

## Електромагнітні дослідження Звиздаль-Заліської та Брусилівської зон розломів Українського щита

*В. А. Ільєнко, А. М. Кушнір, Т. К. Бурахович, 2019*

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна  
Надійшла 13 травня 2019 р.

В результаті експериментальних спостережень, проведених методами глибокого магнітотелуричного зондування та магнітоваріаційного профілювання в 2018 г. по двом профілям (15 пунктів), отримана просторово-часова картина розподілу геомагнітних варіацій та електричного поля в західній частині Українського щита. Вона дозволяє оцінити електропровідність та геоелектричну структуру розриву по вертикалі та горизонталі. Обробка виконана з допомогою сучасної програмної системи PRC-MTMV, що забезпечує сумісну поміжощі оцінювання імпеданса та індукційних параметрів синхронних МТ/МВ-записів. Отримані оцінки типера для періодів геомагнітних варіацій від 50 до 3400 с, кривих кажущогося опору та фаз імпеданса від 20 до 10 000 с.

Основним результатом якісної інтерпретації геоелектричних досліджень — виявлення аномалій високої електропровідності (чотирьох поверхневих та однієї глибокої) в земній корі складної системи розломів в зоні сочленення Подольського та Росинського мегаблоків. Аномалії характеризуються різною електропровідністю, глибиною залегання та конфігурацією. Оцінки, отримані різними методами к формальній інтерпретації магнітотелуричного зондування, узгоджуються з регіональною трьохмерною геоелектричною моделлю західної частини Українського щита та доповнюють представлення о дискусійному глибокому будові.

Виявлені поверхневі аномалії електропровідності: 1) в центральній частині Звиздаль-Заліської зони розломів; 2) між Погребищенським та Кочеровським розломами; 3) вздовж Великоерчицького та Улашевського розломів. Їх природа пояснюється підвищеним вмістом графіту та руденням, приуроченим до тектоніко-метасоматических зон.

Виділена глибока аномалія електропровідності, проекція якої на поверхню просторово збігається з районом перетинення Брусилівської та Немірової зон розломів (та одноіменних мінералогічних зон). Верхня межа аномалії углубляється на схід від Звиздаль-Заліської зони розломів.

Аномалії високої електропровідності просторово пов'язані з тектонічними зонами розломів та зонами метасоматических змін. Їх територіальне розташування відповідає металогічним рудним зонам. Тому дані аномалії можуть слугувати геоелектричними критеріями при пошуку рудопроявів корисних копалин.

**Ключові слова:** магнітотелуричні та магнітоваріаційні методи, аномалії електропровідності, зони розломів, зони метасоматоза.

**Вступ.** 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 концен-

трації, різними формами та умовами залягання рудних тіл, наявністю аномалієутворювальних тіл іншої природи, неоднорідністю вмісних порід і цілою низкою інших істотних чинників. У багатьох геологічних районах спостерігається різко змінна по-

тужність осадових відкладів і пересічений рельєф.

При пошуках рудопроявів і родовищ корисних копалин, як правило, широкомащтабно застосовують магнітотелуричні (МТ) методи у самих сучасних модифікаціях для об'ємної характеристики геоелектричного середовища та ефективного виявлення найважливіших електропровідних структур.

Магнітотелуричний метод відрізняється від інших методів електророзвідки високою глибинністю. Це зумовлено тим, що методом МТ-зондування (МТЗ) досліджують природне низькочастотне змінне електромагнітне поле іоносферно-магнітосферного походження. На цей час метод МТЗ порівняно з іншими електророзвідувальними методами має найбільш розроблений апарат аналізу та інтерпретації даних, у тому числі для складнопобудованих тривимірно-неоднорідних середовищ. Недоліком методу МТЗ є чутливість до техногенних електромагнітних перешкод. Цю проблему переважно вирішують, використовуючи сучасні методики обробки даних на підставі синхронних спостережень та застосування новітньої апаратури.

Накопичений досвід показав, що природа провідників не може бути встановлена на основі тільки геоелектричної інформації, необхідне залучення інших геолого-геофізичних даних для оцінювання типу можливого носія струму. Аномальні об'єкти, для яких виявиться непридатним теплове пояснення, можна розглядати з позиції зв'язку з особливостями складу порід земної кори, проникністю і можливістю проводити флюїди. У розподілі електричних властивостей відображуються результати глибинних геологічних процесів, таких як метаморфізм, перетворення у верхній мантії та ін.

Прогнозування розміщення родовищ корисних копалин у докембрії на підставі створення геолого-геофізичних моделей шовних зон Українського щита (УЩ) — одне з питань, якому присвячений цикл монографій [Геолого-геоелектрическая...

2005; Геолого-геофизическая..., 2006, 2008; Геолого-геофизическая..., 2009]. У публікації [Шеремет и др., 2013] розроблено геолого-геофізичні критерії рудоносності. До геоелектричних віднесено наявність низькоомних регіональних і локальних аномалій; низькоомних геоелектричних глибинних аномалій уздовж протяжних зон розломів; низькоомних геоелектричних аномалій, приурочених до зон метасоматозу; зв'язку низькоомних геоелектричних аномалій з металогенічними рудними вузлами і геохімічними аномаліями.

Більшість зон підвищеної електропровідності, які виявлені на території України в межах земної кори, просторово збігаються із зонами поширення металогенічних формацій [Бежавский и др., 2001]. У західній частині УЩ виділено [Карта..., 1997] чотири металогенічні зони: Суццано-Пержанську, Овруцьку, Красногірсько-Житомирську і Кіровсько-Кочерівську. Інтенсивна тектонічна активність Суццано-Пержанської зони зумовила її проникність, що визначило можливість інтрузивного магматизму (основні та ефузивні породи) і вільного надходження «кризьмагматичних» розчинів, що несуть петрогенні й рудні компоненти. В межах Овруцької зони виявлено родовища апатитів і пірофіліту, прояви гірського кришталю, цирконію, титану, золота, срібла, олова. У Коростенському металогенічному районі зосереджена переважна більшість відомих рудопроявів кольорових і рідкісних металів — цирконію, молібденіту, графіту. У Житомирській зоні в гнейсах поширені прояви графіту із вмістом елемента до 14 %.

Всі глибинні розломи в межах Кіровсько-Кочерівської металогенічної зони характеризуються прирозломним метасоматозом, вираженим кварц-сульфідними жилами, польовошпатовими метасоматитами, зонами грейзенізації [Геолого-геофизическая..., 2009]. Близько 20 точок мінералізації молібдену виявлено в зонах Віленського, Кочерівського і Центрального розломів, рудопрояви і точки мінералізації танталу, ніобію, олова і вольфраму

приурочені до Кочерівської, Брусилівської і Центральної зон розломів. Значна частина рудопроявів берилію, олова і вольфраму пов'язана зі скарнами і кварц-польовошпатовими метасоматитами, рудопрояви нікелю виявлено в серпентинітах, що простягаються уздовж Кочерівської структури. Більшість згаданих зон розломів проявлені у вигляді глибинних аномалій підвищеної електропровідності.

**Основна мета** статті — дослідити характерні особливості розподілу електропровідності в земній корі із застосуванням МТ/МВ методів території перетину Звіздаль-Заліської, Брусилівської та Немирівської зон розломів у районі зчленування Подільського та Росинського мегаблоків УЩ; зробити обробку експериментального матеріалу та оцінити геоелектричні параметри; проаналізувати зв'язок аномально провідних структур з рудопроявами та зонами глибинних розломів.

**Геолого-тектонічна будова.** Існують різні уявлення про геолого-тектонічну структуру району дослідження. У тектонічному аспекті зону перетину Звіздаль-Заліської, Брусилівської та Немирівської зон розломів різні автори описують так.

- Немирів-Кочерівську шовну зону (НКШЗ) уперше виділив Є. Б. Глеваський на підставі аналізу реконструйованих геодинамічних обстановок у протерозої [Геолого-геоелектрическая..., 2005], розвинув Є. М. Шеремет [Геолого-геофизическая..., 2009]. Вона охоплює Брусилівську шовну зону другого порядку на південному заході, що продовжується Немирівською міжблоковою тектонічною зоною мантійного закладення. Північна частина НКШЗ у межах Волинського мегаблока представлена Кочерівською структурою, обмеженою зі сходу Вільшанським і Брусилівським, а із заходу Віленським і Кочерівським розломами. Між Подільським й Росинським мегаблоками НКШЗ трасується із заходу Погребищенським розломом, який продовжується на північ Віленським

та Кочерівським розломами, на сході — Великоерчиківським розломом (який є продовженням Вільшанського), і має строго меридіональну орієнтацію. Ширина НКШЗ звужується від 30 км й більше на півночі до 15—18 км на півдні. Південніше перетину Звіздаль-Заліської та Немирівської зон розломів НКШЗ змінює напрямок до південного—південно-західного, а ще південніше до виключно південно-західного (ширина 10—13 км) [Геолого-геофизическая..., 2009].

- Брусилівська міжблокова шовна зона (БМШЗ) (рис. 1) має довжину до 150 км. Із заходу вона обмежена Огіївським глибинним розломом, зі сходу — Великоерчиківським [Державна..., 2005]. У межах БМШЗ із заходу на схід розміщуються Звіздаль-Заліська зона розломів, Самгородський та Варварівський розломи, Брусилівська зона розломів, яку під кутом перетинає Немирівська зона північно-східного простягання.
- У зоні переходу між Бузьким і Подільським мегаблоками виділено Немирівську зону розломів, між Подільським та Росинським мегаблоками — Звіздаль-Заліську. Згідно з публікацією [Гинтов, 2005], Немирівська зона розломів є міжмегаблоковою до її перетину з меридіональною Звіздаль-Заліською зоною у районі с. Погребище, далі на північний схід вона продовжується як внутрішньоблокова у Росинському мегаблоці. За О. Б. Гінтовим, на цій ділянці шовні зони не виділено, а Звіздаль-Заліську зону розломів розглядають як складову частину Подільського та на півночі Волинського мегаблоків, її східна межа є зоною зчленування Подільського та Росинського мегаблоків.

Наведені вище глибинні зони розломів утворилися на різних етапах формування УЩ і мають різні тектонічні характеристики.

- Звіздаль-Заліська зона розломів є глибинною міжблоковою зоною розломів I рангу [Геолого-геофизическая..., 2009], має меридіональне простягання, оконтурюється із заходу Огіївським, а зі сходу — Погребищенським глибинними розломами, на півночі починається із Звіздаль-Заліської мафічної дайки (ширина близько 2 км), яка локалізована в межах Коростенського плутону і є найбільшою дайкою габро-долеритів у межах УЩ [Шаталов, 2016], на півдні перетинає Бузький мегаблок і виходить за межі щита. Загальна довжина Звіздаль-Заліської зони розломів становить 350 км за максимальної ширини до 7 км [Гинтов, 2005]. Вона була закладена в палеопротерозої (класова система, PR1 II) під час Субботсько-Мошоринського етапу утворення розломних зон (початок етапу 1,8—1,85 млрд років тому) [Гинтов, 2014; Мичак, 2015].
- Брусилівська зона є глибинною зоною розломів I рангу меридіонального простягання (довжина 160 км, максимальна ширина 15 км), обмежена із заходу Кочерівським, а зі сходу Великоерчиківським глибинними розломами.
- Немирівська зона розломів північно-східного простягання оконтурена із північного заходу Таборівським, а з південного сходу Павлівським глибинними розломами. Зона закладена під час немирівського етапу утворення зон розломів (початок етапу 1,99 млрд років тому) [Мичак, 2015]. Її довжина сягає 285 км за ширини 13 км. До перетину із Звіздаль-Заліською зоною розломів є міжмегаблоковою, на північний схід продовжується в межах Росинського мегаблока. Зона прослідкована у гравітаційному полі та ланцюгом лінійних магнітних аномалій з пониженням  $Z_a$  та  $\Delta T_a$  [Гинтов, 2005].

У Подільському та Росинському мегаблоках виділено дністровсько-бузьку

серію [Державна..., 2005], яка поширена у вигляді останців графітовмісних порід серед гранітів бердичівського комплексу. Березнинська товща представлена графіт-біотитовими плагіогнейсами, високоглиноземистими біотитовими гнейсами з кордієритом, силіманітом й графітом. Вона розкрита свердловиною у с. Зарудинці [Геолого-геофизическая..., 2009], де проводили експериментальні геоелектричні дослідження у 2018 р.

**Огляд попередніх геоелектричних досліджень.** Попередніми геоелектричними дослідженнями в західній частині УЩ виділено невеликі локальні зони та регіональну Чернівецько-Коростенську аномалію електропровідності. За даними МВП упевнено виділено Ружинську аномалію [Логвинов, Рокитянский, 1982], яка має складну тривимірну будову та знаходиться у верхній частині консолідованої земної кори. Уздовж профілю «Євробридж», що перетинає південну частину Прип'ятського прогину, Овруцький авлакоген та Коростенський плутон Волинського мегаблока УЩ, побудовано двовимірну модель за даними МТ/МВ експериментальних досліджень [Бурахович и др., 1997]. Аномалії виявлено на глибині від 15 до 30 км, їх протяжність — 70 і 120 км. Південна частина характеризується питомим опором ( $\rho$ ) 80, північна — 100 Ом·м. За МВ-дослідженнями у південній частині профілю виділено аномалію в геомагнітних варіаціях субширотного орієнтування, яка простягається між містами Літин й Ружин. Аномалія виражена розгортанням векторів Візе в інтервалі періодів ( $T$ ) від 100 до 1500 с та збільшенням північної горизонтальної компоненти до 40 % з максимумом у пунктах МВП Лозна та Бруслинів.

Було побудовано квазітривимірну геоелектричну модель західної частини УЩ за даними МВ спостережень на періоді  $T$  150 і 1000 с [Kulik et al., 2001] та виділено Чернівецько-Коростенську аномалію електропровідності з верхньою кромкою на глибині 15 км. Сумарна поздовжня провідність ( $S$ ) західної частини становить 500, східна — 500—1000 См. У районі м. Жи-

томир усередині провідної структури розміщується блок відносно високого опору,  $S = 10$  См. Між містами Коростишів та Ірпінь прослідковується субширотна зона високої електропровідності, яку виявлено за векторами Візе величиною до 0,1 та різною орієнтацією.

Оцінки параметрів геоелектричного розрізу земної кори північного заходу УЩ, отримані в результаті 2D моделювання кривих МТЗ і квазі-3D моделювання індукційних векторів, якісно збігаються.

Глибина залягання покрівлі провідника в земній корі становить 15 км. Водночас оцінки величини  $S$  суттєво різняться. Якщо для 2D моделі  $S$  провідників дорівнює 150—200, то для квазі-3D — 500—1000 См. Ці розходження природні та пов'язані з тим, що 2D моделювання дає завищені оцінки провідності порівняно з реальною ситуацією.

У результаті побудови тривимірної моделі на заході УЩ виявлено об'ємні параметри регіональної Чернівецько-Ко-

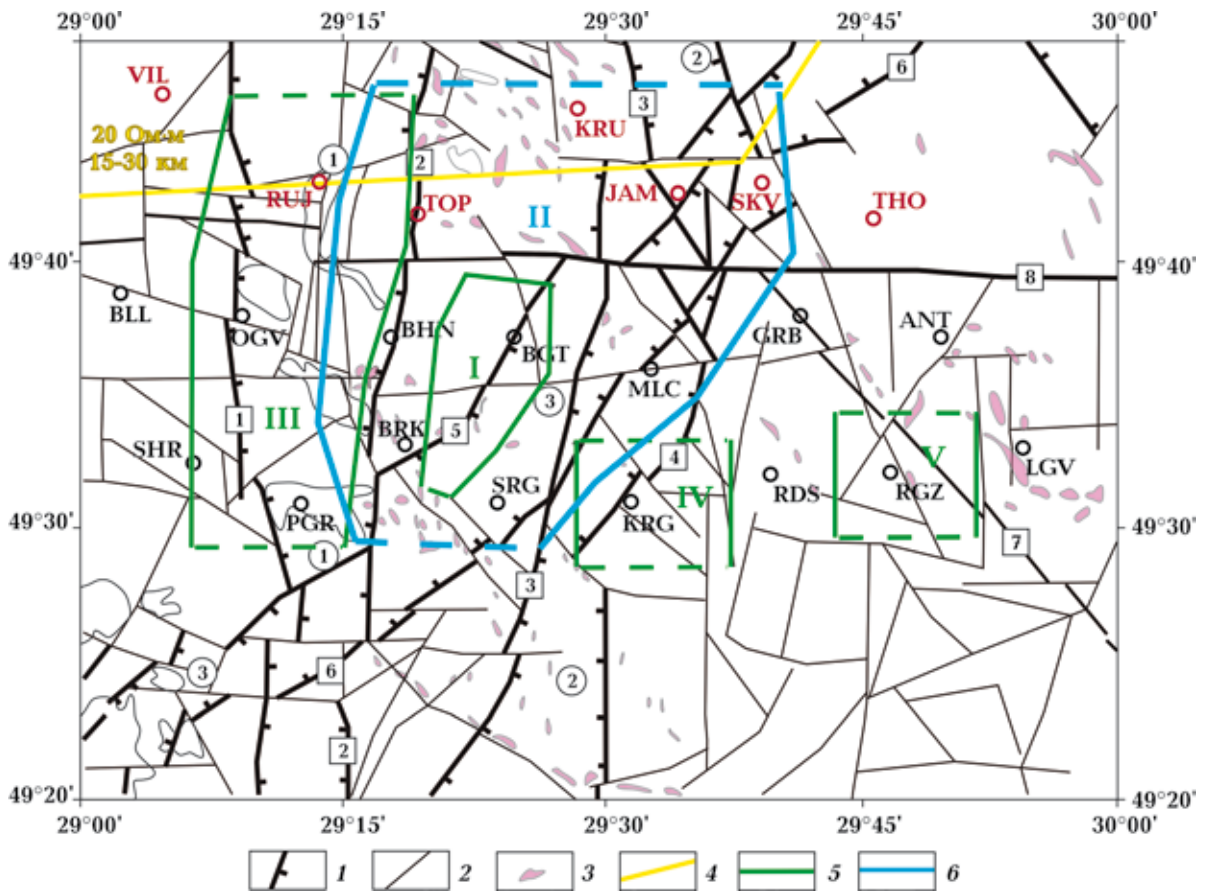
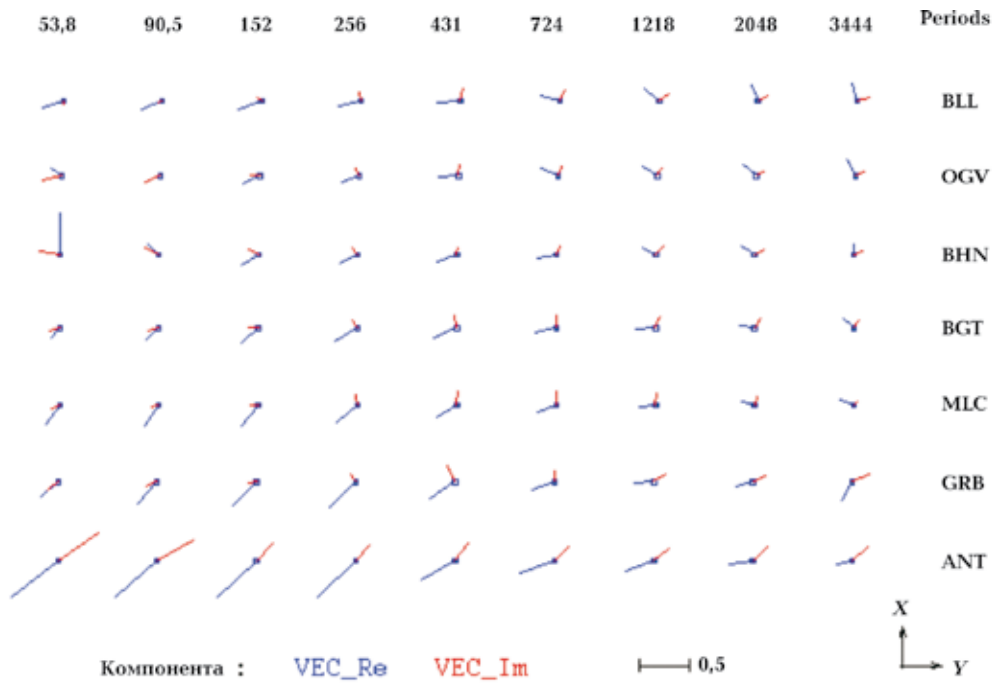
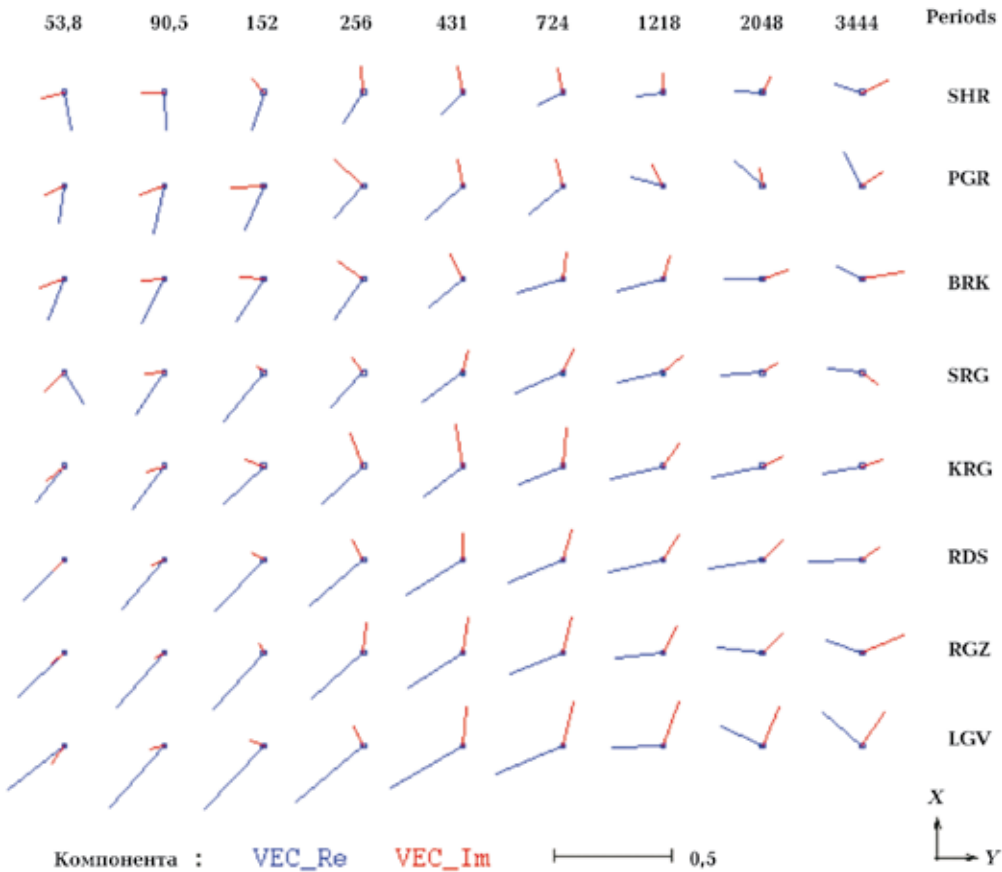


Рис. 1. Тектонічна карта [Державна..., 2005]: 1 — глибинні тектонічні зони; 2 — локальні тектонічні порушення; 3 — кристалосланці; 4 — Чернівецько-Коростенська аномалія підвищеної електропровідності (за даними тривимірного моделювання, з верхньою кромкою 15—30 км, питомим електричним опором 20 Ом·м [Бурахович и др., 1997]); аномалії електропровідності (виділено за даними МТ/МВ досліджень (позначено римськими цифрами), у тому числі за даними [Ніколаєв та ін., 2019], пункти червоного кольору); 5 — поверхневі, 6 — глибинна. Глибинні зони розломів (цифри в колах): 1 — Звідаль-Заліська; 2 — Брусилівська; 3 — Немирівська. Профіль Белилівка—Антонів: Белилівка (BLL), Огіївка (OGV), Бухни (BHN), Богатир (BGT), Молчанівка (MLC), Горобіївка (GRB), Антонів (ANT); профіль Ширмівка—Логвин: Ширмівка (SHR), Погребище (PGR), Бурківці (BRK), Саражинці (SRG), Коржиха (KRG), Руде Село (RDS), Рогізна (RGZ), Логвин (LGV). Глибинні та головні розломи (цифри в квадратах): 1 — Огіївський; 2 — Погребищенський; 3 — Кочерівський; 4 — Великоерчиківський; 5 — Таборівський; 6 — Павлівський; 7 — Улашівський. Другорядні розломи (цифра в квадраті): 8 — Самгородський.



а



б

Рис. 2. Спостережені реальні та уявні компоненти типера за даними МВП для періодів геомагнітних варіацій від 50 до 3400 с. Профілі: а — Белілівка—Антонів, б — Ширмівка—Логвин.

ростенської аномалії електропровідності (рис. 1), яка характеризується великою площею та складною будовою на глибинах від 15 до 30 км [Бурахович, Кулик, 2007]. Частина аномалії з  $\rho=5$  Ом·м розміщується у межах південно-східної частини Волинського та на півночі Подільського мегаблоків. Вона містить об'єкт високого  $\rho \approx 1000$  Ом·м у районі м. Житомир. Західна частина цієї структури, що має середнє  $\rho$  — 20 Ом·м, виходить за межі УЩ і простягається у двох напрямках — на південь і на південний схід, уздовж Подільської зони розломів до Голованівської шовної зони. У південно-західній частині щита виявлено провідник у верхній мантії з верхньою кромкою на глибині 50—70 км з  $\rho=25\div 50$  Ом·м. Його межі проходять: північна — по  $50^\circ$  пн. ш., східна — між  $31^\circ$  і  $32^\circ$  сх. д.; південна — по Кишинівській зони розломів на широті південної межі УЩ, західна — по  $26^\circ$  сх. д.

Безпосередньо в районі дослідження починаючи з 2008 р. виконано геоелектричні роботи методами аудіо-МТЗ, МТЗ і МВП за трьома субширотними профілями — Макарівському, Фастівському і Сквирівському [Бурахович и др., 2015]. Експериментальні дослідження показали дуже високі значення позірної опоры ( $\rho_{\text{п}}$ ) — від 1000 до 5000 Ом·м у Волинському та Подільському,  $\sim 1000$  Ом·м у Росинському мегаблоках УЩ. Звіздаль-Заліська та Брусилівська зони розломів проявляються у вигляді контактів різних  $\rho_{\text{п}}$  — 5000 та 1000, 1000 та 300 Ом·м відповідно. Огіївський, Погребищенський, Кочерівський, Центральний, Старосільський, Великосерчиківський, Віленський і частково Вільшанський розломи утворюють низькоомні аномалії (до 300, іноді до 500 Ом·м) в усьому частотному діапазоні.

У 2015 р. сучасні експериментальні МТ-та МВ-дослідження [Ніколаєв та ін., 2019] із застосуванням методики синхронних спостережень проведено вздовж двох профілів, що перетинають Звіздаль-Заліську та Брусилівську зони розломів на території мегаблоків УЩ: Волинського та Росинського — профіль Радомишль—Фастів, Подільського та Росинського — профіль

Ружин—Сквира. За результатами якісної інтерпретації можна виділити декілька різноорієнтованих струмопровідних структур як поверхневих/приповерхневих, так і глибинних, які просторово збігаються із Звіздаль-Заліською зоною розломів, Самгородським розломом і Кочерівською структурою.

**Сучасні експериментальні МТ/МВ-дослідження.** У 2018 р., було проведено дослідження з вивчення глибинної геоелектричної будови складної системи розломів між Подільським й Росинським мегаблоками УЩ. Ці дослідження є продовженням робіт 2015 р. [Ніколаєв та ін., 2019]. Було зареєстровано електромагнітні поля у 15 пунктах (рис. 1) уздовж двох профілів: Белілівка—Антонів та Ширмівка—Логвин. Тривалість синхронних спостережень становила 1 добу, відстань між зазначеними профілями та польовими пунктами в середньому сягала 10 км; між профілями Ружин—Сквира [Ніколаєв та ін., 2019] й Белілівка—Антонів — у середньому 6 км.

Передавальні оператори МТ/МВ полів оцінювали із застосуванням програмного комплексу PRC—MTMV [Варенцов, 2013]. Було отримано оцінки типерів для періодів  $T$  геомагнітних варіацій від 50 до 3400 с, для кривих  $\rho_{\text{п}}$  і фаз імпедансу ( $\varphi$ ) — від 20 до 10000 с.

Формальну інтерпретацію кривих глибинного МТЗ виконано з використанням трансформацій Шмукера та Ніблетта, так званих перетворень  $\rho_{\text{п}}$  ( $T$ ) у криві, що визначають залежність опоры від глибини  $\rho$  ( $H$ ). Опір  $\rho$  і глибина  $H$  — не дійсні, а наближені величини, але звичайно при перетворенні отримують згладжений геоелектричний розріз [Бердичевський, Дмитриєв, 2009]. Трансформації Шмукера засновані на асимптотичних формулах, які справедливі для висхідної та спадної гілок кривих двошарової моделі, з подальшим їх застосуванням до багат шарового середовища. Крім того, проводили профільну одновимірну інтерпретацію даних МТЗ, що забезпечило автоматизований підбір амплітудних і фазових кривих, із застосуванням програми MSU\_MT1D [1D profile..., 2018].



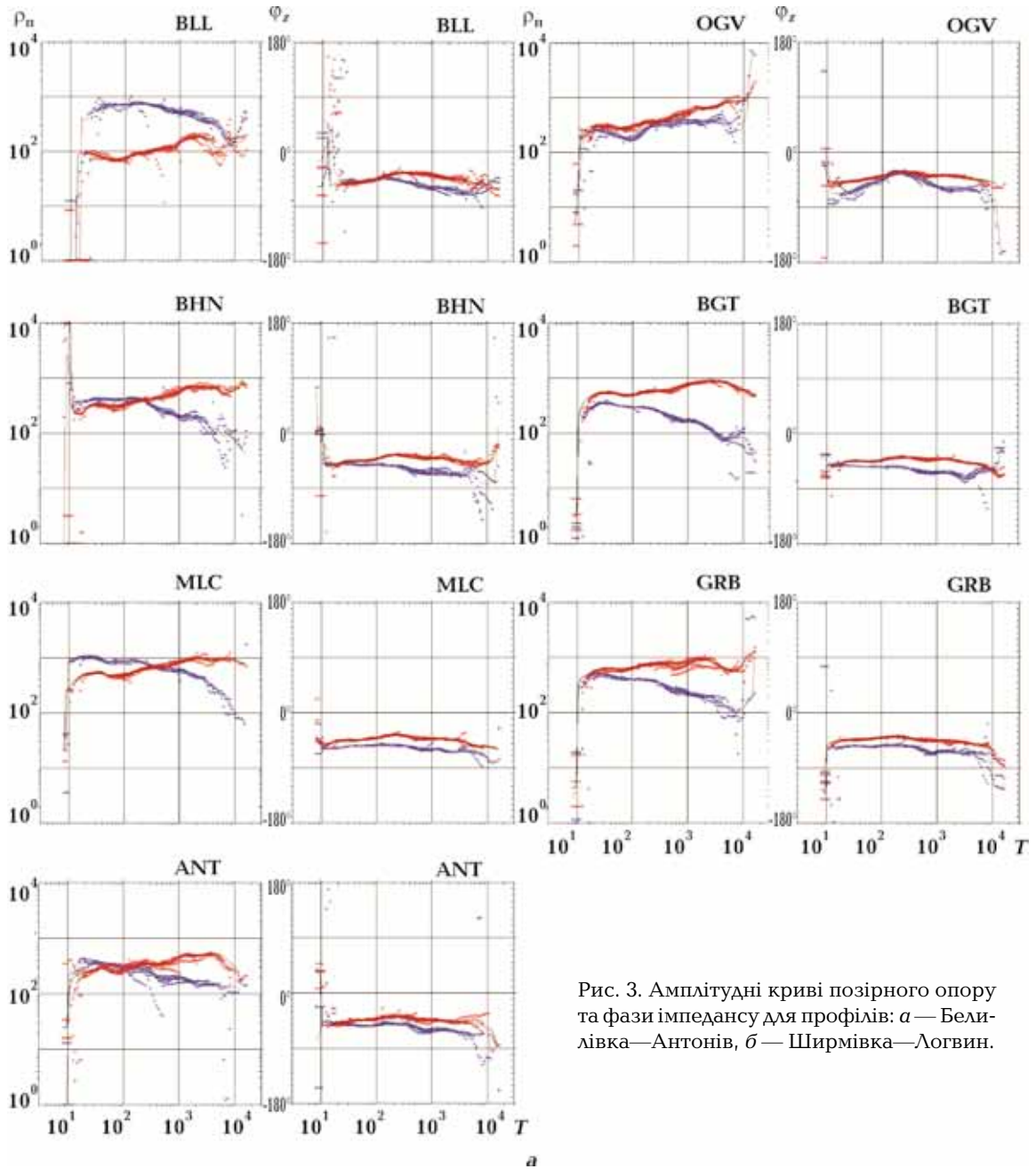


Рис. 3. Амплітудні криві позірного опору та фази імпедансу для профілів: *a* — Белілівка—Антонів, *б* — Ширмівка—Логвин.

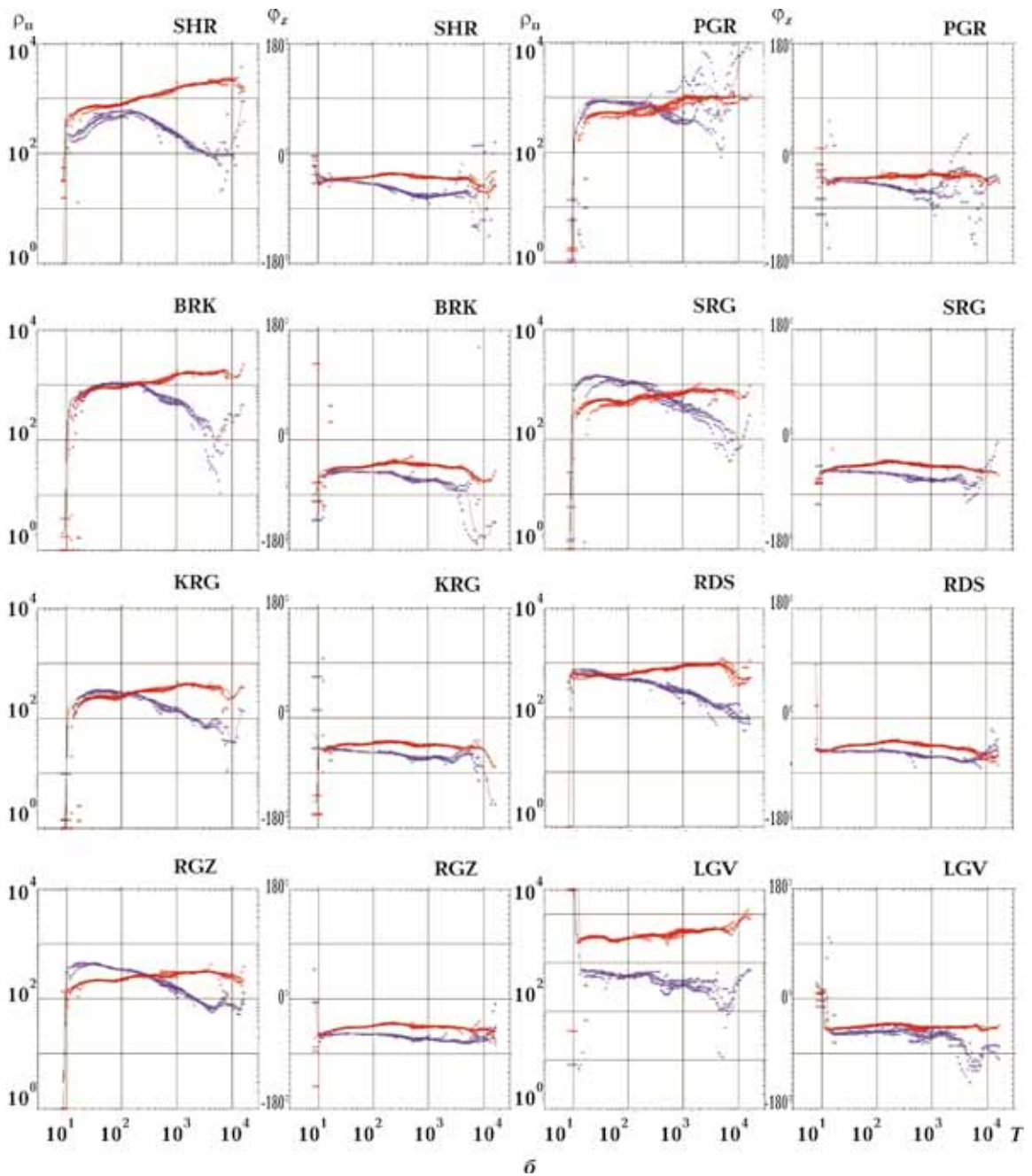
Максимуми частотних характеристик комплексних індукційних параметрів для пунктів профілю Белілівка—Антонів відповідають  $T = 250$  с і сягають значень 0,3—0,6 (рис. 2, *a*). Орієнтація реальних компонент ( $\text{Re}\mathbf{W}$ ) типера в усіх пунктах та на більшості періодів  $T$  переважно західна—південно-західна, значення  $\text{Re}\mathbf{W}$  у середньому становить 0,3, але коливається в широких межах від 0,1 до 0,6. Уявна компонента ( $\text{Im}\mathbf{W}$ ) для  $T < 1000$  с має величину 0,1, за винятком пункту ANT, де в усьому

частотному діапазоні величини  $\text{Re}\mathbf{W}$  та  $\text{Im}\mathbf{W}$  майже однакові та колінеарні.

На періоді  $T$  до 100 с спостерігається розгорнення у широтній компоненті типерів поміж пунктами BHN та MLC (на пікетах від 23 до 32 км), що може засвідчувати наявність локальної поверхневої аномалії субмеридіонального простягання (аномалія I, див. рис. 1).

Аналогічна ситуація характерна і для  $T > 700$  с. Однак зі збільшенням періодів  $T$  вісь аномалії (поміж пунктами: OGV та





б

ВНН,  $T=720$  с, ВНН та ВГТ,  $T=1200$  с, МЛС та GRB  $T>2000$  с) зміщується та занурюється на схід (аномалія II, рис. 1). Загальна довжина аномалії за профілем становить 30 км, розташована між пікетами 18 і 48 км.

На профілі Ширмівка—Логвин модуль індукційних параметрів  $ReW$  збільшується від 0,2 до 0,4, значення  $ImW$  мають інтервал 0,1—0,25. Кут між  $ReW$  та  $ImW$  на  $T$  від 200 до 1000 с близький до  $90^\circ$ . І тільки на  $T>1200$  с у центральній частині профілю (від BRK до RDS) компоненти типерів

майже колінеарні. Максимум частотних характеристик знаходиться на  $T=150$  с і сягає значень від 0,2 до 0,4 (рис. 2, б).

На  $T$  до 90 с спостерігається таке саме розгорнення у широтній компоненті типерів поміж пунктами BRK та SRG (на пікетах від 14 до 21 км), як і на профілі Белилівка—Антонів. Це засвідчує продовження на південь та можливе вклинювання до поверхні аномалії субмеридіонального простягання (аномалія I, див. рис. 1). Така поведінка типерів не спостерігається на профілі Ру-

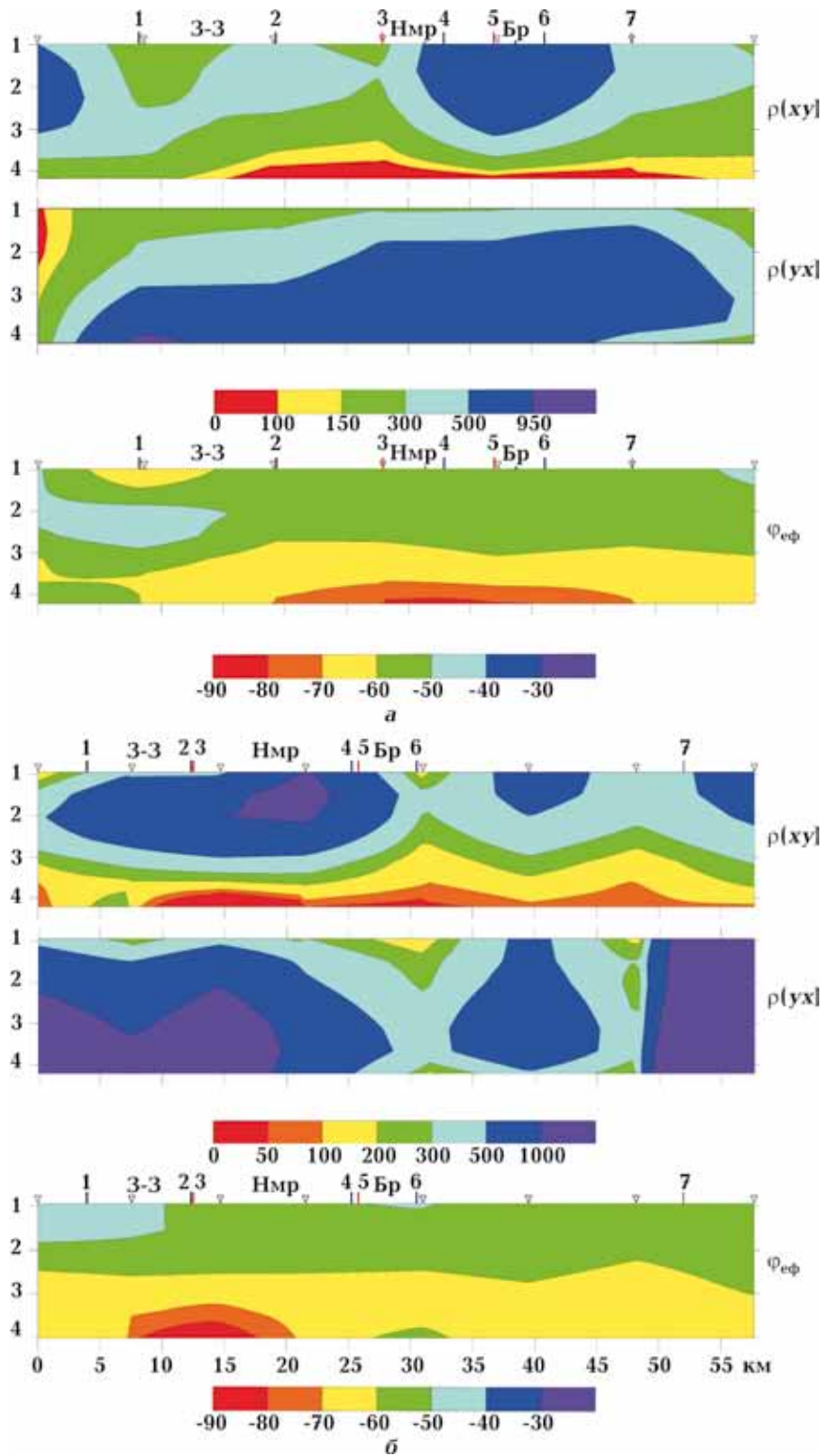


Рис. 4. Псевдорозріз розподілу  $\rho_{п}$  (для поляризації  $xy$  і  $yx$ ) і  $\varphi_{ef}$  на профілях: а — Белівка—Антонів, б — Ширмівка—Логвин (вертикальна шкала в  $\lg T$  (с)); *зони розломів*: 3-3 — Звездаль-Заліська, Нмр — Немирівська (межі виділені червоним кольором), Бр — Брусилівська (синім кольором); *глибинні та головні розломи*: 1 — Огіївський, 2 — Погребищенський, 3 — Таборівський, 4 — Кочерівський, 5 — Павлівський, 6 — Великоерчиківський, 7 — Улашівський.

жин—Сквира [Ніколаєв та ін., 2019], тому можна припустити, що аномалію на півночі відсікає Самгородський субширотний розлом. Найімовірніше вона може бути пов'язана з високою електропровідністю Таборівського розлому.

На  $T > 1200$  с у широтній компоненті  $ReW$  типера зафіксовано розгорнення, що може бути наслідком аномалії електропровідності (аномалія II, рис. 1), вісь якої (поміж пунктами: PGR та BRK на  $T=1200$  с, SRG та KRG на  $T=3400$  с) зміщується та занурюється на схід, як і на профілі Белилівка—Антонів. Загальна довжина аномалії вздовж профілю становить понад 10 км між пікетами 7 та 21 км. Згідно з інтерпретацією для профілю Ружин—Сквира [Ніколаєв та ін., 2019], аналогічна струмопровідна структура спостерігається на  $T=300\div 1000$  с, тоді як північніше за даними профілю Радомишль—Фастів такої аномалії не виявлено.

Таким чином, можна припустити наявність єдиної глибинної аномалії електропровідності (аномалія II, рис. 1), яка занурюється на глибину з півночі на південь, приблизно від субширотного Самгородського розлому (або північніше від нього на відстань не більш як 5 км) до перетину Звіздаль-Заліської та Немирівської зон розломів, а можливо, і далі. Її західна межа проходить центральною частиною Звіздаль-Заліської зони розломів, східна має південно-західне спрямування та частково збігається з окремими ділянками Павлівського та Великоерчиківського розломів.

Український щит характеризується низькими значеннями сумарної поздовжньої провідності осадових відкладів ( $S_{oc}$ ) та їх варіацією від 100 до 0,5 См. Карти-схеми  $S_{oc}$ , що були складені на основі МТ-досліджень [Геозлектрическая модель..., 1998, стр. 191; Ingegov et al., 1999] у досліджуваному районі, вказують на дуже низьку провідність поверхневих відкладів — до 5—10 См. Згідно з експериментальними спостереженнями, для переважної більшості пунктів профілю Белилівка—Антонів  $S_{oc}$  (рис. 3, а) становить від 80 до 90 См,

за винятком пункту BLL, де  $S_{oc} \sim 160$  См, а для пунктів профілю Ширмівка—Логвин (рис. 3, б) — 40—90 См, з мінімальними значеннями у пункті LGV — 30 См.

Криві МТЗ профілю Белилівка—Антонів (рис. 3, а) мають рівень  $\rho_{\Pi}$  100—1000 Ом·м, відношення між ними для різної поляризації залишається однаковим майже в усьому частотному діапазоні, за винятком пункту BLL. Тут розходження  $\rho_{\Pi}$  становить майже порядок,  $T=10$  с відповідають значення  $\rho_{\Pi xy}$  — 700 та  $\rho_{\Pi yx}$  — 100 Ом·м. Зі збільшенням  $T > 1000$  с криві прагнуть зійтися на рівні 300 Ом·м. Фазові криві імпедансу ( $\varphi$ ) не відповідають амплітудним кривим  $\rho_{\Pi}$ . З якісної інтерпретації амплітудних кривих виходить, що саме тут має бути локальна приповерхнева аномалія електропровідності.

За поведінкою кривих  $\rho_{\Pi}$  у решті пунктів профілю можна виділити дві групи:

- до першої належать пункти OGV, BGT і GRB, де криві  $\rho_{\Pi}$  для двох поляризацій на  $T=10$  с мають однаковий рівень від 200 до 300 Ом·м та далі зі збільшенням  $T$  розходяться,  $\rho_{\Pi xy}$  досягає значень 1000 Ом·м, а  $\rho_{\Pi yx}$  зменшується до 400—100 Ом·м;

- до другої належать пункти BHN, MLC та ANT, де криві для різних вимірювальних ліній перехрещуються на  $T 200—300$  с, поляризація змінюється з подальшим розходженням кривих майже до 0,5—1,0 порядку ( $\rho_{\Pi xy}$  зменшується до 150—100,  $\rho_{\Pi yx}$  зростає до 600—1000 Ом·м).

Майже всі пункти спостережень розташовані в зонах розломів або їх перетинах. На псевдорозрізах  $\rho_{\Pi}$  (рис. 4, а) перша група чітко проявляється на 8, 28 та 49 км пониженими значеннями від 150 до 500 Ом·м (для поляризації  $\rho_{\Pi xy}$ ) з різкою зміною (у пунктах OGV (8 км) і GRB (49 км)) та низькими значеннями  $\rho_{\Pi yx}$  на коротких періодах. Так, пункт OGV просторово розташований в межах Огіївського, BGT — Таборівського, GRB — Улашівського глибинних розломів.

Звіздаль-Заліська зона розломів на профілі розташована між 8 (OGV) і 19 км (BHN) (рис. 4, а). Приповерхнева аномальна структура (аномалія III, див. рис. 1) за

псевдорозрізами  $\varphi_{\text{еф}}$  (пікети 4—14 км), яка збігається з високою провідністю на псевдорозрізах  $\rho_{\text{п}}$  (пікети 5—16 км), відповідає Огіївському розлому та західній частині зазначеної зони розломів. Пункт ВНН знаходиться в межах Погребищенського глибинного розлому, саме з нього проявляється глибинна аномалія на псевдорозрізах  $\varphi_{\text{еф}}$ , яка простежується майже до пікету 49 км, де знаходиться пункт GRB над Улашівським глибинним розломом. Найбільша електропровідність за  $\varphi$  спостерігається між пікетами 28 (BGT, Таборівський розлом) та 35 км (на пікеті 37 км розташований пункт MLC, Павлівський розлом), які територіально збігаються з Немирівською зоною розломів.

Низькі значення  $\rho_{\text{п,ху}}$  до 100 Ом·м у нижній частині псевдорозрізу на пікетах від 16 до 55 км добре узгоджуються з аномалією  $\varphi$  на великих  $T > 3500$  с. Її максимальне піднімання за глибиною спостерігається в районі Таборівського розлому на пікетах 25—30 км (аномалія I, рис. 1).

Криві  $\rho_{\text{п}}$  профілю Ширмівка—Логвин (див. рис. 3, б) суттєво не відрізняються від таких кривих попереднього профілю, крім пункту LGV, де рівні кривих для різної поляризації розходяться майже на 1—2 порядки в усьому частотному діапазоні.

Майже на всіх пунктах криві для різної поляризації телуричного поля збігаються за значеннями ( $100 < \rho_{\text{п}} < 1000$  Ом·м) до  $T = 200 \div 600$  с або перехреснюються на цих періодах і змінюються з подальшим розходженням, яке може сягати від 0,5 до 1,5 порядку. На кривих у пунктах SHR та RDS це починається на  $T \leq 100$  с. Майже всі криві  $\rho_{\text{п,ху}}$  у межах області великих періодів виходять на глобальні дані.

Псевдорозрізи  $\rho_{\text{п}}$  (рис. 4, б) можна розділити на дві частини. Якщо на сході профілю Ширмівка—Логвин за пікетом 25 спостерігається зміна рівня  $\rho_{\text{п}}$  залежно від зміни  $S_{\text{ос}}$ , то у правій частині профілю такого не відбувається. Чітко виділяються зони низьких значень  $\rho_{\text{п}}$  на пікеті 30 (пункт KRG) (аномалія IV, рис. 1) та біля пікету 50 км (пункт RGZ) (аномалія V, рис. 1), які просторово збігаються з Ве-

ликоєрчиківським та Улашівським розломами. Псевдорозрізи  $\varphi_{\text{еф}}$  профілю між пікетами 7 та 21 км характеризуються значеннями, більшими за  $75^\circ$ . За ними можна виділити глибинну зону високої електропровідності між осьовими частинами Звездаль-Заліської та Немирівської зон розломів з максимальним підніманням у Погребищенському і Таборівському розломах. Частково вона збігається з просторовим розташуванням аномалії (аномалія I, рис. 1), яку припускали за даними МВП та яка розміщується між Звездаль-Заліською та Брусилівською зонами розломів. Крива  $\rho_{\text{п,ху}}$  (LGV) характеризується значним рівнем  $\rho_{\text{п}} = 3000 \div 8000$  Ом·м.

**Обговорення та висновки.** Загальна формальна інтерпретація МТ- та МВ-функцій відгуку дала змогу припустити існування локальних різноспрямованих струмопровідних аномалій на різних глибинах у земній корі західної частини Росинського та східної — Подільського мегаблоків УЩ.

Частина Звездаль-Заліської зони розломів, що розділяє Подільський та Росинський мегаблоки УЩ, проявилась у поверхневих аномаліях електропровідності (аномалія III, рис. 1), які виявлено за даними МТ-досліджень уздовж трьох профілів: Ружин—Сквира [Ніколаєв та ін., 2019] (рис. 1), Белилівка—Антонів (від пікету 5 км до пікету 17 км (рис. 1, 4, а)) та Ширмівка—Логвин (між пікетами 0 і 10 км (рис. 1, 4, б)). Можна припустити, що не окремі локальні ділянки, а центральна частина Звездаль-Заліської зони розломів, за [Гинтов, 2005], або більша частина цієї зони [Державна..., 2005] проявляється у поверхневій аномальній електропровідності. Існує можливість пояснити її природу не лише підвищеним вмістом графіту, а й зруденінням, яке міститься в амфіболізованому, окварцованому, карбонатизованому та сульфідизованому габро та територіально виділено у Ружинське золоторудне поле [Державна..., 2005]. У Ружинському золоторудному полі спектральним аналізом виявлено вміст золота 25 г/т. Також встановлено рудні прояви бісмуту (до

0,32 %), срібла (до 1,5 г/т), цинку (0,1 %), міді (0,032 %) [Геолого-геофизическая..., 2009].

Між селами Огіївка та Зарудинці відкрито прояв графітів у глиноземистих плагіогнейсах дністровсько-бузької серії. Графіт (вміст понад 3 %) міститься у 12 шарах потужністю від 3 до 36 м (загальна потужність близько 450 м, протяжність 10 км) [Геолого-геофизическая..., 2009].

Західніше Звіздаль-Заліської зони розломів поверхневу аномалію електропровідності, що виділена за даними МТЗ на профілі Ширмівка—Логвин (рис. 1, 4, б), можна пояснити розміщенням Ширмівського рудопрояву міді. Свердловиною розкрито пласт піроксенового кристалосланцю потужністю 1,3 м, вміст міді в якому становить 0,23—1,0 %. Сульфіди представлені халькопіритом, піритом і піротином.

Поверхнева локальна субмеридіональна аномалія електропровідності (аномалія I, рис. 1) між Погребищенським і Кочерівським глибинними розломами завширшки до 10 км на півночі обмежена Самгородським розломом. Південну межу не виявлено. З аналізу електромагнітних параметрів випливає, що аномалія звужується на південь (до 7 км) та виклинується до поверхні. У межах цієї аномалії відомо декілька рудопроявів урану, які належать до уранкалієвої гідротермально-метасоматичної рудної формації. В центрі аномалії розміщується Новофастівський рудопрояв, який входить до складу однойменного урановорудного поля, де вміст урану становить соті частки відсотка, а в окремих пробах сягає 0,3—1,0 %. Підвищені концентрації урану зафіксовано в корі вивітрювання кристалічних порід та піщано-вуглистої товщі бучацької серії. На півдні аномалії відомий Юнашківський рудопрояв урану. Він територіально пов'язаний з пегматитовими жилами уманського комплексу, в яких проявлені тріщинуватість, альбітизація, серицитизація та інші наслідки метасоматозу. Мінералізація представлена урановою смолкою та урановими чернями (з вмістом до 0,01—0,05 %), спостерігаються вкраплення молібденіту (з вмістом до 0,02 %), піриту, магнетиту та свинцю (до

0,2 %) [Геолого-геофизическая..., 2009].

За даними МТ досліджень (рис. 4, б) виділено дві локальні субвертикальні аномалії електропровідності (на пікетах 27—35 та 47—52 км профілю Ширмівка—Логвин), які просторово відповідають частинам Великоєрчиківського (аномалія IV) та Улашівського розломів (аномалія V, рис. 1).

Аномалія IV тяжіє до перетину полів рудних (Володимирівсько-Рогізницького урановорудного) та нерудних (Капустинцівського каолінового) корисних копалин, не пов'язаних з тектонометасоматичними зонами. Аномалія V також розташована на перетині західних окраїн зон рудних (Березнянсько-Володарського урановорудного та залізорудного) та нерудних (Березнянського каолінового) полів корисних копалин. Мінералізація представлена урановою смолкою та урановими чернями. Вміст урану досягає 5,65 %.

Із інтерпретації МТ/МВ-досліджень на  $T > 700 \div 1000$  с можна припустити глибинну аномалію II (див. рис. 1) електропровідності складної ізометричної форми з просторовими розмірами від 15 до 40 км у широтному напрямку та від 15 до 36 км за довготою, що територіально збігається з Погребищенським розломом і перетином Немирівської та Брусилівської зон розломів. Глибину залягання верхньої кромки, за даними формальної інтерпретації, яку проведено в цьому дослідженні, остаточно не встановлено. Застосування програми MSU\_MТ1D [1D profile..., 2018] дало змогу оцінити широкий інтервал глибин — від 40 до 170 км.

За результатами трансформацій Шмукера спостерігається наявність астеносферного провідника на глибинах з верхньою кромкою від 50 до 90 км у вигляді «сходинки» по  $\rho(H)$  амплітудою від 80 до 300 Ом·м. Загальний рівень  $\rho(H)$  з глибини 10 км змінюється в діапазоні від 200 до 800 Ом·м, ці значення дуже малі відносно «нормального» розподілу  $\rho(H)$ , який характерний для структур докембрійського віку (для УЩ «нормальним» вважають  $\rho(H) = 1000 \div 2000$  Ом·м до глибин 160 км). Максимальне підняття астеносферного шару спостерігається в районах локальних

поверхневих аномалій, що розміщуються у зонах Таборівського, Великоєрчиківського та Улашівського розломів.

За результатами трансформацій Ніблетта глибинний розріз з глибини 30 км оцінений значеннями  $\rho(H)$  від 300 до 1000 Ом·м, на фоні яких верхня мантія характеризується серією електропровідних шарів. Їх верхня кромка залягає на глибинах 40—50 км з  $\rho$  250—500 Ом·м і на глибинах 90—190 км з  $\rho$  50—100 Ом·м. Максимальне піднімання верхньої кромки до глибини 40 км спостерігається у центральній частині глибинної аномалії електропровідності.

Оцінки за різними підходами при формальній інтерпретації мають широкий діапазон, але не суперечать уявленням, які отримано у попередніх дослідженнях при побудові регіональної тривимірної геоелектричної моделі західної частини УЩ [Бурахович, Кулик, 2007].

Проекція глибинної аномалії II (рис. 1) на поверхню просторово збігається із зоною перетину Брусилівської уран-благороднометалевої та Немирівської уран-рідкіснометалевої мінерагенічних зон. Для

них характерна спеціалізація компонентів: основних — урану, золота, срібла, молібдену, торію; супутніх — рідкісноземельних елементів, фосфору, цирконію [Державна..., 2005].

Звернемо увагу на те, що експериментальні дані та їх інтерпретація вказують на високу поверхневу провідність центральної частини Звездаль-Заліської зони розломів та глибинної аномалії II, що заглиблюється на схід від цієї зони і тяжіє до перетину Брусилівської та Немирівської зон розломів. На жаль, відсутність електромагнітних спостережень між Андрушівською зоною розломів і профілем Ружин—Сквира [Николаев та ін., 2019] не дає змоги впевнено провести північну межу цієї глибинної аномалії.

Внаслідок наявності аномалій високої електропровідності, регіональних і локальних, уздовж протяжних зон розломів, приурочених до зон метасоматозу, та їх спряженості із зонами металогенічних рудних і нерудних полів, їх можна використовувати як геоелектричні критерії під час пошуків рудопроявів корисних копалин.

### Список літератури

- Белявский В. В., Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Сухой В. В. Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Знання, 2001. 227 с.
- Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. Москва: Научный мир, 2009. 680 с.
- Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Трёхмерная геоэлектрическая модель земной коры Украинского щита. *Физика Земли*. 2007. № 4. С. 21—27.
- Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Логвинов И. М., Гордиенко И. В., Тарасов В. Н. Электропроводность земной коры северо-запада Украинского щита. *Доки АН України*. 1997. № 10. С. 125—128.
- Бурахович Т. К., Николаев И. Ю., Шеремет Е. М., Ширков Б. И. Геоэлектрические аномалии Украинского щита и их связь с рудопроявлениями полезных ископаемых. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 6. С. 42—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i6.2015.111171>.
- Варенцов И. М. Программная система PRC\_MTMV для обработки данных синхронных МТ/МВ зондирований: Материалы VI Всероссийской школы-семинара по ЭМ зондированиям им. М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна. Новосибирск: Изд. ИНГТ СО РАН, 2013. С. 1—4.
- Геоэлектрическая модель тектоносферы Евразийского складчатого пояса и сопредельных территорий. Под ред. В. В. Белявского, С. Н. Кулика. Киев: Знання, 1998. 264 с.
- Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита. Под ред. Н. Я. Азарова. Киев: Наук. думка, 2005. 190 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-

- Кременчуцкой шовно зоны Украинского щита. Под ред. А. В. Анциферова. Киев: Наук. думка, 2006. 186 с.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А. В. Анциферов. Донецк: Вебер, 2008. 305 с.
- Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А. В. Анциферова. Донецк: Вебер, 2009. 253 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145>.
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000 аркуш М-35-XXIV (Сквира). Центральноукраїнська серія. Складачі В. В. Зюльде, З. М. Дорковська, М. К. Виходцев та ін. Київ: Геоінформ, 2005.
- Карта золотоносности Украины. Под ред. Л. С. Галецкого, Н. И. Лебедь. 1:1 500 000. Киев: Геопрогноз, 1997.
- Логвинов И. М., Рокитянский И. И. Каталог векторов Визе на Восточно-Европейской платформе. В кн.: *Геоманитные исследования*. Москва: Советское радио, 1982. С. 25—31.
- Мичак С. В. Кинематика формирования западной и центральной частей Украинского щита в период 2,05—2,02 млрд лет назад. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 83—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111327>.
- Николаев И. Ю., Кушнір А. М., Ільєнко В. А., Николаев Ю. І. Електромагнітні дослідження західної частини Українського щита. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 3. С. 120—133. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172433>.
- Шаталов Н. Н. Радиальные и кольцевые дайки Украинского щита. Доп. НАН України. 2016. № 5. С. 74—79.
- Шеремет Е. М., Кривдик С. Г., Бурахович Т. К. Критерии поисков руды в областях субдукции Украинского щита. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academ. Publ., 2013. 418 с.
- Ingerov, A. I., Rokityansky, I. I., & Tregubenko, V. I. (1999). Forty years of MTS studies in the Ukraine *Earth, Planets and Space*, 51, 1127—1133. <https://doi.org/10.1186/BF03351586>.
- Kulik, S. N., Burakhovich, T. K., & Khazan, Ya. M. (2001). Electrical conductivity anomalies in the crust and upper mantle of Ukraine. *Acta Geophysica Polonica*, 50(4), 547—565.
- 1D profile MT data interpretation software. (2018). Retrieved from <http://agcos.ca/wp/product/msu-mt1d/>

## Electromagnetic studies of Zvizdal-Zaliska and Brusyliv fault zones of the Ukrainian shield

V. A. Ilyenko, A. M. Kushnir, T. K. Burakhovich, 2019

Spatial-temporal distribution pattern of geomagnetic variations and electric field in the western part of the Ukrainian shield has been obtained as a result of experimental studies carried out by the methods of deep magnetotelluric sounding and magnetovariational profiling in 2018 along two profiles (15 points). It makes possible to estimate the value of electroconductivity and geoelectric structure of the section along the vertical and horizontal directions. Processing has been conducted with the help of modern software system PRC-MTMV that guarantees joint noise immunity of evaluation of impedance and induction parameters of synchronous MT/MB-records. Tipper appraisals have been obtained for the periods of geomagnetic variations from 50 to 3400 s, the curves of apparent resistance and phases of impedance from 20 to 10000 s. The principal result of high quality interpretation of geoelectric studies is revealing of high electro-conductivity anomalies



(4 surface ones, 1 subsurface) in the Earth crust with complex system of faults in jointing zone of the Podolia and Rossinsky megablocks. Anomalies are characterized by different electroconductivity, the depth of occurrence and shape. Appraisals obtained with different approaches to formal interpretation of magnetotelluric sounding agree with regional three-dimensional geoelectric model of the western part of the Ukrainian shield and add to the concept on debatable deep structure. Surface anomalies of electroconductivity have been discovered: 1) in the central part of Zvizdal-Zalessky fault zone, 2) between the Pogrebysky and the Kocherov faults, 3) along the Velykoerchyk and 4) Ulashev faults. Their nature is explained by heightened content of graphite and by ore formation confined to tectono-metasomatic zones. Deep anomaly of electroconductivity has been allocated with its surface projection spatially coinciding with the area of cross-section of the Brussilov and the Nemyrov fault zones (and mineragenetic zones of the same name). Its upper edge deepens eastward from Zvizdal-Zalessky fault zone. High electroconductivity anomalies are spatially attached to tectonic fault zones and the zones of metasomatic alterations. Their territorial arrangement corresponds to metallogenic ore zones. Therefore they can be used as geoelectric criteria for the search of ore manifestations.

**Key words:** magnetotelluric and magnetovariational methods, anomalies of electroconductivity, fault zones, zones of metasomatism.

## References

- Belyavsky, V. V., Burakhovych, T. K., Kulik, S. N., & Sukhoy, V. V. (2001). *Electromagnetic methods in the study of the Ukrainian shield and the Dnipro-Donetsk Basin*. Kyiv: Znannya, 130 p. (in Russian).
- Berdichevsky, M. N., & Dmitriev, V. I. (2009). *Models and Methods of Magnetotellurics*. Moscow: Nauchnyy mir, 680 p. (in Russian).
- Burakhovich, T. K., & Kulik, S. N. (2007). Three-dimensional geoelectric model of the earth measles of the Ukrainian shield. *Fizika Zemli*, (4), 21—27 (in Russian).
- Burakhovich, T. K., Kulik, S. N., Logvinov, I. M., Gordienko, I. V., & Tarasov, V. N. (1997). Conductivity crust of the northwest Ukrainian shield. *Doklady AN Ukrainy*, (10), 125—128 (in Russian).
- Burakhovich, T. K., Nikolaev, I. Yu., Shemet, E. M., & Shirkov, B. I. (2015). Geoelectric anomalies of the Ukrainian shield and their relation to mineral occurrences. *Geofizicheskiy zhurnal*, 37(6), 42—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i6.2015.111171> (in Russian).
- Varentsov, I. M. (2013). Software system PRC\_MTMV for data processing synchronous MT/MV soundings: *Proc. of the VI All-Russian Workshop on EM sensing* (pp. 1—4). Novosibirsk: Publ. of the Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS (in Russian).
- Belyavsky, V. V., & Kulik, S. N. (Eds.). (1998). *Geoelectric model of the tectonosphere of the Eurasian folded belt and contiguous territories*. Kyiv: Znaniya, 264 p. (in Russian).
- Azarov, N. Y. (Ed.) (2005). *Geological-geoelectric model of the Orekhovo-Pavlograd suture zone of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 190 p. (in Russian).
- Antsiferov, A. V. (Ed.) (2006). *Geological and geophysical model of the Krivoy Rog Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).
- Antsiferov, A. V. (Ed.) (2008). *Geological and geophysical model of the Golovanevskaya suture zone of the Ukrainian shield*. Donetsk: Weber, 253 p. (in Russian).
- Antsiferov, A. V. (Ed.) (2009). *Geological and geophysical model Nemirovskaya-Kocharovskaya suture zone of the Ukrainian Shield*. Donetsk: Weber, 305 p. (in Russian).
- Gintov, O. B. (2005). *Field tectonophysics and its application for the studies of deformations of the earth's crust of Ukraine*. Kyiv: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov, O. B. (2014). Scheme of periodization of faulting stages in the Earth's crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy zhurnal*, 36(1), 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145> (in Russian).

- State geological map of Ukraine. (2005). 1:200 000. Sheet M-35-XXIV (Skvira). Kyiv: Geoinform (in Ukrainian).
- Galetsy, L. S., & Lebed, N. I. (Eds.). (1997). *Ukraine Map of gold mineralization*. 1:1500 000. Kiev: Geoprognoz (in Russian).
- Logvinov, I. M., & Rokityansky, I. I. (1982). *Catalog of Wiese vectors on the East European platform. Geomagnetic research* (pp. 25—31). Moscow: Sovetskoye radio (in Russian).
- Mychak, S. V. (2015). Kinematics of formation of the western and central parts of the Ukrainian shield between 2,05—2,02 Ga ago. *Geofizicheskiy zhurnal*, 37(1), 83—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111327> (in Russian).
- Nikolaev, I. Yu., Kushnir, A. M., Ilyenko, V. A., Nikolaev, Yu. I., 2019. Electromagnetic studies of the western part of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal*, 41(3), 120—133. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172433> (in Ukrainian).
- Shatalov, N. N. (2016). Radial and ring-type dykes of the Ukrainian Shield. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (5), 74—79 (in Russian).
- Sheremet, E. M., Kryvdik, S. G., & Burakhovich, T. K. (2013). *Criteria for the search of ore in the areas of subduction of the Ukrainian shield*. Saarbruken: LAP LAMBERT Academ. Publ., 418 p. (in Russian).
- Ingerov, A. I., Rokityansky, I. I., & Tregubenko, V. I. (1999). Forty years of MTS studies in the Ukraine *Earth, Planets and Space*, 51, 1127—1133. <https://doi.org/10.1186/BF03351586>.
- Kulik, S. N., Burakhovich, T. K., & Khazan, Ya. M. (2001). Electrical conductivity anomalies in the crust and upper mantle of Ukraine. *Acta Geophysica Polonica*, 50(4), 547—565.
- 1D profile MT data interpretation software. (2018). Retrieved from <http://agcos.ca/wp/product/msu-mt1d/>