

Геоелектричні неоднорідності літосфери Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецької западини вздовж профілю GEORIFT 2013

Т.К. Бурахович, А.М. Кушнір, 2024

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 28 лютого 2024 р.

Вперше для Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецької западини проведено геолого-геоелектричну інтерпретацію синтетичної моделі розподілу питомого електричного опору у літосфері вздовж профілю GEORIFT 2013 на території України. На підставі узагальнення інтерпретаційних параметрів різного ступеня від одновимірної інверсії до дво- і тривимірних моделей, які ґрунтуються на експериментальних спостереженнях природнього низькочастотного електромагнітного поля Землі, виявлено геоелектричні неоднорідності земної кори і верхньої мантії. Встановлено зв'язок аномалій електропровідності зі структурними особливостями, які виявлено за даними ГСЗ уздовж профілю. Розглянуто природу аномальної електропровідності на основі комплексного аналізу геолого-геофізичних даних і сформульовано геоелектричні критерії для виділення перспективних ділянок покладів вуглеводнів.

Унікальному розподілу питомого опору за глибиною відповідає субвертикальна зона контакту швидкостей поширення поздовжніх хвиль, яка проявилася у перериванні слідування границь, проінтерпретованих відповідно до заломлених та/або відбитих Р-хвиль. Це зона, якій відповідає складний вузол тектонічних структур, — трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ, глибинні Кіровоградська та Переяслав-Хмельницько-Прилуцька зони розломів. Збігу за глибиною аномального розподілу електропровідності з зонами низьких швидкостей просторово відповідають такі тектонічні порушення (із заходу на схід): Західний Криворізько-Кременчуцький насув, Криворізько-Крупецький та Криворізько-Кременчуцький глибинні зони розломів.

За спільної інтерпретації даних сейсмічних та електромагнітних зондувань частіше застосовується саме структурний підхід, що збільшує інформативність глибинних досліджень. Показано, що зони високої електропровідності, які збігаються із зонами низьких швидкостей поширення сейсмічних хвиль спричинені тріщинуватістю та насиченістю порід глибинними флюїдами. Ці зони слід розглядати як шляхи міграції глибинних флюїдів у верхні горизонти земної кори, де вони стають важливим джерелом для всіх подальших процесів формування нафтогазових родовищ.

Ключові слова: геоелектромагнітні методи, зони низьких швидкостей, аномалії електропровідності, флюїдизація, вуглеводні.

Вступ. Спільна інтерпретація даних сейсмічних та електромагнітних зондувань збільшує інформативність глибинних досліджень, а також є надійним інструментом підвищення якості одержаних резуль-

татів. Остання пов'язана з різною чутливістю до параметрів розрізу при регіональних дослідженнях земної кори. Порівняно з магнітотелуричним (МТ) зондуванням (МТЗ), що базується на вивченні індукції

Citation: *Burakhovych, T.K., & Kushnir, A.M. (2024). Geoelectrical inhomogeneities of the lithosphere of the Pripyat-Dnieper-Donetsk basin along the GEORIFT 2013 profile. Geofizychnyi Zhurnal, 46(3), 32—49. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i3.299169>.*

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

зовнішнього змінного низькочастотного іоносферно-магнітосферного електромагнітного поля Землі, сейсморозвідка має більш високу роздільну здатність, проте при цьому однією з її головних проблем є дуже нерівномірний розподіл чутливості, наприклад, проблема «інверсного шару». Водночас магнітотелурика чутлива до провідних структур, з якими зазвичай часто пов'язані низькошвидкісні аномалії. Спільна інтерпретація значно звужує сферу еквівалентності прийняття рішення. На сьогодні немає закінченої фізичної теорії, що пов'язує питому електричну провідність і пружні параметри геологічного середовища, тому частіше застосовують структурний підхід.

Так, відомо, що у континентальній літосфері сейсмічними дослідженнями виявлено зони знижених швидкостей (хвилеводи) і регіональні сейсмічні границі, представлені розшарованими зонами з чергуванням підвищених та знижених швидкостей. Сейсмічні уявлення про флюїдні процеси асоціюються з розшаруванням швидкісного середовища. Сліди проходження глибинних і надглибинних флюїдів визначаються процесами щільнісної диференціації та характеризуються пошаровою інверсією високих та низьких швидкостей. Геоелектромагнітні дослідження показали, що такі зони характеризуються підвищеною електропровідністю, яка може бути також спричинена високою пористістю та флюїдонасиченістю. Найчастіше такі шари зустрічаються на глибині 10–20 км та у верхній мантії на глибині близько 100 км. Тому комплексні електромагнітні дослідження поряд із сейсмічними є ефективним інструментом для вивчення глибинної будови літосфери.

Саме такий підхід дав змогу виявити, що для земної кори континентів притаманна блокова структура. Прийнята зараз аксіоматика геофізичного середовища припускає відкритість, нерівноважність, дисипативність та блокову ієрархічність надр Землі. Головні блоки зазвичай оконтурюють глибинні розломи, які представлені тріщинуватими зонами високої про-

никності і, як наслідок, виділяються і в аномальній електропровідності. До виявлених розломних зон часто приурочені прояви геодинамічних процесів, що мають бути досліджені з погляду формування та розміщення родовищ і рудопроявів корисних копалин, зокрема і горючих.

Багато вчених погоджуються з тим, що такі утворення за своїм характером глибинні та викликані флюїдними процесами і дегазацією земних надр. Остання нерозривно пов'язана з вертикальними і субвертикальними зонами руйнування гірських порід, які проявляються як зони ослаблення, розуцільнення, концентрації напружень і тріщинуватості. Вони мають особливі, найчастіше досить контрастні геофізичні властивості. Очевидно, різна геофізична будова виділених блоків свідчить про різні історії розвитку і насамперед про їх температурний і флюїдний режими. Ці відомості є важливими для визначення нафтогазоперспективності території.

Мета статті полягає у виявленні геоелектричних неоднорідностей земної кори і верхньої мантії Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецької западини на території України на основі узагальнення інтерпретаційних параметрів різного ступеня відновимірної інверсії до дво- та тривимірних моделей розподілу питомого електричного опору (ρ), які отримано за експериментальними даними МТЗ і магнітоваріаційного (МВ) профілювання (МВП); встановлення зв'язку аномалій високої електропровідності (АЕ) зі структурними особливостями, які виявлено за даними ГСЗ вздовж профілю GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018]; пояснення природи АЕ на основі комплексного аналізу геолого-геоелектричних даних та їх вивчення як одного з факторів прояву геодинамічних процесів для пошуку перспективних на корисні копалини структур.

Геоелектромагнітні дослідження вздовж профілю GEORIFT 2013. Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецька западина це насамперед структура з поверхневими горизонтами, що характеризуються висо-

кою електропровідністю і суттєвою латеральною неоднорідністю.

Основні зусилля дослідників Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) були зосереджені на описі електричних властивостей осадових товщ для вирішення гідрогеологічних завдань, пошуків нафтогазоносних пасток тощо. Тому переважну кількість численних МТЗ зроблено виробничими організаціями МінГео УРСР під керівництвом А.І. Інгерова та В.І. Трегубенка. Ці результати представлені у вигляді кривих МТЗ (позірного питомого електричного опору ($\rho_{\text{п}}$) і фаз (ϕ) імпедансу) в діапазоні періодів (T) від 1—20 до 900—1000 с (в окремих пунктах до 4000—8000 с). Крім того, у центральній частині ДДЗ є профільні дані аудіомагнітотелуричних зондувань (АМТЗ), виконаних у 1997—2000 рр. Інститутом УкрНІМІ НАН України [Белявский и др., 2001]. У результаті цих робіт було побудовано карту сумарної поздовжньої провідності осадової товщі ($S_{\text{ос}}$) масштабу 1:500000. По-перше, показано, що осадовий шар різний за потужністю та властивостями (у ДДЗ до 3—10 км відносно мало змінених теригенних порід), по-друге, виділено блоки високого опору, приурочені до соляних куполів, антиклінальних складок тощо. Загалом ДДЗ характеризується значною потужністю осадової товщі та великими значеннями $S_{\text{ос}}$ понад 2000 См.

За результатами експериментальних МТЗ, проведених у 1993 р. співробітниками Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, та даних МВП, опублікованих Н.В. Липською з різними співавторами (значно раніше в 1971—1972 рр.), побудовано 2D геоелектричну модель Прип'ятського прогину (ПП) [Бурахович и др., 1996]. У районі аномалії ПП і поза нею значення ρ осадових порід (від четвертинних до крейдяних) змінюються в широких межах від перших десятків до сотень Ом·м. Теригенно-карбонатні відклади від триасу до верхнього девону характеризуються значеннями ρ від 30 до 2 Ом·м згори донизу. У соленосних товщах верхнього девону ρ змінюється від 5—30 (теригенно-карбонатні прошарки) до кількох тисяч

Ом·м (пласти чистої кам'яної солі). Підсольові теригенно-карбонатні відклади характеризуються значеннями до 20 Ом·м.

У межах еквівалентності геоелектричних розрізів отримано принаймні два варіанти розподілу ρ у земній корі та верхній мантії, які задовольняють спостережені дані. Їх поєднує наявність електропровідного каналу — гальванічного зв'язку високопровідних осадових товщ з глибинною АЕ, який відповідає Речицькому регіональному розлому (рисунок, а) та обмежує на південному заході Речицько-Шатилківську зону ПП. Відмінність полягає у геометрії глибинного провідника: 1 — в інтервалі глибин (h) 30—100 км $\rho=20$ Ом·м, 2 — $h=20\div 30$ км, $\rho=5$ Ом·м та $h=50\div 100$ км, $\rho=20$ Ом·м.

Геоелектричні дослідження Брагінсько-Лосєвського виступу і Чернігівського блока ДДЗ виконано для вивчення глибинної будови літосфери вздовж профілю GEORIFT 2013 [Кушнір, Бурахович, 2016]. Надійно отримано за допомогою програм PRC_MTMV та PTS оцінки типперів для T геомагнітних варіацій від 20 до 4000 с, горизонтальних МВ відгуків від 20 до 10000 с, криві $\rho_{\text{п}}$ і ϕ в діапазоні T від 1—10 до 11000—55000 с. Результати якісної інтерпретації свідчать про наявність декількох АЕ, що відповідають як глибинним об'єктам (наприклад, східному закінченню Прип'ятської АЕ), так і неглибоким у верхній частині фундаменту (3—5 км), витягнутим уздовж осі Чернігівського блока і близько 8 км на його південному борту.

За результатами 3D моделювання [Бурахович, Кулик, 2007] глибинна будова району, де Кіровоградська АЕ перетинає ДДЗ, характеризується складною геометрією геоелектричних неоднорідностей у земній корі: локальною ($h=10\div 25$ км, $\rho\leq 30$ Ом·м) і регіональною ($h=25\div 31$ км, $\rho=5$ Ом·м). Це підтверджується новими експериментальними МТ/МВ спостереженнями [Кушнір та ін., 2018]: крім присутності поверхневого провідника, який простягається з північного заходу на південний схід та пов'язаний з поверхневою провідністю осадової товщі, просторово деталізована

неоднорідність, що передбачається в глибинних горизонтах з верхньою кромкою на 20—30 км у середній частині профілю Несено-Іржавець—Абрамівка і відповідає вищезазначеній АЕ.

Аналіз теоретичних і експериментальних даних індукційних параметрів, отриманих при розрахунках 3D моделі Кіровоградської АЕ на $T=2000$ с [Бурахович, Кулик, 2007], показав, що на глибині 50—160 км у верхах мантії спостерігається зниження ρ до 20 Ом·м. Це підтверджує результати сейсмотомографії, які свідчать про неоднорідний розподіл поздовжніх сейсмічних хвиль [Цветкова та ін., 2020а, б]. Зменшення їх швидкості на глибині від 50 до 150 км притаманно об'єкту ізометричної форми з центром 50° пн.ш. і 33° сх.д.

Геоелектричний розріз за результатами формальної 1D інверсії експериментальних ГМТЗ [Ширков та ін., 2015] підтверджує існування зон підвищеної електропровідності на $h=20\div 70$ км, $\rho=50$ Ом·м та $h=90\div 150$ км, $\rho=20$ Ом·м та простежує корові та мантіїні неоднорідності Кіровоградської АЕ в північному борту ДДЗ.

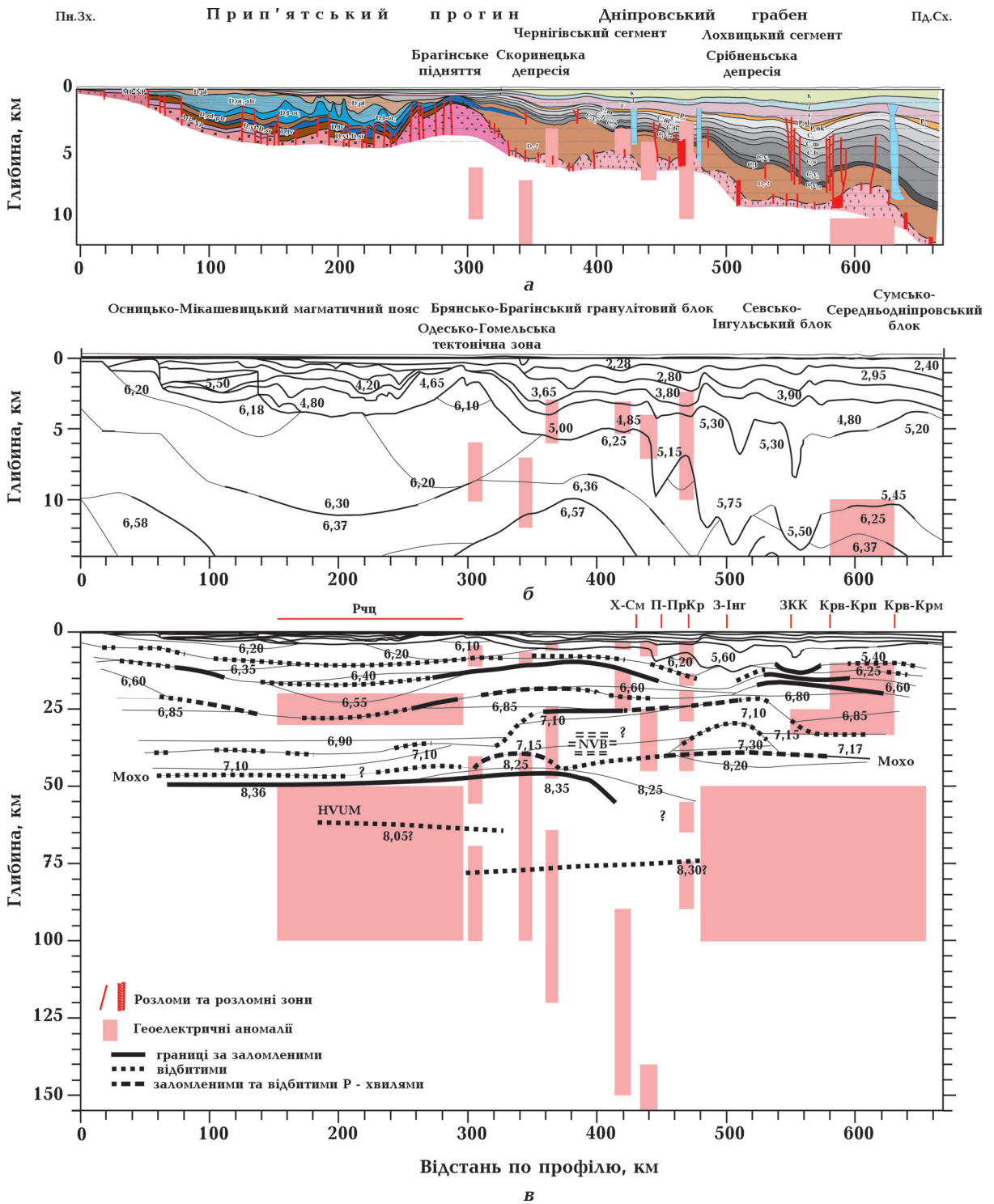
Треба зазначити, що найповніші огляди результатів геоелектричних досліджень у ДДЗ, методи обробки та інтерпретації, побудова різного рівня моделей літосфери та астеносфери, а також геологічне тлумачення розподілу ρ , особливо з погляду постійно зростаючих потреб у природній вуглеводневій (ВВ) сировині, наведено в монографіях [Белявский и др., 2001; Шеремет и др., 2016].

Синтетична геоелектрична модель вздовж профілю GEORIFT 2013. Синтетична геоелектрична модель (таблиця, рисунок) вздовж профілю GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018] може бути, поперше, порівняна та проаналізована (за наявністю експериментальних електромагнітних спостережень) на ділянці приблизно від 140 до 680 км, по-друге, сконструйована з трьох незалежних частин, які відрізняються ступенем інтерпретації експериментальних даних і відповідають різним геологічним структурам. Розглянемо східну частину Осницько-

Мікашевицького магматичного поясу, яку перекриває ПП (пікети 140—280 км), Брянсько-Брагінський гранулітовий блок (пікети 280—440 км), частиною якого є Брагінське підняття (пікети 280—350 км) та Одесько-Гомельська тектонічна зона, а також розташовані на архейських породах Севсько-Інгульський (пікети 440—600 км) і Сумсько-Середньодніпровський (пікети більші за 600 км) блоки.

Перша частина (155—300 км) відповідає 2D геоелектричній моделі ПП [Бурахович и др., 1996]. Завдяки моделі ГСЗ [Starostenko et al., 2018, fig. 6] можна визначитися з альтернативними геоелектричними моделями на користь другого варіанта. Так, АЕ в земній корі відповідає низькошвидкісній зоні з $V_p=6,55$ км/с на фоні оточуючих 6,85 та 6,9 км/с, крім того спостерігається загальне занурення майже всіх границь V_p . Аналогічна картина простежується в верхній мантії: локальна геоелектрична астеносфера збігається із зоною низьких $V_p=8,05$ км/с на фоні 8,36 км/с на глибинах понад 50 км. Таким чином, на тлі загального зростання швидкостей поширення сейсмічних хвиль з глибиною виявлено кілька зон зі зниженими значеннями V_p , яким відповідають АЕ в земній корі та верхній мантії (рисунок, в).

Як відомо, природа АЕ зумовлена взаємодією різноманітних геолого-геофізичних факторів. Найбільш значущими серед них є температура, наявність електропровідних мінералів і флюїдів. Тому треба додати, що на території ПП за детальними дослідженнями теплового потоку виявлено аномалію, яка у його північній частині досягає максимального значення 85—95 мВт/м² [Гордиенко, 1994]. Крім того, у монографії [Геозлектрическая ..., 1998] на стор. 222 обговорюється тектонічна активність, яка притаманна Речицькому глибинному розлому: «...його вертикальна амплітуда в осадових відкладах досягає 2500 м. У прилеглому до Речицького розлому районі, поверхня кристалічного фундаменту найбільш піднесена (абсолютні позначки — 2800—3600 м) і занурюється на північ до 4400—5600 м. На всьому його простяганні



Синтетична геоелектрична модель земної кори та верхньої мантії вздовж профілю GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018]: а — геологічний розріз через Прип'ятський прогин і Дніпровський грабен; швидкісна модель сейсмічних Р-хвиль верхньої частини земної кори (б) і земної кори та верхньої частини верхньої мантії (в). Цифри на моделі — значення V_p у км/с. Параметри геоелектричних аномалій надано у таблиці. Скорочення назв тектонічних порушень: Рчц — Речицький регіональний розлом, Х-См — трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ, П-Пр — Переяслав-Хмельницько-Прилуцький розлом, Кр — Кіровоградський розлом, З-Інг — Західноінгулецький розлом, ЗКК — Західний Криворізько-Кременчуцький насув, Крв-Крп — Криворізько-Крупецький розлом, Крв-Крм — Криворізько-Кременчуцький розлом, NVB — високошвидкісне тіло, HVUM — високошвидкісна верхня мантія.

спостерігається аномалія ізотопного співвідношення $^3\text{He}/^4\text{He}$ у пігсольових відкладах. Якщо для ДДЗ і Прип'ятського прогину фонове значення оцінюється в $3 \cdot 10^{-8}$, то тут ця величина змінюється від $7,8 \cdot 10^{-8}$ до $22,0 \cdot 10^{-8}$. Абсолютна величина дифузії мантийного гелію настільки мала, що основним механізмом його міграції можна вважати перенесення мінералізованими флюїдами, які зазвичай характеризуються підвищеною електропровідністю». Отже, аномалії електропровідності ПП ймовірно пов'язані із зонами можливого часткового плавлення у земній корі та верхній мантиї, тому висунуто припущення саме про її флюїдний механізм.

З цим висновком погоджуються автори статті [Егорова, Муровская, 2020], де проаналізовано глибинну будову ПП та його унікальне тектонічне положення в зоні зчленування Сарматії та Феноскандії, наведено критерії, які дозволяють розглядати ПП як можливий канал мантийної дегазації та приуроченість до нього родовищ ВВ.

Друга частина (300—480 км) розглянута із застосуванням одновимірної (1D) інверсії геоелектричних даних (з використанням трансформацій Шмукера та Ніблетта), які залишаються найдоступнішим способом первинної оцінки геоелектричних параметрів середовища. Якщо якісна інтерпретація МВП та ГМТЗ [Кушнір, Бурахович, 2016] дає змогу отримати інформацію про геоелектричні параметри неглибоких АЕ в осадовій товщі та верхній частині фундаменту, то за 1D інверсією кривих ГМТЗ можна припустити наявність геоелектричних неоднорідностей в земній корі та верхній мантиї (див. таблицю).

Інтерполюючи локальні низькоомні зони за глибиною, спостерігаємо, як вони

шикуються у наступні геоелектричні неоднорідності.

Приповерхневі. У межах Одесько-Гомельської тектонічної зони (пікети профілю 300—350 км) у верхній частині консолідованої земної кори Брагінського гранулітового масиву АЕ ($h=6 \div 12$ км, $\rho=30 \div 50$ Ом·м) частково проявилася у відносно низькошвидкісній зоні з $V_p=6,10 \div 6,20$ км/с на фоні оточуючих $6,30—6,57$ км/с. Її верхня кромка імітує занурення фундаменту від Брагінського підняття до Скоринецької депресії, проте сама АЕ, ймовірно, зникає після закінчення розповсюдження нижнього сольового шару верхнього девону в межах цієї депресії (див. рисунок).

Далі на схід локальні АЕ (h від 3 до 5—10 км, $\rho=10$ Ом·м) на пікетах профілю 365, 415, 440 та 470 км знайдено переважно в породах потужного (до 3 км) нерозділеного верхнього девону та верхній частині кристалічного фундаменту ДДЗ. Швидше за все, вони відповідають розломам і зонам розломів, наприклад, таким як Переяслав-Хмельницько-Прилуцький, Кіровоградський та ін. [Єнтін, 2005; Тектоника ..., 2015].

Глибинні. У межах Брянсько-Брагінської гранулітової області у земній корі можна припустити складну за формою або кілька локальних АЕ (конкретизувати це можна виключно після подальшої інтерпретації з використанням програмного комплексу 3D моделювання). При 1D інверсії кривих ГМТЗ із заходу на схід спостерігається (див. рисунок, б, в):

– спочатку значний підйом верхньої кромки майже з глибини поверхні Мохо 40 км (пікет 305 км) до 14 км (пікет 420 км), проте потім різке занурення до 25 км (пікет 440 км);

Synthetic geoelectrical model of the Earth's crust and upper mantle along the GEORIFT 2013 profile [Starostenko et al., 2018]: *a* — geological cross-section through the Pripyat Trough and the Dnieper Graben; velocity model of seismic P-waves of the upper part of the Earth's crust (*b*) and the Earth's crust and the upper part of the upper mantle (*v*). The numbers on the model are V_p values in km/s. The parameters of the geoelectric anomaly are given in the table. Abbreviations of the names of tectonic faults: Рчц — Rechitsky regional fault, X-См — Kherson-Smolensk transregional tectonic seam, П-Пр — Pereyaslav-Khmelnysko-Prylutsky fault, Кр — Kirovohrad fault, З-Інг — Zahidno-Inguletsky fault, ЗКК — Western Kryvorizko-Kremenchutsky thrust, Крв-Крп — Kryvorizko-Krupetsky fault, Крв-Крм — Kryvorizko-Kremenchutsky fault, NVB — high-velocity body, HVUM — high-velocity upper mantle.

Параметри геоелектричних аномалій

Ступінь інтерпретації експериментальних даних																					
2D		1D										3D									
Прип'ятська аномалія електро-провідності [Бурахович и др., 1996]		Пункти спостереження [Кушнір, Бурахович, 2016]										Кіровоградська аномалія електропровідності [Бурахович, Кулик, 2007]									
		BRZ N: 51°41' E: 30°42'	PLO N: 51°32' E: 30°54'	YAG N: 51°20' E: 31°16'	LIH N: 51°07' E: 31°31'	DAN N: 50°53' E: 31°49'	PEL N: 50°44' E: 32°16'	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м			h, км	ρ_1 , Ом·м						
155—300		305	345	365	415	440	470	580—630	550—630	480—660											
h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м	h, км	ρ_1 , Ом·м								
—	—	6—10	50	7—12	30	3—5	10	4—7	10	2,5—5 5,5—10	2	—	—	—	—						
Інтервал глибин до 10 км																					
—	—	—	—	7—12	30	—	—	14—25	45	—	—	14—18	40	10—20	20	—	—	—			
10—20 км																					
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
20—30 км																					
20—30	5	—	—	—	—	23—48	35	14—25	45	25—45	60	20—30	35	—	—	20—25 25—31	30	5	—	—	
30—40 км																					
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25—45	60	35—45	50	—	—	—	—	—	—	—	—
40—50 км																					
—	—	40—60	20	38—100	180	23—48	35	—	—	25—45	60	35—45	50	—	—	—	—	—	—	—	—
50—60 км																					
50—100	20	40—60	20	38—100	180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50—100	20	
60—80 км																					
50—100	20	70—100	350	38—100	180	65—120	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50—100	20	
80—100 км																					
50—100	20	70—100	350	38—100	180	65—120	60	90—150	160	—	—	75—90	40	—	—	—	—	—	50—100	20	
понад 100 км																					
—	—	—	—	—	—	65—120	60	90—150	160	140—300	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

– варіювання потужності електропровідного шару або локальних неоднорідностей від 20—25 км до 10 км і знову 20 км;

– тільки на ділянці 300—380 км збіг верхньої кромки з основною сейсмічною границею, проінтерпретованою відповідно до відбитих P -хвиль, загальне оконтурення/обхід високошвидкісного тіла на глибинах від 25 до 40 км (пікети 370—440 км) і проявлення у піднесеній частині АЕ ($h=14\div 25$ км, $\rho=45$ Ом·м на пікеті 420 км) відносно низькошвидкісної зони з $V_p=6,60$ км/с на фоні оточуючих 6,85—7,10 км/с.

Треба зазначити, що при припущенні у земній корі єдиної структури АЕ в цілому не спостерігається відповідності основним сейсмічним границям та низькошвидкісним зонам, крім обтікання телуричними струмами високошвидкісного тіла, проте локальні неоднорідності майже всі (глибиною верхньої кромки та потужністю) збігаються з окремими ділянками границь, проінтерпретованих відповідно до заломлених та/або відбитих P -хвиль.

Просторово аномальні геоелектричні неоднорідності як в осадовому шарі, так і в нижній земній корі, наприклад на пікеті 440 км, відповідають границі між Брянсько-Брагінським гранулітовим та Севсько-Інгульським блоками, яка проходить за зоною розломів Переяслав-Хмельницько-Прилуцький та поділяє Чернігівський і Лохвицький сегменти ДДЗ.

У верхній частині верхньої мантії геоелектричні неоднорідності проявилися на глибині 65—70 км (пікети 300—370 км), які на схід від профілю (пікети 380—420 км) занурюються до 140 км (див. рисунок, в). Їх потужності також збільшуються від 30 до 160 км, при цьому значення ρ коливаються з великим розкидом від 40 до 350 Ом·м. Загальне занурення частково збігається з поглибленням від 60 до 80 км основної сейсмічної границі, проінтерпретованої відповідно до відбитих P -хвиль. Границя за заломленими сейсмічними хвилями розділяє (на пікетах 420—440 км) верхню підкорову мантію на відносно високошвидкісну ($V_p=8,35$ км/с) на заході та низькошвидкісну ($V_p=8,25$ км/с) на сході.

Звернемо увагу, що максимальна аномальна електропровідність (від 400 до понад 2000 См) також спостерігається на пікетах 420—440 км і, ймовірно, відповідає перетину профілем глибинної зони трансрегіонального тектонічного шва Херсон—Смоленськ [Пашкевич, Русаков, 2021]. Його чітко простежено в гравітаційному та магнітному полях і розподілі густини на всіх поверхах земної кори [Тектоника ..., 2015]. За результатами сейсмотомографії шов знаходиться у крайовій частині області розтікання Волино-Оршанського плюму [Цветкова и др., 2020а,б] і відображається у поведінці Головної геодинамічної границі мантії Українського щита, що свідчить про її різну активність з обох боків. До того ж його розглядають як колізійну структуру зчленування західної та східної мікроплит з різною історією розвитку ще до останнього поділу Українського щита на відомі мегаблоки [Гинтов, Мычак, 2011]. Як стверджується в статті [Пашкевич, Русаков, 2021], аналіз неоднорідностей консолідованої кори та мантії дав змогу досить обґрунтовано охарактеризувати трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ як потужний мантійний довгоживучий (від раннього протерозою до пізньої крейди) магматичний та флюїдопідвідний канал, з яким безпосередньо пов'язані рудопрояви та сучасна дегазація ВВ.

Важко з'ясувати, що відбувається східніше пікету 440 км без застосування подальшої інтерпретації з використанням 3D моделювання електромагнітних полів. Тобто чи гальванічно пов'язані субгоризонтальні неоднорідності на одних і тих самих глибинах вздовж частини профілю на пікетах 300—470 км, чи на пікеті 470 км за результатом 1D інверсії кривих ГМТЗ проявилася відокремлена унікальна субвертикальна електропровідна структура по всій глибині від осадової товщі до верхньої мантії. Просторово вона може бути пов'язана з глибинною Кіровоградською зоною розломів, яку в статті [Єнтін, 2005] розглянуто як глибинну мантійно-корову внутрішньоблокову в межах Східноєвро-

пейської платформи зону розломів 2-го рангу.

Відомо, що зони розломів ДДЗ, найбільш поширені в Лохвицькому сегменті [Тектоника ..., 2015], є надрегіональними, вони продовжуються на Український щит і Воронежський кристалічний масив, що доводить їх докембрійський вік, проте всі вони активні, тектонічні рухи по них відбуваються останні 3 млн років [Верховцев та ін., 2013].

Третя частина (480—660 км) може бути розглянута за північним фрагментом регіональної 3D моделі Кіровоградської АЕ [Бурахович, Кулик, 2007]. У межах ДДЗ вздовж профілю на пікетах 580—630 км у земній корі на глибинах від 10 до 25 км виявлено локальну АЕ, яка гальванічно пов'язана з вищезгаданою регіональною (пікети 550—630 км). Загалом АЕ просторово відповідає зоні зчленування Севсько-Інгульського та Сумсько-Середньодніпровського блоків (Лохвицький сегмент ДДЗ) і на заході починається з Західних Криворізько-Кременчуцьких насувів; локальна — Сулімовському підняттю, та затиснута між глибинними зонами розломів: Криворізько-Крупецьким на заході та Криворізько-Кременчуцьким (Глухівським) на сході (див. рисунок, а).

Корові АЕ збігаються із зонами низьких швидкостей. Локальна АЕ характеризується $V_p=6,25\div 6,60$ км/с на фоні оточуючих 6,8 км/с. В області поширення регіональної АЕ основна сейсмічна границя за відбитими Р-хвилями занурюється з 20 км до понад 30 км, і, таким чином, оконтурює АЕ, тобто зона відносно низьких $V_p=6,85$ км/с оточується $V_p=7,1\div 7,17$ км/с (див. рисунок, б, в).

Мантійна неоднорідність глибше за 50 км проявилася на пікетах 470—660 км, тут зона низьких швидкостей з $V_p=8,2$ км/с спостерігається на схід від Кіровоградської зони розломів, де V_p оточуючого середовища відносно глибини становить 8,25—8,3 км/с.

За аналізом 3D Р-швидкісної моделі мантії [Цветкова и др., 2020а,б] виділено субгоризонтальне поширення високошвидкісного шару перехідної зони верхньої мантії

з боку Чорного моря, яке досягає мантії під ДДЗ (Лохвицький, Ізюмський та Донбаський сегменти), та декілька глибинних інтервалів розшарування верхньої мантії та її перехідної зони. Один з них (50—250 км) частково відповідає астеносфері за геоелектричними даними. Плюмовим і надглибинним флюїдним процесам за даними статті [Цветкова та ін., 2022] повинні відповідати високий тепловий потік і значна гравітаційна аномалія, які підтверджуються дослідженнями [Тектоника ..., 2015].

Срібненьська депресія. Профіль GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018] перетинає Срібненьську депресію (пікети 500—550 км), яка вважається нафтогазоносною структурою, з родовищами, що розташовані переважно по її обрамленню. Геоелектричну модель окремих ділянок нафтогазоносної структури, наприклад Мехедовської площі, побудовано за комплексом електророзвідувальних робіт, в основі яких використовувався метод АМТЗ [Белявский и др., 2001, с. 202]. Аналіз розподілу ρ (до глибини понад 3 км) за 1D розрізами показав, що «характерними елементами областей дифузії або гіпергенних змін порід над родовищами є вертикальні та горизонтальні зони підвищених значень $\rho=30\div 50$ Ом·м при фонових значеннях для вмшуючої товщі 1—10 Ом·м, які розташовані на межах і за контуром нафтогазононості. Місцями ці області високого опору оконтурені зонами з низькими значеннями ρ , що обумовлені можливими гідротермальними процесами та піритизацією».

Експериментальні роботи методами АМТЗ та МТЗ вздовж лінії Полтава—Чернігів проведено за різноорієнтованими профілями «Георифт-1, -2, -3 та -4» [Шеремет и др., 2016, с. 35, 62 та 116]. Профіль «Георифт-1» проходить вздовж південного борту Срібненьської депресії. За результатами інтерпретації МТЗ на $h=10\div 35$ км виділяється АЕ під нафтовими родовищами і ланцюжком соляних куполів, де на глибині до 6 км за даними АМТЗ виділено три перспективні площі, які ототожнюються з нафтогазовими покладами.

Природа АЕ. Відомо, що ДДЗ характе-

ризується максимальними стратиграфічними, гіпсометричними та геохімічними діапазонами нафтогазоносності серед відомих провінцій світу. Промислові притоки отримано від перших сотень метрів до 6000 м у відкладах від докембрію до крейди. Великий також і часовий інтервал нафтогазоутворення та нафтогазонакопичення — від девону до неогену. Умови нафтогазонакопичення в колекторах контролюються як тектонічними, так і літоформаційними особливостями.

Вивчення цих факторів і хімізму родовищ ДДЗ дозволило припустити як основну причину формування родовищ нафти та газу гідрогеологічну інверсію глибинних флюїдів, зокрема і мантіїних [Лукин, 2014]. Показано [Лукин, 1997], що в подібних авлакогенах Східноєвропейської платформи, де відсутні прояви гідрогеологічної інверсії, значних родовищ ВВ не виявлено.

Таким чином, виділення зон впровадження флюїдів і підвищеної гідрогеологічної активності, які характеризуються аномальною електропровідністю, стає важливішою задачею електророзвідки. Іноді вони відображаються в сейсмічних даних як хвилеводи. Деякі дослідники вважають, що саме хвилеводи відіграють найважливішу роль в утворенні та міграції ВВ у земній корі та осадовому чохла стародавніх платформ. Передбачається, що під дією тектонічних сил хвилеводи періодично стискаються та розтискаються, це призводить до переміщень флюїдів та сприяє концентрації ВВ [Glasby, 2006; Höök et al., 2010]. Доведено, що горизонтальні зсуви фундаменту також контролюють широкий спектр структурно-тектонічних і флюїодинамічних парагенезів нафтогазоносних структур [Тимурзиев, 2016].

Природа зон аномальної електропровідності сьогодні є дискусійною. Численними експериментами встановлено, що більшість гірських порід у сухому вигляді практично не проводять електричний струм. Відомо, що низький опір мають лише електропровідні — самородні метали, сульфідні, графітні та іонопровідні —

водні розчини, глини, розплави гірських порід.

Поширення металів і сульфідів має порівняно локалізований характер. Найбільш поширеним електропровідним включенням є графіт. Відомі гіпотези як екзогенного утворення графіту, так і ендогенного (флюїдного). Графіт стійкий до температурних і хімічних впливів, а також до подальших геодинамічних процесів. Корові скупчення графітизованих порід зазвичай є крутозалягаючими групами аномально провідних блоків, що іноді виходять на поверхню кристалічних щитів або під їх осадовий чохол. За уявленнями Св.А. Сидоренка та А.В. Сидоренка (1975) існує гіпотеза, що природа АЕ у зв'язку з нафтогазоносністю може пояснюватись так званим «вуглеводневим диханням Землі» («газове дихання Землі» є терміном В.І. Вернадського), вона широко використовується у публікаціях [Тимурзиев, 2016; Шеремет и др., 2016]. Передбачається, що рідкі та газоподібні ВВ в осадовій товщі постачаються з кореневого провідника графітової природи, який залягає в кристалічному фундаменті. Його просторове положення збігається зі скупченнями нафти в осадовому чохла, що їх перекриває.

Як приклад можна навести унікальну Кіровоградську АЕ, що являє собою витягнуту з півдня на північ—північний схід структуру завдовжки майже 600 км, яка повністю перекриває Інгулецько-Криворізьку шовну зону і східну частину Інгульського мегаблока Українського щита. Вся ця глибинна структура в межах Інгулецько-Криворізької шовної зони, включаючи Криворізько-Кременчуцьку розломну зону, продовжується на північний схід у бік ДДЗ і далі на північ. У статті [Бурахович, Кулик, 1999] сформульовані уявлення про флюїдно-графітову природу АЕ. Флюїд сприяв збільшенню зв'язаності провідників, зокрема графітових вкраплень і графітових плівок на поверхні твердих фаз, через що зросла загальна електропровідність до рівня, за якого виникла Кіровоградська аномалія в геомагнітних варіаціях. Саме з Криворізько-Кременчуцькою розломною

зоною пов'язане просторове розташування графітоносних областей в породах фундаменту [Яценко, 1998] та однойменна, а також Кіровоградська й Західноінгулецька структурно-металогенічні зони [Атлас..., 2001; Щербаков, 2005; Ярошук, Мусич, 2016], які характеризуються цілим набором родовищ і проявів корисних копалин, одним із яких є графіт. Проведений в монографії [Гордиенко и др., 2005] аналіз розповсюдження зон графітизації на глибину не виключає, що фіксована у приповерхневому шарі графітизація триває (ймовірно з перервами за вертикаллю) і на значних глибинах до 34 км. Крім того, стверджується, що наведені тут дані дозволяють обґрунтовано пов'язувати природу Кіровоградської АЕ з графітизацією та флюїдизацією порід.

Згідно з результатами 3D геоелектричного моделювання саме на цих глибинах 10—30 км знайдено аномальні структури в надрах ДДЗ (пікети 560—630 км), які підтверджуються новими експериментальними МТ/МВ спостереженнями [Кушнір та ін., 2018]. За аналізом експериментальних даних МТЗ і МВП виділено аномальну область на глибині 20—30 км, де Кіровоградська АЕ перетинає південний борт (Лохвицький блок) та осьову (Полтавський блок) частину ДДЗ. Її існування підтвердило висновки, яких дійшли автори публікацій [Тектоника ..., 2015; Шеремет и др., 2016], про перспективність прогнозних нафтогазоносних площ, таких як Глидинцівська та Підгородська, і дало змогу їх деталізувати.

Розплави гірських порід не часто зустрічаються у континентальній земній корі через порівняно низькі температури. Високомінералізовані флюїди на глибині 7—10 км встановлені надглибокими свердловинами світу (Кольська, Саатлінська, Оберпфальцевська), у ксенолітах виявлені флюїдні мікрровключення [Усенко, 2014; Шестопалов и др., 2018], у глибинних розломах — варіації вмісту рідкісних елементів, які характерні для систем за участю флюїдної основи [Михайлов, 2002; Усенко, Усенко, 2020; Наумко, 2020].

Насичені флюїдами провідні шари мо-

жуть утворитися в зонах руйнування гірських порід. Найбільш обґрунтованою гіпотезою утворення порових просторів та їх тривалого існування є геомеханічна гіпотеза В.М. Ніколаєвського (1996). Вона задовільно пояснює утворення лістричних розломів, що занурюються під постійним кутом вниз до субгоризонтальної зони зсуву в крихкій корі на глибині близько 10—15 км, де виникають довгоживучі зони руйнування, відповідальні як за електропровідні шари, так і за сейсмічні хвилеводи в середній корі. Ґрунтуючись на загальних закономірностях механічної поведінки гірських порід в умовах нерівномірних просторових навантажень та особливостях формування геостатичного напруженого стану породних масивів, встановлено важливу можливість спонтанного дилатансійного розуцільнення порід на великих глибинах та його інтенсифікацію зі збільшенням глибини [Михалюк, Войтенко, 2011]. Так утворюється єдина флюїдна система зі складним динамічним характером. Саме з рухом флюїдів по цих зонах під впливом дилатансійних процесів пов'язують утворення родовищ ВВ. Таким чином, наявність хвилеводів у континентальній верхній корі, пов'язаних з розломами, може бути одним з важливих структурних критеріїв, що контролюють скупчення ВВ.

У монографії [Тектоника ..., 2015] наведено результати комплексної геолого-геофізичної інтерпретації та виділено кілька перспективних площ для пошуку родовищ ВВ у кристалічному фундаменті ДДЗ. І хоча в цій публікації зазначено, що Чернігівський блок ДДЗ не розглядається як район, перспективний на нафтогазоносність, тут виділено дві площі — Талалаївську і Никонівську, першу проходить профіль GEORIFT 2013 на пікетах 365—470 км. Їх надра характеризуються перетином активізованих розломів різної орієнтації, а також аномальною потужністю коромантійної суміші та розуцільнених областей на поверхні фундаменту і на глибині 20—30 км. Поклади нафти і газу пов'язують з палеозойським осадовим чохлам і докембрійським фундаментом [Доленко и

др., 1991]. Фундамент ДДЗ характеризується значною роздробленістю [Омельченко, Кучма, 2013], що підтверджує інтерпретація сучасних експериментальних даних МТЗ і МВП [Кушнір, Бурахович, 2016].

Висновки. Вивчення електромагнітних параметрів і природи аномалій електропровідності в надрах Землі дає змогу визначити сліди проникнення флюїдів з кори і мантії, які стають важливим джерелом для всіх наступних процесів формування нафтогазових родовищ. До геоелектричних критеріїв можна віднести, крім загальної перешаруватості розрізу за питомим опором, тобто розповсюдження аномальної електропровідності ймовірно з перервами за вертикаллю: максимальну потужність осадової товщі; субвертикальний підйом аномалій електропровідності з коромантійних глибин або колонки на всю потужність земної кори; субвертикальні границі неоднорідностей (контакти ρ) у консолідованій земній корі та верхній мантії; наявність високопровідного астеносферного шару.

При спільній інтерпретації даних сейсмічних та електромагнітних зондувань частіше застосовується структурний підхід, який збільшує інформативність глибинних досліджень, а також є надійним інструментом підвищення якості одержуваних результатів. Основною причиною формування інверсійних зон у верхній корі платформних областей є тріщинуватість і насиченість порід флюїдами, що часто мають підвищену електропровідність.

Відповідно до геоелектричних критеріїв можна вважати перспективними на ВВ ділянки профілю GEORIFT 2013: 440—480 та 550—625 км, особливо 570—600 км, вони потребують більш детального геолого-геофізичного дослідження. Останнім ділянкам притаманий збіг за глибиною аномального розподілу електропровідності із зонами низьких швидкостей та просторова відповідність тектонічним порушенням, таким як (із заходу на схід): Західний Криворізько-Кременчуцький насув, Криворізько-Крупецький та Криворізько-Кременчуцький (Глухівський) глибинні

зони розломів. Унікальному розподілу питомого опору за глибиною (перемешованості за вертикаллю) відповідає субвертикальна зона контакту швидкостей поширення поздовжніх хвиль, яка проявилася у перериванні слідкування границь, проінтерпретованих відповідно до заломлених та/або відбитих P -хвиль, на ділянці профілю 440—480 км, що перетинає складний вузол тектонічних структур: трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ, глибинні Кіровоградську та Переяслів-Хмельницько-Прилуцьку зони розломів.

Очевидно, що стоншення кори та розущільнення її розломами призводить до появи шляхів міграції ВВ. Наявність товстого осадового чохла від 7 до 10 км і тектонічних рухів сприяє утворенню над розломами великої кількості пасток для формування родовищ ВВ.

Проте чимало досліджень вказують на відкриття родовищ ВВ на великих глибинах у карбонатних відкладах [Рудько, Соболев, 2020]. Високу перспективність глибоких горизонтів ДДЗ підтверджують останні відкриття газоконденсатних покладів на глибинах понад 6000 м на Семиренківському та Комишнянському родовищах, тобто на ділянці 550—625 км. У цій роботі з посиланням на дані Clarke (2002) підкреслюється, що на глибині понад 4 км тільки 18 % нафти міститься в уламкових колекторах, а 82 % — у карбонатах. Очевидно, що на великих глибинах карбонатні колектори стають важливішими, тому що внаслідок перебігу процесів розчинення і перекристалізації їхня пористість збільшується. Саме в центральному сегменті ДДЗ уперше виявлено основні закономірності нафтогазоносності глибокозалягаючих геологічних формацій [Лукин, 2014]. Основна частина покладів ВВ у ДДЗ на глибинах понад 4—5 км приурочена до поліфаціальних піщаних порід нижнього карбону.

На території України основні перспективи відкриття покладів ВВ на великих глибинах сьогодні пов'язують з ДДЗ, оскільки їх запаси на малих і середніх глибинах у багатьох регіонах майже висна-

женні більш ніж на 60 %. Тому так важливо провести оцінку можливої нафтогазоносності відкладів і порід фундаменту через виділення перспективних ділянок покладів ВВ, зокрема й у породах кристалічного фундаменту.

Публікація містить результати дослі-

джень, проведених за прикладною темою Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України № III-16-23: «Геофізичні моделі глибинної будови літосфери нафтогазоносних регіонів України та визначення шляхів міграції мантийних флюїдів» (2023—2025 рр.).

Список літератури

- Атлас «Геологія і корисні копалини України».* Гол. ред. Л.С. Галецький. Київ: Вид. Інституту геологічних наук НАН України, УЦПТ «Геос-XXI століття», 2001, 168 с.
- Белявский В.В., Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Сухой В.В. *Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепроовско-Донецкой впадины.* Киев: Знання, 2001, 227 с.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Кваситрехмерная геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии электропроводности. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 2. С. 120—125.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Трехмерная модель Кировоградской аномалии электропроводности. *Геофиз. журн.* 2007. Т. 29. № 1. С. 45—55.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Логвинов И.М., Пинчук А.П., Тарасов В.Н. Геоэлектрическая модель тектоносферы Припятского Прогиба. *Геофиз. журн.* 1996. Т. 18. № 5. С. 71—79.
- Верховцев В.Г., Юськів Ю.В., Швайко В.Г., Шевчук В.І. Сумарні амплітуди пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної поверхні Українського щита та його схилів. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист.* 2013. № 6. С. 38—52.
- Геоэлектрическая модель тектоносферы Евразийского складчатого пояса и сопредельных территорий.* Ред. В.В. Белявский, С.Н. Кулик. Киев: Знання, 1998, 265 с.
- Гинтов О.Б., Мычак С.В. Геодинамическая эволюция Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 3. С. 102—118. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i3.2011.116932>.
- Гордиенко В.В. Тектоносфера Припятской впадины. *Геофиз. журн.* 1994. Т. 16. № 3. С. 14—23.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М. *Украинский щит (геофизика, глубинные процессы).* Киев: Корвін-пресс, 2005, 210 с.
- Доленко Г.Н., Ляшкевич З.М., Алехина М.А., Шнюков Е.Ф. Геология и нефтегазоносность Днепроовско-Донецкой впадины. В кн.: *Эндогенные процессы и нефтегазоносность.* Киев: Наук. думка, 1991, С. 67—82.
- Егорова Т.П., Муровская А.В. Припятский прогиб как возможный канал мантийной дегазации: глубинное строение и положение в зоне сочленения Сарматии и Фенноскандии. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 5. С. 107—129. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215073>.
- Єнтін В. А. Геофізична основа тектонічної карти України масштабу 1:1000000. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 1. С. 74—88.
- Кушнір А.Н., Бурахович Т.К. Результаты электромагнитных исследований Брагинско-Лоевского выступа и Черниговского блока ДДВ. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 3. С. 128—137. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107785>.
- Кушнір А.М., Бурахович Т.К., Ільєнко В.А., Джаошвілі В.Б. Електромагнітні дослідження вздовж профілю Несено-Іржавець—Абрамівка (південний борт Дніпровсько-Донецької западини). *Доп. НАН України.* 2018. № 9. 70—76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.09.070>.
- Лукин А.Е. *Литогеодинимические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах.* Киев: Наук. думка, 1997, 225 с.

- Лукин А.Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине. *Вісник НАН України*. 2014. № 5. С. 31—36.
- Михайлов В.А. *Основи геотектоніки: Навчальний посібник*. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2002, 168 с.
- Михалюк А.В., Войтенко Ю.И. Дилатационный механизм генезиса трещиноватости породных массивов. *Зб. наук. праць УкрДГРІ*. 2011. № 4. С. 50—66.
- Наумко І.М. Мінералофлюїдологія та синтез і генезис природних вуглеводнів у надрах Землі. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 4. С. 72—96. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210673>.
- Омельченко В.Д., Кучма В.Г. Раздробленность земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена. *Геодинаміка*. 2013. № 2. С. 54—56.
- Пашкевич И.К., Русаков О.М. Комплексная геолого-геофизическая характеристика зоны трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск — глубинного долгоживущего магмо- и флюидоподводящего канала. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 5. С. 111—126. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244075>.
- Рудько Г.І., Соболь В.В. Перспективи нафтогазоносності України на великих глибинах для нарощування вуглеводневого потенціалу України. *Мінеральні ресурси України*. 2020. № 2. С. 36—42. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.36-42>.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины*. Ред. В.И. Старостенко, О.М. Русаков. Киев: Галактика, 2015, 212 с.
- Тимурзиев А.И. Современное состояние теории происхождения и практики поисков нефти: на пути к созданию научной теории прогнозирования и поисков глубинной нефти. *Тектоніка і стратиграфія*. 2016. Вип. 43. С. 102—132.
- Усенко А.П., Усенко О.В. Аналіз геотермічних параметрів нафтогазових родовищ центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 3. С. 128—146. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204705>.
- Усенко О.В. *Формирование расплавов: геодинамический процесс и физико-химические взаимодействия*. Киев: Наук. думка, 2014, 240 с.
- Цветкова Т.О., Бугаєнко І.В., Заєць Л.М. Сейсмична томографія мантії та родовища первинного водню на території Дніпровсько-Донецької западини. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 44—54.
- Цветкова Т.А., Бугаєнко І.В., Заєць Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Часть I. *Геофиз. журн.* 2020а. Т. 42. № 2. С. 71—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742>.
- Цветкова Т.А., Бугаєнко І.В., Заєць Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Часть II. *Геофиз. журн.* 2020б. Т. 42. № 3. С. 147—163. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706>.
- Шеремет Е.М., Бурахович Т.К., Николаев И.Ю., Дудик А.М., Дудик К.А., Кушнир А.Н., Ширков Б.И., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г. *Геоэлектрические и геохимические исследования при прогнозировании углеводородов в Украине*. Киев: ЦП «Компринт», 2016, 489 с.
- Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславский А.С. *Очерки гегазации Земли*. Киев: ЧП «Итек-сервис», 2018, 232 с.
- Ширков Б.І., Гіщук О.В., Кушнір А.М. Геоелектричні дослідження Белгородсько-Сумського мегаблоку північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 5. С. 176—182. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111163>.
- Щербаков И.Б. *Петрология Украинского щита*. Львов: ЗУКЦ, 2005, 364 с.
- Ярошук М.А., Мусич Е.Г. Природа углерода раннедокембрийских графитовых месторождений Украинского щита. *Зб. наук. праць Ін-ту геохімії навколишнього середовища*. 2016. Вип. 26. С. 120—128.
- Яценко В.Г. Закономерности пространственного расположения проявлений графита на

- Украинском щите. *Аспекты металлогении Украины. Сб. науч. тр. ГНЦ радиогеохим. окруж. среды НАН и МЧС Украины*. Киев, 1998, С. 254—270.
- Glasby, G.P. (2006). Abiogenic origin of hydrocarbons: an historical overview. *Resource Geology*, 56(1), 83—96. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2006.tb00271.x>.
- Höök, M., Bardi, U., Feng, L., & Pang, X. (2010). Development of oil formation theories and their importance for peak oil. *Marine and Petroleum Geology*, 27(9), 1995—2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.005>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Sroda, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetzky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.

Geoelectrical inhomogeneities of the lithosphere of the Pripyat-Dnieper-Donetsk basin along the GEORIFT 2013 profile

T.K. Burakhovych, A.M. Kushnir, 2024

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

For the first time, for the Pripyat-Dnipro-Donetsk basin, a geological-geoelectrical interpretation of the synthetic model of the distribution of electrical resistivity in the lithosphere along the GEORIFT 2013 profile was carried out for the territory of Ukraine. Geoelectric heterogeneities of the Earth's crust and upper mantle were found based on the generalization of interpretation parameters of various degrees from one-dimensional inversion to two- and three-dimensional models, which are based on experimental observations of the natural low-frequency electromagnetic field of the Earth. A connection of electrical conductivity anomalies with structural features which were found according to the data of the DSS along the profile, was established. The nature of anomalous electrical conductivity is considered on the basis of a complex analysis of geological and geophysical data, and geoelectrical criteria for the selection of promising areas of hydrocarbon deposits are formulated.

The unique distribution of resistivity over depth corresponds to the subvertical contact zone of longitudinal wave velocities manifested in the interruption of the tracing of the boundaries interpreted according to refracted and/or reflected *P*-waves. This zone corresponds to a complex knot of tectonic structures: the Kherson-Smolensk transregional tectonic seam, deep Kirovohradsk and Pereyaslav-Khmelnysko-Pryluksky fault zones. The coincidences of the depth of the anomalous distribution of electrical conductivity with the zones of low velocities spatially correspond to tectonic disturbances, such as (from west to east): the Western Kryvorizko-Kremenchutsky thrust, the Kryvorizko-Krupetsky and Kryvorizko-Kremenchutsky deep fault zones.

In the joint interpretation of seismic and electromagnetic sounding data, the structural approach is more often used, which increases the informativeness of depth research. It is shown that the zones of high electrical conductivity, which coincide with the zones of low velocities, are caused by the presence of fissures and the saturation of rocks with deep fluids, which must be considered as ways of their migration to the upper horizons

of the crust, where they become an important source for all subsequent processes of the formation of oil and gas deposits.

Key words: geoelectromagnetic methods, low-velocity zones, electrical conductivity anomalies, fluidization, hydrocarbons.

References

- Galetskiy, L.S. (Ed.). (2001). Atlas «Geology and minerals of Ukraine». Kyiv: Ed. of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, UICPT «Geos-XXI century», 168 p. (in Ukrainian).
- Belyavskiy, V.V., Burakhovich, T.K., Kulik, S.N., & Sukhoy, V.V. (2001). *Electromagnetic methods in the study of the Ukrainian shield and the Dnieper-Donets depression*. Kiev: Zannanya, 227 p. (in Russian).
- Burakhovich, T.K., & Kulik, S.N. (1999). Quasi-three-dimensional geoelectric model of the Kirovograd electrical conductivity anomaly. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 21(2), 120—125 (in Russian).
- Burakhovich, T.K., & Kulik, S.N. (2007). Three-dimensional model of the Kirovograd electrical conductivity anomaly. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 29(1), 45—55 (in Russian).
- Burakhovich, T.K., Kulik, S.N., Logvinov, I.M., Pinchuk, A.P., & Tarasov, V.N. (1996). Geoelectric model of the tectonosphere of the Pripyat Trough. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 18(5), 71—79 (in Russian).
- Verkhovtsev, V.G., Yuskiv, Yu.V., Shvayko, V.G., & Shevchuk, V.I. (2013). Total amplitudes of the Late Pliocene-Quaternary vertical movements of the earth's surface of the Ukrainian shield and its slopes. *Technological and environmental safety and civil protection*, (60), 38—52 (in Ukrainian).
- Belyavskiy, V.V., & Kulik, S.N. (Eds.). (1998). *Geoelectric model of the tectonosphere of the Eurasian fold belt and adjacent territories*. Kiev: Znannya, 265 p. (in Russian).
- Gintov, O.B., & Mychak, S.V. (2011). Geodynamic development of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield for geological-geophysical and tectonophysical data. I. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 33(3), 102—118. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i3.2011.116932> (in Russian).
- Gordienko, V.V. (1994). Tectonosphere of the Pripyat Basin. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 16(3), 14—23 (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., & Logvinov, I.M. (2005). *Ukrainian shield (geophysics, deep processes)*. Kiev: Corvin-press, 210 p. (in Russian).
- Dolenko, G.N., Lyashkevich, Z.M., Alyokhina, M.A., & Shnyukov, E.F. (1991). Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression. In *Endogenous processes and oil and gas potential* (pp. 67—82). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Yegorova, T.P., & Murovskaya, A.V. (2020). Pripyat trough as a possible channel of mantle degassing: deep structure and position in the junction zone of Sarmatia and Fennoscandia. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 42(5), 107—129. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215073> (in Russian).
- Yentyn, V.A. (2005). Geophysical basis of the tectonic map of Ukraine on a scale of 1:1000000. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 27(1), 74—88 (in Ukrainian).
- Kushnir, A.N., & Burakhovich, T.R. (2016). The results of electromagnetic studies of the Bragin-Loev ledge and the Chernihiv block of the DDD. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(3), 128—137. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107785> (in Russian).
- Kushnir, A.M., Burakhovich, T.K., Ilyenko, V.A., & Dzhaoshvili, V.B. (2018). Electromagnetic studies along the Neseno-Irzhavets—Abramivka profile (Southern slope of the Dnieper-Donets trough). *Dopovidi NAN Ukrayiny*, (9), 70—76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.09.070> (in Ukrainian).
- Lukin, A.E. (1997). *Lithogeodynamic factors of oil and gas accumulation in aulacogenic basins*. Kiev: Naukova Dumka, 225 p. (in Russian).
- Lukin, A.E. (2014). Hydrocarbon potential of great depths and prospects for its development in

- Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (5), 31—36 (in Russian).
- Mikhaylov, V.A. (2002). *Basics of geotectonics: Study guide*. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center, 168 p. (in Ukrainian).
- Mikhalyuk, A.V., & Voytenko, Yu.I. (2011). Dilatancy mechanism of the genesis of fracturing in rock masses. *Collection of scientific works of the UkrDGRI*, (4), 50—66 (in Russian).
- Naumko, I. (2020). Mineral-fluidology and synthesis and genesis of natural hydrocarbons in the Earth's bowels. *Geofizicheskii Zhurnal*, 42(4), 72—96. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210673> (in Ukrainian).
- Omelchenko, V.D., & Kuchma, V.G. (2013). Fractionation of the earth's crust and oil and gas carrying capacity of the Dnipro-Donetsk avlakogen. *Geodynamics*, (2), 54—55 (in Russian).
- Pashkevich, I.K., & Rusakov, O.M. (2021). Integrated geological-geophysical characterization of the zone of the Kherson—Smolensk transregional tectonic suture — deep long-lived magma- and fluid-conducting channel. *Geofizicheskii Zhurnal*, 43(5), 111—126. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244075> (in Russian).
- Rudko, G.I., & Sobol, V.V. (2020). Prospects of Ukraine's oil and gas capacity at great depths for building Ukraine's hydrocarbon potential. *Mineral resources of Ukraine*, (2), 36—42. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.36-42> (in Ukrainian).
- Starostenko, V.I., & Rusakov, O.M. (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets depression*. Kiev: Galaktika, 212 p. (in Russian).
- Timurziev, A.I. (2016). The current state of the theory of the origin and practice of oil exploration: on the way to creating a scientific theory of forecasting and searching for deep-seated oil. *Tectonics and stratigraphy*, (43), 102—132 (in Russian).
- Usenko, A.P., & Usenko, O.V. (2020). Analysis of geothermic parameters of oil-and gas deposits of the central part of the Dnieper-Donets depression. *Geofizicheskii Zhurnal*, 42(3), 127—144. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204705> (in Ukrainian).
- Usenko, O.V. (2014). *Melt formation: geodynamic process and physicochemical interactions*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Tsvetkova, T.O., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.M. (2022). Seismic tomography of the mantle and primary hydrogen deposits in the Dnieper-Donetsk basin. *Geofizicheskii Zhurnal*, 44(3), 44—55. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261967> (in Ukrainian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets Depression and its surroundings. Pt. I. *Geofizicheskii Zhurnal*, 42(2), 71—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets depression and its surroundings. Pt. II. *Geofizicheskii Zhurnal*, 42(3), 145—161. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706> (in Russian).
- Sheremet, E.M., Burakhovich, T.K., Nikolaev, I. Yu., Dudik, A.M., Dudik, K.A., Kushnir, A.N., Shirkov, B.I., Setaya, L.D., & Agarkova, N.G. (2016). *Geoelectrical and geochemical studies in forecasting hydrocarbons in Ukraine*. Kyiv: CP «Komprint», 489 p. (in Russian).
- Shestopalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, A.N., Larin, N.V., & Boguslavskiy, A.S. (2018). *Essays on the degassing of the Earth*. Kiev: PE «Itek-service», 232 p. (in Russian).
- Shirkov, B.I., Gishchuk, O.V., & Kushnir, A.M. (2015). Geoelectric studies of the Belgorod-Sumy megablock of the northern slope of the Dnieper-Donets Trough. *Geofizicheskii Zhurnal*, 37(5), 176—182. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111163> (in Ukrainian).
- Shcherbakov, I.B. (2005). *Petrology of the Ukrainian Shield*. Lvov: ZUKTs, 364 p. (in Russian).
- Yaroshchuk, M.A., & Musych, E.G. (2016). The nature of carbon in Early Precambrian graphite deposits of the Ukrainian Shield. *Collection of scientific works of the Institute of Environmental Geochemistry*, (26), 120—128 (in Russian).
- Yatsenko, V.G. (1998). Regularities of the spatial arrangement of graphite on the Ukrainian Shield. *Aspects of metallurgy of Ukraine. Col-*

- lection of scientific works of the Scientific Center for Environmental Radiogeochemistry of the National Academy of Sciences and the Ministry of Emergency Situations of Ukraine (pp. 254—270). Kiev (in Russian).
- Glasby, G.P. (2006). Abiogenic origin of hydrocarbons: an historical overview. *Resource Geology*, 56(1), 83—96. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2006.tb00271.x>.
- Höök, M., Bardi, U., Feng, L., & Pang, X. (2010). Development of oil formation theories and their importance for peak oil. *Marine and Petroleum Geology*, 27(9), 1995—2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.005>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Sroda, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetzky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripjat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.