

Геоелектричні дослідження Передкарпатської нафтогазоносної області вздовж профілю Биличі — Глибока

А.Ю. Столпаків, А.М. Кушнір, В.А. Ільєнко, 2025

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 21 серпня 2025 р.

У статті наведено результати досліджень методами магнітотелуричного зондування та магнітоваріаційного профілювання, які було проведено у 2024 р. у межах Передкарпатського прогину для вивчення глибинної структури літосфери у зв'язку з пошуком аномалій електропровідності. Подібні аномалії можуть бути спричинені проникненням флюїдів з кори і мантії у верхні шари геологічного розрізу та є важливим джерелом для всіх подальших процесів формування нафтогазових родовищ. Було виконано сучасні синхронні магнітотелуричні дослідження вздовж профілю Биличі—Глибока в 14 пунктах спостереження та отримано просторово-часову картину розподілу геомагнітних варіацій та електричного поля на земній поверхні. Оброблено експериментальні матеріали за допомогою програмного комплексу PRC_MTMV, проаналізовано властивості функцій відгуку — типерів для періодів геомагнітних варіацій від 30 до 3400 с і кривих позірної питомої електричної опору (амплітудні значення та фази імпедансу) від 10 до 10000 с. За результатами спільного аналізу матеріалів МТЗ і МВП профіль поділено на дві частини: північну, де верхня кромка провідника, який знаходиться в зоні концентрації нафтогазових родовищ Бориславсько-Покутського району і сучасної сейсмічної активності, сягає глибини від 20 до 50 км і може бути продовженням провідника субширотного простягання, виділеного за попередніми дослідженнями; і південну, яка характеризується наявністю провідників на глибині до 20 км. Нові геоелектричні параметри, описані в статті, надалі будуть використовуватися при побудові тривимірної моделі складного в геологічному сенсі Карпатського регіону.

Ключові слова: Передкарпатський прогин, магнітотелуричне зондування, магнітоваріаційне профілювання, аномалії електропровідності.

Вступ. Передкарпатський прогин є частиною гірської споруди Східних Карпат, яка відповідає Альпійському активному поясу та належить до Західного нафтогазоносного регіону України. Своєрідна структура та історія розвитку району дослідження давно цікавлять геофізиків і на цей час залишаються актуальним завданням [Гордиенко и др., 2011; Кутас, 2014, 2021; Очерки..., 2018; Орлюк та ін., 2022; Anikeev, Maksymchuk, 2025; Murovska et al., 2025].

Останнім часом у Передкарпатській нафтогазоносній області проводяться геолого-геофізичні дослідження для оцінювання перспективи видобутку вуглеводнів з нетрадиційних джерел (передусім газу щільних колекторів). Широке застосування 3D сейсморозвідувальних робіт дає можливість відкривати нові перспективні об'єкти вуглеводнів, наприклад, обґрунтовано Вигодську ділянку на газ щільних колекторів олігоцену [Крупський, 2018]. На багатьох площах Зовнішньої зони Пе-

Citation: Stolpakov, A.Yu., Kushnir, A.M., & Iliencko, V.A. (2025). Geoelectric research of the Precarpathian oil and gas region along the Bylychi-Hlyboka profile. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(6), 49—67. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i6.337879>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

редкарпатського прогину модель газонакопичення в окремих шарах і прошарках піщано-глинистих товщ неогену підтверджується на старих промислових площах під час буріння вертикальних свердловин появою нових покладів газу [Локтев та ін., 2023].

Розміщення покладів вуглеводнів і регіональних розломів фундаменту узгоджується з наявністю потужною від'ємної гравітаційної аномалії вздовж фронтальної зони Карпат, що може засвідчувати наявність відносно розуцільнених порід у межах Передкарпатського прогину, і земної кори під Карпатською спорудою. Передкарпатський розлом та поклади нафти і газу тяжіють до вісі гравітаційної аномалії [Муровська, 2023]. Зі свого боку [Мончак та ін., 2019] виділяють окремі ділянки (об'єкти) за гравіметричними даними із зазначенням глибини повного розкриття нафтогазових відкладів. Найперспективнішими є Боратицька структура із глибиною розкриття 3600 м, Туманецька — 4200 м, Городищенська — 4500 м, Південнострийська — 5300 м, Дублянське підняття — 4300 м, Посадське — 4500 м та ін.

За аналізом гідродинамічних умов міоценових товщ у поєднанні з геохімічними особливостями водоносних комплексів у північно-західній частині Передкарпатського прогину відокремлюють кілька ділянок, перспективних для пошуків покладів вуглеводнів [Медвідь та ін., 2021]. Пониженими значеннями зведених тисків характеризується крайня північно-західна частина Угерсько-Косівського блока, що обмежена регіональним Краковецьким розломом (рис. 1), а також Крукеницька западина.

За сучасними уявленнями глибинні термодинамічні умови та геодинамічні процеси мають провідний вплив на утворення горючих корисних копалин [Лукин, 2014]. Передбачається, що глибинні флюїди є продуктами фізико-хімічних взаємодій та фазових переходів, які відбуваються внаслідок перерозподілу речовини і тепла в загальному геодинамічному процесі, а також забезпечують змінювання електропровід-

ності за розрізом. Це дає змогу прогнозувати глибинні канали підживлення вже відомих родовищ чи перспективні площі для пошуку проявів вуглеводнів.

Одним з останніх сучасних досліджень стосовно геодинамічного розвитку Карпатського регіону можна вважати монографію [Сучасна ..., 2015], де феномену Карпатської аномалії електропровідності присвячено розділ з геоелектрики, одним із співавторів якого є І.І. Рокитянський. Фундаментальний внесок у розуміння її природи зроблено в статті [Zhdanov et al., 1986], де вперше було застосовано методи 2D моделювання та інверсії щільних масивів даних МТЗ і МВП уздовж міжнародного геотраверсу KAPG-II. Автори обґрунтували модель, що містить коровий провідник на глибині 10—25 км з питомим опором 0,5—2 Ом·м, а також астеносферний провідний шар (25 Ом·м) на глибинах 70—170 км, який виклинується у напрямку до Східноєвропейської платформи. Ця модель, хоч і потребує уточнення з урахуванням сучасних даних, залишається ключовою для розуміння регіональної геоелектричної структури Карпатського регіону.

У зоні зчленування Західних і Східних та Східних і Південних Карпат вектори індукції на коротких і довгих періодах різко суперечать двовимірній апроксимації зони високої електропровідності [Бурахович, 2004]. За квазі-3D плівковою моделлю аномалія електропровідності Південних Карпат приурочена до Передкарпатського прогину, тоді як у Західних Карпатах і північній частині Східних Карпат — до карпатського флішу та вулканітів Пенінського і Вигорлат-Гутинського пасм. Крім того, у східній частині регіону моделювання до цього вузла примикають Чернівецько-Коростенська та Переддобрудзька аномалії.

Інші уявлення щодо глибинної будови Західного нафтогазоносного регіону за геоелектричними даними (під керівництвом А.М. Коновського) демонструють карти інтегральної провідності осадових відкладів, земної кори та верхньої мантії на глибинах 20, 50 і 80 км, карти розподілу ефективного електричного опору літосфе-

ри з глибиною 50 і 80 км, карта геоелектричної неоднорідності літосфери [Атлас ..., 2001] і численні геоелектричні розрізи вздовж сейсмічних профілів [Заяць, 2013]. Слід зауважити, що останні дослідження передусім мали розвідувальний характер [Атлас ..., 2001; Заяць, 2013]. Комплексна геофізична модель (для її побудови широко використовують ГС-технології) уздовж регіонального профілю РП-VI (Передкарпатський прогин) виявила неоднорідність на глибині від 25 до 80 км, що, можливо, відповідає Тячівсько-Надвірнянсько-Монастирецькому розлому, який частково пов'язується з нафтогазоносністю [Logvinov et al., 2019].

З огляду на викладене вище та на вже сформульовані завдання «геолого-розшукових робіт» таких структур, як «...лінійні перспективні смуги, де зосереджена значна кількість нововиявлених нафтогазоперспективних об'єктів, що свідчить про невичерпні ресурсні запаси Більче-Волицької зони» [Заяць, 2015, с. 16], а також з урахуванням перспективності великих глибин понад 5 км і супервеликих глибин 7—10 км [Лукін та ін., 2019], як об'єкт дослідження було обрано Передкарпатський прогин з його структурними елементами — Бориславсько-Покутською та Більче-Волицькою нафтогазоносними районами.

Метою роботи є аналіз нових експериментальних спостережень змінного низькочастотного електромагнітного поля Землі іоносферно-магнітосферного походження вздовж Передкарпатського прогину та фронтальної частини Карпатської покривно-насувної споруди за профілем Биличі—Глибока, їх обробка та інтерпретація для вивчення глибинної будови літосфери, виявлення зв'язку намічених аномалій електропровідності зі структурами, перспективними на вуглеводні.

Нові електромагнітні дослідження (МВП і МТЗ). Польовий експеримент уздовж профілю Биличі—Глибока є продовженням вивчення Українських Карпат, що виконувалося Інститутом геофізики НАН України в 2015 і 2020 р. [Бурахович та ін., 2022], 2023 р. [Kushnir, Stolpakov, 2025]. У

2024 р. у межах Передкарпатського прогину було синхронно зареєстровано електромагнітні поля в 14 пунктах спостереження, з північного заходу на південний схід: Биличі (BLC), Ралівка (RLV), Брониця (BRN), Угільня (UGL), Рахиня (PXN), Петранка (PTR), Горохолин Ліс (GRL), Глинки (GLN) (Самбірський покрив), пункт Уличне (ULC) — у межах Бориславсько-Покутського покриву, далі у межах Більче-Волицької зони — Коломия (KLM), Троїця (TRC), Майдан (MDN), Сторожинець (STR), Глибока (GLB) (див. рис. 1).

Експериментальні вимірювання виконувалися довгоперіодними цифровими станціями серії LEMI-417 модифікаціями A22 та 011 з ферозондовими давачами, відстань між пунктами становить близько 15—25 км, тривалість спостережень — 2—2,5 доби. Польовий матеріал оброблено за допомогою загальноприйнятої в магнітотелуриці програми PRC_MTMV. Надійно отримані параметри типерів для періодів (T) геомагнітних варіацій від 32 до 3444 с і параметри позірної питомої опору (амплітудні значення $\rho_{\text{п}}$ і фази імпедансу φ) — від 8 до 10000 с.

Більшість сучасних методів оцінювання передавальних операторів ґрунтуються на загальних принципах гармонічного аналізу і робастних способах лінійного оцінювання у частотному діапазоні [Semenov, 1998; Семенов, Петрищев, 2013; Ширков та ін., 2015]. Після відбраковування некондиційних записів і придушення завад (попередня обробка) проводять послідовний Фур'є-аналіз відрізків послідовностей варіацій і накопичення лінійних рівнянь, що пов'язують спектральні компоненти МТ-полів, для кожного інтервалу періодів оцінювання. Отримані надлишкові системи рівнянь розв'язуються частинами з подальшим осередненням або повністю.

Програмний комплекс PRC MTMV використовує класичні співвідношення на підставі тензорного запису комплексного імпедансу [Berdichevsky, Dmitriev, 2008], складається з двох основних модулів, які виконують оцінювання та аналіз передавальних функцій, і серії допоміжних ути-

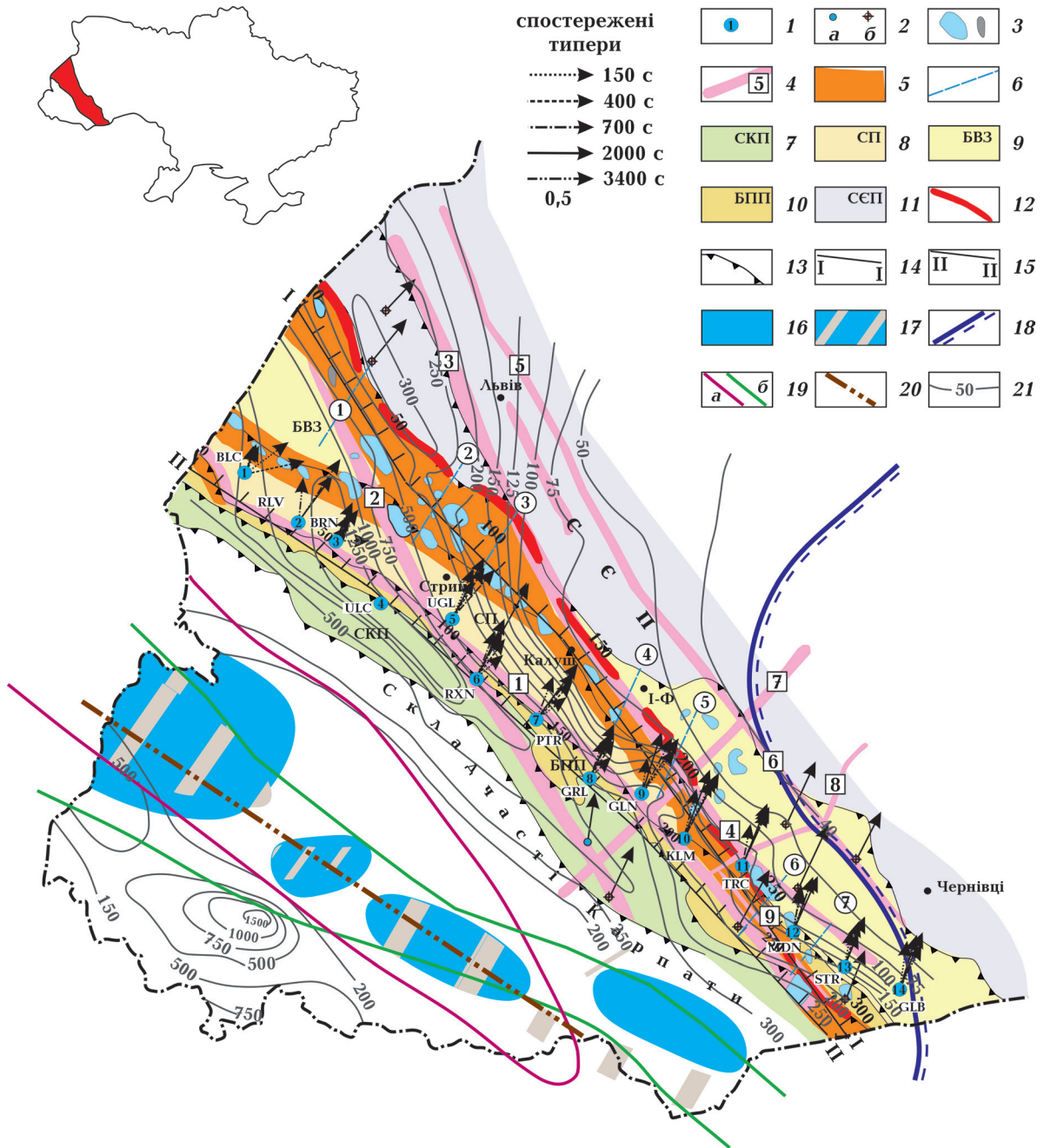


Рис. 1. Оглядова тектонічна карта [Тектоническая ..., 1986; Заяць, 2015] з розташованими на ній пунктами спостережень МТЗ і МВП: 1 — пункти спостережень профілю Биличі—Глибока (2024 р.); 2 — пункти спостережень попередніх дослідників (а — за даними [Третяк та ін., 2015], б — за даними [Гордиенко и др., 2011]); 3 — родовища вуглеводнів; 4 — регіональні розломи за КМЗХ (цифри в квадратах) [Заяць, 2015] (1 — Передкарпатський, 2 — Краковецько-Верховинський, 3 — Рава-Руський, 4 — Девіденівський, 5 — Нестеровський, 6 — Сторожинецький, 7 — Тячівсько-Надвірнянсько-Монастирська зона розломів, 8 — Коломийський, 9 — Косівський); 5, 6 — лінійні нафтогазоперспективні смуги (5 — уздовж фронту Самбірського покриття; 6 — уздовж схилів ерозійних палеодолин (цифри в кругах)); 7 — Скибовий покрив; 8 — Самбірський покрив; 9 — Більче-Волицька зона (БВЗ); 10 — Бориславсько-Покутський покрив; 11 — Східноєвропейська платформа; 12 — північно-східна тектонічна межа БВЗ (Городоцький, Калуський, Косівський розломи); 13 — межі структурно-тектонічних зон Західного регіону (за даними В.В. Глушка, С.С. Круглова); 14, 15 — лінії профілів (14 — геологічний розріз І—І за даними буріння і сейсморозвідки вздовж Косівсько-Угерської підзони [Заяць, 2015]; 15 — швидкісний розріз ІІ—ІІ КМЗХ РП-ВІ [Заяць, 2013]); 16, 17 — Карпатська аномалія за сучасними уявленнями [Бурахович та ін., 2022] за даними (16 —

МВП, 17 — МТЗ); 18 — Чернівецька аномалія електропровідності; 19, 20 — Карпатська магнітоваріаційна аномалія (19 — за результатами квазі3D (а) [Бурахович, 2004] і 3D (б) [Бурахович, Кулик, 2009], 20 — за даними [Рокитянський, Ингеров, 1999, Сучасна ..., 2015]); 21 — ізолінії сумарної поздовжньої провідності осадових відкладів.

Fig. 1. Overview tectonic map [Glushko, Kruglov, 1986; Zayats, 2015] with MTS and MVP observation points located on it: 1 — observation points of the Bylychi—Hlyboka profile (2024); 2 — observation points of previous researchers (a — according to [Tretyak et al., 2015], б — according to [Gordienko et al., 2011]); 3 — hydrocarbon deposits; 4 — regional faults according to CMRW (numbers in squares) [Zayats, 2015] (1 — Precarpathian, 2 — Krakovetsko-Verkhovynskiy, 3 — Rava-Ruskyi, 4 — Devidenivskiy, 5 — Nesterovskiy, 6 — Storozhynets, 7 — Tyachiv-Nadvirna-Monastyriska fault zone, 8 — Kolomyiskiy, 9 — Kosiv); 5, 6 — Linear oil and gas prospective bands (5 — along the front of the Sambir cover; 6 — along the slopes of erosional paleovalleys (numbers in circles)); 7 — Skibovy cover; 8 — Sambir cover; 9 — Bilche-Volytsky zone; 10 — Boryslav-Pokutsky cover; 11 — East European Platform; 12 — north-eastern tectonic boundary of the BVZ (Horodok, Kalush, Kosiv faults); 13 — boundaries of structural-tectonic zones of the Western region (according to V.V. Glushko, S.S. Kruglov); 14, 15 — profile lines (14 — geological section I—I based on drilling and seismic survey data along the Kosivsko-Uherska subzone [Zayats, 2015]; 15 — high-speed section II—II CMRW RP-VI [Zayats, 2013]); 16, 17 — the Carpathian anomaly according to current understanding [Burahovich et al., 2022] based on data from (16 — MVP; 17 — MTS); 18 — Chernivtsi electrical conductivity anomaly; 19, 20 — Carpathian magnetovariation anomaly according to the results (19 — quasi3D (a) [Burakhovich, 2004] and 3D (б) [Burakhovich, Kulik, 2009], 20 — according to [Rokityansky, Ingerov, 1999; Tretyak et al., 2015]); 21 — isolines of total longitudinal conductivity of sedimentary deposits.

літ для імпорту даних з різних МТ-станцій, препроцесингу та інших процедур. Методика розрахунків заснована на отриманні часткових оцінок для окремих відрізків записів та їх відбраковування за когерентними критеріями з подальшим багаторівневим робастним оцінюванням [Varentsov, 2007; Ширков та ін., 2015]. Виключення відрізків з інтенсивним низькокогерентним шумом значно полегшує виділення висококогерентного МТ-сигналу.

На територіях з високим рівнем техногенних завад є можливість використання «магнітного контролю» — відбраковування, хоча і часто висококогерентного, але сигналу-завади за відповідністю корисного сигналу просторовій структурі горизонтального МВ-поля [Varentsov, 2007; Ширков та ін., 2015]. Під час оцінювання імпедансу і типеру застосовують критерії «граничної мінливості», «взаємності», «високої когерентності» часткових оцінок горизонтального МВ-відгуку і «граничної амплітуди» типеру. Таким чином, виконують сумісний аналіз трьох передавальних операторів.

Інтерпретація даних МВП. За результатами досліджень уздовж профілю Биличі—Глибока було отримано комплексні індукційні параметри дійсної (ReW) та уявної (ImW) складових типеру (рис. 1, 2). У співвідношенні Візе типери орієнтуються так,

щоб ReW у широкому інтервалі низьких частот був спрямований від зони підвищеної до зони зниженої електропровідності. Кут, який утворюється між двома складовими типеру для однієї точки одного періоду, називається параметром асиметрії. На підставі цього параметра можна визначити вид структури, зокрема, якщо вони колінеарні (перпендикулярні), то структура вважається двовимірною, якщо кут між ними становить 90° , структура вважається тривимірною [Berdichevsky, Dmitriev, 2008].

Першим провідним горизонтом земної кори є осадові утворення та кора вивітрювання кристалічних порід. Його оцінюють інтегральною характеристикою — сумарною поздовжньою провідністю поверхневих відкладів (S_{oc}). Сумарна поздовжня провідність здебільшого відповідає потужності поверхневих відкладів і корелює з основними структурними геологічними одиницями [Сапужак и др., 1990]. Відомо, що північний захід і південний схід Передкарпатського прогину характеризуються різними значеннями S_{oc} — від 1200 до 500 См відповідно. На сході у Волино-Подільській плиті S_{oc} зменшується до 50—150 См, Складчасті Карпати також характеризуються близькими значеннями — до 200 См, причому ізолінії S_{oc} витягнуті вздовж Карпат. У Закарпатському проги-

ну S_{oc} різко збільшується до 1500 См (див. рис. 1).

На всій протяжності профілю в усьому частотному діапазоні параметр ReW розвертається на північ і північний схід за вигином дуги Зовнішніх Східних Карпат у бік Волино-Подільської плити. Інакше кажучи, вони не розгортаються до Складчастих Карпат, де менші значення S_{oc} , але можуть зазнавати вплив відомої глибинної Карпатської аномалії.

Перший аналіз отриманих типерів за особливостями поведінки та просторовою орієнтацією дає змогу поділити профіль на три ділянки. Перша група пунктів спостережень належить до північної частини профілю (перші 100 км), тут індукційні стрілки об'єднуються спільними рисами та перебувають у межах Самбірського (BLC, RLV, BRN, UGL) і Бориславсько-Покутського

покривів (ULC). По-перше, розподіл азимутів індукційних стрілок спрямований на північ і північний схід. По-друге, виражений максимум частотної характеристики тяжіє до коротких $T=32\div256$ с для пунктів BLC, BRN та UGL з середньою амплітудою $ReW=0,67$. Проте на більших T спостерігається ще один максимум для пункту BRN ($T=2048\div3444$ с ReW 0,6) і пункту UGL ($T=724\div1218$ с ReW 0,6—0,65). По-третє, параметри уявної складової ImW для всієї групи не перевищують величини ReW і мають значення менше 0,3. По-четверте, індукційні стрілки ReW та ImW колінеарні між собою з мінімальним кутом відхилення 25° і менше. Такий розподіл індукційних параметрів може свідчити на користь наявності провідників як у приповерхневій частині розрізу, так і на більших глибинах. Слід зазначити, що саме у північній части-

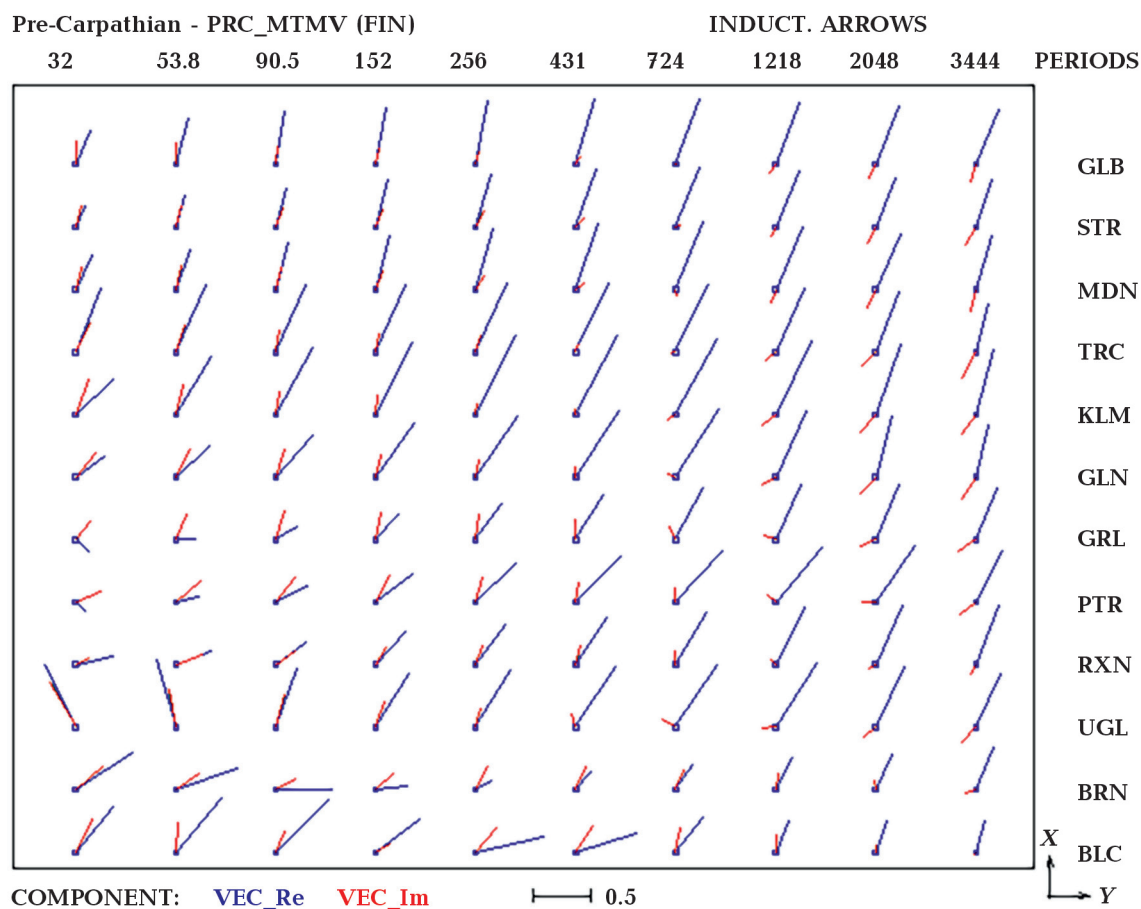


Рис. 2. Комплексні типери вздовж профілю Биличі—Глибока Передкарпатського прогину.

Fig. 2. Complex tippers along the Bylychi—Hlyboka profile of the Precarpathian trough.

ні профілю спостерігаються значні техногенні впливи на спостереження у пунктах RLV та ULC, які спотворюють амплітудні значення типерів (див. рис. 1).

Наступні три пункти (RXN, PTR і GRL) знаходяться в центральній частині профілю (100—170 км) у межах Самбірського покрову. Починаючи від самих коротких періодів до $T=90,5$ с ReW та ImW майже співрозмірні та не перевищують значень 0,25—0,3 з кутом між ними близько 90° . Зі збільшенням періодів, аж до максимуму частотної характеристики $T=724\div 2048$ с, амплітуда ReW зростає до 0,5—0,6, тоді як ImW зменшується, кут між ними становить 33° — 35° . Загальний напрямок типерів у всьому частотному діапазоні вказує на північний схід. За результатами якісної інтерпретації розподілу ReW та ImW можна припустити наявність приповерхневої неоднорідності, ймовірно, тривимірного характеру, на більших періодах вони можуть відображати вплив двовимірної глибинної структури.

Найбільша кількість пунктів спостережень припадає на південну частину профілю (GLN, KLM, TRC, MDN, STR, GLB), що знаходиться в границях Передкарпатського прогину. Максимум частотної характеристики спільний для всіх пунктів вимірів $T=431\div 1218$ с з ReW від 0,5 до 0,7. Комплексні типери ReW та ImW у всьому частотному діапазоні колінеарні, амплітуди ImW на $T=724$ с характеризуються мінімальними значеннями, наближеними до нуля, тоді як на коротких і довгих періодах їх розмір не перевищує 0,3. Такі індукційні параметри добре узгоджуються з матеріалами, наведеними в монографії [Сучасна ..., 2015]: «їхні амплітуди однакові, азимути ReW спрямовані на північний схід у всьому частотному діапазоні». Незважаючи на те, що за індукційними параметрами південну частину профілю (на ділянці за 170 км) можна апроксимувати двовимірним середовищем, існують уявлення про розподіл глибинних провідників у південній частині Волино-Подільської плити. Чернівецька аномалія електропровідності [Бурахович, 2004; Бурахович, Кулик, 2009]

у земній корі характеризується верхньою кромкою 15 км і астеносферним шаром на глибині 70 км. Залишається нез'ясованим характер з'єднання астеносфер за геоелектричними даними [Бурахович та ін., 2025; Бурахович, Макаренко, 2025]. Так, за сучасними уявленнями [Бурахович та ін., 2025], вважається, що геоелектрична астеносфера Українських Карпат занурюється (H від 50 до 70—170 км, $\rho=25$ Ом·м) у напрямку від неогенового Паннонського басейну до Східноєвропейської платформи та виклинується під Передкарпатським прогином і відсутня північніше 50° пн.ш. у надрах Волино-Подільської плити. Тому саме інтегральний вплив просторового розподілу S_{oc} , аномальної електропровідності на різних глибинах (Карпатської та Чернівецької) створює таку чітку спрямованість ReW на північний схід, тоді як ImW має протилежний напрямок зі значним перевищенням амплітуди майже у 3 рази. Проте підтвердити чи спростувати такі ствердження можна тільки результатами 3D моделювання.

Інтерпретація даних МТЗ. Амплітудні та фазові складові кривих МТЗ (рис. 3), побудовані залежно від напрямків вимірювальних ліній (вісь x — спрямована на північ, вісь y — на схід).

Амплітудні криві МТЗ у північній частині профілю (менше 40 км, пункти BLC та RLV відповідають ПК 17 та ПК 39 км швидкісного профілю КМЗХ РП-VI за лінією II—II [Заяць, 2013]) характеризуються незначною розбіжністю за поляризаціями. Форма кривої ρ_{Π} для пункту BLC має вигляд висхідної гілки до $T=400$ с (ρ_{Π} змінюється від перших одиниць до майже 70 Ом·м), далі рівень кривих зберігається до $T=3000$ с, де поляризація змінюється з подальшим невеликим зростанням значень ρ_{Π} . Проте крива ρ_{Π} лежить нижче рівня глобальних даних і зазнає гальванічного спотворення в рамках двовимірної апроксимації середовища. Рівень кривих пункту RLV на 0,5 порядку вищий, ніж у попередньому пункті. Для S інтервалу ($T<400$ с та більше) характерне зростання ρ_{Π} від кількох десятків до кількох сотень омметрів, розбіжність між ρ_{xy} та

ρ_{yx} — мінімальна. Зі збільшенням періодів до $T=4000$ с значення ρ_{Π} зменшуються в середньому до 100 Ом·м, ще далі криві важко визначити через великий розкид за рівнем. Якщо уявно продовжити криву ρ_{Π} до періодів 10000 с, то навіть у такому випадку вона лежатиме нижче рівня глобальних даних. За висхідною гілкою амплітудних кривих ρ_{Π} оцінюють розподіл S_{oc} (за даними інтерпретації спостережених кривих ρ_{Π} позначимо $S_{oc(сп)}$). Так, значення $S_{oc(сп)}$ для кожного пункту вимірів оцінено як 500 См (BLC) і 400 См (RLV). Фази імпедансу для обох пунктів стрімко збільшуються від -3° до -65° , така поведінка ϕ засвідчує можливе зростання провідності з глибиною. Результати якісної інтерпретації за асимптотами показують, що для ПК 17 і 39 км намічено провідники на різних глибинах верхньої кромки: $H_1 \approx 5$ км і $H_2 \approx 50$ км (рис. 4).

Наступна група кривих ρ_{Π} на відрізку профілю ПК 53—119 км відрізняється від поруч розташованих кривих і між собою переважно рівнем, що не перевищує 100 Ом·м для пунктів BRN, ULC, RXN і 300 Ом·м для пункту UGL. Форма кривих ρ_{xy} та ρ_{yx} у всіх пунктах вимірів подібна в усьому частотному діапазоні. Розбіжність між кривими за напрямками вимірювальних ліній не перевищує 0,5 порядку. Останній пункт зазнає сильного техногенного впливу, що унеможливає інтерпретацію кривої ρ_{xy} . Пункт RXN характеризується висхідною гілкою, яка продовжується до періоду $T=3000$ с, де, сягнувши максимальних значень (15—58 Ом·м), плавно зменшується. Зі збільшенням періодів уже для інтервалу глибин у пунктах BRN та UGL простежується чітко виражений мінімум від 200—300 до майже 3000 с. Загалом криві ρ_{Π} лежать нижче глобальних даних, за винятком пункту UGL, де крива ρ_{yx} перевищує їх значення. Так, значення $S_{oc(сп)}$ для кожного пункту оцінено: 1500 См (BRN), 600 См (ULC), 350 См (UGL), 1000 См (RXN). Зазначимо, що особливістю поведінки кривих ρ_{Π} у пунктах RLV, BRN, ULC і деякою мірою RXN в інтервалі найменших періодів T від 8 до 50 с є характерний мінімум, за яким можна передбачати провідник у

приповерхневій зоні чи можливо в самих осадових відкладах.

Загалом криві фаз імпедансу, на відміну від амплітудних, доволі сильно різняться між собою, також не спостерігається амплітудно-фазове співвідношення між кривими: RLV — за формою та рівнем подібні до першої групи пунктів вимірів; ULC — характеризуються значним розкидом та реалізуються в діапазоні від 0 до -60° ; UGL — плавно спадають зі збільшенням T від 0 до -60° ; RXN — майже витримані в усьому частотному діапазоні на рівні від -47° до -55° . За результатами якісної інтерпретації виділено верхні кромки можливих провідників: ПК 53 — $H_1 \approx 2$ км і $H_2 \approx 20$ км; ПК 78 — $H_1 \approx 10$ км; ПК 101 — $H_1 \approx 50$ км; ПК 119 — $H_1 \approx 3$ км (див. рис. 4).

Особливостями кривих ρ_{Π} пунктів KLM (207 км) і TRC (229 км) є зміна напрямку течії телуричних струмів (північ—південь) до $T=100$ с, зі збільшенням періодів криві відновлюють свою орієнтацію (захід—схід), як і для попередніх та наступних пунктів вимірів. Таку зміну поляризації можна пояснити впровадженням з північного сходу субширотної Тячівсько-Надвірнянсько-Монастирської зони розломів і Коломийського розлому, які перетинають Передкарпатський розлом. Розбіжність до та після зміни поляризації між кривими не перевищує пів порядку. Загалом криві ρ_{Π} характеризуються висхідною гілкою від перших десятків омметрів до 300—700 Ом·м із ділянкою перегину 150—200 Ом·м. Криві лежать вище рівня глобальних даних. Фази імпедансу плавно змінюються від -20° для $T=10$ с аж до -75° для $T=8000$ с. Таке співвідношення кривих для різних поляризацій вказує на користь наявності яскраво вираженої аномалії електропровідності з верхньою границею для ПК 207 — $H_1 \approx 20$ км, для ПК 229 — $H_1 \approx 20$ км.

Криві MT3 (пункти PTR, GRL, GLN) центральної частини профілю (ПК 142—186 км) характеризуються висхідною гілкою (від 3—12 до 25—30 Ом·м для ρ_{xy} та до 170—240 Ом·м для ρ_{yx}), розходження між кривими ρ_{xy} та ρ_{yx} починається від найко-

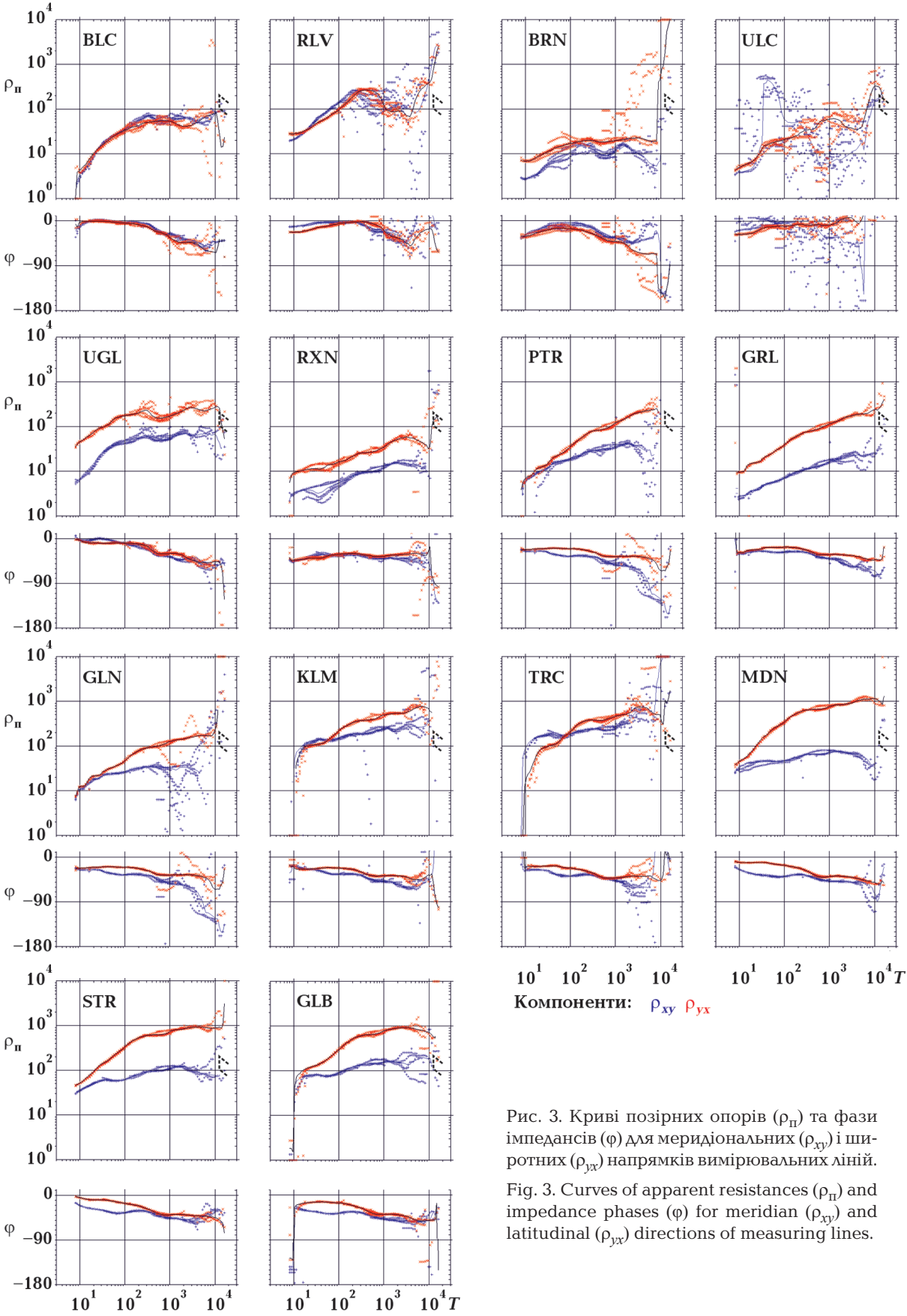


Рис. 3. Криві позірних опорів (ρ_n) та фази імпедансів (φ) для меридіональних (ρ_{yx}) і широтних (ρ_{xy}) напрямків вимірювальних ліній.

Fig. 3. Curves of apparent resistances (ρ_n) and impedance phases (φ) for meridian (ρ_{yx}) and latitudinal (ρ_{xy}) directions of measuring lines.

ротших періодів і на $T=10000$ с становить майже один порядок, на кривих ρ_{xy} проявляється мінімум на T понад 2000 с, лише крива ρ_{yx} виходить на рівень глобальних даних. Величину $S_{oc(cп)}$ визначено як 750 См (PTR), 800 См (GRL) та 650 См (GLN). Фази імпедансу на періодах менше як 100 с характеризуються незначним підвищенням від -40° до -20° та -30° , зі збільшенням T прямують до -75° і більше; така поведінка ϕ вказує на можливе зростання провідності з глибиною, особливо для меридіональної кривої ρ_{xy} . Якісна інтерпретація кривих передбачає наявність провідників з верхньою кромкою: ПК 142 — $H_1 \approx 10$ км; ПК 167 — $H_1 \approx 6$ км; ПК 186 — $H_1 \approx 5$ км.

Пункти KLM (207 км) і TRC (229 км) розташовані на ділянці перетину регіональних розломів: Тячівсько-Надвірнянсько-Монастирського, Коломийського, Передкарпатського та Девіденівського. Загалом криві ρ_{Π} характеризуються висхідною гілкою від перших десятків омметрів до 300—700 Ом·м із перегином на рівні 150—200 Ом·м. Значення $S_{oc(cп)}$ відповідає 300 См. Незначні мінімуми спостерігаються на $T=1000 \div 2000$ с. Криві лежать вище глобальних даних. Фази імпедансу плавно змінюються від -20° для $T=10$ с аж до -75° для $T=8000$ с. Інтерпретація за асимптотами вказує на користь наявності глибинної аномалії електропровідності з верхньою кромкою для ПК 207 — $H_1 \approx 20$ км та ПК 229 — $H_1 \approx 20$ км.

Криві МТЗ з останніх уздовж профілю трьох пунктів — MDN, STR та GLB (ПК 256—285) характеризуються розбіжністю $\rho_{xy} < \rho_{yx}$ за напрямками вимірювальних ліній в усьому частотному діапазоні, яка збільшується залежно від T і становить 1—1,5 порядку. Частотні залежності ρ_{Π} не відповідають рівню глобальних даних, за винятком кривої ρ_{xy} пункту GLB. Усі широтні амплітудні криві ρ_{yx} характеризуються висхідними гілками до $T=4000 \div 3000$ с, де значення ρ_{yx} досягають максимумів понад 900 Ом·м (STR, GLB) і 1150 Ом·м на $T=10000$ с для MDN. На меридіональних амплітудних кривих ρ_{xy} спостерігаються слабвиражені мінімуми на періодах по-

над 1000—3000 с (їх рівень коливається від 25 до менш як 200 Ом·м); їм відповідає специфічна поведінка фаз імпедансу, саме з цього частотного інтервалу спостерігається спільне зростання ϕ від -45° аж до -75° зі збільшенням T . За висхідною частиною амплітудних кривих визначено значення $S_{oc(cп)}$: 350 См (MDN, STR) і 150 См (GLB). Така поведінка амплітудних і фазових кривих може засвідчувати наявність глибинного провідника. Результати якісної інтерпретації передбачають для ПК 256 і 277 км провідник з верхньою кромкою на глибинах $H_1 \approx 10$ км, тоді як для ПК 285 — на глибинах $H_1 \approx 20$ км.

Аналіз геоелектричних параметрів уздовж профілю Биличі—Глибока. Параметри S_{oc} , за даними [Сапужак и др., 1990; Атлас ..., 2001], ділять профіль на дві частини: північну з максимальними значеннями 750—1250 См у Самбірському покриві та південну зі значеннями менш як 100 См у межах Більче-Волицької зони. Криві S_{oc} та спостережені $S_{oc(cп)}$ (див. рис. 4, а) між собою подібні вздовж усього профілю з локальними значними відмінностями до 500 См в окремих пунктах (RLV, ULC та GRL).

За результатами якісної інтерпретації профільних графіків ρ_{Π} (див. рис. 4, б) для трьох періодів — 16 с, 2000 с, 10000 с, профіль також поділено на дві частини — північну та південну. Середні значення ρ_{Π} у північній частині профілю змінюються від 10 (для 16 с) до 100 Ом·м (для 2000, 10000 с), що відповідає значним осадовим відкладам, у південній його частині (пункти KLM—GLB) — від 100 (для 16 с) до 500 Ом·м (для 2000, 10000 с). У самих південних пунктах спостерігається розбіжність між поляризаціями до одного порядку. Це може вказувати на те, що ці пункти розташовані вздовж розломної структури або трасують пограничну зону покривів. Фази імпедансу змінюються в діапазоні від 0° до понад 40° на коротких T і від -30° до понад -90° на великих T (див. рис. 4, в). У пунктах GLN, GRL, KLM, MDN значення ϕ перевищують -70° , що може вказувати на аномальну провідність на великих глибинах.

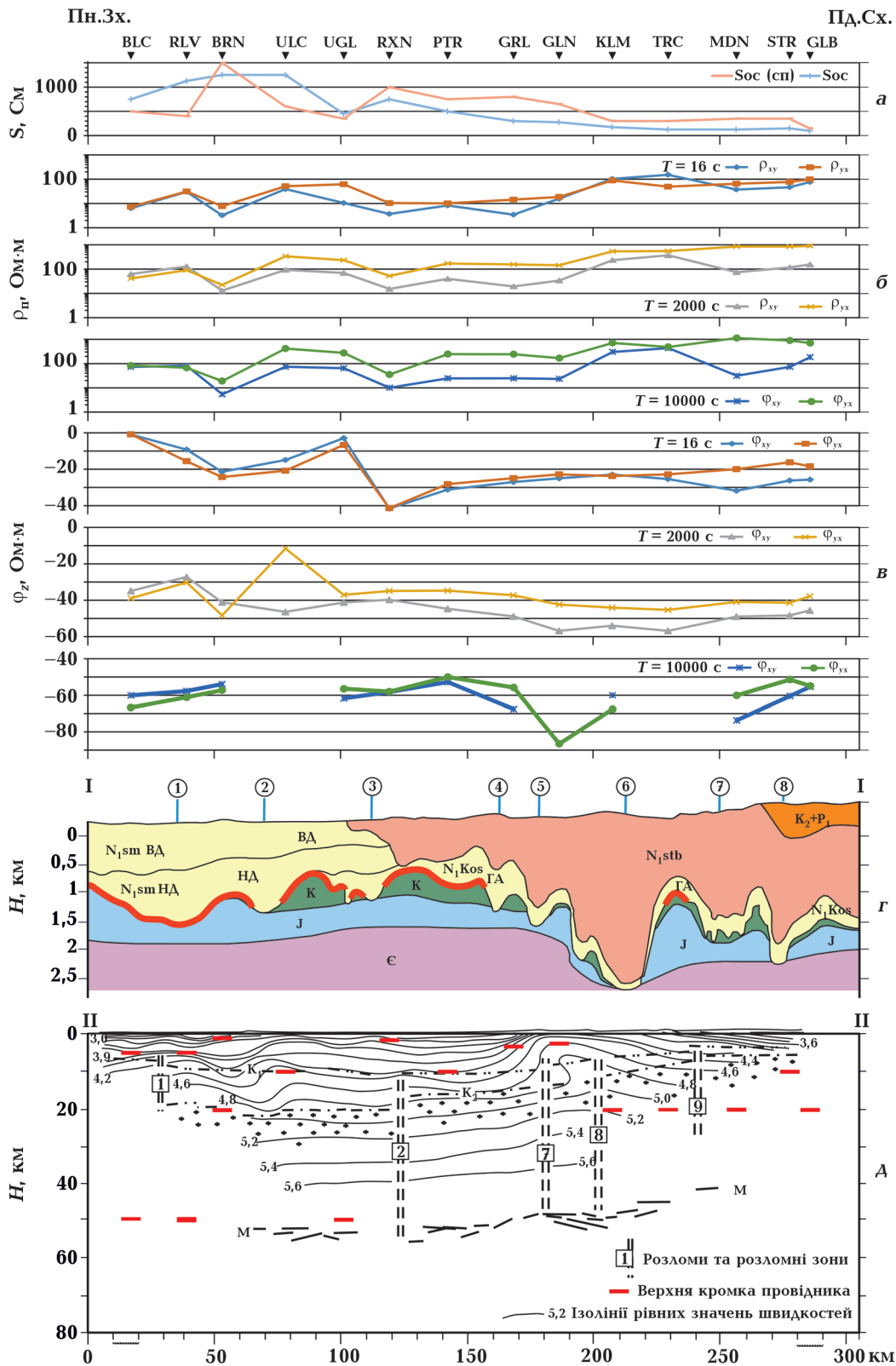


Рис. 4. Візуалізація геолого-геофізичні параметрів Передкарпатського прогину та фронтальної частини Карпатської покривно-насувної споруди: а — графіки параметрів сумарної поздовжньої провідності $S_{oc(cn)}$ за даними інтерпретації спостережених кривих ρ_{II} ; S_{oc} — за даними роботи [Сучасна ..., 2015]; б — профільні графіки ρ_{II} для періодів 16 с, 2000 с, 10000 с; в — фази імпедансу φ_z для періодів 16 с, 2000 с, 10000 с;

g — геологічний розріз за даними буріння і сейсморозвідки вздовж Косівсько-Угерської підзони за лінією І—І (цифрами в кружках позначені ерозійні палеодолини: 1 — Раточинська, 2 — Малогорожанська, 3 — Ходорівська, 4 — Богородчанська, 5 — Парищенська, 6 — Коломийська, 7 — Вишницька, 8 — Лопушнянська; червоним кольором — нафтогазоперспективні смуги Більче-Волицької зони) [Заяць, 2015]; Δ — швидкісний розріз КМЗХ РП-VI за лінією ІІ—ІІ [Заяць, 2013]. Розташування профілів та умовні позначення див. на рис. 1.

Fig. 4. Visualization of geological and geophysical parameters of the Precarpathian trough and the frontal part of the Carpathian cover-thrust structure: a — graphs of the parameters of total longitudinal conductivity $S_{oc(cu)}$ — based on the interpretation of the observed curves ρ_{II} , and S_{oc} — based on the data [Tretyak et al., 2015]; b — profile graphs of ρ_{II} for periods of 16 s, 2000 s, 10000 s; b — impedance phases φ_z for periods of 16 s, 2000 s, 10000 s; g — geological section based on drilling and seismic survey data along the Kosivsko-Ugerska subzone along line I—I (the numbers in circles indicate erosion paleovalleys: 1 — Ratochynska, 2 — Malohorazhanska, 3 — Khodorivska, 4 — Bogorodchanska, 5 — Parischenka, 6 — Kolomyiska, 7 — Vyzhnytska, 8 — Lopushnyanska; red — oil and gas prospective strips of the Bilche-Volytska zones) [Zayats, 2015]; Δ — high-speed section of КМЗХ РП-VI along line II—II [Zayats, 2013]. See Fig. 1 for the location of profiles and symbols.

Підсумовуючи аналіз параметрів МТЗ потрібно зазначити, що класичні МТ/МВ оператори переважно мають частковий та наближений характер і реалізуються за жорстких вимог до структури первинного поля. Така ситуація простежується на T понад 5000 с, де присутня помітна дисперсія значень ρ_{II} і φ . Це пов'язане з тим, що МТЗ параметри зазвичай ненадійні на періодах, довших за три години. Невеликі значення імпедансу в цьому діапазоні спричинені малою амплітудою варіацій природного електромагнітного поля, що тягне за собою низьку точність оцінок. Періоди варіацій близько 10 000 с взагалі вважаються критичними, що обумовлено глибиною проникнення електромагнітного поля у провідну земну кору, яке стає співрозмірним з геометричними розмірами самих струмових систем, що слугують джерелом варіацій [Berdichevsky, Dmitriev, 2008]. Таку ситуацію можна спостерігати на кривих ρ_{II} (див. рис. 2), де значний розкид їх значень унеможливує проведення інтерпретації. Уникнення таких особливостей класичних МТ/МВ операторів потребує переходу на нову концепцію узагальненого глобального електричного ланцюга, згідно з якою оболонки навколопланетного простору — магнітосферу, іоносферу, атмосферу та верхню частину земної кори — розглядають як єдину електродинамічну систему. Автори монографії [Шуман, Савин, 2011] запропонували нелокальну векторну тотожність імпедансного типу для гармонійного електромагнітного

поля на сферичній земній поверхні, а на його підставі сформулювали систему точних скалярних рівнянь, що визначають цю поверхню.

За результатами спільного аналізу параметрів $S_{oc(cu)}$, ρ_{II} та φ_z профіль поділяється на дві частини. У північній (0—207 км) верхня кромка провідника сягає глибини від 20 до 50 км. Слід зазначити, що виділений провідник розміщується в зоні концентрації нафтогазових родовищ Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району (найпівнічніше родовище групи — Бориславське, найпівденніше — Тянівське) в зоні сучасної сейсмічної активності (www.isc.ac.uk). Південна (207—285 км) частина профілю характеризується наявністю провідників на глибині до 20 км, найбільш цікавою ділянкою тут можна вважати відрізок профілю (207—229 км) у пунктах КЛМ і TRC, де параметри $S_{oc(cu)}$ стрімко зменшуються. Проте значення ρ_{xy} зростають у всьому частотному діапазоні, що певною мірою вказує на наявність провідника. Саме південь профілю найбільш наближається до західної частини корової Чернівецької аномалії з верхньою кромкою 15 км [Бурахович, 2004; Бурахович, Кулик, 2009].

Обговорення та висновки. Дослідження характеристик розподілу електропровідності земних надр відіграють важливу роль у ідентифікації слідів проникнення глибинних флюїдів у горизонти, що залягають вище, як ключового джерела для подальших стадій формування та накопичен-

ня вуглеводнів. У 2025 р. у доповіді на міжнародній науковій конференції «Актуальні проблеми геофізики» О.П. Петровський зазначив високу актуальність вивчення великих глибин у комерційній сфері пошуку нових продуктивних структур на вуглеводні. Він стверджував, що переконливим чинником продуктивності колектору є виявлення глибинних неоднорідностей в межах потенційного родовища, а самі неоднорідності можна розглядати як джерела постачання вуглеводнів чи підживлення вже існуючого родовища.

Нафтогазоносні області та зони накопичення нафти і газу в Західному нафтогазоносному регіоні суттєво вирізняються між собою геологічною будовою, кількістю родовищ, і запасами. Найбільшими нафтовими родовищами на сьогодні вважають Бориславське, Долинське, Битківське, а також Лопушнянське, яке розміщується під насувом Буковинських Карпат. Профіль Биличі—Глибока на півночі перетинає нафтові та газоконденсатні родовища Бориславсько-Покутської зони, тоді як найпівнічніша частина тягнеться до західної межі Крукеницької западини з потужною товщею неогенових відкладів, де розробляються газові та нафтові родовища з найбільшими глибинами залягання продуктивних горизонтів — 1,5—2,3 км [Леськів, 2020]. Бориславсько-Покутський нафтогазоносний район є переважно нафтоносним. Перспективи виявлення нових покладів пов'язують насамперед з глибинами понад 4—5 км. За результатами досліджень [Савчак, 2018], нові поклади можливі як у неглибоко занурених ділянках фронтальних скиб разом з параавтохтонними елементами Скибової та Кросненської зон, так і у глибоко занурених відкладах нижньої крейди. Найбільш глибоко залягають горизонти, приурочені до Соколицького нафтового родовища (5,7—5,8 км). Південна частина профілю перетинає газові і газоконденсатні родовища Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину, які зосереджені в утвореннях міоцену та мезозою. Тут найбільші глибини продуктивних горизонтів складають інтервал 4,180—4,464 км

у надрах Лопушнянського родовища. Комплексні геофізичні дослідження свідчать про перспективи південно-східної частини насувів Покутсько-Буковинських Карпат. Загалом досліджувані ділянки характеризуються значною диференціацією за ρ як у кристалічному фундаменті і консолідованій корі, так і на глибинах верхів верхньої мантії.

За результатами аналізу експериментальних матеріалів МТЗ і МВП у земній корі вздовж профілю можна виділити дві аномальні зони. Перша, пікети від 0 до 207 км, припадає на Самбірський та Бориславсько-Покутський покриви і характеризується ймовірністю існування в їх надрах провідників на різних структурних рівнях з глибинами верхньої кромки від 20 до 50 км. Друга зона, пікети від 207 до 285 км, є можливим продовженням провідників (з глибинами верхньої кромки 10 і 20 км) у бік Східноєвропейської платформи із заходу на південь, що пов'язується з наявністю корової Чернівецької аномалії електропровідності або з її бічним впливом. На періодах $T > 2000$ с для всіх пунктів вимірів МВП відчувається комплексний вплив субмеридіональної регіональної магнітоваріаційної Карпатської аномалії у поєднанні з астеносферними провідниками [Бурахович та ін., 2025].

У статті [Заяць, 2015] на підставі проведених узагальнень результатів геолого-геофізичних досліджень і параметричного буріння складено комплексний геологічний розріз І—І (див. рис. 1, 4, г) уздовж поздовжніх розломів та субортогонально орієнтованих до них ерозійних палеодолин і палеорельєфу доміоценової поверхні. На думку автора виділені лінійні смуги палеодолин і палеорельєфу є визначальними для маркування покривного неогенового комплексу Більче-Волицької зони та чинників впливу на формування в ньому пасток вуглеводнів. Це пов'язане з ерозійними процесами у посткрейдовий час — водні потоки з північного сходу на схилі Східноєвропейської платформи створили врзи та палеодолини різних розмірів, найпотужніші з них — Раточинська, Ходорівська та

Коломийська; Лопушнянська ускладнена палеопотоками з північного заходу. Цікавим є те, що результати інтерпретації МТЗ вказують на глибинну аномальність у зонах найбільшої потужності палеодолин: північна частина профілю — Раточинська, Малогорожанська, Ходорівська з провідниками у верхній кромці 50 км, південна частина — Коломийська, Вижницька з провідниками 20 км. Палеоутворення ускладнені Передкарпатською, Краковецько-Верховинською (північ) і Тячівсько-Надвірнянсько-Монастирською зонами розломів, Коломийським, Косівським (південь) глибинними розломами, які можна розглядати як канали міграції глибинних флюїдів у верхні горизонти розрізу, аж до виділених пасток колекторів. Незважаючи на те, що Лопушнянська палеодолина тяжіє до зони провідника з верхньою кромкою 20 км, тут важко стверджувати значну міграцію глибинних флюїдів у верхні горизонти, що пов'язано з відсутністю значної сітки глибинних розломів. Такі підсумки підтверджуються незначною кількістю виявлених родовищ вуглеводнів у північній частині Більче-Волицької зони.

Виявлені глибинні неоднорідності можна пояснювати, з одного боку, проникненням флюїдів з кори і мантії, з іншого, утворенням значних ореолів окисно-відновного середовища в зоні проявів вуглеводнів, що також може викликати високу провідність, тоді як самі вуглеводні є високоомними утвореннями. Вважалось, що одним із джерел постачання нафтових вуглеводнів у Західному регіоні були менілітові сланці флішово-олігоценного комплексу, однак виявлення промислових припливів вуглеводнів в автохтонні Карпат вказує на відсутність такого генетичного зв'язку [Колодій та ін., 2004]. Розміщення різних за складом нафт пов'язується із напрямком міграції та акумуляції покладів. Багатошарові родовища мають тенденцією до зменшення густини з глибиною, що характерно для 70 % усіх нафтових родовищ

світі. У напрямку міграції нафти стають важчими, у них збільшується вміст нафтенів. Догори розрізом вони змінюються від парафінових до нафтових — легкі в нижніх горизонтах, важкі у верхніх, що вказує на вертикальну міграцію зі спільного джерела вуглеводневих компонентів [Доленко, 1990]. Значні обсяги гірських порід на шляху міграції струменів глибинних флюїдних систем збагачують їх бітумами та іншими вуглеводневими компонентами, тоді як стоншення кори та її розущільнення розломами зумовлюють появу каналів міграції вже самих вуглеводнів. Наявність осадового чохла і тектонічних рухів сприяє акумуляції вуглеводнів над розломами, що охоплює усі придатні пастки від фундаменту до приповерхневих зон, та утворенню численних нафтогазопроявів. Якщо енергія флюїдної системи є недостатньою для ефективної міграції, колектори залишаються малопродуктивними або непродуктивними взагалі, що, імовірно, спостерігається у південній частині профілю. На території України перспективи виявлення родовищ вуглеводнів на великих глибинах нині пов'язані з відкладами не лише Дніпровсько-Донецької западини, а й Передкарпатського прогину. Це обумовлено тим, що запаси вуглеводнів на невеликих і середніх глибинах у багатьох регіонах вичерпані більш як на 60 %. Тому особливого значення набуває оцінювання потенційної нафтогазоносності глибинних відкладів, включно з породами кристалічного фундаменту.

Публікація містить результати досліджень, проведених за фундаментальною темою Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України «Глибинна будова літосфери та процеси формування родовищ корисних копалин України і суміжних регіонів» РК 0121U107661 та грантової підтримки Президії НАН України «Геоелектричні дослідження Передкарпатської нафтогазоносної області вздовж профілю Биличі—Глибока» (2025—2026 рр.).

Список літератури

- Атлас «Геологія і корисні копалини України». Під ред. Л.С. Галецького. Київ: УІЦПТ «Геос-XXI століття», 2001, 168 с.
- Бурахович Т.К. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Карпатского региона. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 4. С. 63—74.
- Бурахович Т.К., Ільєнко В.А., Кушнір А.М., Столпаков А.Ю., Тонковид Є.М., Бондар А.М. Астеносфера України за даними геоелектричних досліджень. *Геофиз. журн.* 2025. Т. 47. № 2. С. 181—187. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322502>.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Трехмерная геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии западной части Украинского щита и его склонов. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 1. С. 88—99.
- Бурахович Т.К., Кушнір А.М., Ільєнко В.А. Сучасні геоелектромагнітні дослідження Українських Карпат. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 21—43. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261966>.
- Бурахович Т.К., Макаренко І.Б. Питання щодо інтерпретації комплексної моделі літосфери вздовж профілю RomUkrSeis. *Геофиз. журн.* 2025. Т. 47. № 4. С. 38—60. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.327379>.
- Гордиенко В.В., Гордиенко І.В., Завгородня О.В., Ковачикова С., Логвинов І.М., Тарасов В.Н., Усенко О.В. *Украинские Карпаты (геофизика, глубинные процессы)*. Киев: Логос, 2011, 129 с.
- Доленко Г.Н. *Геология и геохимия нефти и газа*. Киев: Наук. думка, 1990, 254 с.
- Заяць Х.Б. Глибинна будова надр Західного регіону України на основі сейсмічних досліджень і напрямки пошукових робіт на нафту та газ. Львів: ЛВ УкрДГРІ, 2013, 136 с.
- Заяць Х.Б. Лінійні смуги розташування нафтогазоперспективних об'єктів у Більче-Волицькій зоні Передкарпаття. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2015. Вип. 29. С. 12—17.
- Колодій В.В., Бойко Г.Ю., Бойчевська Л.Т., Братусь М.Д., Величко Н.С. *Карпатська нафтогазоносна провінція*. Львів: ТОВ «Український видавничий центр», 2004, 388 с.
- Крупський Ю.З. Проблеми геологічної будови і перспективи пошуку вуглеводнів у Західному нафтогазоносному регіоні України. *Геол. журн.* 2018. № 2(363). С. 5—13. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.2.133390>.
- Кутас Р.І. Глибинна дегазація і нафтогазоносіть Східних (Українських) Карпат: геодинамічний і геотермічний аспекти. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 6. С. 23—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551>.
- Кутас Р.І. Тепловой поток и геотермические модели земной коры Украинских Карпат. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 6. С. 3—27. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111016>.
- Леськів І.В. Найближча перспектива видобутку йоду в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2020. № 4. С. 18—21. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.18-21>.
- Локтев А.А., Локтев А.В., Грицанчук А.В. Перспективи нарізання видобування флюїдів з піщано-глинистих товщ у межах Передкарпатського та Закарпатського прогинів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2023. № 3(88). С. 79—88. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-3\(88\)-79-88](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-3(88)-79-88).
- Лукин А.Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине. *Вісник НАН України*. 2014. № 5. С. 31—36.
- Лукін О.Ю., Крижанівський Є.І., Гесць В.М. Про перспективи нарізання видобутку нафти і газу в Україні. *Вісник НАН України*. 2019. № 1. С. 38—54. <https://doi.org/10.15407/visn2019.01.038>.
- Медвідь Г., Телегуз О., Гарасимчук В., Кость М., Кальмук С. Перспективи нафтогазоносності нижньосарматських відкладів північно-західної частини зовнішньої зони Передкарпатського прогину (за гідрогеохімічними та гідродинамічними ознаками). *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2021. № 3-4(185-186). С. 16—32. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.016>.
- Мончак А.С., Анікеєв С.Г., Жученко Г.О., Здерка Т.В., Мончак Ю.Л., Хомин В.Р. Що до реальних перспектив відкриття нових

- родовищ та нарошення видобутку нафти і газу у західному регіоні України. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. № 2(71). С. 7—19. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-2\(71\)-7-19](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-2(71)-7-19).
- Муровська Г.В. Про нафтогазоносність Карпатського регіону України. *Вісник НАН України*. 2023. № 3. С. 52—59. <https://doi.org/10.15407/visn2023.03.052>.
- Орлюк М.І., Бакаржієва М.І., Марченко А.В. Магнітна характеристика і тектонічна будова земної кори Карпатської нафтогазоносної області як складова частина комплексних критеріїв вуглеводнів. *Геофіз. журн.* 2022. Т. 44. № 5. С. 77—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328>.
- Очерки геодинамики Украины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІЕН ЕЙ, 2018, 465 с.
- Рокитянский И.И., Ингеров А.И. Электромагнитные исследования Карпатской аномалии электропроводности. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 4. С. 59—70.
- Савчак О. Геодинамічні та геохімічні аспекти нафтогазонагромадження західного нафтогазоносного регіону України. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2018. № 3-4. С. 5—20.
- Сапужак Я.С., Шамотко В.И., Кравченко А.П. *Геоэлектрические модели и методы исследования структур запада Украины*. Киев: Наук. думка, 1990, 188 с.
- Семенов В.Ю., Петрищев М.С. Влияние изменчивости внешних и внутренних источников магнитных полей на результаты индукционных зондирований. *Геодинаміка*. 2013. № 2. С. 326—328.
- Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій*. За заг. ред. К.Р. Третяка, В.Ю. Максимчука, Р.І. Кутаса. Львів: Львівська політехніка, 2015, 420 с.
- Тектоническая карта Украинских Карпат масштаба 1:200000. Ред. В.В. Глушко, С.С. Круглов. Киев: Изд. Мингео УССР, 1986.
- Ширков Б.І., Перестюк О.В., Кушнір А.М. Геоелектричне дослідження Белгород-Сумського мегаблока північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Геофіз. журн.* 2015. Т. 37. № 5. С. 176—182.
- Шуман В.Н., Савин М.Г. *Математические модели геоэлектрики*. Киев: Наук. думка, 2011. 240 с.
- Anikeyev, S., & Maksymchuk, V. (2025). Density model of the Earth's crust in the joint zone of the Outer Carpathians and the East European Craton along the Cisna—Khyriv—Rava-Ruska—Velyki Mosty line. *Geodynamics*, 1(38), 57—70. <https://doi.org/10.23939/jgd2025.01.057>.
- Berdichevsky, M.N., & Dmitriev, V.I. (2008). *Models and methods of magnetotellurics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 563 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77814-1>.
- Kushnir, A.M., & Stolpakov, A.Y. (2025). Modern geoelectric surveys along the Mali Heivtsi—Tiachiv profile of the Transcarpathian Trough. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 033—041. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-2/033>.
- Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., Slonitskaya, S.G., & Tregubenko, V.I. (2019). Complex geophysical model of the Earth's crust and upper mantle along the profile of RP-VI (Carpathians). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(3), 96—119. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172429>.
- Murovska, A., Hnylko, O., Makarenko, I., Savchenko, O., Kitchka, A., Verpakhovska, O., & Legostaeva, O. (2025). Review and updates of the lithosphere structure and geodynamics evolution of the Neogene Transcarpathian Basin and its substratum (Ukraine). In G.C. Tari, A. Kitchka, C. Krézsek, D. Lučić, M. Markič, D. Radivojević, R.F. Sachsenhofer, M. Šujan (Eds.), *The Miocene Extensional Pannonian Superbasin, Volume 1: Regional Geology*. Geol. Soc., London, Spec. Publ. <https://doi.org/10.1144/SP554-2024-19>.
- Semenov, V.Yu. (1998). *Regional Conductivity Structures of the Earth's Mantle*. Publ. of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, 122 p.
- Varentsov, I.M. (2007). Arrays of simultaneous electromagnetic soundings: design, data processing and analysis. *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 40, 259—273. [https://doi.org/10.1016/S0076-6895\(06\)40010-X](https://doi.org/10.1016/S0076-6895(06)40010-X).
- Zhdanov, M.S., Golubev, N.G., Varentsov, I.M., Abramova, L.M., Shneer, V.S., Berdichevsky, M.N.,

Zhdanova, O.N., Gordienko, V.V., Bilinsky, A.I., & Kulik, S.N. (1986). 2D model fitting of a geo-

magnetic anomaly in the Soviet Carpathians. *Annales Geophysicae*, 4B(3), 335—342.

Geoelectric research of the Precarpathian oil and gas region along the Bylychi-Hlyboka profile

A.Yu. Stolpakov, A.M. Kushnir, V.A. Ilienکو, 2025

S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article presents the results of magnetotelluric sounding and magnetovariational profiling studies carried out in 2024 within the Precarpathian Trough to investigate the deep structure of the lithosphere searching for electrical conductivity anomalies that may be caused by the penetration of fluids from the crust and mantle into the upper layers of the geological section and may serve as an important source for all subsequent processes of oil and gas field formation. Synchronous modern magnetotelluric surveys were performed along the Bylychi—Hlyboka profile at fourteen observation sites, providing a space-time pattern of the distribution of geomagnetic variations and the electric field on the Earth's surface. The experimental data were processed using the PRC_MTMV software package, and the response functions—tippers for geomagnetic variation periods ranging from 30 to 3400 s — and the curves of apparent resistivity (amplitude values and impedance phases) for periods ranging from 10 to 10000 s were analyzed. According to the results of the joint analysis of MT sounding and magnetovariational profiling data, the profile is divided into two parts. In the northern part the upper boundary of the conductor lies at depths of 20—50 km. It is located within the area of concentration of oil and gas fields of the Boryslav—Pokutskyi district and modern seismic activity. This northern part may represent a continuation of the sublatitudinal asthenospheric conductor identified in previous studies. The southern part is characterized by the presence of conductors at depths of about 20 km. The new geoelectric parameters described in the paper will be further used in constructing a three-dimensional model of the geologically complex Carpathian region.

Key words: Precarpathian trough, magnetotelluric sounding, magnetovariation profiling, electrical conductivity anomalies, hydrocarbons.

References

- Galets'kyi, L.S. (Ed.). (2001). *Atlas «Geology and Mineral Resources of Ukraine»*. Kyiv: Geos-XXI century, 168 p. (in Ukrainian).
- Burakhovych, T.K. (2004). Quasi-three-dimensional geoelectric model of the Carpathian region. *Geofizicheskii Zhurnal*, 26(4), 63—74 (in Russian).
- Burakhovych, T.K., Ilienکو, V.A., Kushnir, A.M., Stolpakov, A.Yu., Tonkovyd, E.M., & Bondar, A.M. (2025). The asthenosphere of Ukraine according to geoelectric studies. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2). <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322502> (in Ukrainian).
- Burakhovych, T.K., & Kulik, S.N. (2009). Three-dimensional geoelectric model of the earth's crust and upper mantle of the western part of the Ukrainian Shield and its slopes. *Geofizicheskii Zhurnal*, 31(1), 88—99 (in Russian).
- Burakhovych, T.K., Kushnir, A.M., & Ilienکو, V.A. (2022). Modern geoelectromagnetic researches of the Ukrainian Carpathians. *Geofizicheskii Zhurnal*, 44(3), 21—43. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261966> (in Ukrainian).
- Burakhovych, T.K., & Makarenko, I.B. (2025). Questions regarding the interpretation of the complex lithosphere model along the

- RomUkrSeis profile. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(4), 38—60. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.327379> (in Ukrainian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., & Usenko, O.V. (2011). *Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes)*. Kyiv, Logos, 129 p. (in Russian).
- Dolenko, H.N. (1990). *Geology and geochemistry of oil and gas*. Kiev: Naukova Dumka, 254 p. (in Russian).
- Zayats, Kh. (2013). *Deep structure of the subsoil of the Western region of Ukraine based on seismic research and directions of exploration work for oil and gas*. Lviv: Ukrainian State Geological Exploration Institute, 136 p. (in Ukrainian).
- Zayats, Kh. (2015). Linear bands of localization oil and gas perspective objects within Bilche-Volytsia foothills of the Ukrainian Carpathians. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, (29), 12—17 (in Ukrainian).
- Kolodii, V.V., Boiko, H.Iu., Boychevska, L.T., Bratus, M.D., & Velychko, N.S. (2004). *Carpathian oil and gas province*. Lviv: Ukrainian Publishing Center LLC, 388 p. (in Ukrainian).
- Krupskiy, Y.Z. (2018). Problems of geological structure and perspectives of hydrocarbons prospecting in the western oil- and gas-bearing region of Ukraine. *Geological Journal*, (2), 5—13. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.2.133390> (in Ukrainian).
- Kutas, R.I. (2021). Deep degasation and oil-and-gas containment of the Eastern (Ukrainian) Carpathians: geodynamic and geothermal aspects. *Geofizicheskii Zhurnal*, 43(6), 23—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551> (in Ukrainian).
- Kutas, R.I. (2014). Thermal flow and geothermic models of the earth's crust of the Ukrainian Carpathians. *Geofizicheskii Zhurnal*, 36(6), 3—27. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111016> (in Russian).
- Leskiv, I.V. (2020). The nearest prospect of iodine production in Ukraine. *Mineral Resources of Ukraine*, (4), 18—21. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.18-21> (in Ukrainian).
- Loktev, A.A., Loktev, A.V., & Gritsanchuk, A.V. (2023). Prospects for increasing fluid production from sandy-clayey strata within the Precarpathian and Transcarpathian depressions. *Exploration and development of oil and gas fields*, (3), 79—88. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-3\(88\)-79-88](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-3(88)-79-88) (in Ukrainian).
- Lukin, A.Yu. (2014). Hydrocarbon potential at great depths and prospects for its development in Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (5), 31—36 (in Russian).
- Lukin, O.Yu., Kryzhanivskiy, Ye.I., & Heyets, V.M. (2019). On the prospects for increasing oil and gas production in Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (1), 38—54. <https://doi.org/10.15407/visn2019.01.038> (in Ukrainian).
- Medvid, H., Teleguz, O., Harasymchuk, V., Kost, M., & Kalmuk, S. (2021). Prospects for oil and gas presence of lower sarmatian deposits in the north-western part of the outer zone of the Carpathian foredeep (by hydrogeochemical and hydrodynamic indicators). *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, (3-4), 16—32. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.016> (in Ukrainian).
- Monchak, L.S., Anikeiev, S.H., Zhuchenko, H.O., Zderka, T.V., Monchak, Yu.L., & Khomyn, V.R. (2019). Regarding the real prospects for discovering new deposits and increasing oil and gas production in western Ukraine. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, (2), 7—19. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-2\(71\)-7-19](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-2(71)-7-19) (in Ukrainian).
- Murovska, H.V. (2023). About the oil and gas potential of the Carpathian region of Ukraine. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (3), 52—59. <https://doi.org/10.15407/visn2023.03.052> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Bakarjjeva, M.I., & Marchenko, A.V. (2022). Magnetic characteristics and tectonic structure of the Earth's crust of the Carpathian oil and gas region as a component of complex hydrocarbon criteria. *Geofizicheskii Zhurnal*, 44(5), 77—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328> (in Ukrainian).
- Starostenko, V.I., & Gintov, O.B. (Eds.). (2018). *Essays on Geodynamics of Ukraine*. Kiev: BI EN EY, 465 p. (in Russian).
- Rokityansky, I.I., & Ingerov, A.I. (1999). Electromagnetic studies of the Carpathian electrical

- conductivity anomaly. *Geofizicheskii Zhurnal*, 21(4), 59—70 (in Russian).
- Savchak, O. (2018). Geodynamic and geochemical aspects of oil and gas accumulation of the western oil and gas region of Ukraine. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, (3-4), 5—20 (in Ukrainian).
- Sapuzhak, Ya.S., Shamotko, V.I., & Kravchenko, A.P. (1990). *Geoelectric models and methods for studying structures of the western Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 188 p. (in Russian).
- Semenov, V.Yu., & Petrishchev, M.S. (2013). Influence of variability of external and internal sources of magnetic fields on the results of induction soundings. *Geodynamics*, (2), 326—328 (in Russian).
- Tretyak, K.R., Maksymchuk, V.Yu., & Kutas, R.I. (Eds.). (2015). *Recent geodynamics and geophysical fields of the Carpathians and adjacent territories*. Lviv: Lviv Polytechnic, 420 p. (in Ukrainian).
- Glushko, V.V., & Kruglov, S.S. (Eds.). (1986). *Tectonic map of the Ukrainian Carpathians, scale 1:200 000*. Kyiv: Publication of the Ministry of Geology of the Ukrainian SSR (in Russian).
- Shirkov, B.I., Perestyuk, O.V. & Kushnir, A.M. (2015). Geoelectrical study of the Belgorod-Sumy megablock of the northern side of the Dnieper-Donetsk depression. *Geofizicheskii Zhurnal*, 37(5), 176—182 (in Ukrainian).
- Shuman, V.N., & Savin, M.G. (2011). *Mathematical models of geoelectrics*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Anikeyev, S., & Maksymchuk, V. (2025). Density model of the Earth's crust in the joint zone of the Outer Carpathians and the East European Craton along the Cisna—Khyriv—Rava-Ruska—Velyki Mosty line. *Geodynamics*, 1(38), 57—70. <https://doi.org/10.23939/jgd2025.01.057>.
- Berdichevsky, M.N., & Dmitriev, V.I. (2008). *Models and methods of magnetotellurics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 563 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77814-1>.
- Kushnir, A.M., & Stolpakov, A.Y. (2025). Modern geoelectric surveys along the Mali Heivtsi—Tiachiv profile of the Transcarpathian Trough. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 033—041. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-2/033>.
- Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., Slonitskaya, S.G., & Tregubenko, V.I. (2019). Complex geophysical model of the Earth's crust and upper mantle along the profile of RP-VI (Carpathians). *Geofizicheskii Zhurnal*, 41(3), 96—119. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172429>.
- Murovska, A., Hnylko, O., Makarenko, I., Savchenko, O., Kitchka, A., Verpakhovska, O., & Legostaeva, O. (2025). Review and updates of the lithosphere structure and geodynamics evolution of the Neogene Transcarpathian Basin and its substratum (Ukraine). In G.C. Tari, A. Kitchka, C. Krézsek, D. Lučić, M. Markić, D. Radivojević, R.F. Sachsenhofer, M. Šujan (Eds.), *The Miocene Extensional Pannonian Superbasin, Volume 1: Regional Geology*. Geol. Soc., London, Spec. Publ. <https://doi.org/10.1144/SP554-2024-19>.
- Semenov, V.Yu. (1998). *Regional Conductivity Structures of the Earth's Mantle*. Publ. of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, 122 p.
- Varentsov, I.M. (2007). Arrays of simultaneous electromagnetic soundings: design, data processing and analysis. *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 40, 259—273. [https://doi.org/10.1016/S0076-6895\(06\)40010-X](https://doi.org/10.1016/S0076-6895(06)40010-X).
- Zhdanov, M.S., Golubev, N.G., Varentsov, I.M., Abramova, L.M., Shneer, V.S., Berdichevsky, M.N., Zhdanova, O.N., Gordienko, V.V., Bilinsky, A.I., & Kulik, S.N. (1986). 2D model fitting of a geomagnetic anomaly in the Soviet Carpathians. *Annales Geophysicae*, 4B(3), 335—342.