

УДК 550:837

Б. Ширков, канд. геол. наук, геофіз. І кат.
bog_dan90@ukr.net,
Т. Бурахович, д-р геол. наук, пров. наук. співроб.
burahovich@ukr.net
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
пр. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МЕТОДИ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ РУДОПРОЯВІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)

Мета роботи полягає у вивченні зв'язків електропровідності з геодинамікою, металогенічними і структурними особливостями геологічного середовища. Методи: тривимірне геоелектричне моделювання геологічного середовища за допомогою програми Mtd3fwd R.L. Маскіє на основі даних магнітотелуричного зондування (МТЗ) і магнітоваріаційного профілювання (МВП). Виявлено аномалії високої електропровідності з $\rho = 2\text{--}250$ Ом м у земній корі, які збігаються з глибинними зонами розломів: Тальнівською, Первомайською, Врадіївською, Гвоздавською, Звенигородсько-Братською, Смілянською, Субботсько-Мошоринською. Ці аномалії до глибин 2,5 км представлені субвертикальними структурами, а глибше – в основному субгоризонтальними шарами. Поза Голованівською шовною зоною (ГШЗ) спостерігається неоднорідна земна кора і верхня мантія у вигляді регіональних Чернівецько-Коростенської та Кіровоградської аномалій електропровідності. Низькоомні аномалії приурочені до протяжних смуг і областей поширення графітованих порід і зон метасоматозу вздовж зон розломів. В їхніх межах є більшість відомих в регіоні родовищ і рудопроявів рудних корисних копалин. Вузли перетину систем розломів різного напрямку є головними рудокалізуючими в ГШЗ, в яких відбувалися активні геодинамічні процеси, а також магматична і постмагматична гідротермально-метасоматична діяльність. З останньою пов'язано утворення рудоносних метасоматитів, у тому числі із сульфідною і графітовою мінералізацією. ГШЗ є перспективною на виявлення нових родовищ заліза, благородних і радіоактивних металів та їхніх супутніх елементів, графіту, рідкісних металів. Уперше для ГШЗ показано просторовий зв'язок аномалій електропровідності з родовищами і рудопроявами корисних копалин. Отриманий розподіл електропровідності в земній корі та верхній мантії ГШЗ може використовуватися при побудові глибинних геологічних і геотектонических моделей, прогнозних металогенічних карт і схем Українського щита (УЩ), а також для пояснення геодинамічних процесів регіону.

Ключові слова: Голованівська шовна зона, 3D геоелектрична модель, електромагнітні методи, глибинна будова, рудопрояви.

Вступ. Використання методів МТЗ і МВП з метою дослідження рудних геологічних об'єктів і процесів є доцільним, оскільки розширює коло завдань, що можуть бути вирішені при пошуках і розвідці рудних родовищ [4, 11, 18].

Просторово абсолютна більшість родовищ рудних корисних копалин на території центральної частини УЩ потрапляє в області аномалій підвищеної електропровідності [9, 17]. Виходячи з характеру локалізації родовищ і рудопроявів корисних копалин, виділено ряд металогенічних зон [5]:

1 – охоплює ГШЗ – це зона залізородних родовищ, переважно карбонатно-залізисто-кременисто-метабазитової формації й родовищ залізисто-кременистої формації. Зона містить родовища графіту, хрому і нікелю, родовища і рудопрояви урану і золота в лужних метасоматитах, кобальту, платиноїдів;

2 – зона, яка, імовірно, займає простір між Первомайською глибинною зоною розломів (ЗР) на заході й трансрегіональним тектонічним швом Херсон – Смоленськ на сході. Вона містить родовища урану калієво-уранової формації в окварцованих пегматитових жилах і прояви літєвих пегматитів;

3 – зона ураноносних альбітитів, золоторудних рудопроявів, пов'язаних з регіональним лужним метасоматозом, яка розташована від розмежувальної лінії на заході до глибинної Кіровоградської ЗР. До неї приурочені дайки кімберлітів і неалмазоносних проявів лужно-ультраосновного магматизму;

4 – область Інгулецько-Криворізької шовної зони. Це район поширення залізородних родовищ переважно залізисто-кременистої формації й карбонатно-залізисто-

кременисто-метабазитової формації. Вона містить родовища графіту, ураноносних конгломератів, рудовияви вольфраму, колчеданних проявів поліметалів і перспективні концентрації германію.

На основі особливостей глибинної будови в ГШЗ авторами [16] прогноуються нові родовища заліза, рудні вузли і рудні поля радіоактивних металів (уран і торій) і супутніх елементів у районі Первомайського розлому, Синицівсько-Савранської зони і Липовенківсько-Капітанського рудного району. Одним із критеріїв, на яких ґрунтується це прогнозування, є те, що природа аномалій підвищеної електропровідності обумовлена наявністю асоціації мінералів (сульфідів, графіту) у зонах метасоматичної проробки порід, що ведуть до утворення рудної мінералізації (уран, золото, рідкісні метали) [8] на глибинах перших кілометрів від поверхні, а також графітизацією внаслідок регіонального метаморфізму. Аномалії підвищеної електропровідності в земній корі на глибинах 5–30 км і у верхах верхньої мантії (50–120 км) найімовірніше відображають сліди впливу сучасних мантійних флюїдів.

У роботі [17] наведено результати тривимірного геоелектричного моделювання ГШЗ. Побудова 3D моделі (рис. 1) була здійснена на основі аналізу магнітоваріаційних параметрів поля геомагнітних варіацій ($T = 150$ С), типперів і кривих МТЗ у діапазоні періодів магнітотелуричного поля до 1000–16000 с загалом у 134 пунктах; огляд, систематизація і аналіз цих даних наведені в роботах [3, 5]. Отриманий розподіл позірної електропровідності (ρ_n) дав можливість виділити зони аномально високої й низької електропровідності.

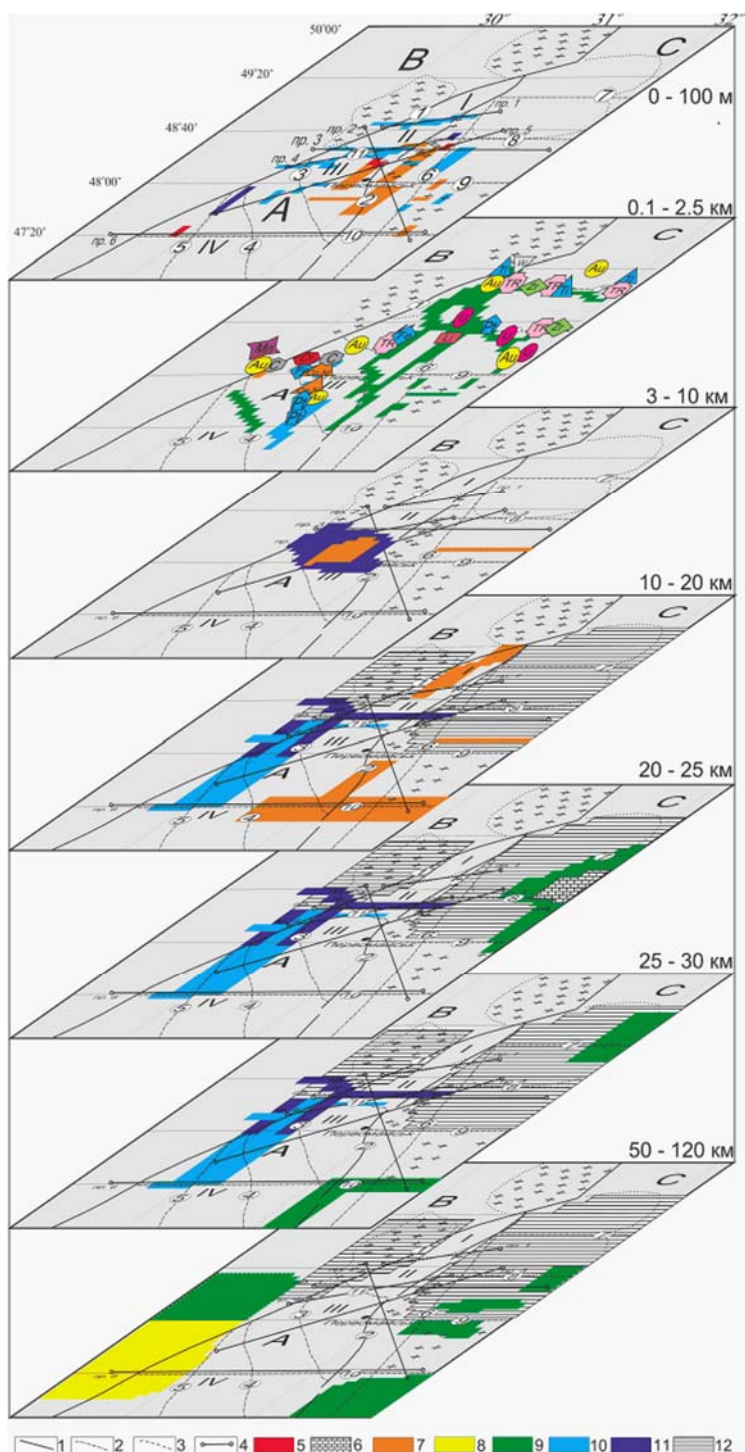


Рис. 1. Тривимірна геоелектрична модель ГШЗ

Умовні позначення: А – Голованівська шовна зона; В – Росинсько-Бузький мегаблок; С – Інгульський мегаблок. Блоки ГШЗ:

I – Лисянський, II – Ятранський, III – Голованівський, IV – Тилігульський. Осьові лінії глибинних зон розломів:

1 – першого порядку (1 – Тальнівська, 2 – Первомайська), 2 – другого порядку (3 – Владіївська,

4 – Гвоздавська, 5 – Одеська, 6 – Звенигородсько-Братська, 7 – Смілянська, 8 – Субботсько-Мошоринська,

9 – Бобринецька, 10 – Конкська, 11 – Ємилівська); 3 – межі блоків ГШЗ різного складу; 4 – лінії профілів МТЗ;

5–12 – зони з питомим опором: 5 – 2 Ом·м; 6 – 5 Ом·м; 7 – 10 Ом·м; 8 – 25 Ом·м; 9 – 50 Ом·м; 10 – 100 Ом·м;

11 – 250 Ом·м; 12 – 10 000 Ом·м

З поверхні виявлено велику кількість аномалій з питомим опором $\rho = 2-250$ Ом·м, які частково збігаються із зонами зчленування блоків, глибинними зонами розломів (ЗР) та їхніми перетинами. Мережа провідників на глибинах 0,1–2,5 км з $\rho = 10-100$ Ом·м відображає систему ЗР, таких як Тальнівська, Первомайська, Владіївська, Гвоздавська, Звенигородсько-Братська, Смілян-

ська, Субботсько-Мошоринська. Якщо до 2,5 км провідники представлені субвертикальними структурами, то глибше 3 км спостерігаються переважно субгоризонтальні шари [17]. На 3–10 км залягає диференційована по $\rho = 10-250$ Ом·м аномалія, яка розташована на півночі Голованівського блока. Глибше 10 км розподіл аномально високого/низького ρ носить мозаїчний характер.

Так, аномалії високого $\rho = 10000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ добре узгоджуються з глибинними частинами масивів гранітоїдів: Уманського, Новоукраїнського та Корсунь-Новомиргородського. У земній корі аномалії низького $\rho = 10\text{-}250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ складної конфігурації приурочені до Лисянського блока, центральної частини Тальнівської й перетину Конкської та Первомайської ЗР. Розподіл ρ на глибинах 50–120 км відповідає "нормальному" для УЩ і розділяє неоднорідну верхню частину мантії [17]. За даними різних методів ГШЗ є перехідною областю за складом архейських комплексів земної кори [14], а також за типами мантії: на заході вона є диференційованою, на сході – деплетованою [15].

Таким чином, ГШЗ характеризується складним розподілом ρ , наявністю як приповерхневих, так і глибинних контрастних неоднорідностей електропровідності локального та регіонального масштабу, що приурочені до основних структурно-тектонічних одиниць регіону.

Зв'язок аномалій електропровідності з родовищами і рудопроявами корисних копалин. Часто родовища і рудопрояви рудних корисних копалин ГШЗ розташовані безпосередньо в об'ємі приповерхневих аномалій електропровідності. Крім того, їхнє розташування спряжене і з більш глибинними провідниками, до проєкції контурів яких вони потрапляють [8, 16]. Особливо яскраво це виявлено для Субботсько-Мошоринської ЗР, у межах якої локалізуються родовища і рудопрояви залізних руд, графіту, урану, хрому, золота (зокрема Майське родовище), нікелю, рідкісноземельних елементів. До цієї ЗР просторово приурочені аномалії електропровідності на різних глибинах, які продовжуються і на заході в межах ГШЗ та виявлені вздовж профілю "Первомайський" (рис. 2). Низькоомні зони були виявлені в межах цього профілю ще на етапі якісної інтерпретації [3] в межах ЗР, що перетинають профіль: Тальнівської, Журавлинського насуву, Ємилівської, Первомайської. При

побудові тривимірної моделі їхні просторові параметри та електропровідність були уточнені.

Псевдорозрізи ρ_n показують, що наведена в роботі [17] модель розподілу ρ задовольняє спостережені дані (рис. 2, а, б). Локальні електропровідні об'єкти, що закладені в модель у районі Тальнівської ЗР на глибинах до 100 м і 10–30 км (рис. 2, д), дали можливість досягти низьких значень ρ_n на всьому діапазоні Т (рис. 2, в, г). У цьому районі розташовані рудні поля: Хашчеватське, Заваллівське та Савранське, що містять родовища та рудопрояви залізних руд, нікелю, кобальту, графіту, золота (Майське) та ін. На глибинах 3–10 км на захід від Ємилівської ЗР розташована аномалія електропровідності, що охоплює всю цю область і відповідає Побузькому металогенічному району. До Первомайської ЗР приурочені провідники з поверхні до 2,5 км, а також на глибинах 10–30 км (рис. 2, д), у межах яких виявлені рудопрояви залізних руд і рідкісноземельних елементів.

За даними [8], перспективні концентрації урану і золота часто приурочені до лінійних аномалій електропровідності на глибинах 0,1–2,5 км в Інгульському мегаблоці УЩ, що пов'язані із зонами метасоматично змінених порід. Слід виділити спряженість зон підвищеної електропровідності Кіровоградської, Первомайської, Бобринецької ЗР з родовищами і рудопроявами різних корисних копалин [8, 9]. Подібні аномалії виявлені й у ГШЗ і з ними так само спряжені родовища і рудопрояви золота, урану, графіту, літію в Первомайській ЗР, а також поблизу Тальнівської ЗР (Савранське рудне поле).

У роботі [5] авторами наведено металогенічне районування в межах Лисянського, Ятранського і Голованівського блоків південної частини ГШЗ, а також прилеглої території Дністровсько-Бузького та Інгульського мегаблоків. Виділені металогенічні таксони просторово збігаються з проєкціями аномалій високої електропровідності на денну поверхню.

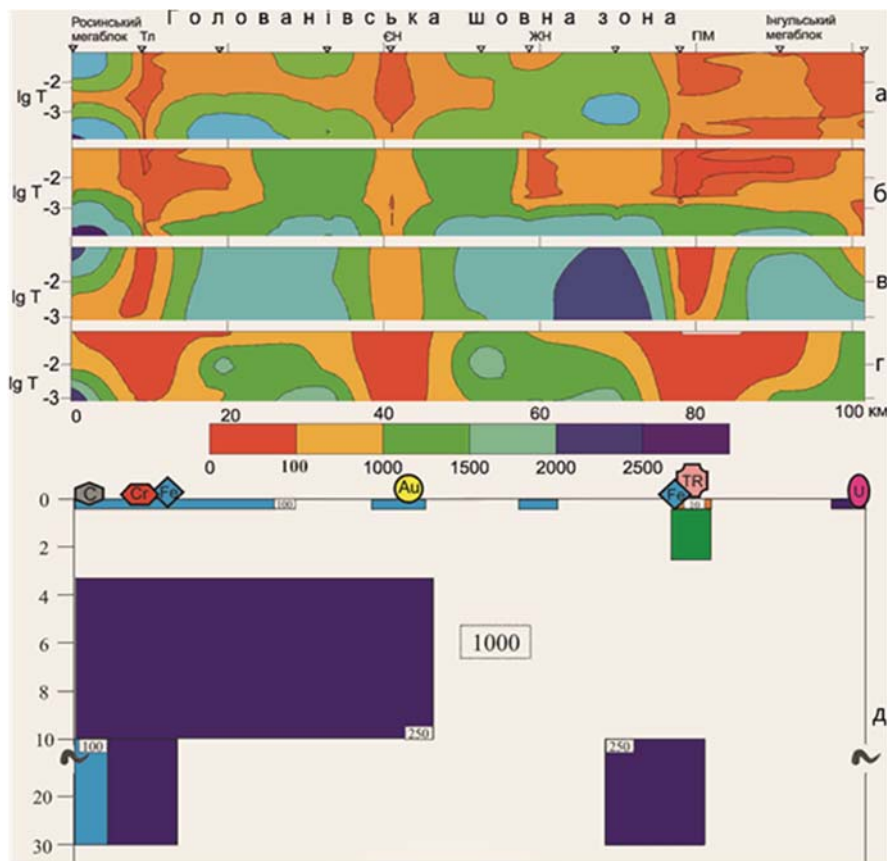


Рис. 2. Профіль "Первомайський". Псевдорозрізи позірного опору за спостереженими даними:

а – північна компонента; б – східна компонента; в – північна компонента, г – східна компонента; д – розріз 3D моделі та родовища і рудопрояви рудних корисних копалин [10].

Зони розломів: Тл – Тальнівська, ЕН – Ємилівського насуву, ЖН – Журавлинського насуву, ПМ – Первомайська

Так, зона аномально високої електропровідності на глибинах до 50–100 м у вигляді системи субширотних провідників з $\rho = 10\text{--}250$ Ом м відповідає прогнозним рудним полям Шамраєвському, Голованівському і Троянському [5], яким характерні високі концентрації золота, титану, рідкоземельних елементів, урану та міді. Тут же розташовано і Грушковське рудне поле із залізорудними, нікель-кобальтовими, марганцеворудними, урановими рудопроявами. Усі вони потрапляють у контур аномалії електропровідності на глибинах 3–10 км, диференційованої за $\rho = 10\text{--}250$ Ом м, $d = 50$ км, $l = 80$ км, яка розташована в північній частині Голованівського блока (рис. 2) та обмежена частинами Тальнівської, Врадіївської, Первомайської та Ємилівської ЗР. Вона майже повністю збігається з відомим Побузьким металогенічним районом, який характеризується нікель-хром-кобальтовою, золоторудною, графітовою мінералізацією. Природа цієї аномалії високої електропровідності швидше за все пов'язана зі специфічним складом і графітизацією порід, а також їхньою підвищеною тріщинуватістю. У цьому районі докембрійські породи представлені переважно гнейсами, сланцями, гранулітами і різноманітними магматичними породами, з якими пов'язані родовища графіту. Найбільш провідна частина цієї аномалії належить до району максимального розвитку гіпербазитів (серпентинітів) Середнього Побужжя – Капітанівка – Липовеньки. Якщо з поверхні підвищена електропровідність швидше за все пов'язана з розвитком серпентинітів, то глибше її природу можна пояснити графітизацією і тріщинуватістю гірських порід. Центральна частина аномалії з $\rho = 10$ Ом м збігається з Деренюхінським рудним вузлом, що включає в себе Молдовське, Капітанівське та Тернуватське рудні поля і відповідні родовища залізних руд: Молдовське, Секретарське, Лацівське, Новоселицьке та ін. Крім того, названі рудні поля розташовані в межах аномалій на глибинах 0,1–2,5 км з $\rho = 50$ Ом м в районі Врадіївської ЗР.

Анан'ївська структурно-металогенічна підзона спряжена з аномалією електропровідності вздовж 30° сх.д. з $\rho = 100\text{--}250$ Ом м. Ця підзона включає в себе відомі рудні поля: Хашчеватське, Заваллівське, Савранське та прогнози: Ольховецьке і Полянецьке. Дрібніші металогенічні таксони відповідають провідникам від поверхні й до глибин 2,5 км з $\rho = 10$ Ом м у районі Тальнівської й Гвоздавської ЗР. Найімовірніше природа цих аномалій пояснюється значним вмістом графіту аж до 20–30 %, як у межах Заваллівського родовища. Тут же виявлені рудопрояви золота, урану, залізних і марганцевих руд, рідкоземельні прояви. До Савранського рудного поля належить добре відоме Майське родовище золота.

Південніше, між $48^\circ 00'$ та $48^\circ 30'$ пн. ш. розташовані системи провідників у вигляді трьох паралельних, гальванічно не зв'язаних між собою, об'єктів субмеридіонального простягання шириною 10 км, довжиною 30–45 км та з $\rho = 2\text{--}100$ Ом м на глибинах менше 50–100 м. Просторово в їхніх межах розташовані вже згадані Лацівське, Новоселицьке родовища залізних руд, Лозоватське і Калинівське родовища урану.

В інтервалі глибин від 100 м до 2,5 км у геоелектричній моделі підібрані в основному субмеридіональні провідники з $\rho = 50$ Ом м, які з півночі на південь гальванічно зв'язані в один ланцюг. У районі Первомайської ЗР вони спряжені з рудопроявами золота, урану, літію, рідкісних земель.

Природа аномалій електропровідності центральної частини УЩ. Зони підвищеної електропровідності можуть бути представлені як твердими, так і рідкими фазами – флюїдами. Опір порід кори зі збільшенням температури зменшується набагато слабкіше, ніж при появи

твердої або рідкої фази провідників. Висока електропровідність у корі може бути пояснена включеннями графіту і сульфідів, які повинні володіти суцільною зв'язністю, але в геологічній історії давньої континентальної кори цілком можливі етапи активізації, і тоді низький опір в надрах щитів може бути пов'язаний з присутністю флюїдів різного походження.

Електропровідні структури на глибинах близько 2–10 км можуть утворюватися в результаті дилатанції – зміни об'єму породи при зсувній деформації [13]. Проте складно уявити реалізацію такого механізму електропровідності на великих глибинах у середній і нижній частинах кори, оскільки зі збільшенням тиску і зменшенням пористості в породах відсоток зв'язаних каналів зменшується.

Разом із тим, відомо, що кристалізація розплавів за певних умов призводить до утворення шаруватих інтрузивних тіл з підвищеною залізистістю верхніх шарів [2, 12]. Силікати з домішкою міді, бісмуту та інших перехідних металів мають високу здатність до провідності струмів за відносно низьких температур [1]. До підвищення електропровідності окремих шарів може призводити і насиченість їх вуглецем. Пластичність, слабка розчинність у магмі графіту дозволяють йому концентруватися у вигляді безперервних міжзернових плівок у товщах верхніх кристалічних порід на відносно великих площах.

У роботі [13] наведено результати вивчення опору порід, піднятих з надглибокої Криворізької свердловини. Для пояснення спостережених явищ запропоновано перколяційний механізм електропровідності двофазного середовища. Він може бути реалізований в процесі десерпентинізації порід [7] з вивільненням флюїду, який заповнив тріщинуватість, викликану надлишковим тиском. Флюїд сприяв збільшенню зв'язності провідників, зокрема графітових вкраплень, і загальна електропровідність зросла до рівня, при якому помітна Кіровоградська індукційна аномалія в геомагнітних варіаціях.

Такі уявлення поєднують гіпотези електропровідності – флюїдну і графітову.

Альтернативна точка зору викладена в монографії [6], де було запропоновано пояснення природи глибинних низькоомних аномалій (глибше 25 км) "затягуванням" на глибину гірських порід (залізисті кварцити, графітовмісні кристалічні породи) за глибинними ЗР у процесі субдукції. Ці високоелектропровідні породи (30–300 Ом м), метаморфізовані до гранулітової фази, збереглися на глибині під породами, що володіють високим електричним опором (1–5 кОм м).

Висновки. Вузли перетину систем розломів різного напрямку є головними рудолокалізуючими зонами в ГШЗ, в яких відбувалися активні геодинамічні процеси, а також магматична і постмагматична гідротермально-метасоматична діяльність. З останньою пов'язано утворення різноформаційних рудоносних метасоматитів, у тому числі із сульфідною і графітовою мінералізацією.

ГШЗ є перспективною на виявлення нових родовищ заліза, благородних і радіоактивних металів та їхніх супутніх елементів, графіту, рідкісних металів. Низькоомні аномалії приурочені до протяжних смуг і областей поширення графітовмісних порід і зон метасоматозу вздовж протяжних зон розломів у межах ГШЗ. В їхніх межах розташовуються більшість родовищ і рудопояв рудних корисних копалин, зокрема Савранське і Капітанівське рудні поля, Молдовське, Секретарське, Лацівське, Новоселицьке родовища залізних руд, Заваллівське родовище графіту, Південне, Лозоватське і Калинівське родовища урану, Майське родовище золота, а також рудопояви графіту, урану (Голованівське, Шамраївське, Кохановське), титану, золота, залізних руд, літію, міді, кобальту, хрому, нікелю (Демов'ярське) та ін. Проведення

детальних експериментальних робіт методами МТЗ і МВП із застосуванням новітньої апаратури та методики синхронного запису, обробка їхніх результатів за допомогою сучасних програмних комплексів дає можливість виконувати регіональне і локальне прогнозування рудопроявів і родовищ корисних копалин у межах УЩ.

Список використаних джерел

- Бахтерев В.В. Параметры электропроводности при высоких температурах дунитов в зависимости от степени серпентинизации / В.В. Бахтерев, Л.Д. Булыкин // Докл. РАН. – 2001. – Т. 379, № 6. – С. 793–796.
- Бондаренко М.А. Электрохимические исследования оксидных высокотемпературных сверхпроводников с различным типом проводимости / М.А. Бондаренко, Т.Н. Кольцова, В.В. Сергиевский // Докл. РАН. – 1992. – Т. 325, № 1. – С. 84–87.
- Бурахович Т.К. Глубинные геоэлектрические исследования Голованевской шовной зоны / Т.К. Бурахович, Б.И. Ширков // Геоинформатика. – 2015. – №1 (53). – С. 61–69.
- Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики / И.М. Варенцов, В.А. Куликов, А.Г. Яковлев, Д.В. Яковлев // Физика Земли. – 2013. – № 3. – С. 9–29.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита / под ред. А.В. Анциферова, Е.М. Шеремета, Е.Б. Глевасского и др. – Донецк : Вебер, 2008. – 305 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / под ред. Н.Я. Азарова, А.В. Анциферова, Е.М. Шеремета и др. – К. : Наук. думка, 2006. – 197 с.
- Геофизическая модель тектоносферы Украины / В.Б. Бурьянов, В.В. Гордиенко, О.В. Завгородняя, С.Н. Кулик, И.М. Логвинов – К. : Наук. думка, 1985. – 212 с.
- Ингульский мегаблок Украинского щита (глубинная геоэлектрическая модель и полезные ископаемые) / И.Ю. Николаев, Е.М. Шеремет, Т.К. Бурахович и др. – Донецк : Изд-во "Ноулидж" (Донецкое отделение), 2014. – 180 с.
- Использование результатов геоэлектрических исследований для прогнозирования месторождений полезных ископаемых на Украинском щите / Т.К. Бурахович, И.Ю. Николаев, Е.М. Шеремет, Б.И. Ширков // Геофиз. журн. – 2015. – Т. 37, № 6. – С. 42–63.
- Комплексна металогенічна карта України (масштаб 1 : 500000) та пояснювальна записка до неї. – К. : УкрДГРІ, 2003. – 336 с.
- Куликов В.А. Роль МТ-методов при поиске и разведке месторождений рудных полезных ископаемых / В.А. Куликов, И. М. Варенцов, А. Г. Яковлев // Матер. V Всерос. школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. – СПб., 2011. – Т. 2. – С. 286–289.
- Латынов Р.М. Физико-химические аспекты формирования магнетитовых габбро в расслоенном интрузиве Западно-Панских тундр, Кольский полуостров / Р.М. Латынов, С.Ю. Чистякова // Петрология. – 2001. – Т. 9, № 1. – С. 28–50.
- Лебедев Т.С. Исследование РТ-изменений электрических свойств горных пород нижней части разреза Криворожской сверхглубокой скважины (Украина) / Т.С. Лебедев, С.И. Шепель // Геофиз. журн. – 1997. – Т. 19, № 2. – С. 44–57.
- Пашкевич И.К. 3D магнитная модель Корсунь-Новомиргородского плутона и Новоукраинского массива и ее геологическая интерпретация / И.К. Пашкевич, М.И. Бакаржиева // Геофиз. журн. – 2013. – Т. 35, № 4. – С. 115–126.
- Цымбал С.Н. Состав верхней мантии под Украинским щитом / С.Н. Цымбал // Геология и магматизм докембрия Украинского щита: відп. ред. М.П. Щербак. – К., 2002. – С. 215–218.
- Шеремет Е.М. Критерии поисков руды в областях субдукции Украинского щита / Е.М. Шеремет, С.Г. Кривдик, Т.К. Бурахович. – http://yadi.sk/d/VNlpoEsw2ANz8 Deutschland: "Saarbrücken", LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 418 с.

- Ширков Б.И. Трёхмерная геоэлектрическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита / Б.И. Ширков, Т.К. Бурахович, А.Н. Кушнир // Геофиз. журн. – 2017. – Т. 39., № 1. – С. 41–58.
- Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепроовско-Донецкой впадины / В.В. Белявский, Т.К. Бурахович, С.Н. Кулик, В.В. Сухой. – К. : Знання, 2001. – 227 с.

References

- Bahterev, V.V., Bulykin, L.D. (2001). Parametry jeleketroprovodnosti pri vysokih temperaturah dunitov v zavisimosti ot stepeni serpentinizacii. *Dokl. RAN*, 6, 793–796. [In Russian].
- Bondarenko, M.A., Kol'cova, T.N., Sergievskij, V.V. (1992). Jelektrorhimicheskie issledovanija oksidnyh vysokotemperaturnyh sverhprovodnikov s razlichnym tipom provodimosti. *Dokl. RAN*, 1, 84–87. [In Russian].
- Burahovich, T.K., Shyrkov, B.I. (2015). Glubinnye geojelektricheskie issledovanija Golovanevskoj shovnoj zony. *Geoinformatika*, 1, 61–69. [In Russian].
- Varencov, I.M., Kulikov, V.A., Jakovlev, A.G., Jakovlev, D.V. (2013). Vozmozhnosti metodov magnitotelluriki v zadachah rudnoj geofiziki. *Fizika Zemli*, 3, 9–29. [In Russian].
- Anciferov, A.V., Sheremet, E.M., Glevasskij, E.B. (Ed.). (2008). *Geologo-geofizicheskaja model' Golovanevskoj shovnoj zony Ukrainskogo shhita*. Doneck: Veber, 305 p. [In Russian].
- Azarov, N.Ja., Anciferov, A.V., Sheremet, E.M. (Ed.). (2006). *Geologo-geofizicheskaja model' Krivorozhsko-Kremenchugskoj shovnoj zony Ukrainskogo shhita*. Kyiv: Naukova dumka, 197 p. [In Russian].
- Bur'janov, V.B., Gordienko, V.V., Zavgordnjaja, O.V., Kulik, S.N., Logvinov, I.M. (1985). *Geofizicheskaja model' tektonosfery Ukrainy*. Kyiv: Naukova dumka, 212 p. [In Russian].
- Nikolaev, I.Ju., Sheremet, E.M., Burahovich, T.K., Krivdik, S.G., Kalashnik, A.A., Nikolaev, Ju.I., Setaja, L.D., Agarkova, N.G. Ingul'skij megablock Ukrainskogo shhita (glubinnaja geojelektricheskaja model' i poleznye iskopaemye). (2013). Doneck: Noulidzh, 180 p. [In Russian].
- Burahovich, T.K., Nikolaev, I.Ju., Sheremet, E.M., Shyrkov, B.I. (2015). Ispol'zovanie rezul'tatov geojelektricheskikh issledovanij dlja prognozirovanija mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh na Ukrainskom shhite. *Geofizicheskij zhurnal*, 6, 42–63. [In Russian].
- Kompleksna metalohenična karta Ukrayiny (masshtab 1:500000) ta poyasnyval'na zapyska do neyi. (2003). Kyiv, UkrDHRH, 336 p. [In Ukrainian].
- Kulikov, V.A., Varencov, I.M., Jakovlev, A.G. (2011). Rol' MT-metodov pri poiske i razvedke mestorozhdenijrudnyh poleznyh iskopaemyh. *Materialy V Vseros. shkoly-seminara im. M.N. Berdichevskogo i L.L. Van'jana po JeM zondirovanijam Zemli.Sankt-Peterburg*. SPbGU, 286–289. [In Russian].
- Latynov, R.M., Chistjakova, S.Ju. (2001). Fiziko-himicheskie aspekty formirovanija magnetitovyh gabbro v rassloennom intruzive Zapadno-Panskih Tundr, Kol'skij poluostrov. *Petrologija*, 1, 28–50. [In Russian].
- Lebedev, T.S., Shepel', S.I. (1997). Issledovanie RT-izmenenij jelektricheskikh svojstv gornyh porod nizhnej chasti razreza Krivorozhskoj sverhglubokoj skvazhiny. (Ukraina). *Geophysical Journal*, 2, 44–57. [In Russian].
- Pashkevich, I. K., Bakarzhieva, M. I. (2013). 3D magnitnaja model' Korsun'-Novomirgorodskogo plutona i Novoukrainskogo massiva i ee geologicheskaja interpretacija. *Geophysical Journal*, 4, 115–126. [In Russian].
- Cymbal, S.N. (2002). Sostav verhnjej mantii pod Ukrainskim shhitom. *Geologija i magmatizm dokembriju Ukrains'kogo shhita*. Kyiv, 215–218. [In Russian].
- Sheremet, E. M., Krivdik, S. G., Burahovich, T. K. (2013). Kriterii poiskov rudy v oblastjah subdukcii Ukrainskogo shhita. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 418 p. [In Russian].
- Shyrkov, B.I., Burahovich, T.K., Kushnir, A.N. (2017). Trjohmernaja geojelektricheskaja model' Golovanevskoj shovnoj zony Ukrainskogo shhita. *Geophysical Journal*, 1, 41–58. [In Russian].
- Beljavskij, V.V., Burahovich, T.K., Kulik, S.N., Suhoj, V.V. (2001). Jelektrorhimicheskie metody pri izuchenii Ukrainskogo shhita i Dneprovsko-Donec'koj vpadiny. Kyiv: Znannja, 227 p. [In Russian].

Надійшла до редколегії 21.06.17

B. Shyrkov, Cand. Sci. (Geol.), Geophysicist I cat.
 bog_dan90@ukr.net,
 T. Burakhovych, Dr. Sci. (Geol.), Leading Researcher
 burahovich@ukr.net
 Subbotin Institute of Geophysics
 National Academy of Sciences of Ukraine
 32, Acad. Palladina Ave., Kiev, 03680, Ukraine

ELECTROMAGNETIC METHODS FOR FORECASTING OF MINERAL RESOURCES OCCURENCES

The purpose of the article is to study the relationships of electrical conductivity with geodynamics, metallogenic and structural features of the geological environment. Methods: three-dimensional geoelectrical modelling using Mtd3fwd R.L. Mackie's program based on geophysical experiment as magnetotelluric sounding and magnetovariational profiling investigations. It revealed that the anomalies of high electrical conductivity with $\rho = 2\text{--}250 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ in the crust coincide with the deep fault zones: Talne, Pervomaisk, Vradievka, Gvozdevka, Zvenigorod-Bratsk, Smila, Subbotko-Moshorinka; to the depths of 2,5 km they are subvertical structures and deeper – mainly subhorizontal layers. Outside the suture zone a heterogeneous upper mantle is observed. The low resistivity anomalies are confined to the elongated strips and areas of the spread of the graphitized rocks and metasomatic zones extended along the fault zones. On its boundaries there is a large amount of the ore deposits in the region. The nodes of the intersection of fault systems of the different directions are the main ore-localizing structures in the Golovanivsk suture zone, in which the active geodynamic processes occurred, as well as magmatic and postmagmatic hydrothermal-metasomatic activity. The last is associated with the formation of the ore-bearing metasomatites, including sulfide and graphite mineralization. The Golovanivsk suture zone is promising for the new

deposits of iron, noble and radioactive metals and their accompanying elements, graphite, rare metals. For the first time, the spatial relationship between the electrical conductivity anomalies and mineral occurrences is shown for the Golovanivsk suture zone. The distribution of electrical conductivity in the Earth's crust and upper mantle of the Golovanivsk suture zone can be used for the developing of deep geological and tectonic models and predictive metallogenic maps, as well as for an explanation of geodynamic processes in the region.

Keywords: the Golovanivsk suture zone, 3D geoelectric model, electromagnetic methods, deep structure, mineral occurrences.

Б. Ширков, канд. геол. наук, геофиз. I кат.

bog_dan90@ukr.net,

Т. Бурахович, д-р геол. наук, вед. науч. сотр.

burahovich@ukr.net

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины

пр. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Цель работы заключается в изучении связей электропроводности с геодинамикой, металлогеническими и структурными особенностями геологической среды. Методы: трёхмерное геоэлектрическое моделирование геологической среды с помощью программы *Mtd3fwd R.L. Maskie* на основе данных магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования. Выявлены аномалии высокой электропроводности с $\rho = 2-250$ Ом м в земной коре, которые совпадают с глубинными зонами разломов: Тальновской, Первомайской, Врадиевской, Гвоздавской, Звенигородско-Братской, Смелянской, Субботско-Мошоринской; до глубин 2,5 км представлены субвертикальными структурами, а глубже в основном субгоризонтальными слоями. Вне Голованевской шовной зоны наблюдается неоднородная земная кора и верхняя мантия в виде региональных Черновицко-Коростенской и Кировоградской аномалий электропроводности. Низкоомные аномалии приурочены к протяжённым полосам и областям распространения графитизированных пород и зон метасоматоза вдоль протяжённых зон разломов. В их пределах находятся большинство известных в регионе месторождений и рудопроявлений рудных полезных ископаемых. Узлы пересечения систем разломов различного направления являются главными рудокализирующими в ГШЗ, в которых происходили активные геодинамические процессы, а также магматическая и постмагматическая гидротермально-метасоматическая деятельность. С последней связано образование рудоносных метасоматитов, в том числе с сульфидной и графитовой минерализацией. ГШЗ является перспективной на выявление новых месторождений железа, благородных и радиоактивных металлов и их сопутствующих элементов, графита, редких металлов. Впервые для ГШЗ показана пространственная связь аномалий электропроводности с месторождениями и рудопроявлениями полезных ископаемых. Полученное распределение электропроводности в земной коре и верхней мантии ГШЗ может использоваться при построении глубинных геологических и геотектонических моделей, прогнозных металлогенических карт и схем Украинского щита, а также для объяснения геодинамических процессов региона.

Ключевые слова: Голованевская шовная зона, 3D геоэлектрическая модель, электромагнитные методы, глубинное строение, рудопроявления.