалія між Погребищенським та Кочерівським глибинними розломами шириною до 10 км, на півночі простягається від Самгородського розлому. Із аналізу електромагнітних параметрів випливає, що аномалія не тільки звужується

на південь (до 5 км), але і виклинюється до поверхні. У просторових межах цієї аномалії відомо декілька рудопроявів урану, які відносяться до уран-калієвої гідротермально-метасоматичної рудної формації.

На *пр. Ширмівка – Логвин* [Ільєнко та ін., 2019а] за даними МТ досліджень виділено дві локальні субвертикальні аномалії електропровідності: перша просторово відповідає частині Великоєрчиківського глибинного розлому; друга просторово співпадає з Варварівським розломом.

Із інтерпретації МТ/МВ досліджень на періодах ( $T$ ) більших за 700 – 1000 с можна припустити глибинну аномалію електропровідності складної ізометричної форми з просторовими розмірами від 40 до 15 км по широті та від 36 до 15 км по довжині. Глибину залягання верхньої кромки за даними формальної інтерпретації не встановлено.

На *пр. Ординці – Лобачів* виділено декілька поверхневих різноорієнтованих аномалій електропровідності: перша має субмеридіональне простягання, просторово співпадає з перетином Звіздаль-Заліської і Немирівської зон розломів; друга, субпаралельно витягнута, знаходиться поза межами тектоно-метасоматичних мінералогічних зон.

На *пр. Зозів – Стрижавка* при якісній інтерпретації записів МТ/МВ досліджень, як і на попередньому профілі, було виділено серію поверхневих різноорієнтованих аномалій підвищеної електропровідності: перша – субмеридіонального простягання, в пункті ZZV знаходиться в межах Немирівської зони розломів, в пункті AND – на Огіївському глибинному розломі; друга – субпаралельно витягнута, перетинає Тетіївське урановорудне поле; третя – субмеридіональна.

**У третьому розділі «Тривимірна глибинна геоелектрична модель Кочерівської ділянки західної частини УЩ» розглянуто методичні підходи до проведення тривимірного геоелектричного моделювання. Було побудовано і описано глибинну тривимірну геоелектричну модель Кочерівської ділянки західної частини УЩ.**

При моделюванні використовувався алгоритм тривимірного моделювання геоелектричних даних програми Ренді Маккі (Mtd3fwd), в яку закладено інтегральну форму рівнянь Максвелла для визначення кінцево-різницевої апроксимації електромагнітних полів. У ній розраховуються електричні і магнітні складові для кожної з компонент магнітотелуричного поля.

Процес моделювання – це складна послідовна процедура розрахунку магнітотелуричних полів і порівняння результатів із спостереженими експериментальними даними, причому вона виконується багаторазово до досягнення задовільного рівня збіжності між експериментально виміряними даними і розрахованими значеннями.

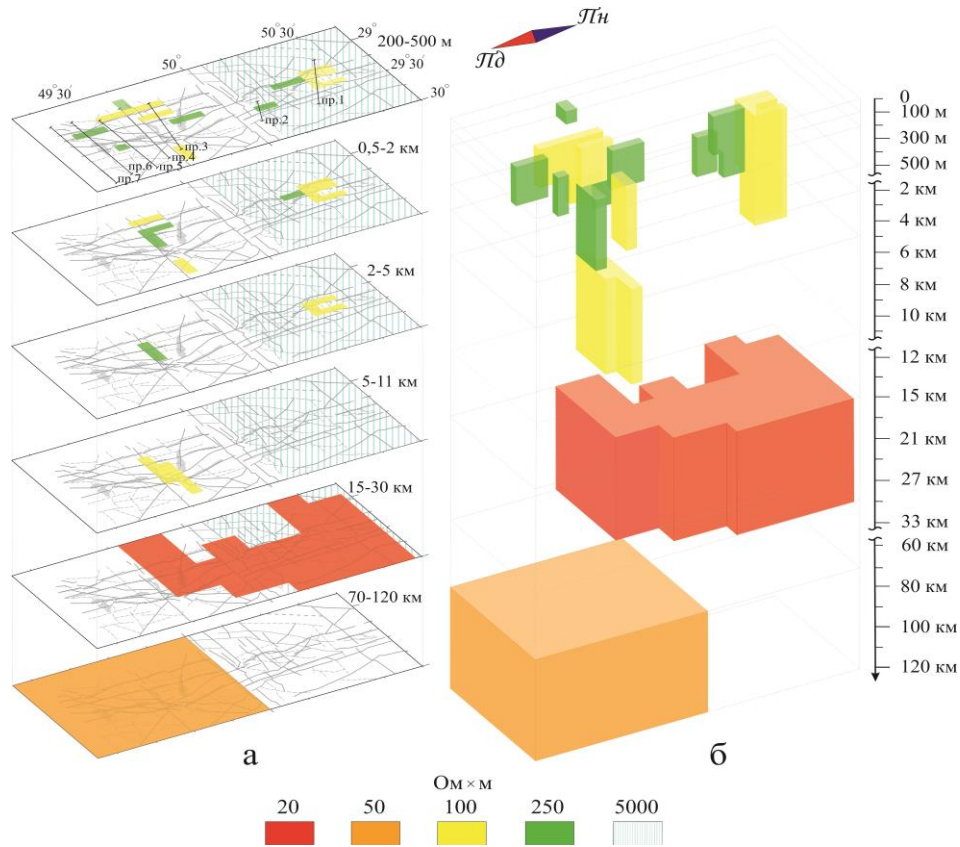
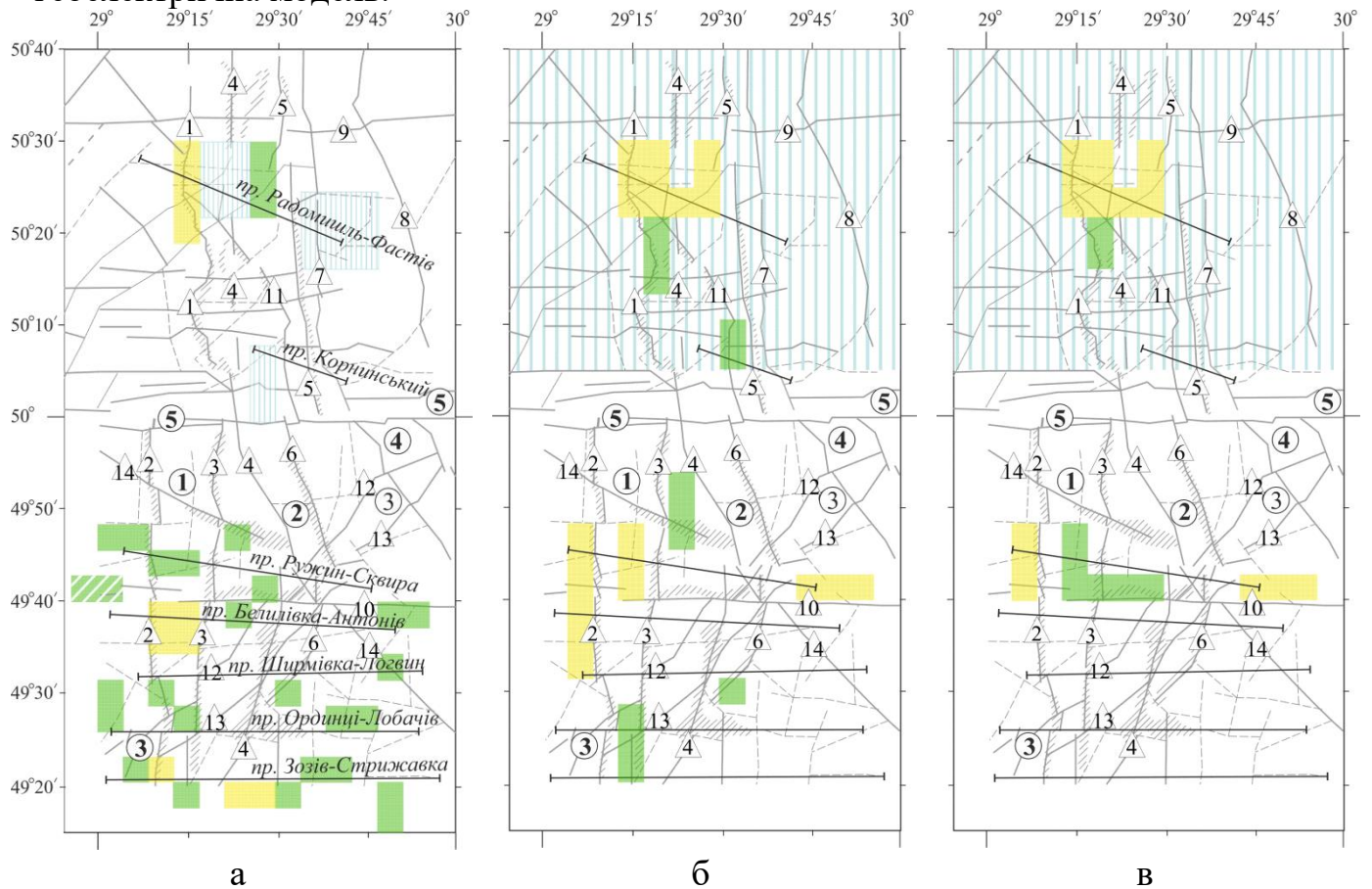


Рис. 2. 3D модель аномалій електропровідності Кочерівської ділянки: а – карти поверхні кристалічного фундаменту з аномаліями електропровідності, для глибин 0 – 5 м, 200 – 500 м, 500 м – 2 км, 2 – 5 км, 5 – 11 км, 15 – 30 км; б – 3D геоелектрична модель.



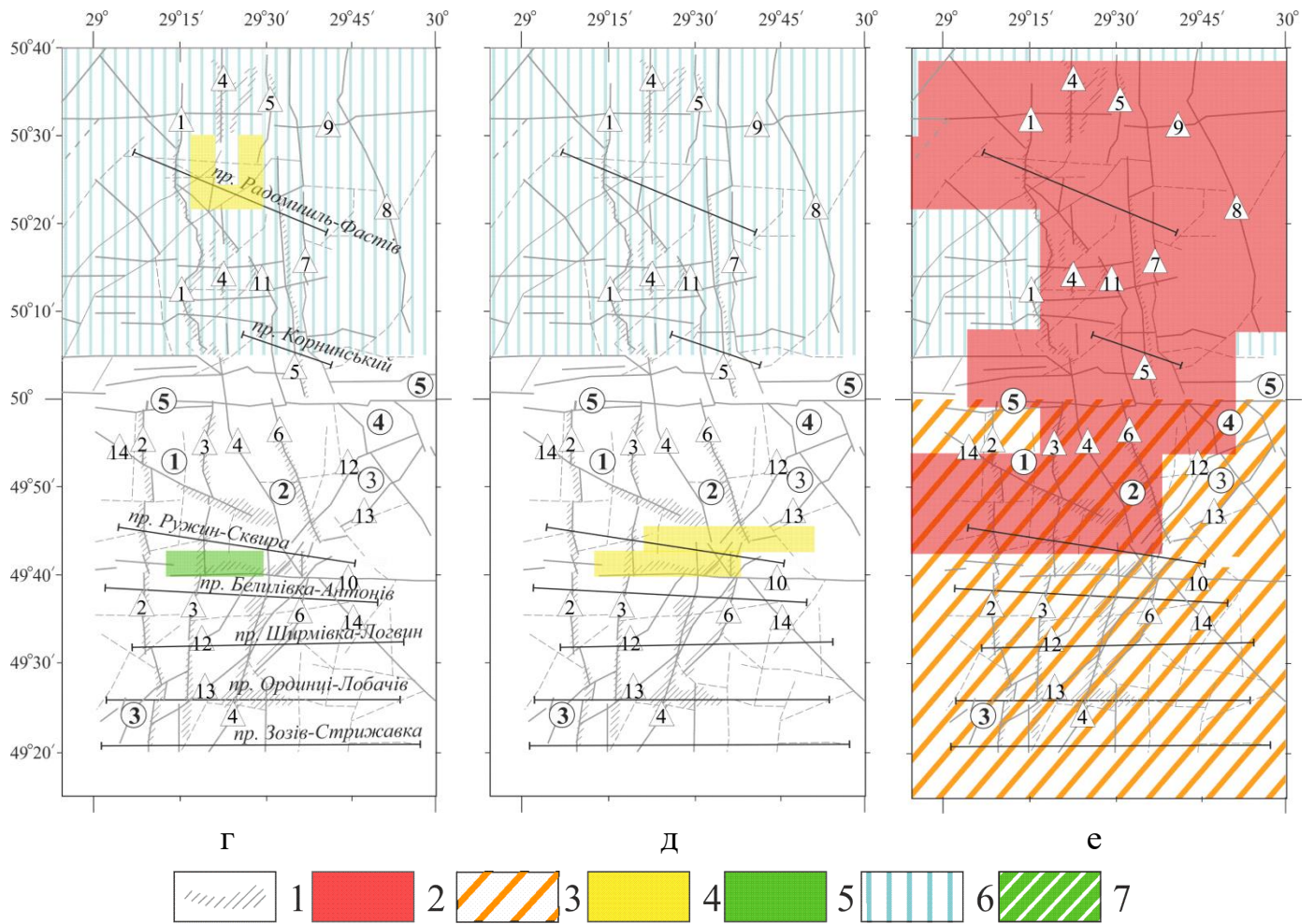


Рис. 3. Аномалії електропровідності, винесені на тектонічну схему Кочерівської ділянки західної частини УЩ для різних глибин: а – 0–5 м; б – 200–500 м; в – 0,5–2 км; г – 2–5 км; д – 5–11 км; е – 15–30 км; 1 – зони метасоматозу; 2 –  $\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; 3 –  $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; 4 –  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; 5 –  $\rho = 250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; 6 –  $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; 7 – зони з  $\rho = 250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  і глибиною залягання 0–100 м. Штриховкою позначені зони метасоматозу. Зони розломів (цифри в кругах): 1 – Звідаль-Заліська, 2 – Брусилівська, 3 – Немирівська, 4 – Центральна, 5 – Андрушівська. Розломи (цифри в трикутниках): 1 – Віленський, 2 – Огіївський, 3 – Погребищенський, 4 – Кочерівський, 5 – Брусилівський, 6 – Великоерчиківський; 7 – Вільшанський, 8 – Макарівський, 9 – Глухівський, 10 – Самгородський, 11 – Центральний, 12 – Таборівський, 13 – Павлівський, 14 – Варварівський.

Основними елементами методики тривимірного моделювання можна вважати: а) апріорно задані значення питомого електричного опору «нормального» горизонтально-шаруватого розрізу земної кори і верхньої мантії; б) неоднорідний розподіл електропровідності приповерхневого провідного шару [Кушнір та ін., 2018; Kushnir et al., 2018b], його сумарна провідність переважно відповідає потужності осадових відкладів і корелює з основними структурними геологічними одиницями; в) глибинну електропровідність регіону та глибинні аномалії.

Ділянка моделювання характеризується мінімальним осадовим покривом, у центральній частині планшету значення сумарної поздовжньої провідності (S)

коливаються в діапазоні 0,5 – 5 См. На північно-східному контурі, в межі планшету, попадає Дніпрово-Донецька западина з значними за потужністю товщами осадових порід, які досягають значення  $S = 100$  См. На південному схилі УЩ модель захоплює осади Причорноморської западини зі значеннями  $S = 100$  См. Перший провідний шар закладається в модель з відомих джерел, карт  $S$  для території УЩ та оточуючих геологічних структур.

Закладений загальноприйнятий одномірний нормальний геологічний розріз земної кори та верхньої мантії з параметрами:  $\rho_1 = 10$  Ом·м,  $h_1 = 500$  м;  $\rho_2 = 1000$  Ом·м,  $h_2 = 159500$  м;  $\rho_3 = 600$  Ом·м,  $h_3 = 40000$  м;  $\rho_4 = 250$  Ом·м,  $h_4 = 50000$  м;  $\rho_5 = 100$  Ом·м,  $h_5 = 70000$  м;  $\rho_6 = 50$  Ом·м,  $h_6 = 80000$  м;  $\rho_7 = 20$  Ом·м,  $h_7 = 100000$  м;  $\rho_8 = 10$  Ом·м,  $h_8 = 100000$  м;  $\rho_9 = 5$  Ом·м,  $h_9 = 160000$  м;  $\rho_{10} = 1$  Ом·м,  $h_{10} = 200000$  м.

Модель складається з прямокутних паралелепіпедів із розмірами сторін від 5 м до 200 км. Паралелепіпед орієнтований по сторонам світу  $x$  – на схід,  $y$  – на північ,  $z$  – вниз до центру Землі, кількість комірок становить:  $x = 32$ ,  $y = 41$ ,  $z = 18$ . У центральній області планшету комірки в горизонтальній площині здебільшого мають розмір  $5 \times 5$  км, по сторонам вони збільшуються до 200 км. Великий розмір периферійних комірок закладається для опису загального аномального поля. Вертикальний (по осі  $z$ ) розмір комірок змінюється від 5 м в верхній частині моделі до 10 км в нижній.

Область моделювання [Шуєнко et al., 2020] можна розділити на дві частини: північну і південну. Так, в північній (Волинський мегаблок), враховуючи високий опір кристалічного фундаменту та присутність Коростенського плутону,  $\rho$  вміщуючих порід закладалось 5000 Ом·м (див. рис. 1), в південній частині (Росинський мегаблок) – 1000 Ом·м.

У земній корі на різних глибинах було виділено серію різноспрямованих аномалій підвищеної електропровідності (рис. 1) з  $\rho$  від 100 до 250 Ом·м, які відповідають тектонічним структурам району моделювання. На глибинах від 0 до 5 м (рис. 2, 3, а) виділено низку поверхневих провідників, які можуть бути спричинені зонами, що не враховані у неоднорідному розподілі сумарної поздовжньої провідності; в північній частині планшету на глибинах від 200 м до 5 км (рис. 2, 3, б, в, г) замодельовано потужний провідник, який просторово та за глибиною залягання відповідає Кочерівському синклінорію; на глибинах 200–500 м і 200 м – 2 км (рис. 2, 3 б, в) виділено низку видовжених здебільшого у субмеридіональному напрямі аномалій, які відповідають основним глибинним тектонічним порушенням регіону: Віленському, Огіївському, Погребищенському, Великоерчиківському і Самгородському; починаючи з глибини 500 м і до 11 км (рис. 3 в, г, д) вздовж Самгородського розлому виділено аномалію провідності, яка має субпаралельне простягання, занурюючись із заходу на схід змінює значення  $\rho$  від 250 Ом·м в верхній частині до 100 Ом·м в нижній. На глибинах від 15 до 30 км (рис. 3, е) знаходиться регіональна Чернівецько-Коростенська аномалія електропровідності з  $\rho = 20$  Ом·м. Область з аномально високим опором (до 5000 Ом·м) (рис. 3) відповідає кристалічним породам Волинського мегаблока.

У четвертому розділі «Зв'язок аномалій електропровідності Кочерівської ділянки західної частини УЩ з рудопроявами корисних копалин та осередками сейсмічних подій» проаналізовано зв'язок аномалій електропровідності Кочерівської ділянки з розташуванням родовищ, рудопроявів, рудних полів і прогнозних площ корисних копалин. Розглянуто зв'язок низькоомних аномальних зон із сейсмічною активністю Кочерівської ділянки і решти регіонів УЩ.

Аномалії електропровідності земної кори Кочерівської ділянки переважно проявляються у глибинних розломах. Підвищеною електропровідністю характеризується також Кочерівський синклінорій (глибина 200 м – 5 км,  $\rho = 100$  Ом·м), Самгородський розлом (глибина 200 м – 11 км,  $\rho = 250$  і 100 Ом·м) і Чернівецько-Коростенська аномалія (земна кора на глибинах 15–30 км,  $\rho = 20$  Ом·м).

Виділені при тривимірному моделюванні аномалії [Шуєнко et al., 2020] тяжіють до зон поширення метасоматитів і метасоматично змінених порід, які є перспективними на ендегенне зруденіння, у Волинському мегаблоці це скарни; в Кочеровському синклінорії грейзени, зони епідотизації і окварцювання; зон окварцювання і мікроклінізації в Звіздаль-Заліській ЗР; зон хлоритизації, мікроклінізації, епідотизації і гідротермально змінених порід в Брусилівській ЗР; зон мусковітизації, епідотизації і окварцювання у Росинському мегаблоці.

Кочерівська ділянка є перспективною на низку корисних копалин: у північній частині (в межах Волинського мегаблока) – на золото, срібло, вольфрам, нікель, кобальт, мідь, графіт, у південній частині (в межах Подільського та Росинського мегаблоків) перспективна на залізо, титан, нікель, цирконій, уран, ітрій. Більша частина аномалій електропровідності приурочена до видовжених зон метасоматозу і районів поширення графітизованих порід, частина поверхневих аномалій – до областей кори вивітрювання гірських порід. Більшість цих аномалій тяжіють до наступних рудопроявів і родовищ корисних копалин: Тарасівське родовище титану і цирконію (рис. 4), Північно-Березнянське родовище урану; рудоносних полів: Папірнянське і Городське (рідкоземельні метали), Корнинське, Красилівське і Віленське (золото, срібло), Кочерівське (рідкоземельні метали), Поташнянське (вольфрам), Негребівське (мідь), Ружинське золоторудне, Макарівське урановорудне, Погребищенське рідкіснометально-рідкісноземельне.

В межах Кочерівської ділянки згідно геологічних критеріїв пошуку корисних копалин, виділено декілька перспективних ділянок: 1 – в межах глибинної і приповерхневої аномалії вздовж Самгородського розлому, 2 – поверхневої і приповерхневої в межах Звіздаль-Заліської зони розломів (рис. 4).

Вогнища землетрусів, як і аномалії високої електропровідності, переважно корелюють з активними глибинними тектонічними розломами і зонами зчленування різновікових геологічних структур. Яскравим прикладом такої ситуації є прояви сейсмічної активності в області Чернівецько-Коростенської, Кіровоградської [Габсатарова др., 2016; Пігулевський та ін., 2017; Кендзера и др., 2017; Бурахович и др., 2018a; Kushnir et al., 2018a] та Донбаської аномалій електропровідності.

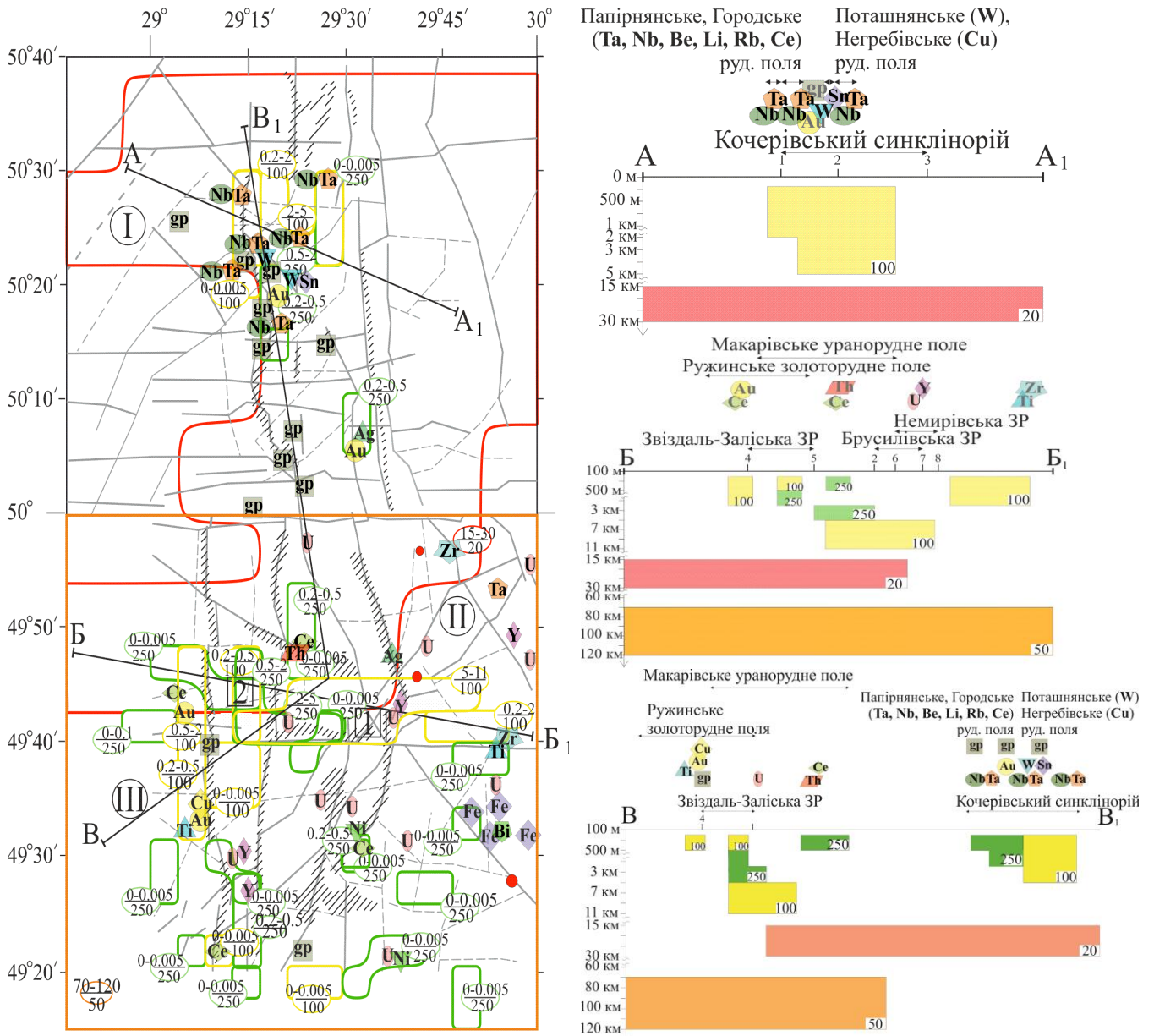


Рис. 4. Тектонічна схема Кочерівської ділянки УЩ з винесеними на неї аномаліями низького питомого електричного опору тривимірної геоелектричної моделі земної кори і родовищами та рудопроявами корисних копалин. Мегаблоки: I – Волинський; II – Росинський; III – Подільський. Червоними колами позначено землетруси. Цифри в квадратах – ділянки перспективні для подальшого дослідження.

Прояви сейсмічності безпосередньо в межах Кочерівської ділянки вказують на активну тектонічну діяльність окремих розломів (Варварівського) і показують на рівні невеликих ділянок, що епіцентри землетрусів тяжіють до крайових границь, як регіональних, так і локальних аномалій електропровідності.

Узагальнюючою характеристикою осередків землетрусів району [Бурахович и др., 2018б] є їх приуроченість до крайових границь корової частини низькоомних аномалій електропровідності. Механізм електропровідності пояснюється заповненням порово-тріщинного простору флюїдами, які є джерелом



пониженого опору всередині земної кори і сприяють звільненню накопиченої сейсмічної енергії.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлені нові результати глибинної геоелектричної будови Кочерівської ділянки західної частини УЩ, вивчено зв'язки між аномаліями електропровідності в межах Кочерівського синклінорію, Звіздаль-Заліської, Брусилівської, Немирівської зон розломів з їх структурними, металогеогенічними та геодинамічними особливостями.

Найбільш значущими є наступні результати роботи:

1. Отримано нові експериментальні дані методами МТЗ і МВП за допомогою сучасного обладнання з використанням передових технологій спостережень у межах Кочерівської ділянки західної частини УЩ на семи профілях (довжиною від 21 до 67 км з кроком між пунктами вимірів 5 – 7 км), які перетинають Кочерівську ділянку в субширотному напрямку: Радомишль – Фастів, Корнинський, Ружин – Сквир, Белилівка – Антонів, Ширмівка – Логвин, Ординці – Лобачів, Зозів – Стрижавка. Загалом отримано 49 рядових вимірів синхронно з базовими пунктами спостереження: для пр. Корнинський в с. Рудка, для решти профілів в с. Рогізна. Обробку виконано за допомогою програмного комплексу PRC-MTMV. Здійснювалося оцінювання двох локальних передавальних операторів – імпедансу та типеру, які побудовано у вигляді амплітудних та фазових кривих позірної питомої опору для широкого діапазону періодів, комплексних індукційних параметрів, профільних графіків та псевдорозрізів найінформативніших компонент функцій відклику.

2. Уперше побудовано детальну тривимірну геоелектричну модель Кочерівської ділянки західної частини УЩ. Показано, що аномалії електропровідності земної кори Кочерівської ділянки переважно проявляються вздовж глибинних розломів і Кочерівського синклінорію. У земній корі на різних глибинах було виділено серію різнонаправлених аномалій високої електропровідності з  $\rho$  від 100 до 250 Ом·м, які відповідають тектонічним структурам району моделювання:

- в границях Кочерівської моделі підібрано з поверхні до 5 м велику кількість різноорієнтованих у просторі провідників з  $\rho = 100\text{--}250$  Ом·м, в більшості випадків вони знаходяться над тектонічними розломами. Такий розподіл мережі локальних приповерхневих провідників можна пояснити не лише приуроченістю до зон прояву дезінтегрованих метасоматично змінених порід навколо розмірів, такі аномалії можуть бути спричинені зонами, що не враховані у неоднорідному розподілі сумарної поздовжньої провідності;

- північна частина планшету на глибинах від 0,2 до 5 км характеризується потужним провідником, який просторово відповідає Кочерівському синклінорію – шириною 20 км та довжиною 15 км з  $\rho = 100$  Ом·м;

- на глибинах 0,2 – 0,5 та 0,2 – 2 км виділено серію видовжених у більшості випадків в субмеридіональному напрямку провідників з  $\rho = 100$  і 250 Ом·м, які відповідають основним глибинним тектонічним порушенням регіону:

Віленському, Огіївському, Погребищенському, Великоєрчиківському і Самгородському;

- на глибині від 0,5 до 11 км у вузлі перетину різнонаправлених (Самгородського, Огіївського, Погребищенського, Кочерівського, Великоєрчиківського та ін.) розломів проявився провідник субширотного простягання, який із заходу на схід змінює  $\rho$  від 250 у верхній частині, до 100 Ом·м у нижній;

- підтверджено на глибинах від 15 до 30 км регіональну Чернівецько-Коростенську аномалію електропровідності з  $\rho = 20$  Ом·м;

- на глибині 70 – 120 км підтверджено наявність астеносфери з  $\rho = 50$  Ом·м;

- закладена в моделі область з аномально високим опором до  $\rho = 5000$  Ом·м відповідає кристалічним породам Волинського мегаблока.

3. Вивчено зв'язки між електропровідністю та структурними особливостями Звіздаль-Заліської, Брусилівської, Немирівської зон розломів і Кочерівського синклінорію. Більшість виділених провідників при тривимірному геоелектричному моделюванні проявляються мозаїчно вздовж протяжних зон розломів та утворюють перемежовані ланцюжки високого та низького опору. Однією з таких структур є Звіздаль-Заліська зона розломів Росинського мегаблока, яка проявляється добре провідними Огіївським і Погребищенським розломами субмеридіонального простягання з  $\rho = 100$  Ом·м, з глибиною залягання 0,2 – 2 км і довжиною 30 і 15 км відповідно.

На відміну від зон розломів, Кочерівській синклінорії виділяється наявністю складного провідника ( $50^{\circ} 30'$  і  $50^{\circ} 25'$  пн. ш. та між  $29^{\circ} 15'$  і  $29^{\circ} 30'$  сх. д) з  $\rho = 100$  Ом·м, довжиною 15 км, шириною 20 км, який занурюється з глибини 0,2 до 5 км, а на глибині 2 км зменшується до ширини 15 км. Його західній границі відповідає Віленський розлом, вздовж нього на південь відгалужується аномалія з  $\rho = 250$  Ом·м довжиною 15 км і глибиною залягання від 200 м до 2 км.

4. Виділені при тривимірному моделюванні аномалії тяжіють до зон поширення метасоматитів і метасоматично змінених порід, які є перспективними на ендегенне зруденіння: в Волинському мегаблоці це скарни; в Кочерівському синклінорії – грейзени і зони епідотизації, окварцювання; у Росинському мегаблоці – зони мусковітизації; в Звіздаль-Заліській ЗР – зони епідотизації, окварцювання і мікроклінізації; в Брусилівській ЗР – зони хлоритизації, мікроклінізації, епідотизації і гідротермально змінених порід.

Кочерівська ділянка є перспективною на корисні копалини. У північній частині, в межах Волинського мегаблока – на золото, срібло, вольфрам, нікель, кобальт, мідь, графіт, в південній частині, в межах Подільського і Росинського мегаблоків – на залізо, титан, нікель, цирконій, уран, ітрій. Аномалії електропровідності приурочені до видовжених зон метасоматозу і районів поширення графітизованих порід, частина поверхневих аномалій – до областей кори вивітрювання гірських порід. Більшість цих аномалій приурочені до таких рудопроявів і родовищ корисних копалин: Тарасівське родовище титану і цирконію, Північно-Березнянське родовище урану; рудоносних полів: Папірнянське, Городське, Корнинське, Красилівське, Віленське, Кочерівське,

Поташнянське, Негребівське, Ружинське золоторудне, Макарівське урановорудне, Погребищенське рідкіснометально-рідкісноземельне.

Уперше виділено перспективні для подальшого вивчення ділянки, які відповідають геоелектричним критеріям пошуку корисних копалин, а саме: присутність у межах виділених при тривимірному моделюванні аномалій електропровідності метасоматично змінених порід і глибинних розломів. До таких ділянок відносяться: 1 – глибинна і приповерхнева аномалії вздовж Самгородського розлому, 2 – поверхнева і приповерхнева в межах Звездаль-Заліської зони розломів.

5. Реалізовано подальший розвиток уявлення про зв'язок аномалій електропровідності з осередками сейсмічних подій. Вогнища землетрусів, як і аномалії високої електропровідності, переважно, корелюють з активними глибинними тектонічними розломами і зонами зчленування різновікових геологічних структур. Прояви сейсмічності в межах Кочерівської ділянки приурочені до електропровідної зони перетинів субширотного Самгородського і оперяючих його з півночі на південь Великоєрчиківського та Варварівського розломів, а глибше в земній корі південної границі регіональної Чернівецько-Коростенської аномалії.

Достовірність одержаних результатів забезпечується застосуванням сертифікованого обладнання, методикою проведення досліджень, використанням сучасних методів обробки експериментального матеріалу. Незаперечним підтвердженням достовірності запропонованого розподілу електропровідності земної кори Кочерівської ділянки західної частини УЩ слугує 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

### *Статті в наукових виданнях*

1. Габсатарова, И. П., Бабкова, Е. А., Надежка, Л. И., Пивоваров, С., Семенов, А. Е., Кендзера, А. В., Пигулевский, П. И. Щербина, С. В., Чалый, О. О., **Ильенко, В. А.** (2016). Землетрясение 3 февраля 2015 г. на границе Полтавской и Сумской областей Украины по макросейсмическим и инструментальным данным. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, (1), 115–123 (Web of Science).
2. Пігулевський, П. Г., Кендзера, О. В., Щербіна, С. В., Вербицький, С. Т., Шумлянська, Л. А., Калініченко, О. О., Гурова, І. Ю., **Ильенко, В. А.**, Амашукелі, Т. А., Чалый, О. О. (2017). Природа криворізького землетрусу 29 липня 2017 року. *Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету*, 37(1), 92–104.
3. Бурахович, Т. К., Кушнір, А. Н., **Ильенко, В. А.** (2018а). Геоелектрические исследования нефтегазоносного района южного борта центральной части

- Днепровско-Донецкої впадини. *Геофізичний журнал*, 40(5), 172–190. (Web of Science). doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147479.
4. Кушнір, А. М., Бурахович, Т. К., **Ільєнко, В. А.**, Ширков, Б. І., Ніколаєв, І. Ю. (2018). Глибинні геоелектричні дослідження Троянківського та Тарасівського метабазитових масивів Голованівської шовної зони. *Геофізичний журнал*, 41(6), 56–72. (Web of Science). <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190066>.
  5. Николаєв, І. Ю., Кушнір, А. М., **Ільєнко, В. А.**, Николаєв, Ю. І. (2019). Електромагнітні дослідження західної частини Українського щита. *Геофізичний журнал*, 41(3), 120–133. (Web of Science). doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172433.
  6. **Ільєнко, В. А.**, Кушнір, А. М., Бурахович, Т. К. (2019а). Електромагнітні дослідження Звездаль-Заліської та Брусилівської зон розломів Українського щита. *Геофізичний журнал*, 41(4), 97–113. (Web of Science). doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177370.
  7. **Ільєнко, В.**, Бурахович, Т., Кушнір, А., Попов, С., Омельчук, О. (2020). МТ/МВ дослідження в зоні ендоконтакту Корнинського гранітного масиву. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 88(1), 46–52. (Web of Science). <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.07>.

#### *Тези доповідей і матеріали конференцій*

8. Кендзера, А. В., **Ільєнко, В. А.**, Калениченко, О. А., Пигулевский, П. И., Щербина, С. В., Бридкий, А. И., Белов, И. Д., Рыбалко, Б. И. (2017). Результаты опроса жителей г. Кривой Рог по ошущаемости интенсивности землетрясения 29 августа 2017 года. *Четверта міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК»*. Кривий Ріг.
9. Бурахович, Т. К., **Ільєнко, В. А.**, Кушнір, А. Н. (2018б). Проявления сейсмичности в области Кировоградской аномалии электропроводности. *Международная научно-практическая конференция «Теория и практика разведочной и промышленной геофизики»*. Сборник научных трудов. В: В. И. Костицын (Ред) (с.с. 68–73). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т.
10. Kushnir, A. M., **Pyenko, V. A.**, Dzhaoshvili, V. B. (2018а). Electromagnetic studies of the central part of the southern Dnieper-Donets Basin slope. *XVII th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*. Kyiv. (Scopus). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801778>
11. Kushnir, A. N., Burakhovich, T. K., **Pyenko, V. A.**, Shyrkov, B. I (2018b). Geoelectric researches of the Tarasivka structure of the Golovanivsk suture zone. *XVII th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*. Kyiv. (Scopus). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801779>
12. **Pyenko, V. A.**, Burakhovich, T. K., Kushnir, A. M., Nikolaev, Yu. I. (2019). МТ/МВ investigation of faulty tectonic zones of the western part of the Ukrainian shield. *XVIII th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*. Kyiv. (Scopus). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902106>

13. **Ільєнко, В. А.,** Кушнір, А. М., Ніколаєв, І. Ю. (2019б). Глибинні електромагнітні дослідження Звіздаль-Заліської зони розломів УЩ. *VIII молодіжна наукова конференція «Ідеї та новації в системі наук про Землю»*. Київ.
14. **Ільєнко, В. А.,** Бурахович, Т. К., Кушнір, А. М. (2019в). Аномальна електропровідність Звіздаль-Заліської та Брусилівської зон розломів Українського щита. *VII Міжнародна наукова конференція «Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища»*. Збірник тез. В: В. Ю. Максимчука (Ред.) (с. 56–58). Львів: Растр-7.
15. **Pyenko, V. A.** (2020). Three-dimensional model of the Kocheriv section of the western part of the Ukrainian Shield. *XIX th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*. Kyiv. (Scopus)

### АНОТАЦІЯ

*Ільєнко В.А.* Електропровідність зон розломів земної кори Кочерівської ділянки західної частини Українського щита. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103 – Науки про Землю). – Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена виявленню і вивченню аномалій електропровідності земної кори і верхньої мантії Кочерівської ділянки західної частини Українського щита на основі побудови 3D моделей розподілу електричного опору за експериментальними МТ/МВ даними; поясненню природи виявлених аномалій електропровідності за результатами комплексного аналізу геолого-геоелектричних даних та їх дослідженню як одного з факторів прояву геодинамічних процесів для пошуку рудопроявів корисних копалин.

За якісною інтерпретацією комплексних типерів і кривих МТЗ в земній корі Кочерівської ділянки виявлено аномалії високої електропровідності (декілька поверхневих і одна глибинна). Аналіз кривих МТЗ свідчить про неоднорідну тривимірну ситуацію на всій площі дослідження, аномалії характеризуються різною електропровідністю, глибиною залягання і конфігурацією.

Побудовано і проаналізовано тривимірну геоелектричну модель, в якій виділено серію провідників: із поверхні до 5 м виділено велику кількість різноорієнтованих у просторі провідників з  $\rho = 100$  і  $250$  Ом·м, у більшості випадків вони знаходяться над тектонічними розломами; в північній частині планшету на глибинах від 0,2 до 5 км виявлено провідник, який просторово відповідає Кочерівському синклінорію, шириною 15 км та довжиною 10 км з  $\rho = 100$  Ом·м; на глибинах 0,2 – 0,5 та 0,2 – 2 км виділено серію видовжених переважно у субмеридіональному напрямку провідників з  $\rho = 100$  і  $250$  Ом·м, вони відповідають основним глибинним розломам регіону: Віленському, Огіївському, Погребищенському, Великоєрчиківському і Самгородському; на глибинах від 0,5 до 11 км у вузлі перетину різнонаправлених глибинних розломів проявився провідник субширотного простягання довжиною 10 км та шириною

45 км, що занурюється із заходу на схід і змінює  $\rho$  від 250 у верхній частині та до 100 Ом·м у нижній; підтверджено на глибинах від 15 до 30 км наявність регіональної Чернівецько-Коростенської аномалії з  $\rho = 20$  Ом·м. На глибині 70 – 120 км підтверджена астеносфера з  $\rho = 50$  Ом·м.

Виділені аномалії електропровідності приурочені до видовжених зон метасоматозу і районів поширення графітизованих порід, частина поверхневих аномалій приурочена до областей кори вивітрювання гірських порід; більшість аномалій – до рудопроявів і родовищ корисних копалин (в північній частині: ніобію, танталу, берилію, літію, рубідію, церію, вольфраму, золота, міді; в південній частині – заліза, титану, золота, нікелю, цирконію, урану, ітрію).

У дисертаційному дослідженні показано, що в межах УЩ прояви сейсмічної активності пов'язані з аномаліями високої електропровідності і їх крайовими частинами. Прояви сейсмічності в межах Кочерівської ділянки приурочені до електропровідної зони перетинів субширотного Самгородського і оперяючих його з півночі на південь (Варварівського, Великоєрчиківського та ін.) розломів, а глибше в земній корі до південної границі регіональної Чернівецько-Коростенської аномалії.

**Ключові слова:** магнітотелуричні і магнітоваріаційні методи, Український щит, рудопрояви, зони розломів, аномалії електропровідності, тривимірне моделювання, сейсмічність.

## АННОТАЦІЯ

*Ильенко В.А.* Электропроводность зон разломов земной коры Кочеровского участка западной части Украинского щита. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика (103 – Науки о Земле). – Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, 2020.

Диссертационная работа посвящена выявлению и изучению геоэлектрических неоднородностей земной коры и верхней мантии Кочеровского участка западной части Украинского щита на основе построения 3D моделей распределения электрического сопротивления по экспериментальным МТ/МВ данным; объяснению природы выявленных геоэлектрических неоднородностей по результатам комплексного анализа геолого-геоэлектрических данных и их исследованию как одного из факторов проявления геодинамических процессов для поиска рудопроявлений полезных ископаемых.

Экспериментальные работы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к наблюдаемым данным при использовании процедуры синхронного оценивания передающих операторов МТ/МВ полей программным комплексом PRC-MTMV. Было получено оценки типперов для периодов геомагнитных вариаций от 50 до 3400 с, для кривых кажущегося сопротивления и фаз импеданса - от 20 до 10000 с.

При качественной интерпретации комплексных типперов и кривых МТЗ в земной коре Кочеровского участка обнаружены аномалии высокой электропроводности (несколько поверхностных и одна глубинная). Анализ

кривых МТЗ свидетельствует о неоднородной трехмерной ситуации на всей площади исследования, аномалии характеризуются разной электропроводностью, глубиной залегания и конфигурацией.

Построено и проанализировано трехмерную геоэлектрическую модель, в которой выделена серия проводников. С земной поверхности и до 5 м расположено большое количество различно ориентированных в пространстве проводники с  $\rho = 100$  и  $250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , в большинстве случаев они находятся над тектоническими разломами. В северной части планшета на глубинах от 0,2 до 5 км обнаружен проводник, который пространственно соответствует Кочеровскому синклинию, шириной 15 км и длиной 10 км с  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; на глубинах 0,2–0,5 и 0,2–2 км выделена серия вытянутых в большинстве случаев в субмеридиональном направлении проводников с  $\rho = 100$  и  $250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , соответствующих основным глубинным разломам региона – Виленскому, Огиевскому, Погребещенскому, Великоерчииковскому и Самгородскому. На глубинах от 0,5 до 11 км в узле пересечения разнонаправленных глубинных разломов проявился проводник субширотного простирания длиной 10 км и шириной 45 км, он погружается с запада на восток,  $\rho$  изменяется от 250 в верхней части до  $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  в нижней. На глубинах от 15 до 30 км подтверждено наличие региональной Черновицко-Коростенской аномалии с  $\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Выделенные аномалии электропроводности приурочены к вытянутым зонам метасоматоза и районам распространения графитизированных пород; часть поверхностных аномалий – к областям коры выветривания горных пород. Большинство аномалий приурочены к рудопроявлениям и месторождениям полезных ископаемых.

В диссертационном исследовании показано, что в пределах УЩ проявления сейсмической активности связаны с аномалиями высокой электропроводности и их краевыми частями. Проявления сейсмичности в пределах Кочеровского участка приурочены к электропроводящей зоне сечений субширотного Самгородского и оперяющих его с севера на юг (Варваровского, Великоерчииковского и др.) разломов, а глубже в земной коре к южной границе региональной Черновицко-Коростенской аномалии. Эпицентры Криворожских землетрясений находятся в районе Криворожско-Кременчугского разлома – в сложном тектоническом узле пересечения разрывов различной ориентации и в границах региональной Кировоградской аномалии электропроводности. Четко высокая электропроводность проявляется в интервале глубин 25 – 30 км.

**Ключевые слова:** магнитотеллурические и магнитовариационные методы, Украинский щит, рудопроявления, зоны разломов, аномалии электропроводности, трехмерное моделирование, сейсмичность.

## ABSTRACT

*Ilyenko V.A.* Electrical conductivity of fault zones of the Earth's crust in the Kocheriv section of the western part of the Ukrainian Shield. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in geological sciences, specialty 04.00.22 – geophysics (103 – Earth Sciences). – Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the detection and study of geoelectrical inhomogeneities of the earth's crust and upper mantle of the Kocheriv section of the western part of the Ukrainian Shield on the basis of the 3D model construction of resistivity distribution according to experimental MT/MV data. The explanation of the nature of the detected geoelectrical inhomogeneities based on the results of the geological and geoelectrical data comprehensive analysis and their study as one of the factors in the geodynamic process manifestations for the mineral ore occurrences search.

The qualitative interpretation of complex tippers and MTS curves revealed anomalies of high conductivity (several surface and one deep) in the earth's crust of the Kocheriv area. The analysis of MTS curves shows the heterogeneous three-dimensional situation over the entire study area, the anomalies are characterized by different conductivity, depth and configuration.

The three-dimensional geoelectrical model is constructed and analyzed in which series of conductors are detected: from the surface up to 5 m a large number of differently oriented conductors with  $\rho$  - 100 and 250 Ohm·m, in most cases they are above tectonic faults; in the northern part of the area at depths from 0,2 to 5 km the conductor was found, it spatially corresponds to the Kocheriv synclitorium - 15 km wide and 10 km long with  $\rho$  - 100 Ohm·m; at depths of 0,2-0,5 and 0,2-2 km there are series of elongated in most cases in the submeridional direction conductors, with  $\rho$  - 100 and 250 Ohm·m, they correspond to the main deep faults of the region - Vilensky, Ogievsky, Pogrebyshchesky, Velykoerchykivsky and Samgorodsky; at depths from 0,5 to 11 km at the intersection of multidirectional deep faults, the conductor of sublatitudinal extension 10 km long and 45 km wide appeared, dipping from west to east, changing  $\rho$  from 250 in the upper part to 100 Ohm·m in the lower part; the regional Chernivtsi-Korosten anomaly with  $\rho$  - 20 Ohm·m was confirmed at depths from 15 to 30 km.

These conductivity anomalies are confined to the elongated zones of metasomatism and areas of graphitized rock distribution, part of the surface anomalies is confined to the rock weathering areas. Most anomalies are confined to ore occurrences and mineral deposits: in the northern part – niobium, tantalum, beryllium, lithium, rubidium, cerium, tungsten, gold, copper; in the southern part – iron, titanium, gold, nickel, zirconium, uranium, yttrium.

In the dissertation research it is shown that the seismic activity manifestations are associated with high conductivity anomalies and their marginal parts. Manifestations of seismicity within the Kocheriv section are confined to the conductive zone of intersections of the sublatitudinal Samgorodsky and faults surrounding it from north to south (Varvarivsky, Velykoerchykivsky, etc.), and deeper in the earth's crust to the southern border of the regional Chernivtsi-Korosten.

**Key words:** magnetotelluric and magnetovariational methods, Ukrainian shield, ore occurrences, fault zones, conductivity anomalies, three-dimensional modeling, seismicity.